TUGAS AKHIR

EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT TERHADAP GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS STATIK NON LINIER (*PUSHOVER*) (SEISMIC EVALUATION OF MULTI-STORY BUILDING STRUCTURES USING NONLINEAR STATIC (*PUSHOVER*) ANALYSIS)

(Studi Kasus: Gedung Parkiran Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito, Sleman, Yogyakarta)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil



TRIA YULIADI PUTRA
20511020

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026

TUGAS AKHIR

EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT TERHADAP GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS STATIK NON LINIER (*PUSHOVER*) (SEISMIC EVALUATION OF MULTI-STORY BUILDING STRUCTURES USING NONLINEAR STATIC (*PUSHOVER*) ANALYSIS)

(Studi Kasus: Gedung Parkiran Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito, Sleman, Yogyakarta)

Disusun Oleh

Tria Yuliadi Putra

20511020

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji

Dosen Pembimbing :
Ir. Jafar, S.T., M.T., MURP
NIK : 185111305
Tanggal : 10-09-2026

Penguji I :
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK : 185111304
Tanggal : 10-09-2026

Penguji II :
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301
Tanggal : 10-09-2026

Mengesahkan,
Program Studi Teknik Sipil

Dr.-Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK : 145110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Laporan Tugas Akhir ini bukan karya saya atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 7 September 2026

Yang membuat pernyataan,



Tria Yuliadi Putra

(20511020)

iii

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang bejudul" Evaluasi Struktur Bangunan Bertingkat Terhadap Gempa Menggunakan Analisis Statik Non Linier (*Pushover*) (Studi Kasus: Gedung Parkiran Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito, Sleman , Yogyakarta)", sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, dengan penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua dukungan, bimbingan, dan bantuan yang telah diberikan selama penyusunan tugas akhir kepada pihak-pihak sebagai beriku.

1. Dr.-Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Jafar, S.T., M.T., MURP. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, serta ilmu yang sangat berharga dengan penuh kesabaran kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. dan Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji Tugas Akhir, terima kasih atas waktu yang telah diluangkan serta evaluasi, arahan, saran, kritik membangun, dan masukan berharga demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu yang selalu memberikan dukungan, serta mendoakan penulis sehingga dapat menempuh pendidikan hingga mencapai gelar S.T.
5. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa dan semangat.
6. Seluruh dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

7. Seluruh teman-teman Teknik Sipil angkatan 2020 yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan tugas akhir ini, yang dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, 7 September 2026

Penulis,



Tria Yuliadi Putra

(20511020)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xvii

DAFTAR LAMPIRAN xxi

ABSTRAK xxii

ABSTRACT xxiii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Batasan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Penelitian Terdahulu 6

2.2 Tinjauan Perbandingan Penelitian Terdahulu Mengenai Analisis *Pushover* 14

2.3 Keaslian Penelitian 23

BAB III LANDASAN TEORI 24

3.1 Gempa Bumi 24

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa 26
3.3 Analisis Struktur Bangunan 28
3.4 Pembebanan Struktur 29
3.5 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-1726-2019 33
3.6 Analisis Beban Gempa 50
3.7 Analisis Statik Non-Linier (*Pushover* Analysis) 51
3.7.1 Kurva Kapasitas 52
3.7.2 Titik Kinerja (*Performance Point*) Metode ATC-40 56
3.8 Metode ATC-40 57
3.8.1 Batasan Deformasi (*Drift*) Metode ATC-44 60
3.8.2 Level Kinerja Struktur Kriteria ATC-40 61
3.9 Mekanisme Keruntuhan 66
3.9.1 Mekanisme Keruntuhan Berdasarkan ATC-40 66
3.9.2 Sendi Plastis (*Hinge*) 67
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 71
4.1 Objek Penelitian 71
4.2 Data Bangunan 76
4.3 Program yang Digunakan 86
4.4 Tahapan Penelitian 86
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 91
5.1 Pemodelan Struktur 91
5.1.1 Mendefinisikan Dan Memodelkan Grid 94
5.1.2 Mendefinisikan Material yang Akan Digunakan 98
5.1.3 Pemodelan Balok 107

5.1.4 Pemodelan Kolom 111
5.1.5 Pemodelan Penampang dan Tulangan Kolom Lift 115
5.1.6 Pemodelan Pelat Bondex atau Slab Bondex 121
5.2 Pembebanan Struktur 124
5.2.1 Beban Mati Atau Dead Load (DL) 124
5.2.2 Beban Mati Tambahan atau *Super Imposed Dead Load* (SIDL) 125
5.2.3 Beban Hidup Atau Live Load (LL) 154
5.2.4 Beban Dead, SIDL, dan Live dari Desain Ramp dan Tangga 156
5.2.5 Beban Air Hujan (R) pada Pelat Atap Datar 164
5.2.6 Analisa Beban Gempa Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726:2019 165
5.2.7 Kontrol Kinerja dan Ketidakberaturan Struktur Gedung 179
5.3 Analisis Beban Gempa 191
5.3.1 Mendefinisikan Mass Source 192
5.3.2 Menginput Data Respon Spektrum Gempa 193
5.3.3 Mengecheck Nilai Gaya Geser Dasar 194
5.4 Analisis *Pushover* 196
5.4.1 Mendefinisikan *Load Case Pushover* 196
5.4.2 Mendefinisikan Sendi Plastis (*Hinge*s) 209
5.5 Hasil Analisis *Pushover* Berdasarkan ATC-40 Bangunan Sisi Kiri 216
5.5.1 Kurva Kapasitas Bangunan Sisi Kiri 218
5.5.2 *Performance Point* Atau Titik Kinerja Berdasarkan Kriteria ATC-40 226
5.5.3 Tingkat Kinerja Struktur Bangunan Sisi Kiri 229
5.5.4 Mekanisme Sendi Plastis Bangunan Sisi Kiri 242

5.6 Hasil Analisis *Pushover* Berdasarkan Kriteria ATC-40 Bangunan Sisi Kanan 255

5.6.1 Kurva Kapasitas Bangunan Sisi Kanan 257

5.6.2 *Performance Point* atau Titik Kinerja Berdasarkan Kriteria ATC-40 Bangunan Sisi Kanan 265

5.6.3 Tingkat Kinerja Struktur Bangunan Sisi Kanan 268

5.6.4 Mekanisme Sendi Plastis Bangunan Sisi Kanan 280

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 294

6.1 Kesimpulan 294

6.2 Saran 295

DAFTAR PUSTAKA 297

LAMPIRAN 300

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Episenter Gempa Vulkanik (Press dan Siever, 1975) 26
Gambar 3. 2 Tingkat Kerusakan Bangunan 27
Gambar 3. 3 Peta Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksium Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5 %) 38
Gambar 3. 4 Peta Parameter Gerak Tanah, S1, Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2- Detik (Redaman Kritis 5 %) 39
Gambar 3. 5 Peta C_{RS} Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik 41
Gambar 3. 6 Peta CR1 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 1 Detik 42
Gambar 3. 7 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) Wilayah Indonesia 45
Gambar 3. 8 Spektrum Respons Desain 46
Gambar 3. 9 Kurva Kapasitas 53
Gambar 3. 10 Kurva Kapasitas 53
Gambar 3. 11 Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas (ATC, 40) 55
Gambar 3. 12 Merubah Format Respon Spectrum ke Format ADRS 56
Gambar 3. 13 Penentuan Titik Kinerja (Performance point) 57
Gambar 3. 14 Kurva Kriteria Kinerja 62
Gambar 3. 15 Ilustrasi Keruntuhan Gedung dan Level Kinerjanya 63
Gambar 3. 16 Mekanisme Keruntuhan Beam Sway Mechanism 66
Gambar 3. 17 Mekanisme Keruntuhan Column Sway Mechanism 67
Gambar 3. 18 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur 68
Gambar 3. 19 Posisi Sumbu Lokal Kolom Struktur 69
Gambar 3. 20 Peletakan Sendi Plastis (Plastic Hinge) Pada Balok dan Kolom 69
Gambar 4. 1 Lokasi Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. sardjito 72

Gambar 4. 2 Desain Rencana Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito Tampak Depan 73
Gambar 4. 3 Desain Rencana Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito Tampak Samping 73
Gambar 4. 4 Denah Gedung Lantai Ground Floor 74
Gambar 4. 5 Denah Gedung Lantai 3 74
Gambar 4. 6 Denah Tinjauan Bagian Sisi Kiri dan Sisi Kanan Gedung 75
Gambar 4. 7 Potongan Gedung Tampak Samping 75
Gambar 4. 8 Potongan Gedung Tampak Depan 76
Gambar 4. 9 Potongan Tampak Depan Bagian Sisi Kiri dan Sisi Kanan Gedung 76
Gambar 4.10 Bagan Alir Tahapan Penelitian 89
Gambar 5. 1 Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor 92
Gambar 5. 2 Tinjauan Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor Bangunan Sisi Kiri dan Sisi Kanan 92
Gambar 5. 3 Tinjauan Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor Bangunan Sisi Kiri 93
Gambar 5. 4 Tinjauan Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor Bangunan Sisi Kanan 93
Gambar 5. 5 Tampilan *Model Initalization* 94
Gambar 5. 6 Tampilan *New Model Quick Templates* 95
Gambar 5. 7 Tampilan *Grid System Data* 95
Gambar 5. 8 Tampilan *New Model Quick Templates* 96
Gambar 5. 9 Tampilan *Story Data* 96
Gambar 5. 10 Tampilan *New Model Quick Templates* 97
Gambar 5. 11 Pemodelan Grid Tampak 3D 97
Gambar 5. 12 Pemodelan Grid Tampak 2D 98
Gambar 5. 13 Tampilan *Add New Material Property* pada Beton 99
Gambar 5. 14 Tampilan *Material Property Design Data* pada Beton 100
Gambar 5. 15 Tampilan *Material Property Data* pada Beton 100
Gambar 5. 16 Tampilan Add New Material Property 101
Gambar 5. 17 Tampilan Material Property Data BJTS 420 102
Gambar 5. 18 Tampilan Material Property Design Data BJTS 420 104

Gambar 5. 19 Tampilan Material Property Data BJTP 280 104
Gambar 5. 20 Tampilan *Material Property Design Data* BJTP 280 105
Gambar 5. 21 Tampilan *Add New Material Property* pada Galvalum 105
Gambar 5. 22 Tampilan *Material Property Data* pada Galvalum 106
Gambar 5. 23 Tampilan *Material Property Design Data* pada Galvalum 107
Gambar 5. 24 Tampilan *Frame Property Shape Type* pada Balok 108
Gambar 5. 25 Tampilan *Frame Section Property Data* pada Balok 109
Gambar 5. 26 Tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* pada Balok 110
Gambar 5. 27 Tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada Balok 111
Gambar 5. 28 Tampilan *Frame Properties* 111
Gambar 5. 29 Tampilan *Frame Property Shape Type* pada Kolom 112
Gambar 5. 30 Tampilan *Frame Section Property Data* pada Kolom 113
Gambar 5. 31 Tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* pada Kolom 113
Gambar 5. 32 Tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada Kolom 114
Gambar 5. 33 Tampilan *Frame Properties* pada Kolom 115
Gambar 5. 34 Tampilan *Frame Properties* pada Kolom Lift 116
Gambar 5. 35 Tampilan *Frame Property Shape Type* pada Kolom Lift 116
Gambar 5. 36 Tampilan *Section Designer Section Property Data* pada Kolom Lift 117
Gambar 5. 37 Tampilan Awal *Section Designer* pada Kolom Lift 118
Gambar 5. 38 Tampilan *Section Object Data – L – Shape* pada Kolom Lift 118
Gambar 5. 39 Tampilan Sebelum Penulangan *Section Designer* pada Kolom Lift 119
Gambar 5. 40 Tampilan *Section Object Data – Bar* pada Kolom Lift 120
Gambar 5. 41 Tampilan Penulangan *Section Designer* pada Kolom Lift 120
Gambar 5. 42 Tampilan *Propert/Stiffness Modification Factors* pada Kolom Lift 121
Gambar 5. 43 Tampilan *Deck Properties* pada Pelat Bondex 122
Gambar 5. 44 Tampilan *Deck Properties Data* pada Pelat Bondex 123

Gambar 5. 45 Tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* pada Pelat Deck 123
Gambar 5. 46 Detail Gambar Kuda-kuda 139
Gambar 5. 47 Spektrum Respons Desain 173
Gambar 5. 48 Grafik Simpangan Antar Tingkat Bangunan Sisi Kiri 181
Gambar 5. 49 Grafik Simpangan Antar Tingkat bangunan Sisi Kanan 182
Gambar 5. 50 Grafik Pengaruh P-Delta Bangunan Sisi Kiri 184
Gambar 5. 51 Grafik Pengaruh P-Delta Bangunan Sisi Kanan 185
Gambar 5. 52 Tampilan *Mass Source Data* 193
Gambar 5. 53 Tampilan *Response Spectrum ASCE 7-22 Function Definition* 194
Gambar 5. 54 Tampilan Load Case Data 197
Gambar 5. 55 Tampilan *Load Application Control for Nonliniar Static Analysis Gravity* 198
Gambar 5. 56 Tampilan Result Saved for Nonlinear Static Case Gravity 199
Gambar 5. 57 Tampilan Floor Cracking Analysis Parameters Gravity 199
Gambar 5. 58 Tampilan Nonlinear Parameters Gravity 200
Gambar 5. 59 Tampilan Load Case Data *Pushover* Arah X 201
Gambar 5. 60 Tampilan *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis Pushover* Arah X 202
Gambar 5. 61 Tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Pushover* Arah X 203
Gambar 5. 62 Tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Pushover* Arah X 204
Gambar 5. 63 Tampilan *Nonlinear Parameters Pushover* Arah X 205
Gambar 5. 64 Tampilan *Load Case Data Pushover* Arah Y 206
Gambar 5. 65 Tampilan *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis Pushover* Arah Y 207
Gambar 5. 66 Tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Pushover* Arah Y 208
Gambar 5. 67 Tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Pushover* Arah Y 208

Gambar 5. 68 Tampilan *Nonlinear Parameters Pushover* Arah Y 209
Gambar 5. 69 Tampilan *Select by Frame Property* pada Balok 210
Gambar 5. 70 Tampilan Frame Assugment-*Hinge*s pada Balok 211
Gambar 5. 71 Tampilan *Auto Hinge Assigment Data* pada Balok 212
Gambar 5. 72 Tampilan Select by Frame Property pada Balok 213
Gambar 5. 73 Tampilan Frame Assugment-*Hinge*s pada Balok 214
Gambar 5. 74 Tampilan *Auto Hinge Assigment Data* pada Balok 215
Gambar 5. 75 Tampilan *Set Load Cases to Run* 216
Gambar 5. 76 Kurva Kapasitas Pushover Arah X Bangunan Sisi Kiri 223
Gambar 5. 77 Kurva Kapasitas Pushover Arah Y Bangunan Sisi Kiri 223
Gambar 5. 78 Perbandingan Kurva Kapasitas Pushover Arah X dan Arah Y Bangunan Sisi Kiri 224
Gambar 5. 79 Sumbu Kuat dan Lemah Bangunan Sisi Kiri 226
Gambar 5. 80 Kurva *Performance point* Result Arah X Bangunan Sisi Kiri 227
Gambar 5. 81 Kura Target Displacement Result Arah Y Bangunan Sisi Kiri 228
Gambar 5. 82 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 243
Gambar 5. 83 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 243
Gambar 5. 84 Sendi Plastis Titik Performnace Point pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 244
Gambar 5. 85 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 245
Gambar 5. 86 Sendi Plastis Titik Kapasitas Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 246
Gambar 5. 87 Sendi Plastis Titik Kapasitas pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 246
Gambar 5. 88 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 247
Gambar 5. 89 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 248

Gambar 5. 90 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 249
Gambar 5. 91 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 250
Gambar 5. 92 Sendi Plastis Titik *Performance point* Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 251
Gambar 5. 93 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 251
Gambar 5. 94 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 252
Gambar 5. 95 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 253
Gambar 5. 96 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri 254
Gambar 5. 97 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri 254
Gambar 5. 98 Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X Bangunan Sisi Kanan 262
Gambar 5. 99 Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y Bangunan Sisi Kanan 262
Gambar 5. 100 Perbandingan Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X dan Arah Y Bangunan Sisi Kanan 263
Gambar 5. 101 Sumbu Kuat dan Lemah Bangunan Bangunan Sisi Kanan 265
Gambar 5. 102 Kurva *Performance point* Result Arah X Bangunan Sisi Kanan 266
Gambar 5. 103 Kura Target Displacement Result Arah Y Bangunan Sisi Kanan 267
Gambar 5. 104 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kanan 282
Gambar 5. 105 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kanan 283
Gambar 5. 106 Sendi Plastis Titik Performnace Point pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kanan 284
Gambar 5. 107 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kanan 284

Gambar 5. 108 Sendi Plastis Titik Kapasitas Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan 285
Gambar 5. 109 Sendi Plastis Titik Kapasitas pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan 286
Gambar 5. 110 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan 287
Gambar 5. 111 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan 287
Gambar 5. 112 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan 288
Gambar 5. 113 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan 289
Gambar 5. 114 Sendi Plastis Titik *Performance point* Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan 290
Gambar 5. 115 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan 290
Gambar 5. 116 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan 291
Gambar 5. 117 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan 292
Gambar 5. 118 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan 293
Gambar 5. 119 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan 293

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan Terkait Analisis *Pushover* 15
Tabel 3. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan 30
Tabel 3. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung 31
Tabel 3. 3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung 32
Tabel 3. 4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non-Gedung untuk Beban Gempa 34
Tabel 3. 5 Faktor Keutamaan Gempa 36
Tabel 3. 6 Klasifikasi Situs Tanah 36
Tabel 3. 7 Koefisien Situs Fa 39
Tabel 3. 8 Koefisien Situs Fv 40
Tabel 3. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek 42
Tabel 3. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik 43
Tabel 3. 11 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik 44
Tabel 3. 12 Faktor R, C_d, dan Ω_0 yUntuk Sistem Penahan Gaya Gempa 47
Tabel 3. 13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung 48
Tabel 3. 14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan X 48
Tabel 3. 15 Deformation Limits 60
Tabel 3. 16 Keterangan Kurva Kriteria Kinerja 62
Tabel 3. 17 Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 64
Tabel 3. 18 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa 64
Tabel 4. 1 Dimensi dan Tipe Kolom 78
Tabel 4. 2 Dimensi dan Tipe Balok 78
Tabel 4. 3 Tebal dan Tipe Pelat 83
Tabel 4. 4 Rincian Hasil Pengujian Sondir 84

Tabel 4. 5 Rekap Hasil Pengujian hasil pengujian sondir 84
Tabel 4. 6 Rangkuman Hasil Uji Lapanagan SPT (Standard Penetration Test) 85
Tabel 5. 1 Sifat Mekanis 103
Tabel 5. 2 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan untuk Analisis Elastis pada Level Beban Terfaktor 108
Tabel 5. 3 Tabel Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction Ramp Bangunan Sisi Kiri Menjadi Beban Titik 160
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction tangga Bangunan Sisi Kiri Menjadi Beban Titik 161
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction Ramp Bangunan Sisi Kanan Menjadi Beban Titik 163
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction tangga Bangunan Sisi kanan Menjadi Beban Titik 164
Tabel 5. 7 Analisis Nilai Klasifikasi Situs 166
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Hasil Analisis Nilai Klasifikasi Situs Hasil Pengujian SPT 167
Tabel 5. 9 Hasil Perhitungan Gaya Seismik Lateral Bangunan Sisi Kiri 178
Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Gaya Seismik Lateral Bangunan Sisi Kanan 179
Tabel 5. 11 Rekapitulasi nilai simpangan antar tingkat bangunan sisi kiri 181
Tabel 5. 12 Rekapitulasi nilai simpangan antar tingkat bangunan sisi kanan 182
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Bangunan Sisi Kiri 184
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Bangunan Sisi Kanan 185
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah X Bangunan Sisi Kiri 187
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah Y Bangunan Sisi Kiri 187
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah X Bangunan Sisi Kanan 187
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah Y Bangunan Sisi Kanan 188

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah Y Bangunan Sisi Kiri 190
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah X Bangunan Sisi Kiri 190
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah Y Bangunan Sisi Kanan 191
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah X Bangunan Sisi Kanan 191
Tabel 5. 23 Nilai Gaya Geser Dasar 195
Tabel 5. 24 Nilai Gaya Geser Dasar Setelah dikalikan Faktor Skala Baru 196
Tabel 5. 25 Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri 219
Tabel 5. 26 Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri 220
Tabel 5. 27 Nilai *Performance point* Bangunan Sisi Kiri 228
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah X 232
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah X 234
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah Y 238
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah Y 240
Tabel 5. 32 Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan 258
Tabel 5. 33 Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan 259
Tabel 5. 34 Nilai *Performance point* Bangunan Sisi Kanan 267
Tabel 5. 35 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kanan Arah X 271
Tabel 5. 36 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kanan Arah X 273
Tabel 5. 37 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kanan Arah Y 277

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi kanan Arah Y 278

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri 301
Lampiran 2 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri 307
Lampiran 3 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan 313
Lampiran 4 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan 319
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Tanah (SPT) 326
Lampiran 6 Eksisting Gedung Parkir Motor RSUP Dr. Sardjito 327
Lampiran 7 Detail Engineering Design (DED) Pembangunan Gedung Parkir Motor RSUP Dr. Sardjito 329

ABSTRAK

Indonesia berada pada kawasan *Ring of Fire* dan pertemuan tiga lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia yang menyebabkan banyak kawasan di Indonesia berpotensi terjadi gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Salah satu wilayahnya ialah Daerah Istimewa Yogyakarta yang berdekatan dengan zona subduksi dan dilalui oleh Sesar Opak aktif yang menyebabkan adanya potensi terjadi gempa tektonik, serta memiliki gunung berapi aktif yaitu Gunung Merapi yang berpotensi memicu gempa vulkanik. Kondisi geologis ini mencakup wilayah tempat berdirinya Gedung Parkir Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito, sehingga perlu dilakukan evalusi kinerja struktur bangunan guna memastikan kemanannya terhadap resiko gempa bumi.

Maksud dari penelitian ini untuk mengevaluasi kinerja struktural Gedung Parkir Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito di Kawasan Daerah Istimewa Yogyakarta guna memastikan ketahanan bangunan terhadap beban gempa serta kepatuhannya terhadap standar SNI 1726-2019. Metode analisis penelitian ini menggunakan analisis non-linier *pushover* yang mengacu pada metode ATC-40 untuk menentukan kapasitas struktur, level kinerja, serta mekanisme sendi plastis pada struktur. Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan pada bangunan sisi kiri dan sisi kanan kurva kapasitas arah Y lebih besar dibandingkan dengan kurva kapasitas arah X, hal ini menunjukan bahwa untuk arah Y merupakan sumbu kuat bangunan sedangkan arah X merupakan sumbu lemah bangunan. Selanjutnya untuk tingkat kinerja struktur baik sisi kiri maupun sisi kanan masuk kedalam kategori *Damage Control* (DC). Sementara itu, proses plastifikasi pada struktur baik sisi kiri maupun sisi kanan yang ditinjau diawali terjadinya sendi plastis pada elemen kolom sebelum merambat ke elemen balok, yang mengindikasikan terjadinya mekanisme *weak column strong beam*.

Kata Kunci : Gempa bumi, analisis *pushover*, kapasitas struktur, titik kinerja, sendi plastis.

ABSTRACT

Indonesia is situated within the Ring of Fire and at the convergence of three active tectonic plates: the Indo-Australian Plate, the Pacific Plate, and the Eurasian Plate. This condition causes many areas in Indonesia to be susceptible to both tectonic and volcanic earthquakes. One such region is the Special Region of Yogyakarta, which is adjacent to a subduction zone, traversed by the active Opak Fault—posing a risk of tectonic earthquakes—and home to an active volcano, Mount Merapi, which carries the potential to trigger volcanic earthquakes. These geological conditions encompass the site of the Motorcycle Parking Building of RSUP Dr. Sardjito, necessitating a structural performance evaluation of the building to ensure its safety against earthquake hazards.

The purpose of this study is to evaluate the structural performance of the Motorcycle Parking Building of RSUP Dr. Sardjito in the Special Region of Yogyakarta to ensure the building's resistance to seismic loads and its compliance with the SNI 1726-2019 standard. The analytical method used in this research is non-linear pushover analysis referencing the ATC-40 method to determine the structural capacity, performance level, and plastic hinge mechanisms within the structure. From the analysis conducted, it was found that for both the left and right sides of the building, the capacity curve in the Y-direction is greater than that in the X-direction. This indicates that the Y-direction serves as the building's strong axis, while the X-direction serves as its weak axis. Furthermore, the structural performance level for both the left and right sides falls under the Damage Control (DC) category. Meanwhile, the plasticization process across both evaluated sides initiates with the formation of plastic hinges in the column elements prior to propagating to the beam elements, indicating a weak column strong beam mechanism.

Keywords: *Earthquake, pushover analysis, structural capacity, performance point, plastic hinge.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di kawasan Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) di sebelah timur dan *Alpine-Himalayan Belt* di sebelah barat, merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia, akibat tabrakan lempeng tektonik, palung samudra, dan busur gunung berapi. Sekitar 90% gempa bumi global dan 81% gempa besar terjadi di kawasan ini, menjadikannya rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi dan letusan gunung berapi. Kondisi ini diperburuk dengan keberadaan Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak di pertemuan tiga lempeng utama yaitu Lempeng Indo-Australia di selatan, Lempeng Pasifik di timur, dan Lempeng Eurasia di utara (Aprilia, 2018). Salah satu wilayah yang paling rawan gempa di Indonesia adalah Yogyakarta, yang memiliki sistem geologi kompleks. Data dari BMKG (2023) menjelaskan bahwa zona subduksi di laut Yogyakarta berpotensi menghasilkan gempa hingga magnitudo 8,7, sementara di darat terdapat Sesar Opak yang aktif dengan potensi gempa hingga magnitudo 6,6. Kedekatan Yogyakarta dengan zona tumbukan lempeng di Samudra Hindia dan patahan darat aktif semakin meningkatkan risiko gempa di wilayah ini.

Salah satu bencana besar yang terjadi di Yogyakarta adalah gempa bumi yang terjadi pada 27 Mei 2006 yang memiliki kekuatan 5,9 skala Richter, mengakibatkan lebih dari 5.700 korban jiwa, terutama di Kabupaten Bantul dan Klaten, serta kerugian yang mencapai Rp 29,1 triliun. Gempa ini disebabkan oleh pergeseran di Patahan Opak, yang diperburuk oleh waktu kejadian di dini hari dan buruknya konstruksi bangunan (Bappenas, 2006). Mengingat tingginya risiko gempa yang terjadi secara tiba-tiba dan tidak dapat diprediksi baik lokasi, waktu terjadinya, seberapa besar kekuatannyanya, dan seberapa kuat dampaknya terhadap bangunan, maka diperlukan perencanaan yang matang dalam merancang dan mengevaluasi bangunan tahan gempa di Yogyakarta. Nugraha (2021) menjelaskan bahwa

pendekatan perancangan bangunan telah beralih dari berbasis kekuatan ke berbasis kinerja yang lebih efektif dalam menentukan ketahanan struktur terhadap gempa. Evaluasi kinerja struktural bertujuan untuk mengukur sejauh mana komponen struktural bangunan dapat bertahan terhadap gaya gempa dengan meminimalkan dampak bencana seismik. Proses ini menggunakan metode analisis non-linier, salah satunya ialah menggunakan analisis *pushover* untuk menghitung pengaruh gaya gempa secara akurat.

Penelitian ini mengkaji evaluasi kinerja struktur gedung parkir sepeda motor bertingkat RSUP Dr. Sardjito, yang terletak di kawasan vital rumah sakit yang sering digunakan oleh tenaga medis, pasien, dan pengunjung. Gedung ini berada di Kalurahan Sinduadi, Kapanéwon Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dekat dengan Sesar Opak dan gunung berapi aktif, yang menambah risiko gempa tektonik dan vulkanik. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur bangunan sangat penting untuk memastikan ketahanan gedung terhadap gempa yang tidak dapat diprediksi. Analisis *pushover* digunakan untuk menilai kapasitas struktur gedung, meminimalkan risiko kerusakan atau keruntuhan mendadak, serta memungkinkan tindakan mitigasi dini guna menjaga keselamatan jiwa pengguna dan keberlanjutan operasional rumah sakit. Selain itu, analisis ini memastikan kepatuhan terhadap standar ketahanan gempa seperti SNI 1726-2019, mengurangi risiko hukum, dan menghindari biaya perbaikan yang tinggi setelah terjadinya gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah yang menjadi fokus dalam penelitian ini:

1. Bagaimana kurva kapasitas yang didapatkan dari analisis *pushover*?
2. Bagaimana pengaruh penerapan metode analisis *pushover* berdasarkan kriteria ATC-40 terhadap tingkat kinerja struktur bangunan?
3. Bagaimana mekanisme terbentuknya sendi plastis berdasarkan hasil analisis metode *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil kurva kapasitas pada gedung parkir bertingkat RSUP Dr. Sardjito yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan untuk mengkarakterisasi fase-fase perilaku struktur saat menerima gaya gempa pada tingkat tertentu.
2. Menentukan kriteria ATC-40 untuk menghitung tingkat kinerja seismik struktur bangunan berdasarkan nilai titik kinerja.
3. Mengetahui skema kelelehan atau distribusi sendi plastis berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak ETABS.

1.4 Batasan Penelitian

Berikut ini adalah ruang lingkup atau batasan yang diterapkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Bangunan yang di analisis adalah Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito. Gedung parkir ini berlokasi di Kalurahan Sinduadi, Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Adapun untuk lokasi detail gedung berada di sebelah barat Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada dan di sebelah selatan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
2. Komponen yang dianalisis dalam evaluasi ini terbatas hanya berfokus pada komponen structural atas yang mencakup :
    a. Struktur portal beton bertulang kolom dan balok meliputi :
        1) Struktur utama yang terdiri dari lantai ground floor, lantai 1-lantai 5, lantai atap dan penahan rangka atap.
        2) Struktur sekunder yaitu dak tangga dan ruang mesin.
    b. Pelat beton bertulang meliputi :
        1) Struktur utama yang terdiri dari lantai ground floor, lantai 1-lantai 5, dan lantai atap.
        2) Struktur sekunder yaitu dak tangga dan ruang mesin

c. Lift, ramp, dan tangga tidak di desain dan analisis tetapi didesain hanya menjadi beban titik pada pemodelan struktur.
d. Semua dinding tidak di desain tetapi diinputkan menjadi beban merata pada balok penumpu.
e. Atap tidak di desain, tetapi di hitung menjadi atap eksisting berbentuk pelana dan di inputkan menjadi beban merata pada balok penumpu.

3. Beban bangunan yang diperhitungkan meliputi:
   a. Beban mati yaitu berat dari elemen struktur bangunan itu sendiri.
   b. Beban hidup sesuai dengan SNI 03-1727-1989 tentang Pedoman Perencanaan Beban Bangunan Rumah dan Gedung, yang dihasilkan dari aktivitas atau fungsi bangunan.
   c. Beban lateral berupa beban gempa yang dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, tanpa memperhitungkan beban angin.
4. Kriteria kinerja struktur bangunan menggunakan ATC-40
5. Pendekatan *pushover* digunakan untuk menganalisis perilaku struktural dengan bantuan perangkat lunak ETABS.
6. Jenis tanah di lokasi bangunan yang dianalisis diidentifikasi berdasarkan Laporan Akhir Hasil Penyelidikan Tanah yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah.
7. Pemodelan tulangan balok dan kolom dilakukan berdasarkan data perencanaan *Shop drawing.*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat yang dapat diperoleh, yaitu sebagai berikut:

1. Meningkatkan keterampilan dalam menggunakan perangkat lunak ETABS untuk merancang struktur bangunan, khususnya struktur beton portal tiga dimensi (3D), sekaligus memperluas wawasan di bidang Teknik sipil dan pemahaman tentang pendekatan analisis statik *pushover*.

2. Memberikan informasi lebih mendalam kepada pembaca mengenai metode analisis statik *pushover*, sehingga mereka dapat memahami perilaku struktur bangunan saat menghadapi gempa bumi. Informasi ini juga dapat menjadi referensi berharga untuk penelitian di masa depan terkait metode analisis dan tingkat kinerja seismik struktur bangunan.
3. Memberikan data evaluasi yang dapat dimanfaatkan oleh para praktisi sebagai acuan dalam merencanakan, memperbaiki, atau memperkuat bangunan agar lebih tahan terhadap gempa bumi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian, tinjauan pustaka merupakan langkah penting dalam penelitian untuk memahami perkembangan studi terkait sekaligus mencegah terjadinya plagiarisme. Melalui tinjauan pustaka, evolusi atau perkembangan penelitian tentang kinerja struktur bangunan dapat diidentifikasi, sehingga dapat memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi penelitian yang sedang dilakukan. Berikut ini adalah beberapa studi pembanding yang telah dilakukan terkait evaluasi kinerja struktur bangunan dengan metode analisis *pushover*, ialah diantaranya sebagai berikut :

1. Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APLC UGM Dengan Metode Analisis *Pushover* Sesuai Peraturan SNI-1726-2019

   Penelitian ini didasarkan pada Tugas Akhir Haristio Nugraha tahun 2021, yang menjadi acuan utama dalam mengembangkan metode analisis. Objek yang dianalisis adalah Gedung Advanced Pharmaceutical Science Learning Center (APSCL) Universitas Gadjah Mada (UGM), sebuah struktur beton bertulang dengan sembilan lantai yang dirancang untuk kebutuhan akademik dan penelitian farmasi. Pemodelan gedung dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP 2000 V22 dalam bentuk tiga dimensi (3D), dengan mengacu pada *shop drawing* atau gambar perencanaan tekNis.

   Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan dengan menggunakan metode analisis *pushover* yang didasarkan pada spektrum kapasitas sesuai dengan pedoman ATC-40. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kurva kapasitas bangunan, mengidentifikasi tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan oleh ATC-40, serta menganalisis pola terbentuknya sendi plastis pada elemen struktur bangunan.

Hasil penelitian yang diperoleh dari analisis ini ialah bahwa kurva kapasitas yang dihasilkan menunjukkan perbedaan karakteristik kekakuan antara arah X dan arah Y, dengan kekakuan pada arah Y yang lebih tinggi. Hal ini terlihat dari kemiringan kurva kapasitas pada arah Y yang lebih tegak dibandingkan dengan arah X yang mengindikasikan bahwa struktur lebih sulit mengalami deformasi pada arah Y. Perpindahan maksimum yang tercatat pada arah X adalah 0,729019 meter, sementara pada arah Y hanya 0,457125 meter. Selain itu gaya lateral maksimum yang terjadi pada arah X sebesar 15.085.065,1 kN lebih besar dibandingkan dengan gaya lateral maksimum pada arah Y yang hanya mencapai 12.636.028,7 kN. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa titik kinerja yang tercapai pada arah X adalah 328.467,728 kN, sedangkan pada arah Y mencapai 328.642,432 kN. Dengan demikian, tingkat kinerja struktural bangunan berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO) yang menunjukkan bahwa struktur masih dapat digunakan secara aman setelah terjadi gempa dengan kerusakan minimal pada elemen-elemen struktural. Selain itu, distribusi sendi plastis dalam struktur menunjukkan pola yang dimulai dari elemen balok dan secara bertahap meluas ke elemen kolom.

2. Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis *Pushover* Berdasarkan Atc-40 (*Performance Evaluation Of An Upper Structure Of Office Building Design Using Pushover Analysis Based On Atc-40*)

Penelitian ini didasarkan pada tugas akhir yang dilakukan oleh Maritza Syifa Syahira pada tahun 2023. Bangunan yang menjadi objek analisis adalah gedung perkantoran yang berada di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, sebuah struktur beton bertulang dengan empat lantai dengan tinggi bangunan sebesar 17 m dengan lantai 1 memiliki tinggi bangunan sebesar 5 meter dan lantai 2 sampai dengan lantai empat memiliki tinggi bangunan masing-masing lantai sebesar 4 meter. Bangunan ini dipilih karena karakteristiknya yang relevan untuk evaluasi kinerja struktural dalam konteks ketahanan gempa yaitu gedung terletak pada daerah yang rawan terdampak gempa bumi

serta gedung yang ditinjau termasuk dalam kategori resiko Tingkat II serta berada pada kondisi tanah yang lunak. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 V22, di mana proses pemodelan ini diselesaikan dalam representasi tiga dimensi (3D) dengan mengacu pada gambar rancangan yang ada.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan tingkat kinerja struktur, mekanisme sendi plastis dengan beban gempa MCER dan DBE, serta nilai V dan δ saat titik kinerja tercapai dari hasil analisis *pushover* untuk mengetahui apakah gedung tersebut memenuhi tingkat kinerja yang disyaratkan untuk gedung dengan kategori resiko II pada gedung perkantoran di Kota Padang, Propinsi Sumatera Barat.

Hasil penelitian yang diperoleh dari analisis ini ialah bahwa analisis *pushover* menunjukkan kinerja struktur gedung perkantoran Kota Padang pada dua tingkat beban gempa yang berbeda. Pada beban gempa MCER (*Maximum Considered Earthquake*) pada arah X nilai titik kinerja tercatat V = 20149,839 kN dan δ = 0,309 m, sementara pada arah Y didapat V = 26643,81 kN dan δ = 0,231 m. Untuk beban gempa DBE (*Design Basis Seismic*) pada arah X nilai titik kinerja adalah V = 16186,151 kN dan δ = 0,175 m, serta V = 20103,415 kN dan δ = 0,131 m pada arah Y. Dengan beban gempa MCER tingkat kinerja struktur berada pada kategori *Damage Control*, sementara pada beban gempa DBE berada pada kategori *Immediate Occupancy*. Pada analisis distribusi sendi plastis penggunaan beban gempa MCER menunjukkan sendi plastis pada balok dan kolom yang menunjukkan kinerja B pada langkah kedua. Pada langkah kelima, beberapa kolom menunjukkan kinerja CP (*Collapse Prevention*) menunjukkan kerusakan signifikan pada struktur. Sedangkan pada beban gempa DB, titik sendi plastis muncul pada langkah kedua, dengan kinerja B dan pada langkah kedelapan sendi plastis berhenti dengan kinerja IO (*Immediate Occupancy*).

3. Evaluasi Seismik Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Statik Nonlinier (*Pushover*) Menggunakan Program Etabs (Studi Kasus: Gedung Multazam Asrama Haji, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung)

Penelitian ini didasarkan pada tugas akhir yang disusun oleh Mayga Bima Setyadi pada tahun 2023. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja struktur Gedung Multazam, yang berlokasi di kawasan Asrama Haji, Provinsi Lampung. Penelitian ini mengkaji kemampuan bangunan dalam menahan beban gempa, mengingat Provinsi Lampung terletak di jalur Sesar Besar Sumatera (*Great Sumatran Fault*), sebuah patahan aktif yang meningkatkan risiko terjadinya gempa tektonik. Dengan potensi ancaman ini, analisis menyeluruh terhadap kinerja struktur bangunan menjadi sangat penting untuk menjamin keamanan dan ketahanan. Gedung Multazam, yang memiliki lima lantai, dibangun menggunakan konstruksi portal beton bertulang. Untuk mengevaluasi perilaku struktur terhadap gaya gempa, digunakan metode *pushover* dengan memanfaatkan perangkat lunak ETABS. Pemodelan struktur dilakukan dalam bentuk tiga dimensi (3D) berdasarkan gambar perencanaan yang tersedia, sehingga menghasilkan representasi yang detail dan akurat untuk analisis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji Gedung Multazam di kawasan Asrama Haji Provinsi Lampung terhadap beban gempa dan mengkaji kinerja strukturnya guna mengetahui sejauh mana gaya gempa mempengaruhi komponen struktur bangunan pada level tertentu. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan kurva kapasitas hasil analisis *pushover*, mengevaluasi tingkat kinerja struktur bangunan setelah analisis metode *pushover* sesuai dengan kriteria ATC-40, dan mengkaji mekanisme sendi plastis yang muncul setelah analisis metode *pushover* sesuai dengan kriteria ATC-40.

Hasil penelitian yang diperoleh dari analisis ini ialah bahwa analisis *pushover* menunjukkan perbedaan signifikan antara nilai base shear pada arah-x dan arah-y, dengan nilai tertinggi pada arah-x sebesar 20.105,37 kN dan pada arah-y sebesar 18.823,68 kN, yang menunjukkan bahwa sumbu yang lebih kuat terletak pada arah-x. Parameter pergeseran total maksimum untuk arah-x dan arah-y masing-masing adalah 0,005145 dan 0,005550 yang menunjukkan bahwa tingkat kinerja struktural berada dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), di mana struktur masih aman digunakan setelah

gempa. Namun, berdasarkan pergeseran inelastis maksimum kinerja struktur diklasifikasikan sebagai *Damage Control* (DC), karena nilai pergeseran inelastis lebih besar dari 0,005 dan lebih kecil dari 0,015. Kedua tingkat kinerja ini menunjukkan bahwa bangunan dapat membatasi kerusakan tanpa mengorbankan keselamatan penghuni. Munculnya sambungan plastis pada balok dan kolom dalam arah-x dan arah-y mengindikasikan dimulainya plastisisasi pada struktur yang sesuai dengan prinsip "kolom kuat balok lemah" (SCWB) dan kriteria *beam sway mechanism* dalam standar ATC-40. Sambungan plastis pertama kali terbentuk pada balok pada langkah ke-38 dan merambat ke kolom pada langkah ke-244 dengan kolom lantai pertama memasuki fase pencegahan keruntuhan (*collapse prevention*) menunjukkan adanya kerusakan struktural parah.

4. Evaluasi Kinerja Seismik Srtuktur Atas Gedung Suzuya Pematangsiantar Menggunakan Metode *Pushover*

Penelitian ini didasarkan pada tugas akhir yang disusun oleh Sionmora Ritonga pada tahun 2024. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja struktur Gedung Suzuya Pematangsiantar berlokasi Jl. Merdeka No.45, Pardomuan, Kec. Siantar Bar, Kota Pematangsiantar, Sumatera Utara. Penelitian ini mengevaluasi kinerja keruntuhan dan perilaku struktur bangunan sebagai acuan dalam analisis seismik. Penelitian dilakukan pada Gedung Suzuya setinggi 10 lantai di Pematangsiantar, dengan memanfaatkan perangkat lunak SAP2000 untuk memodelkan struktur dalam bentuk tiga dimensi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku nonlinier dan kinerja seismik struktur bangunan Apartemen Suzuya, Pematangsiantar, akibat gempa bumi, melalui grafik *pushover* pada arah X dan Y yang dihasilkan oleh gaya lateral. Selain itu, penelitian ini juga akan menentukan nilai perpindahan yang terjadi.

Hasil penelitian yang diperoleh dari analisis ini ialah bahwa struktur bangunan berperilaku nonlinier, terutama saat mengalami deformasi signifikan atau beban lebih tinggi. Pada arah X geser dasar didapat sebesar

64.746,662 kN menghasilkan perpindahan maksimum 0,014410 m, dengan keruntuhan terjadi pada langkah ketujuh, sedangkan pada arah Y geser dasar didapatkan sebesar 58.897,495 kN menghasilkan perpindahan maksimum 0,15 m. Berdasarkan kriteria ATC-40 struktur dalam kedua arah tersebut berada dalam kategori *Immediate Occupancy*, yang berarti masih aman untuk digunakan tanpa kerusakan besar serta memenuhi persyaratan *Collapse Prevention* (CP), menunjukkan bahwa struktur tetap aman dalam kondisi tersebut.

5. Evaluasi Struktur Gedung Hotel Parai Kota Sawahlunto Dengan Menggunakan *Analysis Non-Linier*

   Penelitian ini didasarkan pada tugas akhir yang dilakukan oleh Firdaus Virgo tahun 2024, fokus utama penelitian ini ialah untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Hotel Parai di Kota Sawahlunto, yang berlokasi di Jl. Bagindo Aziz Chan, Kec. Lembah Segar. Bangunan Gedung hotel ini terdiri dari 3 lantai. Latar belakang dilakukan analisis penelitian ini ialah dikarenakan penulis menyoroti tingginya risiko gempa di Indonesia yang sering menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan. Meskipun Hotel Parai telah berdiri selama 13 tahun dan masih aman, usia bangunan serta lokasinya yang dekat dengan sungai dan di lereng bukit meningkatkan potensi kerusakan akibat gempa. Untuk mengantisipasi bahaya gempa, perencanaan struktur yang tahan gempa dan estimasi beban gempa dilakukan dengan hati-hati menggunakan pendekatan desain berbasis kinerja (*performance-based design*). Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SAP2000 Versi 14 untuk melakukan analisis non-linier melalui metode *pushover*.

   Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur, menghitung kapasitas struktur, serta menentukan nilai simpangan dan gaya geser pada arah X dan Y pada Gedung Hotel Parai Kota Sawahlunto.

   Hasil analisis menggunakan aplikasi SAP2000 versi 14 untuk menganalisis kinerja struktur Hotel Parai di Kota Sawahlunto dengan metode nonlinier (*Pushover Analysis*) menunjukkan bahwa simpangan total maksimum pada arah X dan Y berada pada kondisi *Life Safety* (LS), yang

berarti bangunan tetap aman digunakan sebelum mencapai keruntuhan. Kondisi *Life Safety* ditandai oleh simpangan inelastis maksimum pada kedua arah. Analisis *pushover* menunjukkan bahwa simulasi beban dorong berhenti pada langkah kesepuluh yang menjadi titik keruntuhan bangunan, dengan keruntuhan awal terjadi pada kolom lantai 1 pada langkah ketiga. Pada langkah kesepuluh, kerusakan signifikan terjadi pada elemen struktur yang mencapai kapasitas ultimit (peringatan C). Meskipun mengalami kerusakan, bangunan masih aman dan dapat digunakan sesuai standar Keselamatan Jiwa. Deviasi inelastis maksimum pada arah X tercatat sebesar 0,026 mm dengan gaya geser -555,151 kN, sementara deviasi total maksimum pada arah X dan Y masing-masing tercatat 0,027 mm dengan gaya geser -555,151 kN menunjukkan bahwa struktur tetap aman meskipun mendekati keruntuhan.

6. Evaluasi Perilaku Kinerja Struktur Bangunan Rusun Polres Gowa Dengan Metode Analisis *Pushover*

Penelitian ini didasarkan pada tugas akhir yang disusun oleh Dewi Sovian dan Onesimus Sampebua pada tahun 2024, dengan fokus utama mengevaluasi kinerja struktur Bangunan Rumah Susun Polres Gowa di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Bangunan tiga lantai ini memiliki dimensi panjang 47 meter, lebar 19,8 meter, dan tinggi 15,6 meter, serta dibangun menggunakan metode konstruksi beton bertulang tradisional.

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems* (ETABS) untuk memodelkan dan menganalisis struktur. Tujuannya adalah mengevaluasi kinerja struktur bangunan melalui analisis *pushover*. Hasil analisis kemudian dikaji untuk menentukan tingkat kinerja bangunan berdasarkan standar *Applied Technology Council 40* (ATC-40) dan untuk mengidentifikasi pola keruntuhan serta perpindahan yang mungkin terjadi setelah analisis selesai pada bangunan Rusun Polres Gowa.

Hasil analisis *pushover* menggunakan perangkat lunak ETABS menunjukkan bahwa kinerja struktur Gedung Rusun Polisi Gowa, berdasarkan metode ATC-40 berada dalam kategori *Immediate Occupancy*.

Simpangan total maksimum tercatat sebesar 0,003 mm pada arah X dan 0,00008 mm pada arah Y, dengan simpangan inelastis maksimum sebesar 0,001 mm pada arah X dan 0,00002 mm pada arah Y yang menunjukkan bahwa selama gempa bumi hanya terjadi kerusakan ringan pada elemen struktur. Kapasitas dan karakteristik sistem penahan gaya vertikal dan lateral tetap terjaga sehingga bangunan aman dan dapat segera digunakan kembali. Pola keruntuhan yang teridentifikasi adalah *Soft Storey Mechanism*, yang terjadi akibat perkembangan sambungan plastis pada balok dan kolom. Pada lantai 1 kolom mencapai level C (Kapasitas Maksimum) pada langkah ke-4 untuk arah X dan langkah ke-22 untuk arah Y, disebabkan oleh fleksibilitas struktural lantai bawah yang lebih rendah dibandingkan lantai di atasnya menjadikannya lebih rentan terhadap deformasi.

7. Evaluasi Struktur Gedung Kampus II Universitas Muhammadiyah, Sumatera Barat dengan Analisis Statik Non-Linear *Pushover*

Penelitian ini didasarkan pada tugas akhir yang dilakukan oleh Romi Sani Saputra, Redha Arima RM, dan Masrilayanti pada tahun 2023. Bangunan yang menjadi objek analisis adalah Kampus II Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, sebuah struktur beton bertulang dengan empat lantai yang dilengkapi atap berupa pelat beton. Bangunan ini dipilih karena karakteristiknya yang relevan untuk evaluasi kinerja struktural dalam konteks ketahanan gempa. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS versi 16.2.1, di mana proses pemodelan ini diselesaikan dalam representasi tiga dimensi (3D) dengan mengacu pada gambar rancangan yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktural gedung Kampus II Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat dengan menganalisis respons bangunan terhadap tekanan gempa yang bekerja pada arah X dan arah Y. Penelitian ini mencakup identifikasi distribusi beban lateral serta dampaknya terhadap stabilitas struktur secara keseluruhan. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pola keruntuhan yang terjadi akibat tekanan

gempa, dengan tujuan untuk memahami mekanisme deformasi dan potensi titik lemah dalam struktur.

Hasil analisis menggunakan perangkat lunak ETABS versi 16.2.1 menunjukkan bahwa struktur bangunan mampu menahan gaya geser maksimum sebesar 43.561,8104 kN pada arah X dengan perpindahan sebesar 317,32 mm, dan pada arah Y dapat menahan gaya geser maksimum sebesar 39.274,5448 kN dengan perpindahan 289,851 mm. Pada analisis *pushover* arah X pada fase kelima dan keenam diperoleh titik kinerja dengan gaya geser dasar sebesar 36.296,398 kN dan perpindahan 230,790 mm, dengan redaman efektif (β eff) sebesar 7,32% dan waktu efektif (T eff) 1,002 detik. Sedangkan pada arah Y pada langkah kedelapan dan kesembilan, gaya geser dasar tercatat 35.890,284 kN dengan perpindahan 246,167 mm, redaman efektif 7,15%, dan waktu efektif 0,987 detik. Berdasarkan hasil ini, kinerja keseluruhan bangunan berada pada level *Damage Control* (DC), sesuai dengan standar ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440, yang menunjukkan bahwa bangunan memiliki ketahanan yang baik terhadap gempa, dengan kerusakan minimal pada struktur dan elemen non-struktural jika terjadi gempa.

2.2 Tinjauan Perbandingan Penelitian Terdahulu Mengenai Analisis *Pushover*

Berikut ini merupakan perbandingan penelitian terdahulu terkait analisis *pushover* dapat dilihat pada **Tabel 2.1** pada halaman berikutnya.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan Terkait Analisis *Pushover*

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		Haristo Nugraha (2021)	**Maritza Syifa Syahira (2023)**	**Mayga Bima Setyadi (2023)**	**Sionmora Ritonga (2024)**	**Firdaus Virgo (2024)**	**Tria Yuliadi Putra (2026)**
1.	Judul	Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APLC UGM Dengan Metode Analisis *Pushover* Sesuai Peraturan SNI-1726-2019	Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis *Pushover* Berdasarkan Atc-40 (*Performance Evaluation Of An Upper Structure Of Office Building Design Using Pushover Analysis Based On Atc-40*)	Evaluasi Seismik Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Statik Nonlinier (*Pushover*) Menggunakan Program Etabs (Studi Kasus : Gedung Multazam Asrama Haji, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung)	Evaluasi Kinerja Seismik Srtuktur Atas Gedung Suzuya Pematangsiantar Menggunakan Metode *Pushover*	Evaluasi Struktur Gedung Hotel Parai Kota Sawahlunto Dengan Menggunakan *Analysis Non-Linier*	Evaluasi Struktur Bangunan Bertingkat Terhadap Gempa Menggunakan Analisis Statik Non Linier (*Pushover*) (Studi Kasus : Gedung Parkiran Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito, Sleman, Yogyakarta)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terkait Analisis *Pushover*

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		Haristo Nugraha (2021)	**Maritza Syifa Syahira (2023)**	**Mayga Bima Setyadi (2023)**	**Sionmora Ritonga (2024)**	**Firdaus Virgo (2024)**	**Tria Yuliadi Putra (2026)**
2.	Tujuan Penelitian	Mengevaluasi kinerja struktur bangunan berdasarkan ATC-40, menentukan kurva kapasitas, mengidentifikasi tingkat kinerja, menganalisis pola sendi plastis pada elemen struktur bangunan.	Membandingkan tingkat kinerja struktur, mekanisme sendi plastis dengan beban gempa MCER dan DBE, serta nilai V dan δ saat titik kinerja tercapai dari hasil analisis *pushover*.	Menentukan kurva kapasitas, mengevaluasi tingkat kinerja, mengevaluasi mekanisme sendi plastis sesuai dengan kriteria ATC-40.	Menganalisis kinerja seismik struktur bangunan melalui grafik *pushover* pada arah X dan Y. Menentukan nilai perpindahan yang terjadi.	Mengevaluasi kinerja struktur, menghitung kapasitas struktur, menentukan nilai simpangan dan gaya geser pada arah X dan Y.	Mengevaluasi kinerja struktur, menentukan kurva kapasitas, menilai tingkat kinerja struktur sesuai dengan kriteria ATC-40, dan mengevaluasi mekanisme sendi plastis.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terkait Analisis *Pushover*

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		Haristo Nugraha (2021)	**Maritza Syifa Syahira (2023)**	**Mayga Bima Setyadi (2023)**	**Sionmora Ritonga (2024)**	**Firdaus Virgo (2024)**	**Tria Yuliadi Putra (2026)**
3.	Bentuk dan Tingkat Bangunan Gedung	Gedung APSCL UGM dengan struktur beton bertulang serta memiliki sembilan lantai.	Gedung perkantoran struktur beton bertulang dengan empat lantai.	Gedung Multazam memiliki Tingkat struktur lima lantai, dengan konstruksi portal beton bertulang	Gedung Suzuya memiliki struktur setinggi 10 lantai.	Gedung Hotel Parai memiliki Tingkat struktur 3 lantai dengan kontruksi beton bertulang.	Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito yang memiliki struktur 1 *ground floor* dan 6 lantai yang dibangun menggunakan kontruksi beton bertulang.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terkait Analisis *Pushover*

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		Haristo Nugraha (2021)	**Maritza Syifa Syahira (2023)**	**Mayga Bima Setyadi (2023)**	**Sionmora Ritonga (2024)**	**Firdaus Virgo (2024)**	**Tria Yuliadi Putra (2026)**
4.	Metode Penelitian	Melakukan studi literatur, mengumpulkan data berupa *shop drawing*, melakukan pemodelan 3D dengan program SAP 2000, menghitung pembebanan, melakukan analisis statik *pushover*, membuat Kesimpulan.	Melakukan studi literatur, mengumpulkan data berupa DED, wawancara, dan observasi, melakukan pemodelan 3D dengan program SAP2000 v22, menghitung pembebanan struktur, melakukan analsis *pushover*, membuat kesimpulan.	Melakukan studi literatur, mengumpulkan data berupa *shop drawing*, melakukan pemodelan 3D dengan program ETABS, menghitung pembebanan, melakukan analisis beban gempa, pendefinisian sendi plastis, melakukan analisis statik *pushover*,	Melakukan studi literatur, mengumpulkan data berupa DED, desain spectra gempa, melakukan pemodelan 3D dengan program SAP 2000, menghitung pembebanan dan kontrol desain, melakukan analysis *pushover*, membuat Kesimpulan.	Mencari data penelitian, melakukan pemodelan struktur 3D dengan program SAP 2000 v14, menghitung pembebanan, melakukanan analisis *pushover,* membuat Kesimpulan.	Melakukan studi literatur, mengumpulkan data berupa *shop drawing* dan data penyelidikan tanah, melakukan pemodelan 3D dengan program ETABS, menghitung pembebanan, melakukan analisis beban gempa, membuat load analisis *pushover*, pendefinisian sendi plastis, melakukan

				membuat Kesimpulan.			analisis statik *pushover*, membuat Kesimpulan.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terkait Analisis *Pushover*

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		Haristo Nugraha (2021)	**Maritza Syifa Syahira (2023)**	**Mayga Bima Setyadi (2023)**	**Sionmora Ritonga (2024)**	**Firdaus Virgo (2024)**	**Tria Yuliadi Putra (2026)**
5.	Hasil Penelitian	a. Kekakuan struktur pada arah Y lebih tinggi dibandingkan dengan arah X. Perpindahan maksimum pada arah X sebesar 0,729019 m, sedangkan pada arah Y mencapai 0,457125 m. Sementara itu, gaya lateral maksimum	a. Studi *pushover* dengan beban gempa MCER arah X menghasilkan nilai titik kinerja V = 20149,839 kN dan δ = 0,309 m. Kemudian, V = 26643,81 kN dan δ = 0,231 m untuk arah Y.	a. Nilai geser dasar tertinggi yang tercatat adalah sebesar 20.105,37 kN pada arah-x pada langkah 243, sementara pada arah-y, nilai tertinggi tercatat sebesar 18.823,68 kN pada langkah 211. b. Menurut perhitungan parameter total *drift* maksimum, arah X dan y memiliki nilai	a. Hasil analisis Pada arah X, geser dasar sebesar 64.746,662 kN, menghasilkan perpindahan maksimum 0,014410 m, dengan keruntuhan terjadi pada langkah	a. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa simpangan total maksimum pada arah X dan Y berada pada kondisi *Life Safety* (LS). Deviasi	a. Berdasarkan hasil kurva kapasitas, baik bangunan sisi kiri maupun kanan, bahwa arah Y merupakan sumbu kuat bangunan dan arah X merupukan sumbu

		arah X adalah 15.085.065,1 kN, sedangkan pada arah Y sebesar 12.636.028,7 kN. b. Nilai titik kinerja arah X sebesar 328.467,728 kN, sedangkan arah Y sebesar 328.642,432 kN. Tingkat kinerja berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). c. Distribusi sendi plastis dalam struktur menunjukkan pola yang dimulai dari elemen balok dan secara	b. Hasil analisis *pushover* dengan beban DBE pada arah X menghasilkan nilai titik kinerja V = 16186.151 kN dan δ = 0.175 m. Kemudian, V = 20103.415 kN dan δ = 0.131 m untuk arah Y. c. Pada tingkat gempa MCER, tingkat kinerja adalah *Damage Control*, sedangkan pada tingkat gempa DBE	masing-masing sebesar 0,005145 dan 0,005550. Dan struktur berada pada tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan perhitungan parameter pergeseran inelastis maksimum, tingkat kinerja struktur berada pada *Damage Control* (DC) karena nilai untuk arah X dan y masing-masing sebesar 0,005078 dan 0,005483. c. Sambungan plastis terjadi dimulai dari balok sebelum merambat ke	ketujuh. Sementara itu, pada arah Y, geser dasar sebesar 58.897,495 kN, menghasilkan perpindahan maksimum 0,15 m. struktur berada pada kategori "*Immediate Occupancy* ".	inelastis maksimum pada arah X tercatat sebesar 0,026 mm dengan gaya geser -555,151 kN, sedangkan deviasi total maksimum pada arah X dan Y adalah 0,027 mm, masing-masing dengan gaya geser	lemah bangunan. b. Berdasarkan kriteria kinerja ATC-40, baik struktur bangunan sisi kiri maupun sisi kanan termasuk ke dalam kategori kinerja *Damage Control* (DC). c. Berdasarkan mekanisme sendi plastis, baik bangunan sisi kiei maupun sisi

		bertahap meluas ke elemen kolom.	adalah *Immediate Occupancy*.	kolom. Berdasarkan analisis, sambungan plastis pertama kali terbentuk pada balok pada langkah ke-38, sebelum akhirnya mencapai kolom pada langkah ke-244.		sebesar -555,151 kN	kanan, elemen kolom mengalami sendi platis lebih awal, yang kemudian di susul dengan sendi plastis elemen balok, serta termasuk *weak column strong beam*.

2.3 Keaslian Penelitian

Seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.1** pada halaman sebelumnya, analisis statik nonlinier *pushover* dengan pendekatan ATC-40 telah banyak diterapkan dalam penelitian sebelumnya. Namun, belum ada penelitian yang mengevaluasi struktur Gedung Parkir Sepeda Motor Bertingkat di RSUP Dr. Sardjito. Penelitian ini menggunakan gambar kerja (*shop drawing*) dari gedung tersebut sebagai acuan, sehingga merupakan karya orisinal dan bebas plagiarisme. Berikut adalah perbedaan penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini.

1. Gedung yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito, dengan denah yang mengacu pada gambar kerja (*shop drawing*).
2. Dengan menggunakan perangkat lunak ETABS Versi 22, analisis *pushover* akan dimodelkan dalam bentuk 3D dengan dimensi dan kualitas (mutu) berdasarkan data bangunan.
3. Penerapan SNI-1726-2019 dalam analisis spektrum respons seismik.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

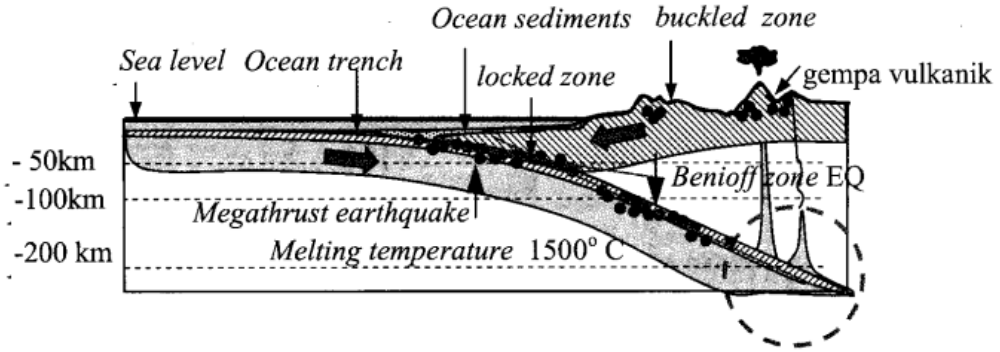
Malikussaleh et al. (2011) menyatakan bahwa Gempa bumi didefinisikan sebagai pelepasan energi secara tiba-tiba di kerak bumi yang menghasilkan getaran permukaan tanah. Sebagai gelombang seismik, getaran bergerak ke segala arah dan merambat dari pusat gempa ke permukaan bumi melalui bagian dalam bumi.

Pawirodikromo (2012) dalam (Hudoyo, 2017) menyatakan bahwa Gempa bumi terjadi ketika massa batuan di kerak bumi mengalami retakan atau pergeseran, yang kemudian menyebabkan pelepasan energi dalam bentuk gelombang seismik yang mengguncang permukaan tanah. Proses ini bisa terjadi secara tiba-tiba dan tanpa adanya peringatan sebelumnya. Meskipun kemajuan teknologi telah memungkinkan untuk mengidentifikasi beberapa lokasi yang berisiko mengalami gempa bumi di masa yang akan datang dengan baik, akan tetapi masih tidak mungkin atau mustahil untuk meramalkan dengan pasti kapan atau di mana gempa tersebut akan terjadi, seberapa besar kekuatannya, atau seberapa dalam fokus guncangannya.

BMKG (2017) dalam (Syahira, 2020) menjelaskan bahwa gempa bumi didefinisikan sebagai peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba, yang ditandai dengan pergeseran lapisan batuan di kerak bumi. Pergerakan lempeng tektonik mengakibatkan penumpukan energi yang memicu terjadinya gempa bumi. Energi yang dihasilkan dilepaskan ke segala arah sebagai gelombang seismik, menyebabkan dampaknya terasa hingga ke permukaan bumi. Pergeseran lempeng bumi, letusan gunung berapi, dan tanah longsor dapat menyebabkan getaran gempa bumi. Gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran lempeng bumi. Gempa bumi vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi. Gempa bumi tanah longsor adalah gempa bumi yang disebabkan oleh ledakan atau tanah longsor.

Mustafa (2010) dalam Nugraha (2021) menyatakan berbagai jenis gempa bumi menurut penyebabnya ialah diantaranya :

1. Gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik disebut sebagai gempa tektonik. Lempeng tektonik yang membentuk kerak bumi tidak pernah diam akan tetapi terus bergerak, baik secara horizontal maupun ada yang saling bergerak mendekat atau saling menjauh antar lempeng satu sama lain. Ketika lempeng-lempeng ini saling bergesekan, terutama di sepanjang tepi yang tidak rata, energi dapat terakumulasi dalam jumlah besar. Gesekan yang terjadi di antara lempeng-lempeng ini menghambat pergerakan lempeng satu sama lain, dan energi yang tersimpan ini akhirnya dilepaskan secara mendadak dalam bentuk gelombang seismik, yang menyebabkan terjadinya gempa bumi.
2. Aktivitas gunung berapi merupakan penyebab utama terjadinya gempa bumi vulkanik. Gempa ini terjadi ketika energi yang terakumulasi akibat tekanan magma yang terkompresi di dalam kantung di bawah permukaan gunung tiba-tiba dilepaskan. Pelepasan energi yang cepat ini menghasilkan getaran tanah yang dikenal sebagai gempa vulkanik. Aktivitas vulkanik, seperti pergerakan magma atau perubahan tekanan dalam tubuh gunung berapi, dapat menyebabkan gempa ini. Bahkan, gempa vulkanik sering kali menjadi indikator awal dari kemungkinan letusan gunung berapi. Meskipun demikian, gempa vulkanik biasanya hanya terasa oleh orang-orang yang berada dalam radius sempit sekitar gunung berapi dan cenderung memiliki kekuatan yang rendah, sehingga sering kali tidak berbahaya bagi masyarakat di luar area yang terdekat. Adapun episenter gempa vulkanik dapat dilihat pada **Gambar 3.1** pada halaman berikutnya.



Gambar 3. 1 Episenter Gempa Vulkanik (Press dan Siever, 1975)
(Sumber: Prawirodikromo, 2012)

3. Gempa runtuhan adalah jenis gempa lokal yang terjadi ketika massa batuan besar di lereng bukit runtuh, atau ketika sebuah gua di daerah pertambangan atau daerah karst runtuh. Gempa ini tidak berbahaya karena gempa yang diakibatkan oleh runtuhnya massa batuan ini memiliki magnitudo yang kecil.
4. Gempa bumi buatan adalah jenis gempa yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti saat eksplorasi pertambangan atau penggalian batuan dasar untuk fondasi bangunan dalam proyek Teknik sipil. Meskipun gempa ini memiliki ukuran yang kecil, biasanya tidak menimbulkan bahaya bagi orang atau bangunan di sekitarnya.

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

(Pendahuluan, 2016) menyatakan bangunan yang dapat menahan gempa bumi tanpa runtuh dikenal sebagai bangunan tahan gempa. Meskipun bangunan tahan gempa dapat mengalami kerusakan selama gempa, asalkan tetap mematuhi peraturan yang relevan, hal ini tidak berarti bahwa bangunan tersebut kebal terhadap bahaya sepenuhnya.

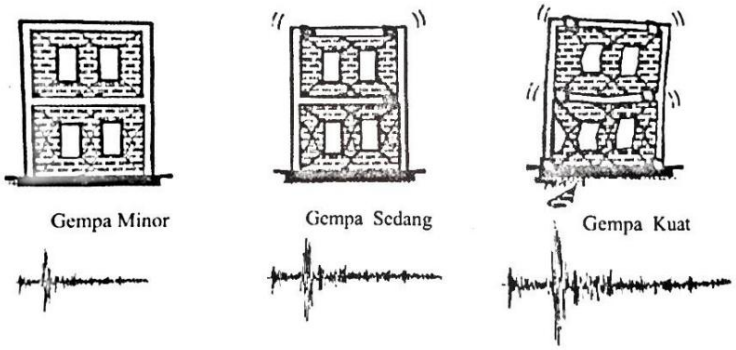
Bangunan tahan gempa menurut Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D, pada website Prasetya UB (Universitas Brawija) mengenai “Tiga Kunci Bangunan Tahan Gempa Menurut Dosen UB” beliau menyatakan bahwa Sebuah struktur dikategorikan tahan gempa jika meskipun mengalami kerusakan selama gempa, struktur tersebut tetap dapat bertahan dan tidak runtuh. Gagasan utama dari desain bangunan tahan gempa adalah bahwa struktur tersebut akan mengalami kerusakan,

namun tetap mampu menahan gempa dan tetap berdiri kokoh. Menurut standar dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, bangunan tahan gempa yang ideal memiliki tiga level. Bangunan ini dirancang agar tidak rusak saat terjadi gempa kecil, pada gempa sedang struktur utama seperti balok dan kolom tetap utuh meskipun dinding dan pelat pelengkap bisa mengalami kerusakan. Namun, pada gempa yang lebih besar, meskipun struktur utama bisa mengalami kerusakan, bangunan tersebut harus tetap berdiri dan tidak runtuh.

Menurut Widodo (2012) dalam (Pendahuluan, 2016), dasar pemikiran dari bangunan tahan gempa mencakup tiga hal utama:

1. Struktur utama bangunan harus tetap utuh dan berfungsi normal jika terjadi gempa ringan atau kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, sementara elemen non-struktural dapat mengalami kerusakan kecil yang masih dapat diterima.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, struktur utama bangunan bisa mengalami kerusakan ringan atau retak, namun kerusakan tersebut masih bisa diperbaiki. Komponen non-struktural yang rusak juga dapat diganti dengan komponen baru.
3. Selama gempa bumi kuat *(strong earthquake*) dan jarang terjadi, bangunan mungkin mengalami kerusakan, tetapi tidak akan runtuh sepenuhnya. Tujuan utama pada kondisi ini adalah untuk melindungi sebanyak mungkin orang dan penduduk, terutama pada gempa bumi besar.

   Tingkat kerusakan bangunan dapat diilustrasikan pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3. 2 Tingkat Kerusakan Bangunan
(Sumber: Widodo, 2012)

3.3 Analisis Struktur Bangunan

Syahira (2020) menjelaskan bahwa desain bangunan tahan gempa bertujuan untuk menjaga fungsi esensial atau penting bangunan, meminimalkan ketidaknyamanan penghuni dan kerusakan, serta mencegah korban jiwa saat gempa kuat. Analisis *pushover*, Teknik analisis nonlinier berbasis komputer, digunakan untuk mengukur kinerja struktur dan reaksinya terhadap gempa. Proses perencanaan dimulai dengan desain awal, diikuti dengan pemodelan bangunan di bawah beban gempa, dan jika diperlukan, dilakukan desain ulang untuk memastikan kinerja sesuai tujuan. Bangunan yang ada juga dapat diperkuat dengan desain seismik berbasis kinerja.

Muntafi (2012) menjelaskan bahwa sejak desain bangunan berbasis kinerja menjadi populer pada tahun 2000-an, bangunan mulai dirancang untuk menahan beban gempa dengan mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja dan jumlah deformasi yang terjadi guna meminimalkan kerusakan pada komponen non-struktural. Namun, pendekatan ini belum diterapkan pada struktur bangunan yang lebih tua, yang dirancang berdasarkan undang-undang perencanaan sebelum tahun 2000-an. Dengan nilai reduksi beban gempa (R) yang cukup besar, hingga maksimum 8,5, gaya gempa yang digunakan dalam desain bangunan cenderung lebih kecil. Di sisi lain, intensitas gempa terus meningkat dari waktu ke waktu, sebagaimana diindikasikan oleh temuan peta bahaya gempa Indonesia 2010, yang menunjukkan peningkatan nilai PGA (g) di sebagian besar wilayah Indonesia. Oleh karena itu, bangunan yang dibangun sebelum tahun 2000-an perlu dievaluasi ulang untuk memastikan ketahanannya terhadap gempa yang lebih kuat.

Dewobroto (2006) dalam Muntafi (2012) menjelaskan bahwa keamanan dan keselamatan sebuah bangunan bergantung pada tingkat energi, deformasi, serta kekuatannya. Perencanaan berbasis kinerja atau *performance based earthquake engineering* (PBEE), merupakan tren terkini dalam desain dan evaluasi bangunan tahan gempa. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek pelayanan dan ketahanan untuk memastikan performa bangunan yang optimal. Baik evaluasi gempa berbasis kinerja (*performance based seismic evaluation*) untuk menilai atau mengevaluasi banguanan yang sudah ada maupun desain gempa berbasis kinerja (*performance*

based seismic design) yang dapat diterapkan pada konstruksi bangunan baru untuk meningkatkan daya tahan terhadap gempa. Nugraha (2021) menjelaskan bahwa pendekatan perencanaan konstruksi tahan gempa berbasis kekuatan (*force based*) kini mulai digantikan oleh perencanaan berbasis kinerja (*performance based*), yang dianggap lebih unggul karena mampu menetapkan target kinerja bangunan secara eksplisit berdasarkan tingkat kinerja tertentu. Melalui analisis desain berbasis kinerja, pemilik bangunan dapat menentukan tingkat kinerja yang diinginkan, yang akan memengaruhi biaya konstruksi dan perbaikan, serta mengevaluasi kemampuan bangunan dalam menghadapi kekuatan gempa yang diantisipasi.

Mauliddiyah (2021) menjelaskan bahwa teknik desain seismik berbasis kinerja merupakan pendekatan desain dan evaluasi yang berfokus pada penilaian objektif terhadap utilitas struktur. Dalam pendekatan ini, beberapa tingkat tujuan kinerja dapat ditetapkan, dan tingkat kinerja bangunan direncanakan sejak awal dengan mempertimbangkan berbagai kondisi batas yang telah disepakati antara pemilik dan perencana. Batasan ini bersifat fleksibel dan dapat dinegosiasikan sesuai kebutuhan. Tujuan utama dari desain seismik berbasis kinerja adalah menciptakan struktur tahan gempa dengan kinerja yang dapat diprediksi.

Pendekatan ini melibatkan dua komponen utama yaitu beban (*demand*) dan kapasitas struktur (*capacity*). Beban yang diwakili oleh gerakan tanah akibat gempa digambarkan melalui kurva respons spektrum. Sementara itu, kapasitas struktur mengacu pada kemampuan bangunan untuk menahan gaya gempa tanpa mengalami kerusakan yang signifikan. Analisis *pushover* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi kapasitas struktur secara keseluruhan, dengan menghasilkan titik kinerja sebagai titik perpotongan antara kurva permintaan dan kurva kapasitas. Selain itu, pendekatan ATC-40 dapat diterapkan untuk menentukan tingkat kinerja struktur bangunan berdasarkan nilai titik kinerja tersebut.

3.4 Pembebanan Struktur

Adapun dalam penelitian ini akan dianalisis 3 jenis beban yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan SNI-1727-1989.

1. Beban mati

KPU (1989) menjelaskan bahwa beban mati merupakan beban yang merujuk pada berat total komponen tetap bangunan, termasuk semua tambahan seperti penyelesaian-penyelesaian, mesin, dan peralatan yang bersifat permanen. Adapun berikut adalah beban mati yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan SNI-1727-1989 dapat dilihat pada **Tabel 3.1** berikut dan **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1.	Baja	7.850	kg/m^3
2.	Batu alam	2.600	kg/m^3
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunug (berat tumpuk)	1.500	kg/m^3
4.	Batu karang (berat tumpuk)	700	kg/m^3
5.	Batu pecah	1.450	kg/m^3
6.	Besi tuang	7.250	kg/m^3
7.	Beton ([1])	2.200	kg/m^3
8.	Beton bertulang ([2])	2.400	kg/m^3
9.	Kayu (kelas 1) ([3])	1.000	kg/m^3
10.	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650	kg/m^3
11.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200	kg/m^3
12.	Pasangan batu cetak	2.200	kg/m^3
13.	Pasangan batu karang	1.450	kg/m^3
14.	Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600	kg/m^3
15.	Pasir (jenuh air)	1.800	kg/m^3
16.	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850	kg/m^3
17.	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700	kg/m^3
18..	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000	kg/m^3
19	Timah hitam (timbel)	1.140	Kg

Sumber: SNI-1727 (1989)

Tabel 3. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No.	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1.	Adukan, per cm tebal : - Dari semen - Dari kapur, semen merah atau tras	 21 17	kg/m^3
2.	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m^3
3.	Dinding pasangan bata merah : - Satu batu - Setengah batu	 450 250	kg/m^3
4.	Dinding pasangan batako : Berlubang : - Tebal dinding 20 cm (HB 20) - Tebal dinding 10 cm (HB 10) Tanpa lubang : - Tebal dinding 15 cm - Tebal dinding 10 cm	 200 120 300 200	kg/m^3
5.	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk - rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terpadu dari : - Semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4mm - Kaca, dengan tebal 3-4 mm	 11 10	kg/m^3
6.	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	40	kg/m^3
7.	Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso per m^2 bidang atap	50	kg/m^3
8.	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m^2 bidang atap	40	kg/m^3
9.	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	kg/m^3
10.	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	21	kg/m^3
11.	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m^3

Sumber: SNI-1727 (1989)

2. Beban hidup

KPU (1989) menjelaskan bahwa beban hidup merupakan beban yang mengacu pada semua beban yang dihasilkan dari aktivitas penghuni atau penggunaan bangunan. Beban ini mencakup beban pada lantai yang

disebabkan oleh benda bergerak, mesin, dan peralatan non-struktural yang sifatnya dapat diganti, sehingga memengaruhi pembebanan pada lantai dan atap. Secara khusus, beban air hujan, baik akibat genangan maupun tekanan dari tetesan air (energi kinetik), dapat dimasukkan ke dalam kategori beban hidup pada atap. Namun, beban angin, beban gempa, dan beban khusus sebagaimana dijelaskan dalam ayat (3), (4), dan (5) tidak termasuk dalam beban hidup. Adapun berikut adalah beban hidup yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan SNI-1727-1989 dapat dilihat pada **Tabel 3.3** halaman berikut.

Tabel 3. 3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

No.	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam no 2	200	kg/m^3
2.	Lantai tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125	kg/m^3
3.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250	kg/m^3
4.	Lantai ruang olah raga	400	kg/m^3
5.	Lantai dansa	500	kg/m^3
6.	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari yang disebut dalam no 1 s/d 5, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400	kg/m^3
7.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri	500	kg/m^3
8.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 3	300	kg/m^3
9.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 4,5,6 dan 7	500	kg/m^3
10.	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam no 3,4,5,6 dan 7	250	kg/m^3
11.	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat - alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum	400	kg/m^3
12.	Lantai gedung parkir bertingkat : - Untuk lantai bawah - Untuk lantai tinggkat lainnya	400	kg/m^3

Lanjutan Tabel 3.3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

No.	Komponen Gedung	Beban	Satuan
13.	Balkon - balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai yang berbatasan dengan minimum	300	kg/m

Sumber: SNI-1727 (1989)

Selanjutnya mengunakan beban minimum sebesar 100 kg/m² untuk bidang datar guna menentukan beban hidup pada atap dan struktur kanopi yang dapat dijangkau dan mampu menopang berat orang.

3. Beban gempa

Menurut SNI-1727-1989 menjelaskan beban gempa merupakan beban yang merujuk pada semua beban statis ekuivalen yang mereplikasi efek getaran tanah akibat gempa bumi. Beban ini didefinisikan sebagai gaya-gaya yang muncul dalam struktur akibat gerakan tanah selama gempa. Dampak gempa terhadap struktur bangunan ditentukan melalui studi dinamis untuk memastikan akurasi perhitungan beban tersebut.

3.5 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-1726-2019

Adapun perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung mencakup ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

1. Menentukan kategori risiko bangunan dan non-bangunan untuk beban gempa.

Kategori risiko untuk struktur bangunan dalam SNI-1726-2019 diklasifikasikan berdasarkan jenis penggunaan bangunan. Berdasarkan fungsi dan tingkat prioritas risikonya, terdapat empat kategori utama. Berikut adalah Kategori risiko bangunan berdasarkan penggunaan atau pemanfaatannya dapat dilihat pada **Tabel 3.4** halaman berikutnya.

Tabel 3. 4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non-Gedung untuk Beban Gempa

No.	Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
1.	Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
2.	Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
3.	Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah	III

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non-Gedung untuk Beban Gempa

No.	Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
	- Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
4.	Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat - Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: SNI-1726 (2019)

2. Menentukan faktor keutamaan bangunan

Beban gempa rencana dikalikan dengan faktor keutamaan bangunan, yang nilainya ditentukan oleh kategori risiko bangunan. **Tabel 3.5** menunjukkan nilai faktor keutamaan gempa sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Faktor Keutamaan Gempa

No.	Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa
1.	I atau II	1,0
2.	III	1,25
3.	IV	1,50

Sumber: SNI-1726 (2019)

3. Menentukan klasifikasi situs

SNI 1726 (2019) mengklasifikasikan situs berdasarkan enam jenis tanah, dan faktor amplifikasi bangunan, yang merupakan kriteria desain seismik, diturunkan dari klasifikasi situs ini. Sebelum mengembangkan persyaratan desain seismik untuk konstruksi di permukaan tanah suatu lokasi, lokasi tersebut harus terlebih dahulu diklasifikasikan. Adapun untuk klasifikasi situs tanah dapat dilihat pada **Tabel 3.6** berikut.

Tabel 3. 6 Klasifikasi Situs Tanah

No.	Kelas Situs	$\overline{V}_s$(m/det)	$\overline{N}$atau $\overline{N}_{ch}$	$\overline{V}_s(kPa)$
1.	SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
2.	SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
3.	SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
4.	SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
5.	SE (Tanah Lunak)	< 175	<15	< 50

Lanjutan Tabel 3.6 Klasifikasi Situs Tanah

No.	Kelas Situs	$\overline{V}_s$(m/det)	$\overline{N}$atau $\overline{N}_{ch}$	$\overline{V}_s(kPa)$
6.		Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}u < 25$ kPa		
7.	SF (tanah khusus,yang Membutuhkan investigasi geoTeknik spesifik da analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7{,}5$ m dengan indeks plasitisitas PI > 75) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}u$ 50 kPa		

Sumber: SNI-1726 (2019)

Catatan:

N/A = tidak dapat dipakai

Dimana nilai $\overline{N}$atau $\overline{N}_{ch}$ ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}} \quad (3.1)$$

$$\overline{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^{m} \frac{d_i}{N_i}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$\overline{N}$ = Tahanan standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas

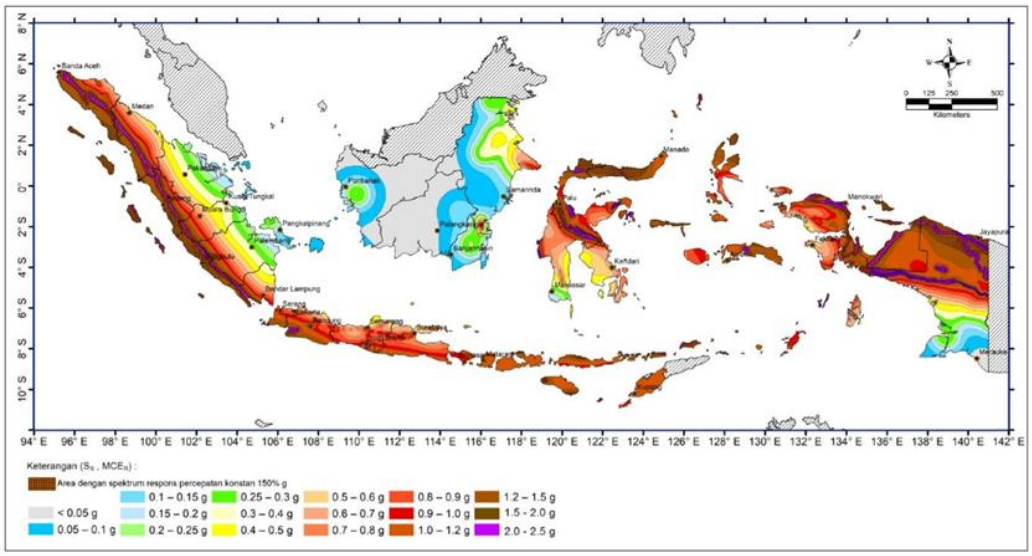
$\overline{N}_{ch}$ = Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas

di = Tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m paling atas

$\overline{N}_i$ = Tahanan penetrasi standar sesuai SNI 4153:2008

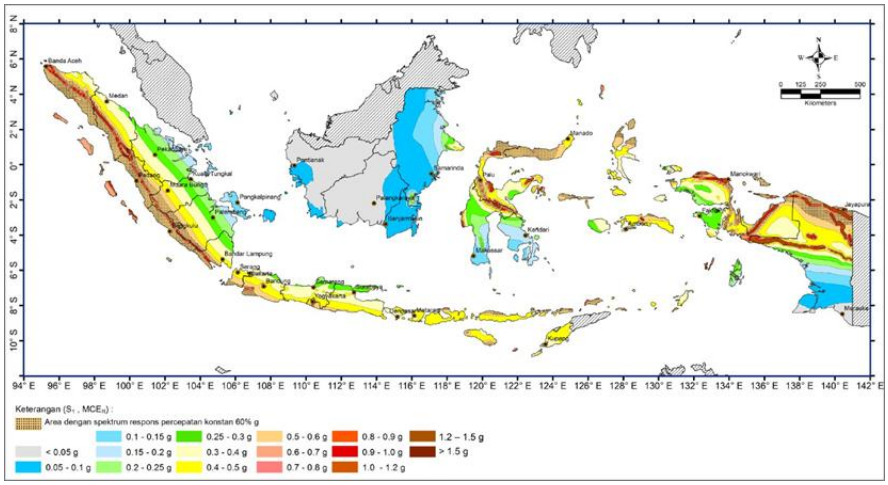
4. Menentukan nilai respon spektra

Ketika merencanakan sebuah gedung, respons spektral terhadap percepatan pada perioda pendek 0,2 (S_s) dan respons spektral terhadap percepatan pada satu detik (S_1) harus dihitung. Peta SNI-1726-2019 dapat digunakan untuk menentukan nilai-nilai ini berdasarkan area atau lokasi bangunan. Adapun berikut ini merupakan peta spektrum respond percepatan atau peta gerak tanah seismic dan koefisien resiko dapat dilihat pada **Gambar 3.3** berikut dan **Gambar 3.4** halaman berikutnya.



Gambar 3. 3 Peta Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksium Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5 %)

(Sumber: SNI-1726, 2019)



Gambar 3. 4 Peta Parameter Gerak Tanah, S1, Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2- Detik (Redaman Kritis 5 %)
(Sumber: SNI-1726, 2019)

Faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (*Fa*) dan 1 detik (*Fv*), yang diperoleh dari hubungan antara percepatan gempa dan kelas situs, diperlukan untuk menentukan parameter respons spektrum percepatan gempa di permukaan tanah. Adapun berikut ini merupakan nilai koefisien situs Fa dan Fv dapat dilihat pada **Tabel 3.7** berikut dan **Tabel 3.8** halaman berikutnya.

Tabel 3. 7 Koefisien Situs Fa

No.	Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_S					
		$S_S \leq 0{,}25$	$S_S = 0{,}5$	$S_S = 0{,}75$	$S_S = 1{,}0$	$S_S = 1{,}25$	$S_S \geq 0{,}5$
1.	SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2.	SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
3.	SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
4.	SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
5.	SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
6.	SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI-1726 (2019)

Catatan :

a. Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier

b. $SS^{(a)}$ = Situs yang memerlukan investigasi geoTeknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 3. 8 Koefisien Situs Fv

No.	Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek 1 detik, S_1					
		$S_1 \leq 0{,}25$	$S_1 = 0{,}5$	$S_1 = 0{,}75$	$S_1 = 1{,}0$	$S_1 = 1{,}25$	$S_1 \geq 0{,}5$
1.	SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2.	SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3.	SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
4.	SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
5.	SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
6.	SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI-1726 (2019)

Catatan :

a. Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

b. $SS^{(a)}$ = Situs yang memerlukan investigasi geoTeknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Untuk menentukan parameter respons spektrum percepatan permukaan tanah pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat menggunakan Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut.

S_{MS} = Fa × Ss (3.3)

S_{M1} = Fv × S_1 (3.4)

Keterangan :

Fa = Faktor amplifikasi pada periode pendek, T = 0,2 detik

Fv = Faktor amplifikasi pada periode 1 detik

Ss = Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik

S1 = Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik

Untuk menentukan nilai spektral desain pada periode pendek (S_{DS}) dan periode satu detik (S_{D1}) berdasarkan nilai S_{MS} dan S_{M1} dapat digunakan persamaan 3.5 dan 3.6 berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3.5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (3.6)$$

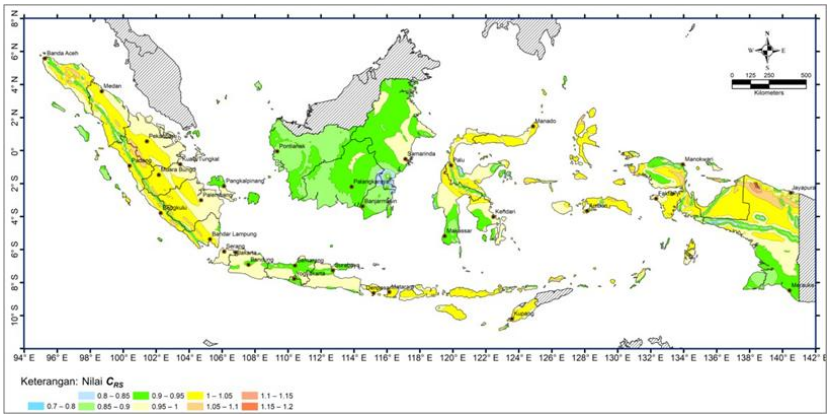
Keterangan :

S_{MS} = Parameter respons spektral untuk MCE periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral untuk MCE periode 1 detik

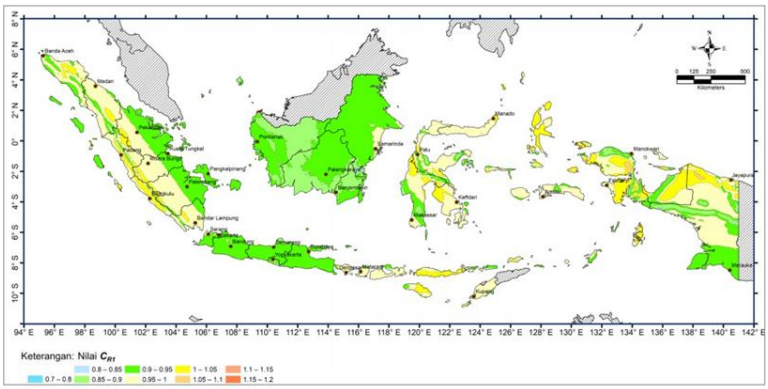
5. Koefisien risiko terpetakan (C_{RS} dan C_{R1})

Peraturan mengenai koefisien risiko yang dipetakan untuk setiap C_{RS} dan C_{R1} didasarkan pada SNI 1726-2019. Koefisien risiko yang dipetakan untuk spektrum respons periode pendek disebut C_{RS}, sedangkan untuk spektrum respons periode 1 detik disebut C_{R1}. Adapun untuk menentukan nilai C_{RS} dan nilai C_{R1} dapat dilihat pada **Gambar 3.5** berikut dan **Gambar 3.6** halaman berikutnya.



Gambar 3. 5 Peta C_{RS} Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik

(Sumber: SNI-1726, 2019)



Gambar 3. 6 Peta CR1 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 1 Detik
(Sumber: SNI-1726, 2019)

6. Menentukan Kategori Desain Seismik

Panduan berikut harus diikuti untuk menentukan kategori desain seismik (KDS) struktur sesuai dengan SNI-1726-2019:

a. Kategori desain seismik E harus diberikan pada struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang memiliki $S_1 \geq 0{,}75$.

b. Kategori desain seismik F harus digunakan untuk struktur dengan kategori risiko IV yang memiliki $S_1 \geq 0{,}75$.

Berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desain (S_{DS} dan S_{D1}) semua struktur lainnya akan diberikan kategori desain seismik yang dapat ditentukan menggunakan **Tabel 3.9** berikut dan **Tabel 3.10** pada halaman berikutnya.

Tabel 3. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

No.	Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
		I atau II atau III	IV
1.	$SDS < 0{,}167$	A	A
2.	$0{,}167 \leq SDS < 0{,}33$	B	C
3.	$0{,}33 \leq SDS < 0{,}50$	C	D
4.	$0{,}50 \leq SDS$	D	D

Sumber: SNI-1726 (2019)

Tabel 3. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

No.	Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
		I atau II atau III	IV
1.	$SD1 < 0{,}067$	A	A
2.	$0{,}067 \leq SD1 < 0{,}133$	B	C
3.	$0{,}133 \leq SD1 < 0{,}20$	C	D
4.	$0{,}20 \leq SD1$	D	D

Sumber: SNI-1726 (2019)

7. Definisi kategori desain seismik

   a. Klasifikasi desain seismik A dan B

      Panduan desain untuk Struktur Pemikul Momen Biasa (AMSH) atau Sistem Struktur Daktail Biasa (SDSB) harus diikuti ketika mendesain bangunan dengan kategori seismik A dan B.

   b. Desain seismik kategori C

      Bangunan yang diklasifikasikan sebagai kategori desain seismik C harus mengikuti setidaknya panduan desain Sistem Dinding Biasa (SDSB) atau Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

   c. Desain seismik kategori D

      Bangunan dengan desain seismik kategori D minimal harus dikembangkan menggunakan pedoman desain Struktur Pemikul Momen Khusus atau Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK).

   d. Kategori desain seismik E dan F

      Aturan yang diuraikan untuk kategori desain seismik D harus diikuti ketika mendesain bangunan dengan kategori desain seismik E dan F.

   Pembagian kategori desain seismik berdasarkan tingkat risiko kegempaan dapat dilihat pada **Tabel 3.11** halaman berikutnya.

Tabel 3. 11 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

No.	Tingkat Risiko Terhadap Gempa	Kategori Desain Seismik	Syarat Desain Minimial
1.	Rendah	A dan B	SRPM B/M/K SDS B/K
2.	Menengah	C	SRPM M/K SDS B/K
3.	Tinggi	D, E, dan F	SRPMK SDSK

Sumber: SNI-1726 (2019)

Keterangan:

SRPM = Sistem Rangka Pemikul Momen

SDSK = Sistem Dinding Struktur Khusus

SDS = Sistem Dinding Struktur

B ; M ; K = Biasa ; Menengah ; Khusus

8. Spektrum respond desain

Menurut SNI-1726-2019, jika proses ini tidak menggunakan spektrum desain dan prosedur gerakan tanah spesifik lokasi, kurva spektrum harus disusun dengan merujuk pada Gambar 3.3 dan pedoman berikut.

a. Untuk menentukan spektrum respons percepatan desain, S_a, pada waktu yang lebih pendek dari T_0 digunakan rumus berikut.

$$S_a = S_{DS} \times (0{,}4+0{,}6\times\frac{T}{T_0})$$

(3.7)

b. Spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} untuk periode yang lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s

c. Respons spektral percepatan desain S_a dihitung menggunakan rumus berikut untuk periode yang lebih besar dari T_s namun kurang dari atau sama dengan T_L.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$

d. Respons spektral percepatan desain, Sa, dihitung menggunakan persamaan untuk durasi yang lebih panjang dari T_L

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \quad (3.9)$$

Keterangan :

T = Periode getar fundamental struktur;

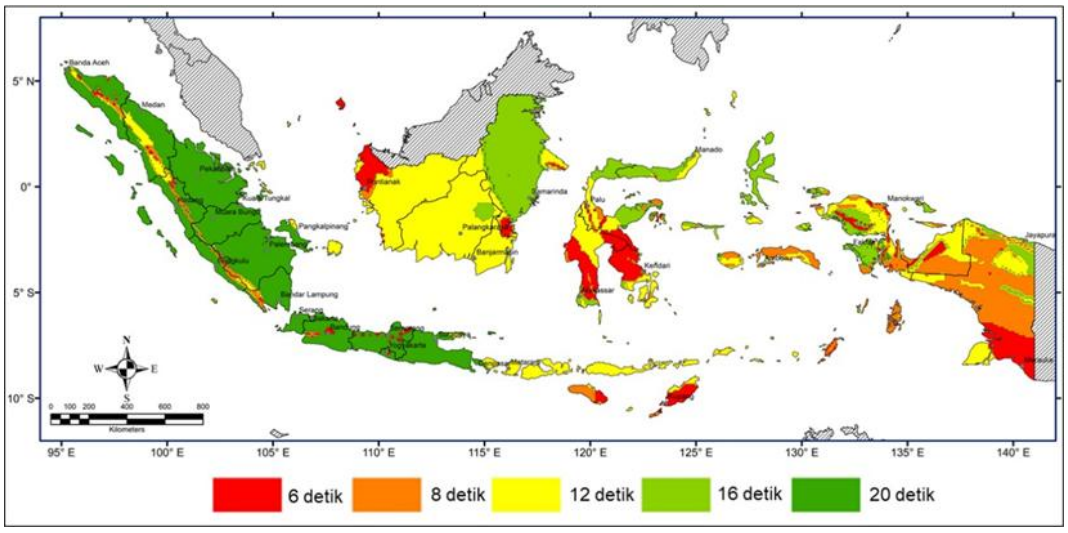
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada satu detik;

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek.

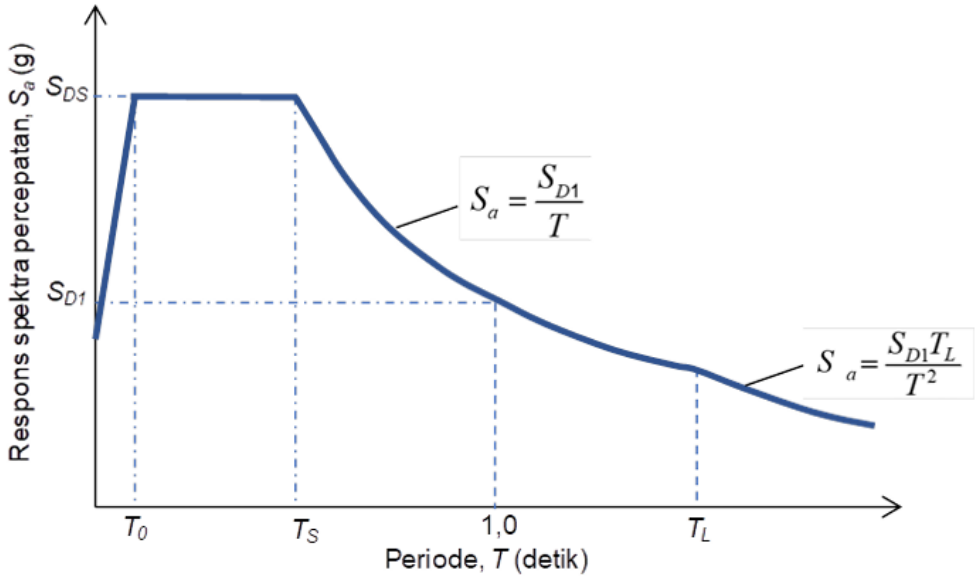
$T_0 = 0{,}2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ (3.10)

$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ (3.11)

T_L = Peta transisi periode panjang dihitung menggunakan peta transisi periode panjang T_L seperti pada **Gambar 3.7** berikut.



Gambar 3. 7 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) Wilayah Indonesia
(Sumber: SNI-1726, 2019)



Gambar 3. 8 Spektrum Respons Desain
(Sumber: SNI-1726, 2019)

9. Sistem dan parameter struktur

Menurut SNI-1726 (2019) sistem pemikul gaya gempa dapat digunakan untuk menahan gaya gempa di kedua arah sepanjang sumbu ortogonal struktur. Nilai R, C_d, dan Ω_0 yang sesuai harus diterapkan pada setiap sistem, dengan mempertimbangkan batasan sistem struktur yang tercantum dalam **Tabel 3.12** pada halaman berikutnya.

Tabel 3. 12 Faktor R, C_d, dan Ω_0 yUntuk Sistem Penahan Gaya Gempa

No.	Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0{}^b$	Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d{}^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n $(m)^d$				
					Kategori Desain Seismik				
					B	C	D	E	F
C.	Sistem rangka pemikul momen								
1.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI-1726 (2019)

Keterangan :

[a] = Koefisien modifikasi respons, *R*, untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai *R* mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.

[b] = Jika nilai pada table faktor kuat lebih Ω*0*, lebih besar atau sama dengan 2,5, Ω*0* maka diizinkan untuk direduksi setangah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

[c] = Faktor pembesar simpangan lateral, *Cd*, untuk penggunaan dalam 0, 0, dan 0.

[d] = TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan.

10. Periode Fundamental pendekatan

Melalui analisis struktur yang dievaluasi, nilai periode dasar struktur (T) dapat ditentukan. Namun SNI-1726-2019 menetapkan bahwa batas atas periode fundamental pendekatan, yang diperoleh dengan mengalikan periode pendekatan (T_a) dengan koefisien periode atas (C_u) dari **Tabel 3.13**, tidak

boleh dilampaui oleh nilai periode fundamental yang digunakan dalam perhitungan. Sebagai alternatif, perioda getar pendekatan T_a dapat langsung digunakan dalam analisis untuk menentukan periode fundamental struktur T. Berikut untuk menghitung periode pendekatan dapat digunakan persamaan 3.12 berikut.

$$Ta = Ct \times h_n^{\,x} \quad (3.12)$$

Keterangan :

Konstanta Ct dan x dihitung berdasarkan **Tabel 3.14** sedangkan h_n adalah tinggi struktur bangunan dalam meter, diukur dari dasar hingga tingkat paling atas.

Tabel 3. 13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

No.	Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, S_{DS}	Koefisien C_u
1.	≥ 0,4	1,4
2.	0,3	1,4
3.	0,2	1,5
4.	0,15	1,6
5.	≤ 0,1	1,7

Sumber: SNI-1726 (2019)

Tabel 3. 14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan X

No.	Tipe Struktur	Ct	x
1.	Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: - Rangka baja pemikul momen - Rangka beton pemikul momen	 0,0772 0,0466	 0,8 0,9
2.	Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
3.	Rangka baja dengan bresingterkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
4.	Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI-1726 (2019)

11. Gaya geser dasar sesmik

Untuk menghitung gaya geser dasar seismik V dalam arah Yang ditentukan, Persamaan 3.13 dalam SNI-1726-2019 harus digunakan ialah sebagai berikut.

$$V = C_s \times W \quad (3.13)$$

Keterangan :

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Nilai koefisien reaksi seismik (C_s) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14, dengan ketentuan bahwa nilai ini tidak boleh lebih besar dari yang dihasilkan oleh Persamaan 3.15 dan 3.16, serta tidak boleh lebih kecil dari yang dihasilkan oleh Persamaan 3.17. Selain itu, C_s tidak boleh kurang dari nilai yang diperoleh dari Persamaan 3.18 untuk struktur yang terletak di wilayah dengan nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{Ie}} \quad (3.14)$$

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \times (\frac{R}{Ie})} \quad (3.15)$$

Untuk $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2 \times (\frac{R}{Ie})} \quad (3.16)$$

C_s tidak boleh kurang dari

$$C_s = 0{,}044 \times SDS \times Ie \geq 0{,}001 \quad (3.17)$$

$$C_s = \frac{0{,}5 \times S_1}{(\frac{R}{Ie})} \quad (3.18)$$

12. Distribusi vertical gaya seismik

Persamaan 3.19 digunakan untuk menghitung distribusi gaya gempa lateral (F_x) di setiap lantai, sementara Persamaan 3.20 digunakan untuk menentukan koefisien faktor distribusi vertikal (C_{vx}).

$F_x = C_{vx} \times V$ (3.19)

$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i \times h_x^k}$ (3.20)

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser pada dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x (m)

h_i dan h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

- Untuk struktut dengan T ≤ 0,5 detik, k = 1
- Untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik, k = 2
- Untuk struktur dengan 0,5 < T < 2,5 detik, k = 2 ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2

3.6 Analisis Beban Gempa

Jumlah tekanan lateral yang dialami bangunan akibat gempa bumi dikenal sebagai gaya geser dasar seismik. Gaya lateral akibat gempa dihitung dalam studi ini menggunakan pendekatan respons spektrum untuk menentukan gaya geser dasar dinamik, serta metode statik untuk menentukan nilai gaya geser dasar statik. Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1, beberapa persyaratan harus dipenuhi, yaitu mengalikan gaya geser dasar dinamik dengan faktor skala (FS) jika kombinasi respons gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% gaya geser dasar statik. Rumus berikut ini digunakan untuk menghasilkan nilai faktor skala.

$FS = \frac{V}{Vt}$ (3.21)

Keterangan :

V = Gaya geser statik hasil dari perhitungan statik ekivalen

Vt = Gaya geser dinamik dari respon spektrum

3.7 Analisis Statik Non-Linier (*Pushover* Analysis)

Ummah (2019) menjelaskan bahwa pengaruh gempa rencana pada struktur gedung dihitung sebagai beban statis yang bekerja pada pusat massa setiap lantai. Beban ini ditingkatkan secara bertahap hingga melampaui batas pembebanan yang menyebabkan pelelehan awal (sendi plastis) pada struktur. Dengan peningkatan beban yang lebih lanjut struktur akan mengalami deformasi pasca-elastis yang signifikan hingga mencapai kondisi plastis.

Ummah (2019) menjelaskan bahwa pola beban lateral statis diterapkan pada struktur dan secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali hingga mencapai perpindahan lateral yang diinginkan pada titik acuan. Dalam proses *pushover*, struktur didorong hingga mencapai kondisi leleh pada satu atau lebih titik. Sebelum mencapai kondisi leleh, kurva kapasitas menunjukkan perilaku linier, sementara setelahnya kurva beralih ke perilaku non-linier. Pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong memiliki pengaruh signifikan terhadap bentuk kurva *pushover*. Analisis statis non-linier digunakan untuk memperkirakan seberapa baik performa struktur dalam menghadapi beban lateral atau gempa.

Syahira (2020) menjelaskan bahwa analisis *pushover* adalah metode yang digunakan untuk memastikan bagaimana sebuah bangunan dapat runtuh jika terjadi gempa bumi, dan metode ini didasarkan pada ATC-40. Penggunaan analisis *pushover* sangat tepat karena gempa yang cukup besar dapat menyebabkan plastifikasi di beberapa lokasi, mengubah perilaku linier bangunan menjadi nonlinier. Analisis ini merupakan pendekatan alternatif dalam mengimplementasikan desain evaluasi berbasis kinerja. Penerapan metode berbasis kinerja yang efektif membutuhkan pemahaman tentang permintaan dan kapasitas. Kapasitas mengacu pada kemampuan struktur untuk mendukung beban gempa, sementara permintaan adalah perpindahan tanah dasar akibat gempa. Kemampuan struktur untuk mendukung permintaan ini dikenal sebagai kinerja. Dengan kata lain, struktur bangunan harus memiliki kapasitas yang cukup untuk mendukung beban gempa dan berfungsi sesuai dengan tujuan desain. Kurva kapasitas dan kurva permintaan digunakan dalam pendekatan spektrum kapasitas (ATC-40), di mana

kurva kapasitas menggambarkan hubungan antara geser dasar dan perpindahan atap sebagai produk akhir dari analisis *pushover*

Mamesah et al. (2014) menjelaskan bahwa analisis *pushover* digunakan untuk mengidentifikasi bagian-bagian struktur yang krusial serta memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang mungkin terjadi. Selain itu, analisis ini dapat membantu mengidentifikasi elemen-elemen yang membutuhkan perhatian atau perawatan ekstra agar tetap stabil. Ketika disesuaikan dengan batasan yang ada, analisis *pushover* dapat berfungsi sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa. Namun, hasil analisis *pushover* hanya merupakan pendekatan, karena dalam kenyataannya perilaku gempa bersifat siklik dan dinamis, sedangkan pembebanan pada analisis *pushover* bersifat statik *monotonic*.

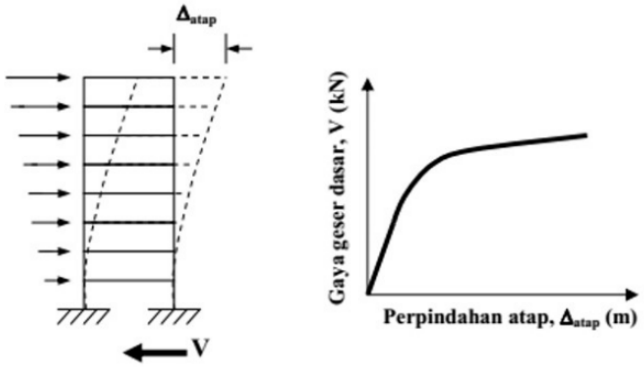
Dewobroto (2006) menjelaskan bahwa analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan tahan gempa dengan memperhatikan beberapa batasan penting.

1. Hasil analisis *pushover* hanyalah perkiraan, karena pembebanan dalam analisis ini bersifat statis dan monotonik, sedangkan perilaku gempa sebenarnya bersifat bolak-balik dalam siklus tertentu.
2. Pemilihan pola beban lateral menjadi aspek yang sangat krusial (sangat penting).
3. Analisis nonlinier lebih sulit dimodelkan dibandingkan analisis linier, sehingga deformasi inelastis pada elemen-elemen struktur yang relevan serta efek *P-Δ* harus diperhitungkan dalam model analisis.

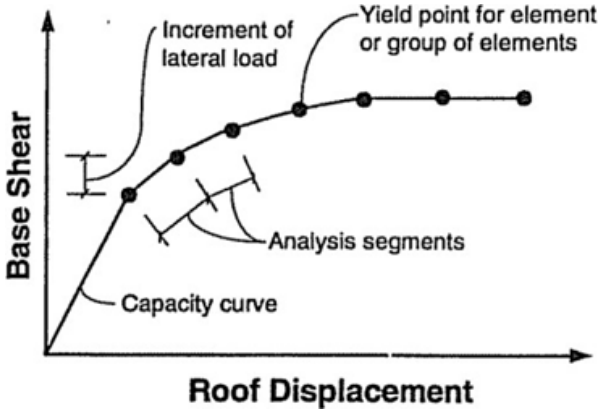
3.7.1 Kurva Kapasitas

Suwandi (2019) menjelaskan bahwa kekuatan struktur dapat dianalisis melalui kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis *pushover*, yang sangat dipengaruhi oleh hubungan momen-deformasi pada setiap elemen struktur. Proses *pushover* dilakukan dengan secara bertahap mendorong struktur dan kemudian mencatat hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap akibat beban lateral yang diterapkan dengan pola pembebanan tertentu. Untuk bangunan dengan periode fundamental struktur yang kecil, pola pembebanan biasanya menggunakan

beban statik ekuivalen. Namun, pada bangunan dengan periode struktur yang lebih besar, perencana harus mempertimbangkan dampak variasi yang lebih besar dalam analisisnya. Analisis statik *pushover* nonlinier menghasilkan kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara perpindahan atap (*roof displacment*) dan gaya geser dasar (base shear). Adapun ilustrasi kurva kapasitas dapat dilihat pada **Gambar 3.9** berikut dan **Gambar 3.10** berikut.



Gambar 3. 9 Kurva Kapasitas
(Sumber: Suwandi, 2019)



Gambar 3. 10 Kurva Kapasitas
(Sumber: ATC-40 Volume I *Figure* 8-1, 1996)

Kurva kapasitas ini diperoleh melalui analisis *pushover* serta untuk membentuk spektrum kapasitas, kurva kapasitas harus ditransformasikan ke dalam format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan (ADRS) yang terdiri dari spektrum percepatan (Sa) dan perpindahan (Sd). Format ADRS ini harus memiliki satuan yang sama dengan spektrum permintaan sehingga keduanya dapat diplot

bersama dalam satu grafik. Titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan respon spektrum (*demand spectrum*) pada grafik ini dikenal sebagai titik kinerja yang memperkirakan kebutuhan perpindahan struktur pada tingkat bahaya tertentu. Adapun Langkah untuk mengubah kurva kapasitas serta kurva respon spektrum ialah sebagai berikut :

1. Melakukan konversi format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan atau *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS) dari kurva kapasitas

   Untuk mengonversi kurva kapasitas ke dalam format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan atau *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS) maka harus menggunakan suatu persamaan untuk mengubahnya. Adapun berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk mengkonversi kurva kapasitas ke dalam bentuk ADRS.

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(w_i \times \emptyset_{i1})/g}{\sum_{i=1}^{N}(w_i \times \emptyset_{i1}{}^2)/g}\right] \quad (3.22)$$

$$\alpha = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i \times \emptyset_{i1})/g\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i/g)\right] \times \left[\sum_{i=1}^{N}(w_i \times \emptyset_{i1}{}^2)/g\right]} \quad (3.23)$$

$$Sa = \frac{\frac{V}{W}}{\alpha_1} \quad (3.24)$$

$$Sd = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \emptyset_{roof} \times 1} \quad (3.25)$$

Keterangan:

PF_1 = Faktor partisipasi modal pada mode pertama

α_1 = Modal koefisien massa pada mode pertama

w_i/g = Massa pada tingkat ke-i

$\emptyset_{i1}$ = Amplitude mode-1 pada tingkat ke-i

V = Gaya geser dasar

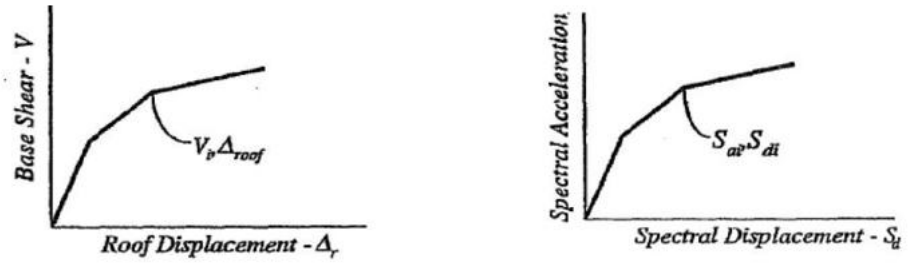
W = Berat mati bangunan ditambah beban hidup

Δ_{roof} = *Roof displacement*

S_a = *Spectral acceleration*

S_d = *Spectral displacement*

Persamaan 3.22 dan 3.23 digunakan untuk menentukan nilai faktor partisipasi modal (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1) sebelum setiap titik pada kurva kapasitas, seperti V dan Δatap, dikonversi menjadi titik percepatan spektral (S_a) dan perpindahan spektral (S_d) menggunakan persamaan 3.24 dan 3.25. Proses ini mengubah kurva kapasitas menjadi format Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS). Seperti yang terlihat pada **Gambar 3.11** kurva kapasitas telah dimodifikasi menjadi kurva kapasitas spektrum dalam format ADRS.



Kurva Kapasitas (Format standar) Spektrum Kapasitas (format ADRS)

Gambar 3. 11 Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas (ATC, 40)
(Sumber: ATC-40 Volume I *Figure* 8-5, 1996)

2. Mengubah konvensi kurva respons spektrum permintaan ke dalam format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan (ADRS)

Diperlukan sebuah persamaan untuk mengonversi spektrum respons (spektrum permintaan) ke dalam format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan (ADRS) agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas. Persamaan konversi yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Sd = \frac{T^2}{4\times\pi^2} \times Sa \times g \quad (3.26)$$

Atau

$$T = 2\pi\times\sqrt{\frac{Sd}{Sa}} \quad (3.27)$$

Keterangan:

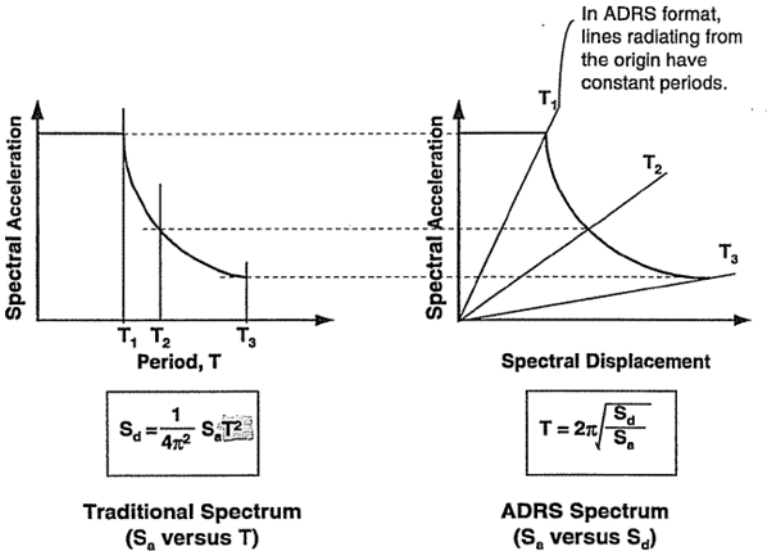
Sa = Spektra percepatan (*spectral acceleration*) (g)

Sd = Spektra perpindahan (*spectral displacement*) (m)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s2)

T = Periode getar fundamental (detik)

Adapun ilustrasi konversi spektrum respons ke dalam format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan (ADRS) **Gambar 3.12** berikut.



Response Spectrum (Format standar) *Response Spectrum* (format ADRS)

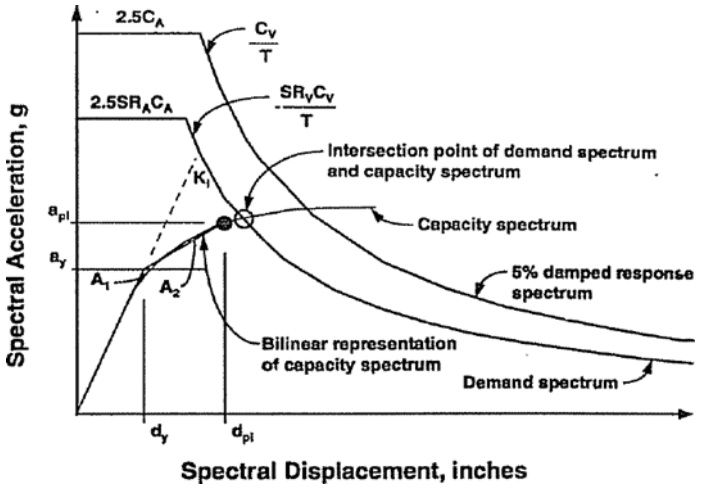
Gambar 3. 12 Merubah Format Respon Spectrum ke Format ADRS
(Sumber: ATC-40 Volume I *Figure* 8-6, 1996)

3.7.2 Titik Kinerja (*Performance Point*) Metode ATC-40

Cahyani et al. (2022) menjelaskan bahwa grafik spektrum kapasitas dan spektrum permintaan disajikan dalam satu grafik ADRS setelah konversi kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis *pushover* ke dalam format ADRS. Pada grafik tersebut titik perpotongan yang dikenal sebagai titik kinerja dapat diidentifikasi yang merepresentasikan kebutuhan perpindahan yang diharapkan pada struktur untuk tingkat bahaya tertentu.

ATC-40 (1996) menjelaskan bahwa dalam metode spektrum kapasitas, titik kinerja merupakan perpotongan antara kurva kapasitas (*capacity curve*) dan kurva spektrum respons (*demand spectrum*). Afandi (2010) menjelaskan bahwa

perubahan kekakuan struktur setelah terjadinya sendi plastis memungkinkan diperolehnya informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif pada titik kinerja. Dengan informasi ini, reaksi struktur lainnya, termasuk nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis, dapat ditentukan. Adapun ilustrasi titik kinerja (*performance point)* dapat dilihat pada **Gambar 3.13** berikut.



Gambar 3. 13 Penentuan Titik Kinerja (Performance point)
(Sumber: ATC-40 Volume I *Figure* 8-28, 1996)

Nugraha (2021) dalam (Setyadi, 2023) menjelaskan bahwa titik kinerja (*performance point*) adalah perpotongan antara spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) dan spektrum permintaan (*demand spectrum*). Titik ini merepresentasikan dua kondisi yaitu:

1. Kekuatan struktur pada nilai perpindahan tertentu yang terletak pada spektrum kapasitas,
2. Kekuatan struktur yang dapat memenuhi tuntutan beban yang diberikan karena terletak pada kurva permintaan.

3.8 Metode ATC-40

Applied Technology Council (ATC) menerbitkan pedoman ATC-40 tahun 1996 yang berfokus pada analisis *pushover* untuk menilai kinerja struktural bangunan yang ada, khususnya dalam memahami bagaimana struktur merespon terhadap gempa bumi. ATC-40 merupakan Teknik atau metode yang berguna untuk

mengevaluasi kemampuan struktur dalam menganalisis goncangan gempa serta memperkirakan potensi kerusakan pada komponen strukturnya. Pedoman ini secara khusus memberikan instruksi untuk melakukan analisis *pushover*, yang dirancang untuk mengevaluasi perilaku non-linier struktur di bawah tekanan gempa yang meningkat hingga struktur tersebut runtuh atau kehilangan kapasitasnya. Pendekatan berbasis kinerja ini menekankan pada penentuan apakah komponen struktur perlu diperbaiki atau diganti, dengan mengevaluasi dan memahami bagaimana bangunan merespons beban gempa.

Pendekatan ATC-40 sering digunakan dalam analisis *pushover* untuk bangunan yang sudah ada karena kepraktisan, kemudahan penggunaan, dan desainnya yang khusus untuk menilai kinerja bangunan yang sudah ada sebelumnya. ATC-40 lebih fokus pada peningkatan kinerja struktural, yang membuat proses penilaian dan perbaikan menjadi lebih cepat dan efisien. Metode ini juga mengutamakan desain berbasis kinerja, memudahkan identifikasi elemen-elemen struktur yang rentan, serta mengevaluasi kinerja bangunan terhadap berbagai intensitas guncangan gempa. Dibandingkan dengan FEMA 356, ATC-40 lebih mudah diterapkan pada bangunan yang sudah ada karena tidak memerlukan perhitungan rumit atau modifikasi besar pada model bangunan. Selain itu, ATC-40 memungkinkan identifikasi isu-isu utama dengan cepat, mengevaluasi status kinerja seismik bangunan, dan menawarkan proses yang realistis bagi insinyur dengan anggaran terbatas. Pendekatan ini juga telah diterima luas sesuai dengan peraturan seismik nasional dan internasional, menjadikannya pilihan yang tepat untuk analisis kinerja dan perkuatan struktur yang ada

Peran ATC-40 dalam analisis *pushover* mencakup beberapa aspek penting dalam mengevaluasi kinerja struktural bangunan terhadap beban gempa.

1. Pedoman analisis *pushover*: ATC-40 memberikan petunjuk rinci untuk melakukan analisis *pushover* pada bangunan.
2. Penilaian kapasitas struktural: ATC-40 menjelaskan proses standar untuk menilai kemampuan bangunan dalam menahan tekanan gempa. Pedoman ini memandu evaluasi berdasarkan kapasitas beban maksimum dan titik kegagalan pertama (yield) dalam analisis *pushover* yang melibatkan

pembebanan struktur secara bertahap dengan beban lateral hingga melebihi batas kapasitas.

3. Perhitungan kurva *pushover*: Pembuatan kurva *pushover* yang menggambarkan hubungan antara gaya lateral yang diberikan pada struktur dan perpindahan yang terjadi merupakan komponen penting dalam ATC-40. Kurva ini digunakan untuk menilai apakah sebuah bangunan dapat menahan gempa dengan tingkat kekuatan tertentu dan untuk memperkirakan reaksi struktur terhadap gempa.
4. Identifikasi titik kegagalan: ATC-40 menginstruksikan untuk menentukan titik kegagalan awal (*yield*) dan akhir struktur. Prosedur ini membantu dalam menilai apakah struktur dapat bertahan terhadap aktivitas seismik atau apakah diperlukan perubahan desain.
5. Efek pada elemen struktur tertentu: ATC-40 memudahkan untuk mengamati bagaimana komponen bangunan tertentu, seperti kolom, balok, dan sambungan, merespon tekanan lateral yang mana memungkinkan penilaian apakah elemen yang lebih lemah perlu diperkuat atau diperbaiki.
6. Evaluasi kinerja bangunan: Tujuan utama ATC-40 adalah untuk mengevaluasi seberapa baik bangunan beroperasi di bawah tekanan gempa. Untuk mengidentifikasi titik kekuatan (kapasitas) dan kekurangan struktur, ATC-40 menginstruksikan untuk melakukan analisis *pushover*, yang mana kemudian dapat digunakan untuk mendesain penguatan struktur.
7. Penentuan tingkat kerusakan: ATC-40 menilai tingkat kerusakan pada elemen struktur tertentu dengan memanfaatkan kurva permintaan dan kapasitas. Bangunan dapat dibagi menjadi beberapa tingkat kerusakan berdasarkan hasil analisis, mulai dari kerusakan sedang hingga kerusakan berat atau keruntuhan total.
8. Peningkatan dan perbaikan desain: Salah satu aplikasi utama ATC-40 adalah memberikan rekomendasi untuk peningkatan atau perbaikan bangunan. Perbaikan dan perubahan untuk memperkuat struktur dapat disarankan jika studi *pushover* menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak cukup kuat untuk menahan gaya gempa.

9. Penentuan tindakan mitigasi risiko seismik: ATC-40 digunakan untuk mengevaluasi risiko seismik bangunan dan mengidentifikasi strategi mitigasi yang sesuai. Hal ini dapat melibatkan penggunaan teknologi peredam getaran, penggunaan bahan bangunan yang lebih kuat, atau merancang komponen struktur yang lebih baik

Setyadi (2023) menjelaskan bahwa *Applied Technology Council* (ATC-40) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja bangunan saat terjadi gempa bumi. Tingkat kinerja ini ditentukan berdasarkan kerusakan yang dialami oleh bangunan, yang kemudian dikategorikan dalam batas-batas kondisi kerusakan yang diizinkan pada struktur. ATC-40 mengatur tingkat kinerja standar untuk elemen struktural dan non-struktural bangunan, serta tingkat kinerja regulernya. Kinerja bangunan secara keseluruhan terhadap gempa bumi digambarkan oleh kombinasi tingkat kinerja struktural dan non-struktural yang ada pada bangunan tersebut.

3.8.1 Batasan Deformasi (*Drift*) Metode ATC-44

Metode ATC-40 mengontrol batas deformasi atau *drift* untuk memverifikasi deformasi lateral pada titik kinerja. **Tabel 3.15** di bawah ini menunjukkan batasan deformasi pada berbagai tingkat kinerja berdasarkan ATC-40 (1996).

Tabel 3. 15 Deformation Limits

No.	***Interstory Drift Limit***	***Performance Level***			
		Immediate Occupancy	***Damage Control***	***Life Safety***	***Structural Stability***
1.	*Maximum Total Drift*	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 V_1/P_1
2.	*Maximum Inelastic Drift*	0,005	0,005 - 0,0015	No Limit	No Limit

Sumber: *Table 11-2 ATC-40* Volume I (1996)

Simpangan antar lantai pada perpindahan titik kinerja, atau nilai simpangan tertinggi di atap pada titik kinerja, dibagi dengan tinggi total bangunan hingga atap,

menghasilkan rasio simpangan total maksimum, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.15**. Rasio simpangan inelastis maksimum didefinisikan sebagai nilai maksimum perpindahan di atap pada titik kinerja dikurangi perpindahan pada pelelehan pertama, kemudian dibagi dengan tinggi total bangunan. Rasio ini menunjukkan proporsi dari total *drift* maksimum yang melebihi titik leleh efektif.

3.8.2 Level Kinerja Struktur Kriteria ATC-40

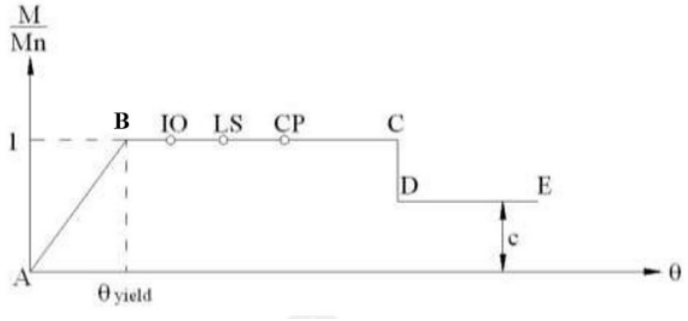
Tingkat kinerja menggambarkan beban gempa yang terjadi saat ini dan batas kerusakan struktur. Batasan kerusakan ini ditentukan oleh kerusakan fisik pada struktur dan potensi korban jiwa yang diakibatkan oleh kerusakan tersebut.

Tingkat kinerja struktur menggambarkan dengan jelas respons yang diharapkan pada struktur terhadap risiko gempa. Untuk memperkirakan keselamatan jiwa, kesiapan penggunaan atau penghuni, serta kerugian harta benda atau ekonomi, kinerja struktur memberikan informasi mengenai tingkat kerusakan maksimum dan daya tahan struktur. Hal ini menunjukkan bahwa struktur dapat menahan berbagai tingkat kerusakan dan kerugian yang disebabkan oleh kerusakan pada tingkat intensitas gempa tertentu.

Menurut ATC-40 (1996) menjelaskan bahwa kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. *Immediate Occupancy* (IO): Bangunan dapat bertahan saat gempa tanpa mengalami kerusakan struktural atau non-struktural, sehingga dapat segera dimanfaatkan.
2. Life Safety (LS): Bangunan dapat menahan gaya gempa dengan kerusakan struktur minimal, dan orang-orang yang berada di dalamnya terlindungi dari bahaya gempa.
3. Pencegahan Keruntuhan (CP): Meskipun mengalami kerusakan struktural yang signifikan, bangunan belum runtuh selama gempa bumi

Ilustrasi kurva kriteria kinerja dapat dilihat pada **Gambar 3.14** halaman berikutnya.



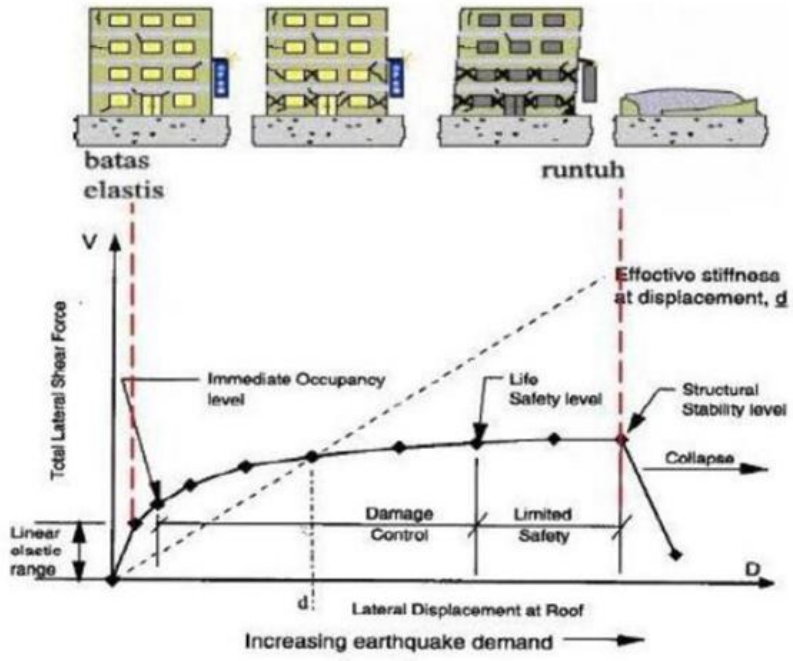
Gambar 3. 14 Kurva Kriteria Kinerja
(Sumber: Afandi 2010)

Komponen struktur berada dalam kondisi elastis (A-B). Kondisi leleh pertama ditunjukkan pada titik B, dan struktur memasuki kondisi plastis (B-C). Seismik maksimum struktur tercapai pada titik C. Struktur mengalami penurunan kekuatan (C-D). Titik D menunjukkan bahwa meskipun struktur masih dapat menahan tekanan gravitasi, ia tidak dapat bertahan terhadap gempa, dan akan runtuh jika beban bertambah. Adapun keterangan kurva kriteria kinerja dapat dilihat pada **Tabel 3.16** berikut.

Tabel 3. 16 Keterangan Kurva Kriteria Kinerja

No.	Kriteria Kinerja	Keterangan
1.	B	Menunjukkan batas linier yang diikuti oleh pelelehan awal pada struktur.
2.	IO	Struktur hanya mengalami sedikit atau bahkan tidak ada kerusakan, dengan kekakuan yang hampir sama seperti sebelum gempa.
3.	LS	Terdapat kerusakan sedang hingga ringan namun meskipun kekakuan struktur berkurang, ambang batas keruntuhannya tetap signifikan.
4.	CP	Struktur mengalami kerusakan parah, yang secara signifikan mengurangi kekuatan dan kekakuannya, sementara material yang jatuh dapat menyebabkan kecelakaan
5.	C	Gaya geser tertinggi yang dapat ditahan oleh struktu
6.	D	Kekuatan struktur telah menurun secara signifikan, menjadikannya tidak stabil dan terancam runtuh
7.	E	Bangunan tersebut runtuh karena tidak lagi mampu menahan tekanan geser.

Setyadi (2023) menjelaskan bahwa pendekatan ATC-40 (1996) mencakup beberapa tingkatan kinerja struktural yang menguraikan jumlah kerusakan maksimum yang dapat ditanggung oleh bangunan saat terjadi gempa bumi. Tingkatan kinerja ini mencakup kondisi batas yang meliputi kerusakan fisik pada bangunan, potensi risiko keselamatan penghuni, serta penanganan bangunan setelah gempa. Adapun rincian keruntuhan bangunan dan tingkat kinerja dapat dilihat pada **Gambar 3.15** berikut.



Gambar 3. 15 Ilustrasi Keruntuhan Gedung dan Level Kinerjanya
(Sumber: ATC-40 Volume I, 1996)

Tingkat kinerja struktur diwakili oleh simbol lingkaran (●) pada kurva kapasitas, seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 3.15**. Salah satu kejadian penting selama analisis gempa adalah tercapainya tingkat kinerja struktur, yang ditandai dengan pelelehan pertama pada salah satu komponen struktur dan kerusakan pada elemen struktur, seperti kegagalan geser kolom yang dapat menyebabkan keruntuhan total sistem.

Menurut ATC-40 (1966) menjelaskan bahwa konstruksi bangunan tahan gempa memiliki beberapa tingkat atau level kinerja yang diuraikan dalam **Tabel 3.17** halaman berikutnya.

Tabel 3. 17 Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

No.	*Building Performance Levels*						
	Nonstructural Performance Levels	***Structure Performance Levels***					
		SP-1 Immediate Occupancy	***SP-2 Damage Control***	***SP-3 Life Safety***	***SP-4 Limited Safety (Range)***	***SP-5 Structural Stability***	***SP-6 Not Considered***
1.	*NP-A Operational*	*1-A Operational*	*2-A*	*NR*	*NR*	*NR*	*NR*
2.	*NP-B Immediate Occupancy*	*1-B Immediate Occupancy*	*2-B*	*3-B*	*NR*	*NR*	*NR*
3.	*NP-C Life Safety*	*1-C*	*2-C*	*3-C Life Safety*	*4-C*	*5-C*	*6-C*
4.	*NP-D Hazard Reduced*	*NR*	*2-D*	*3-D*	*4-D*	*5-D*	*6-D*
5.	*NP-E Not Considered*	*NR*	*NR*	*3-E*	*4-E*	*5-E Structural Stability*	*Not Applicable*

Sumber: ATC-40 Volume I (1996)

Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur dapat dilihat pada **Tabel 3.18** berikut.

Tabel 3. 18 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa

No.	Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
1.	SP-1 *Immediate Occupancy (IO)*	Bangunan aman selama gempa, dengan sedikit kerusakan dan siap digunakan kembali segera karena sistem penahan gaya vertikal dan lateral tetap berfungsi seperti sebelum gempa.	Membangun bangunan yang penting untuk perekonomian nasional, penyimpanan bahan berbahaya, atau mekanisme penyelamatan, seperti fasilitas medis atau penyimpanan bahan bakar
2.	SP-2 *Damage Control (DC)*	Kategori ini merupakan transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3 yang menandakan bahwa kemungkinan korban jiwa relatif kecil karena bangunan masih mampu menahan gempa	Struktur bangunan bersejarah dan bangunan yang menyimpan barang berharga

Lanjutan Tabel 3.18 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa

No.	Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
3.	SP-3 *Life Safety (LS)*	Dalam kategori ini, bangunan mengalami kerusakan selama gempa bumi, namun tidak runtuh atau menyebabkan korban jiwa karena konstruksinya yang ulet, sehingga kemungkinan kematian sangat rendah. Setelah rehabilitasi pada elemen struktural dan non-struktural, bangunan dapat segera kembali beroperasi setelah gempa.	Ruang publik, tempat kerja, tempat tinggal, dan fasilitas penyimpanan, dan lain sebagainya.
4.	SP-4 *Limited Safety*	Ini adalah transisi antara SP-3 dan SP-4, yang tidak mempertimbangkan faktor ekonomi dalam perbaikan pasca gempa. Kondisi bangunan berada di antara tingkat keselamatan jiwa yang tidak efektif dan tingkat stabilitas struktural, di mana hanya sebagian kerusakan struktural kritis yang dapat dimitigasi	
5.	SP-5 *Structural Stability (SS)*	Kerusakan pasca gempa cukup parah, menyebabkan keruntuhan sebagian atau keseluruhan. Meskipun elemen penopang beban gravitasi masih berfungsi, struktur telah mengalami kerusakan signifikan, baik struktural maupun nonstruktural, dan tidak dapat lagi menopang gaya lateral.	

Lanjutan Tabel 3.18 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa

No.	Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
6.	SP-6 *Not Considered*	Kategori ini hanya untuk evaluasi seismik non-struktural atau perkuatan, karena struktur sudah runtuh dan tidak dapat digunakan lagi.	

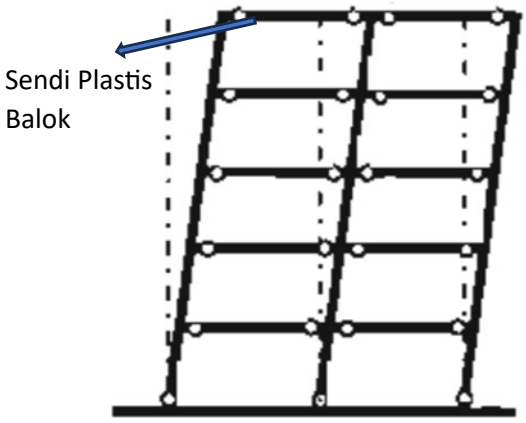
Sumber: BAB 3.2 ATC-40 Volume I (1996)

3.9 Mekanisme Keruntuhan

3.9.1 Mekanisme Keruntuhan Berdasarkan ATC-40

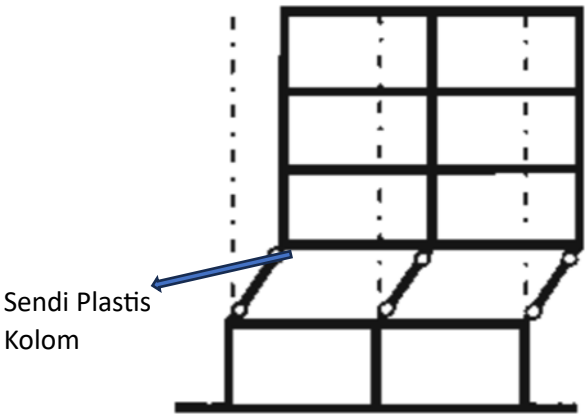
Berdasarkan ATC-40 (1966) dalam Setyadi (2023) menjelaskan bahwa terdapat dua mekanisme keruntuhan yang dapat terjadi dalam analisis statik, yaitu mekanisme goyangan balok (*beam sway mechanism*) dan mekanisme goyangan kolom (*column sway mechanism*). Adapaun untuk penjelasan lebih lanjut mengenai mekanisme tersebut ialah sebagai berikut.

1. Mekanisme goyangan balok (*beam sway mechanism*) terjadi ketika ujung-ujung elemen balok membentuk sendi plastis, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.16** berikut.



Gambar 3. 16 Mekanisme Keruntuhan Beam Sway Mechanism
(Sumber: ATC-40 Volume I *Figure* 9-4, 1996)

2. Mekanisme goyangan kolom (*column sway mechanism*) terjadi ketika ujung-ujung elemen kolom membentuk sendi plastis baik atas maupun bawah dari elemen struktur vertikal, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.17** berikut.



Gambar 3. 17 Mekanisme Keruntuhan Column Sway Mechanism
(Sumber: ATC-40 Volume I *Figure* 9-4, 1996)

Syahira (2020) menjelaskan bahwa mekanisme goyangan balok (*beam sway* mechanism) merupakan mekanisme keruntuhan yang diharapkan dalam perencanaannya karena beberapa alasan, antara lain:

1. Lebih banyak energi yang dilepaskan akibat banyaknya sendi plastis yang terbentuk di berbagai bagian mekanisme goyangan balok (*beam sway mechanism*).
2. Hanya sedikit elemen pada mekanisme goyangan kolom (*column sway mechanism*) yang mengalami transmisi energi, karena sendi plastis terbentuk hanya pada ujung-ujung kolom di satu lantai.
3. Dibandingkan dengan kolom, yang sering kali memiliki daktilitas terbatas akibat tegangan aksial tekan yang tinggi, balok biasanya memiliki persyaratan daktilitas kelengkungan yang lebih mudah dipenuhi.

3.9.2 Sendi Plastis (*Hinge*)

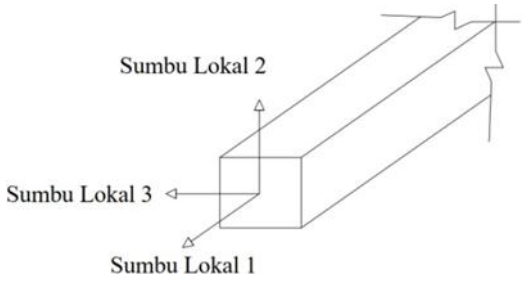
Marianda (2016) dalam Setyadi (2023) menjelaskan bahwa sendi plastis (*hinge*) akan terjadi pada balok dan kolom struktur bangunan ketika mencapai tingkat beban tertentu. Sendi plastis ini muncul akibat ketidakmampuan bagian struktur untuk menahan gaya dalam. Desain bangunan harus mengikuti prinsip

strong column weak beam yang menyatakan bahwa kolom harus didesain lebih kuat dari pada balok. Prinsip ini bertujuan untuk mencegah keruntuhan total pada struktur, di mana balok bukan kolom yang akan runtuh terlebih dahulu jika terjadi keruntuhan.

Menurut Setyadi (2023) menjelaskan bahwa cara untuk menentukan atau mendapatkan sendi plastis diantaranya :

1. *Hinge properties* balok

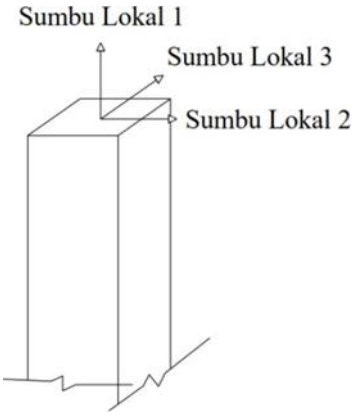
   Penampang melintang daerah tumpuan balok tempat di mana sambungan diperkirakan terjadi termasuk jenis sambungan yang digunakan pada balok dalam analisis *pushover*. Karena balok tersebut menggunakan sambungan tipe M3, maka balok tersebut dapat secara efisien menahan momen ke arah sumbu kuat (sumbu lokal-3). Adapun gambaran lokasi sumbu lokal pada balok struktur yang dapat dilihat pada **Gambar 3.18** berikut.



Gambar 3. 18 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur
(Sumber: Setyadi, 2023)

2. *Hinge* properties kolom

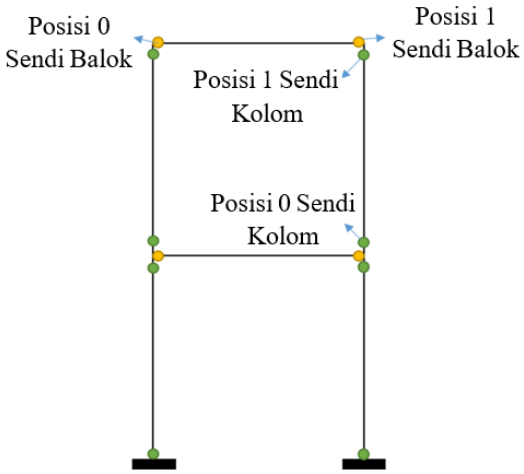
   Setiap kolom bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 dan momen lokal 3 dengan kapasitas momen yang sama, karena kolom yang digunakan dalam studi ini berbentuk bujur sangkar dan memiliki tulangan yang merata pada keempat sisinya. Berikut ini contoh posisi sumbu lokal pada kolom struktur dapat dilihat pada **Gambar 3.19** halaman berikutnya.



Gambar 3. 19 Posisi Sumbu Lokal Kolom Struktur
(Sumber: Setyadi, 2023)

3. Menentukan sendi plastis

Penempatan sendi plastis yang sesuai ditentukan setelah menentukan dan mendefinisikan data *hinge*s properties balok dan kolom ditetapkan. Ujung-ujung panjang bersih balok adalah tempat di mana sendi plastis berada dengan posisi awal ditunjukkan pada posisi 0 dan posisi akhir pada posisi 1. Sendi plastis kemudian diletakkan pada kolom di lokasi yang sama, yaitu di ujung-ujung panjang bersih kolom, dengan posisi awal pada posisi 0 dan posisi akhir pada posisi 1. Berikut ini pada **Gambar 3.20** menunjukkan lokasi peletakan sendi plastis secara lebih rinci.



Gambar 3. 20 Peletakan Sendi Plastis (Plastic Hinge) Pada Balok dan Kolom
(Sumber: Setyadi, 2023)

4. Skema sendi plastis

Hasil analisis *pushover* menunjukkan adanya sendi plastis pada suatu struktur. Elemen struktur yang dibebani beban statis akan mengalami pelelehan (sendi plastis) seiring waktu, hingga tidak mampu menahan gaya, yang akhirnya menyebabkan keruntuhan struktur.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini objek yang dianalisis ialah Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito. Gedung parkir ini terletak di Kalurahan Sinduadi, Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasinya tepat di sebelah barat Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada dan di sebelah selatan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Gedung parkir ini terdiri atas 1 ground floor, 5 lantai, dan 1 lantai atap dengan dimensi total panjang 56,7 m dan lebar 12,7 m. Terdapat dilatasi selebar 100 mm (10 cm) pada bagian tengah struktur yang memisahkan gedung menjadi dua massa bangunan terpisah, yaitu bangunan sisi kiri (As 1 sampai As 6) dengan panjang struktur 32,45 m serta bangunan sisi kanan (As 7 sampai As 11) dengan panjang struktur 24,15 m. Oleh karena adanya dilatasi tersebut, dalam pelaksanaannya, pemodelan, dan analisis struktur dilakukan secara terpisah meskipun secara fungsi tetap berada dalam satu kesatuan gedung parkir yang sama. Struktur bawah gedung menggunakan fondasi bored pile, sedangkan struktur atas menggunakan beton bertulang.

Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito ini berlokasi di Jl. Kesehatan, Jl. Kesehatan Sendowo No.1, Sendowo, Sinduadi, Sleman, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya berada bersebelahan dengan Masjid Asy-Syifaa RSUP Dr. Sardjito. Lokasi proyek dapat dilihat pada **Gambar 4.1** pada halaman berikutnya.



Gambar 4. 1 Lokasi Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. sardjito
(Sumber: *Google Maps*)

Adapun berdasarkan **Gambar 4.1** Lokasi detail Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. sardjito terletak pada batas-batas yaitu diantaranya dapat dilihat dibawah ini:

1. Batas utara : Gedung ICU Gatotkaca 4 & Diklat
2. Batas selatan : Gedung Farmasi
3. Batas timur : Pusat Jantung Terpadu RSUP Dr Sardito
4. Batas barat : Sungai Code

Desain Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. sardjito dapat dilihat pada **Gambar 4.2** dan **Gambar 4.3** pada halaman berikutnya.



Gambar 4. 2 Desain Rencana Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito Tampak Depan

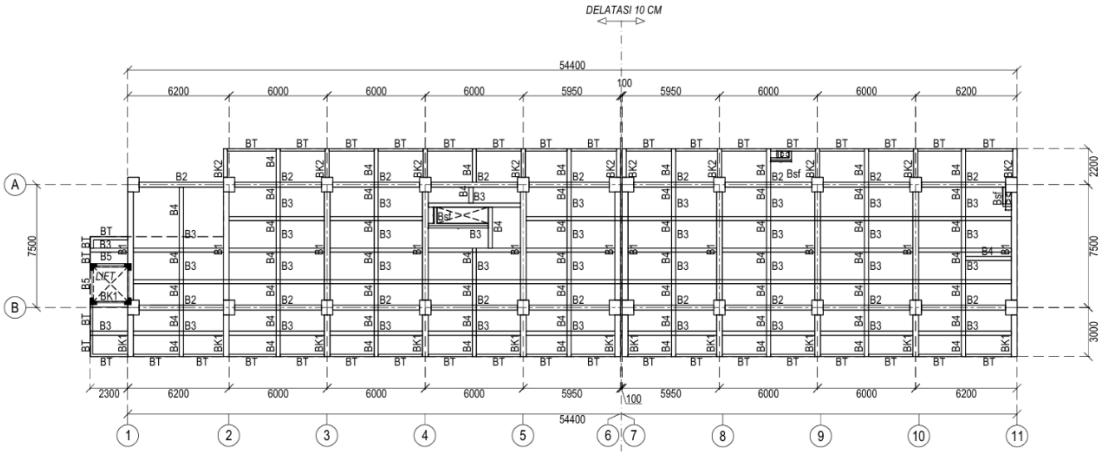
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)



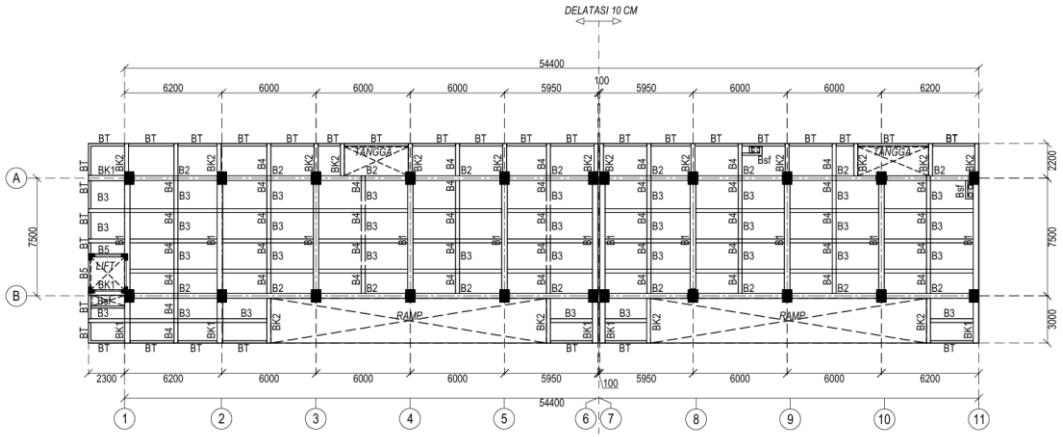
Gambar 4. 3 Desain Rencana Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito Tampak Samping

(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)

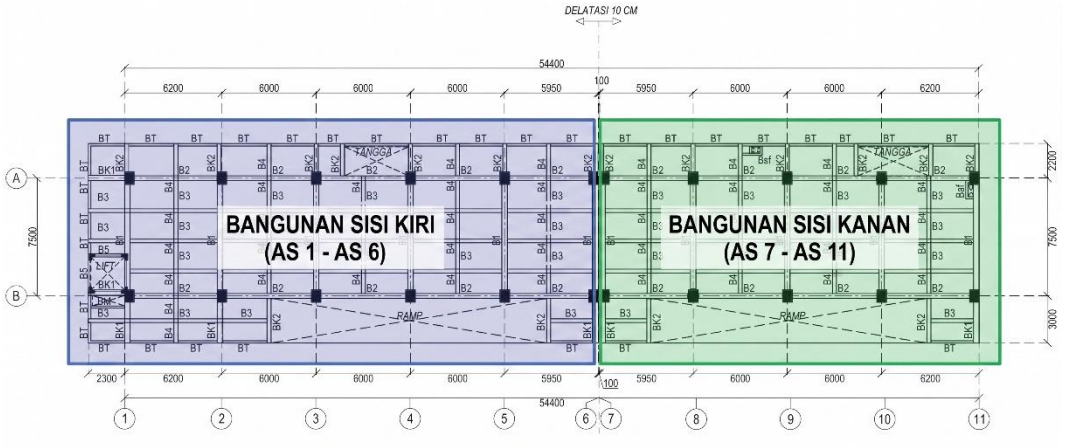
Adapun denah Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. sardjito dapat dilihat pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5** berikut, sedangkan untuk potongan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. sardjito dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7** berikut.



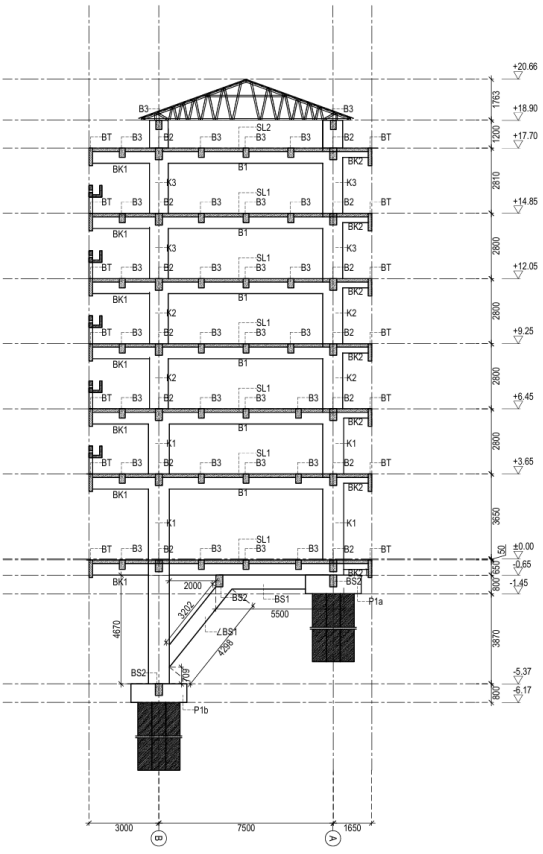
Gambar 4. 4 Denah Gedung Lantai Ground Floor
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)



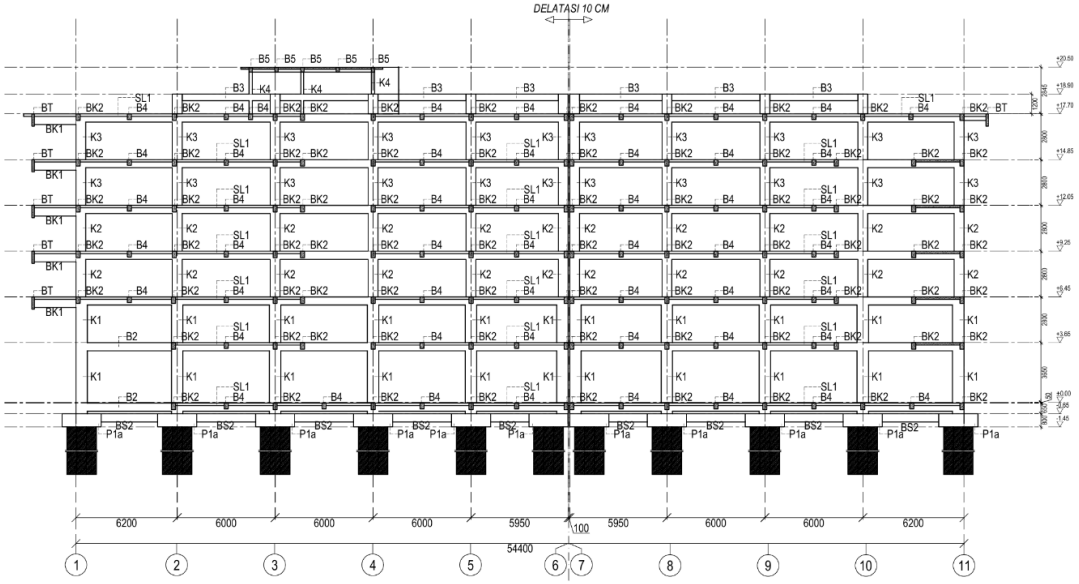
Gambar 4. 5 Denah Gedung Lantai 3
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)



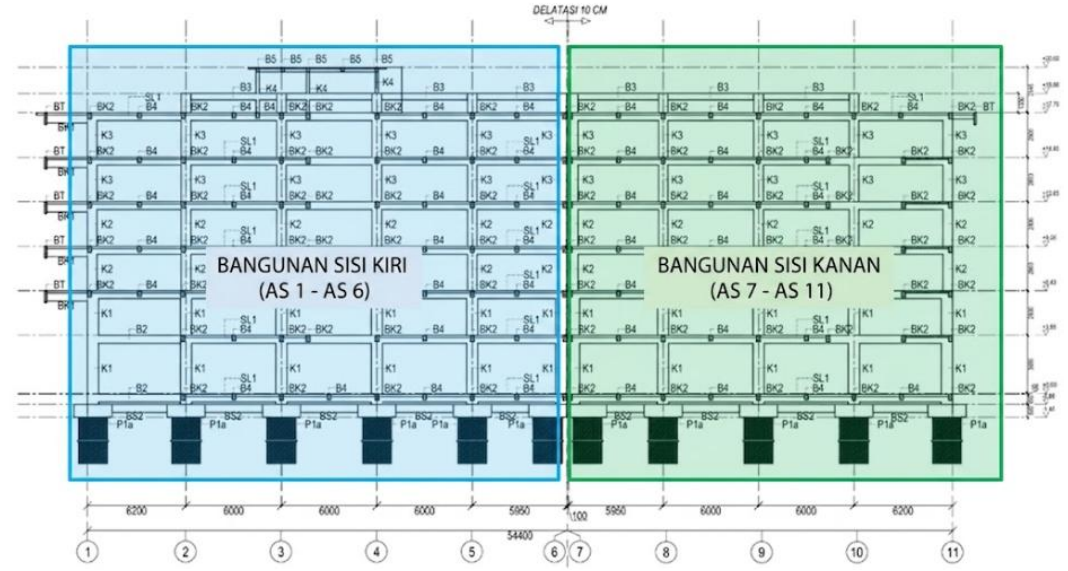
Gambar 4. 6 Denah Tinjauan Bagian Sisi Kiri dan Sisi Kanan Gedung
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)



Gambar 4. 7 Potongan Gedung Tampak Samping
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)



Gambar 4. 8 Potongan Gedung Tampak Depan
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)



Gambar 4. 9 Potongan Tampak Depan Bagian Sisi Kiri dan Sisi Kanan Gedung
(Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito)

4.2 Data Bangunan

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data *Shop Drawing* data tersebut didapat dari PT. Iyhamulik Bengkang Turan selaku kontraktor proyek.

Berikut adalah data *Shop Drawing* mengenai proyek Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito.

1. Nama Gedung : Proyek Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr Sardjito
2. Lokasi Gedung : Jalan. Kesehatan Sendowo No. 1, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
3. Jenis Bangunan : Bangunan Fasilitas Kesehatan
4. Pemilik Proyek : Kementerian Kesehatan
5. Jumlah Lantai : 1 *Ground Floor*, 6 Lantai
6. Tinggi Bangunan : ± 20,5 m
7. Struktur bangunan bagian atas atau *upper structure* pada proyek Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito di Yogyakarta adalah portal bertingkat dan kerangka struktur yang menggunakan konstruksi beton bertulang.
8. Spesifikasi Struktur
   a. Mutu Beton Struktur: fc' = K350
   b. Struktur atas f'c = 30 MPa
   c. Kolom f'c = 30 MPa
   d. Balok f'c = 30 MPa
   e. Mutu Beton Praktis: fc' = K175
   f. Mutu Besi: BJTD 420
9. Dimensi elemen struktur
   a. Kolom

      Berikut ini adalah dimensi tiap tipe kolom dari bangunan gedung yang disajikan pada **Tabel 4.1** pada halaman berikutnya.

Tabel 4. 1 Dimensi dan Tipe Kolom

No.	Lantai	Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Jumlah Tulangan
1.	Ground Floor	K1	700 × 900	24 D25
2.	Lantai 1	K1	700 × 900	24 D25
3.	Lantai 2	K2	600 × 800	20 D25
4.	Lantai 3	K2	600 × 800	20 D25
5.	Lantai 4	K3	600 × 800	20 D25
6.	Lantai 5	K3	600 × 800	20 D25
7.	Lantai 6	K3	600 × 800	20 D25
8.	Lantai Atap	K4	200 × 200	4 D13

Sumber: DED Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito

b. Balok

Berikut dimensi tiap balok sesuai tipe dapat dilihat pada **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4. 2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Letak Tulangan	Jumlah Tulangan	Letak Tulangan	Jumlah Tulangan
1.	Lantai GF	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
2.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
3.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
4.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
5.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
6.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13
				Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
7.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-

Lanjutan Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Letak Tulangan	Jumlah Tulangan	Letak Tulangan	Jumlah Tulangan
	Lantai GF			Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
8.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
9.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
10.	Lantai 1	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
11.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
12.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
13.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
14.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
15.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13
				Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
16.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-
				Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
17.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
18.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
19.	Lantai 2	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
20.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13

Lanjutan Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Letak Tulangan	Jumlah Tulangan	Letak Tulangan	Jumlah Tulangan
	Lantai 2			Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
21.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
22.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
23.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
24.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13
				Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
25.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-
				Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
26.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
27.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
28.	Lantai 3	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
29.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
30.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
31.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
32.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
33.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13

Lanjutan Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Letak Tulangan	Jumlah Tulangan	Letak Tulangan	Jumlah Tulangan
	Lantai 3			Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
34.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-
				Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
35.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
36.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
37.	Lantai 4	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
38.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
39.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
40.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
41.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
42.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13
				Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
43.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-
				Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
44.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
45.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
46.	Lantai 5	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13

Lanjutan Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Letak Tulangan	Jumlah Tulangan	Letak Tulangan	Jumlah Tulangan
	Lantai 5			Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
47.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
48.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
49.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
50.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
51.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13
				Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
52.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-
				Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
53.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
54.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
55.	Lantai Atap	B1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	8 D22
56.		B2	300 × 500	Atas	6 D22	Atas	4 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	6 D22
57.		B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22
58.		B4	250 × 350	Atas	3 D19	Atas	2 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D19	Bawah	3 D19
59.		B5	200 × 300	Atas	3 D16	Atas	3 D16
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13

Lanjutan Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Letak Tulangan	Jumlah Tulangan	Letak Tulangan	Jumlah Tulangan
	Lantai Atap			Bawah	3 D16	Bawah	3 D16
60.		BT	150 × 750	Atas	2 D16	Atas	2 D16
				Tengah	6 D13	Tengah	6 D13
				Bawah	2 D16	Bawah	2 D16
61.		Bshaft	150 × 300	Atas	2 S13	Atas	2 S13
				Tengah	-	Tengah	-
				Bawah	2 S13	Bawah	2 S13
62.		BK1	350 × 650	Atas	8 D22	Atas	8 D22
				Tengah	4 D13	Tengah	4 D13
				Bawah	4 D22	Bawah	4 D22
63.		BK2	250 × 400	Atas	5 D19	Atas	5 D19
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	3 D19	Bawah	3 D19
64.	Lantai Tumpu Rangka Atap	B3	250 × 400	Atas	4 D22	Atas	2 D22
				Tengah	2 D13	Tengah	2 D13
				Bawah	2 D22	Bawah	4 D22

Sumber: Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito

c. Pelat

Berikut dimensi tiap pelat sesuai DED dapat dilihat pada **Tabel 4.3** berikut.

Tabel 4. 3 Tebal dan Tipe Pelat

No.	Lantai	Tipe Pelat	Tebal (mm)
1.	Lantai Ground Floor	SL 1	140
2.	Lantai 1	SL 1	140
3.	Lantai 2	SL 1	140
4.	Lantai 3	SL 1	140
5.	Lantai 4	SL 1	140
6.	Lantai 5	SL 1	140
7.	Lantai 6	SL 2	130
8.		SL 3	150

Sumber: Pembangunan Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito

10. Data penyelidikan tanah

Berikut data hasil pengujian penelitian tanah pada Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito berdasarkan hasil (Thoriq Maulana et al., 2015) diantaranya :

a. Hasil pengujian dengan alat sondir

Hasil pengujian dengan alat sondir dapat dilihat pada **Tabel 4.4** berikut dan **Tabel 4.5** pada berikut.

Tabel 4. 4 Rincian Hasil Pengujian Sondir

No.	No. Titik	Kedalaman (m)	Konsistensi
1.	S. 01 SJT	0,00 – 0,60	Sangat lepas
2.		0,60 – 2,20	Lepas
3.		2,20 – 3,60	Sedang
4.		3,60 – 4,20	Padat
5.		> 4,20	Sangat Padat
6.	S. 02 SJT	0,00 – 0,80	Sangat lepas
7.		0,80 – 1,40	Lepas
8.		1,40 – 2,60	Sedang
9.		2,60 – 3,60	Padat
10.		> 3,60	Sangat Padat
11.	S. 03 SJT	0,00 – 0,40	Sangat lepas
12.		0,40 – 1,00	Lepas
13.		1,00 – 3,00	Sedang
14.		3,00 – 6,00	Padat
15.		> 6,00	Sangat Padat

Sumber: Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Laboratorium Mekanika Tanah

Tabel 4. 5 Rekap Hasil Pengujian hasil pengujian sondir

No.	No. Titik	Kedalaman (m)	Perlawanan Konus (kg/cm2)	Jumlah Hambatan Lekat (kg/cm)
1.	S. 01 SJT	4,20	200	740
2.	S. 02 SJT	3,60	200	568
3.	S. 03 SJT	6,00	205	1080

Sumber: Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Laboratorium Mekanika Tanah

b. Hasil pengujian tanah dengan bor mesin

Tabel Rangkuman Hasil Uji Lapanagan SPT (Standard Penetration Test) dapat dilihat pada **Tabel 4.6** halaman berikutnya.

Tabel 4. 6 Rangkuman Hasil Uji Lapanagan SPT (Standard Penetration Test)

No.	No. Titik	Kedalaman (m)	SPT (Standard Penetration Test)			
			N1	N2	N3	N/30 cm
1.	BM 01 SJT	2,00	6	6	4	10
2.		4,00	6	10	>50	>50
3.		6,00	2	9	14	23
4.		8,00	7	8	6	14
5.		10,00	>50	-	-	>50
6.		12,00	16	>50	-	>50
7.		14,00	3	8	16	24
8.		16,00	>50	-	-	>50
9.		18,00	>50	-	-	>50
10		20,00	9	16	28	44
11.		22,00	7	19	35	54
12.		24,00	4	13	26	39
13.		26,00	11	14	27	41
14.		28,00	8	12	29	41
15.		30,00	4	24	26	50
16.	BM 02 SJT	2,00	10	14	15	29
17.		4,00	2	2	14	16
18.		6,00	4	5	5	10
19.		8,00	7	12	17	27
20.		10,00	5	8	11	19
21.		12,00	11	17	18	35
22.		14,00	5	8	12	10
23.		16,00	14	>50	-	>50
24.		18,00	9	>50	-	>50
25.		20,00	2	2	3	5
26.		22,00	4	6	13	19
27.		24,00	>50	>50	-	>50
28.		26,00	13	>50	-	>50
29.		28,00	6	31	>50	>50
30.		30,00	4	>50	-	>50

Sumber: Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Laboratorium Mekanika Tanah

c. Kesimpulan hasil data penyelidikan tanah

Kesimpulan hasil data penyelidikan tanah yang diperoleh berdasarkan temuan pengujian laboratorium dan penelitian tanah di lapangan adalah sebagai berikut:

1) Lapisan tanah keras ditemukan pada kedalaman 4,20 m (S.01 SJT), 3,60 m (S.02 SJT), dan 6,00 m (S.03 SJT) dengan nilai pengujian sondir qc = 200 kg/cm².
2) Titik pemboran inti (BH 01 SJT) menunjukkan nilai N-SPT >50 pada kedalaman 16,00 m.
3) Pada kedalaman yang sama, 16,00 m titik pemboran inti lainnya (BH 02 SJT) juga menunjukkan nilai N-SPT >50.

4.3 Program yang Digunakan

Untuk memfasilitasi pemecahan masalah dalam penelitian ini, digunakan beberapa program yang mendukung proses penelitian, yaitu:

1. ETABS digunakan untuk analisis dan pemodelan struktur bangunan
2. Microsoft Excel digunakan untuk menghitung dan menganalisis data output yang dikumpulkan oleh ETABS;
3. AutoCAD digunakan untuk membuka file gambar kerja bangunan (*shop drawing*)

4.4 Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan penelitian dan bagan alir pada **Gambar 4.8** yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini :

1. Studi literatur

   Selama tahap studi literatur informasi dikumpulkan dari berbagai sumber dan semua aspek analisis *pushover* nonlinier ditelaah. Sumber-sumber yang digunakan meliputi jurnal, tugas akhir, dan buku-buku mengenai analisis statik *pushover* non-linier. Beberapa referensi yang digunakan diantaranya seperti SNI-1726-2019 yang menjadi dasar prosedur perencanaan ketahanan gempa, SNI 03-1727-1989 yang menjadi dasar mengenai Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung, serta *Applied Technology Council for Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume-1* (ATC-40) yang digunakan untuk menentukan dan menjelaskan cara menilai kinerja bangunan saat terjadi gempa.

2. Pengumpulan informasi data

Data penyelidikan tanah dari hasil pengujian dengan menggunakan alat sondir dan bor inti serta data shop drawing digunakan dalam pelaksanaan tugas akhir ini. Perangkat lunak ETABS akan digunakan untuk memodelkan bangunan secara tiga dimensi (3D) menggunakan data tersebut yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut.

Untuk memastikan bahwa analisis ini sesuai dengan desain saat ini, gambar kerja (*shop drawing*) digunakan dalam langkah-langkah pemodelan 3D. Karena bangunan non-struktural memiliki sedikit pengaruh dalam pemodelan 3D ini, maka elemen tersebut tidak dimodelkan, semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan gambar kerja. Dalam analisis bangunan tahan gempa, tujuan penelitian tanah menggunakan alat sondir dan bor inti adalah untuk mengumpulkan data yang akurat mengenai kondisi dan sifat-sifat tanah di lokasi konstruksi. Data ini akan digunakan untuk mengidentifikasi kelas situs dan melakukan analisis lebih lanjut

3. Pemodelan 3D

Aplikasi ETABS digunakan untuk memodelkan bangunan 3D, dengan fokus pada elemen-elemen struktur seperti balok, pelat, dan kolom.

4. Perhitungan pembebanan

Software Microsoft Excel digunakan untuk menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang kemudian beban-beban tersebut dimasukkan ke dalam pemodelan pada software ETABS satu per satu untuk dilakukan analisis lebih lanjut.

5. Analisis beban gempa

Analisis beban gempa dilakukan sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1, di mana gaya gempa harus dikalikan dengan rasio Vstatis/Vdinamik jika kombinasi respons untuk gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis ragam (Vdinamik) kurang dari 100% dari gaya geser (Vstatis) yang ditentukan dengan metode statik ekuivalen.

6. Pendefinisian sendi plastis (*hinges*) pada kolom dan balok

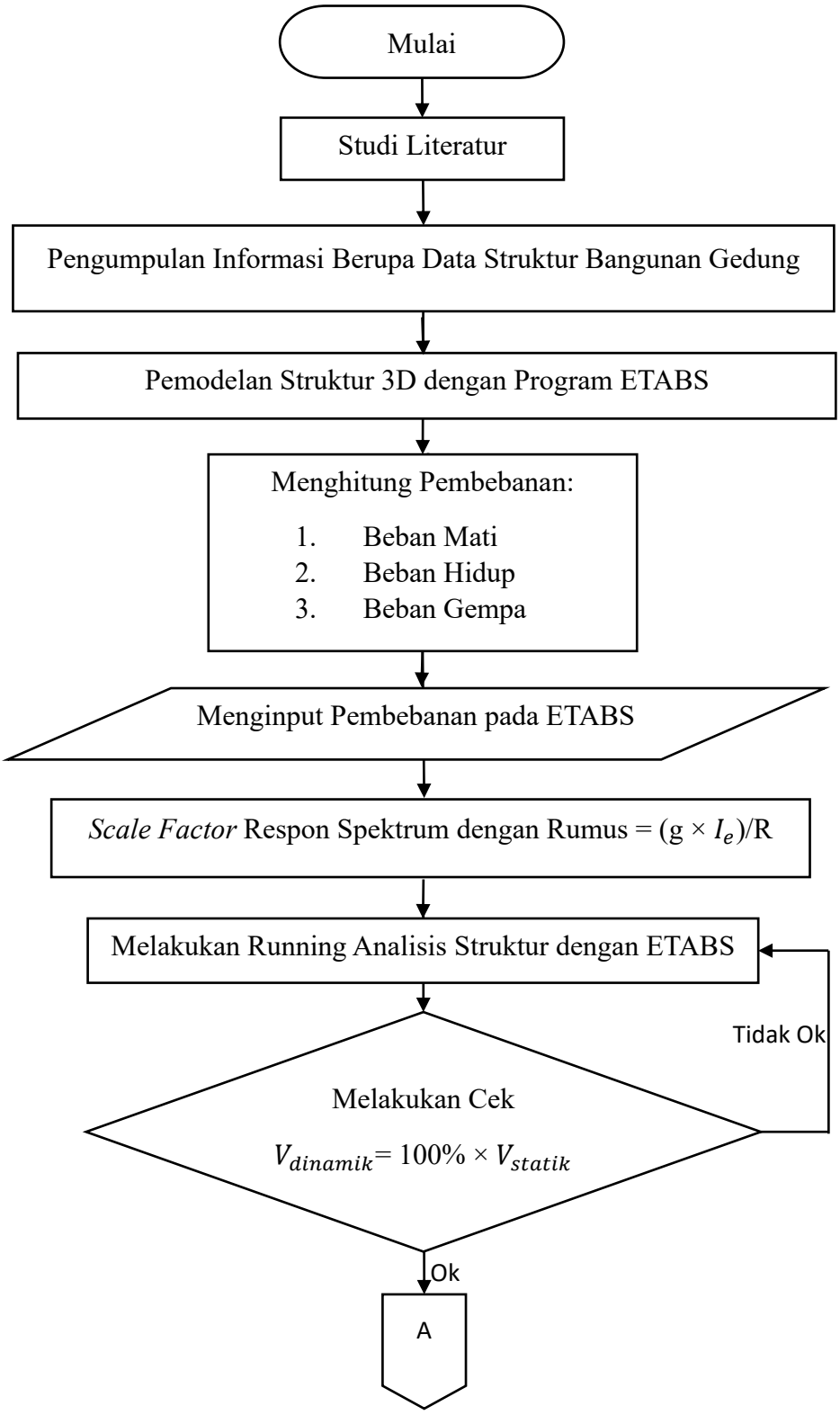
Langkah selanjutnya adalah menentukan sendi plastis (*hinge*) pada balok dan kolom setelah memodelkan dan memasukkan beban ke dalam program ETABS. Sendi plastis (*hinges*) ditempatkan pada ujung-ujung balok dan kolom, yang merupakan titik-titik di mana deformasi plastis dapat terjadi.

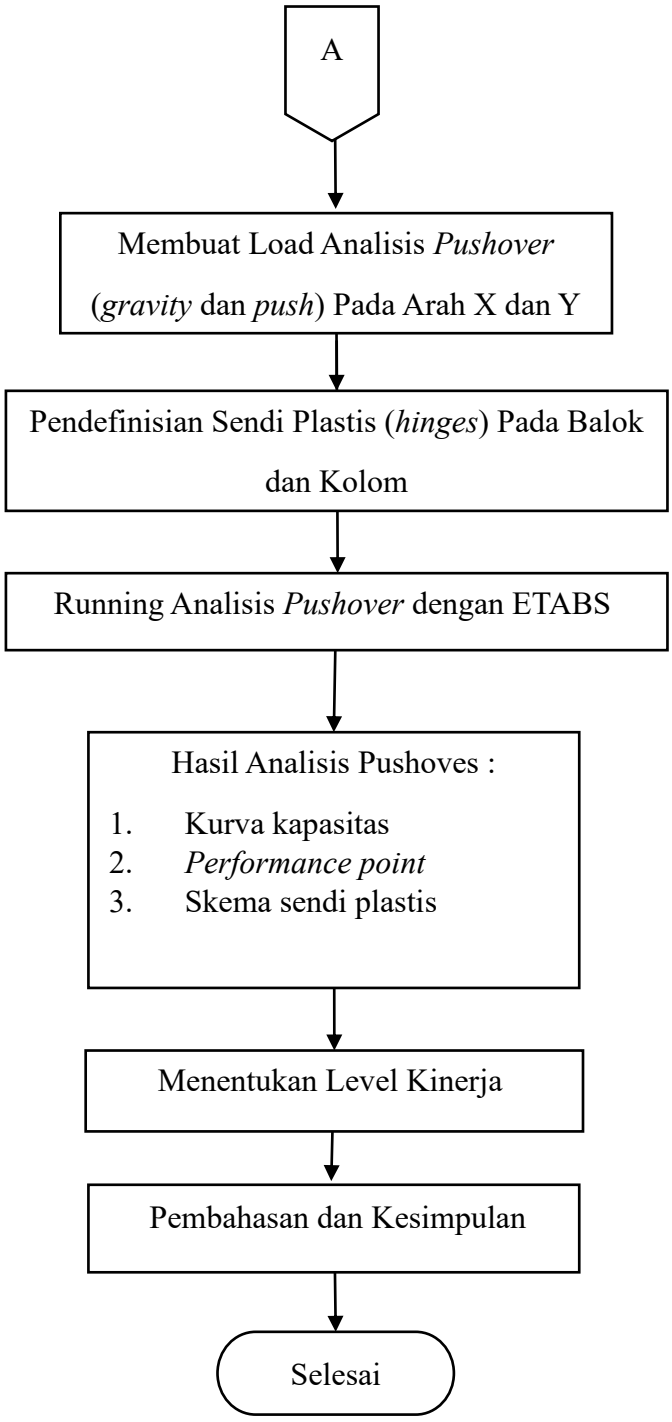
7. Analisis statik *pushover*

Applied Technology Council for Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume-1 (ATC-40) berfungsi sebagai dasar untuk analisis statik *pushover* yang dilakukan menggunakan program ETABS. Hasil dari analisis *pushover* statis meliputi data nilai *drift* (deformasi), perpindahan (*displacement*), dan kurva kapasitas. Berdasarkan nilai hasil analisis tersebut tingkat kinerja bangunan dan titik kinerja dapat ditentukan.

8. Membuat Kesimpulan

Pada tahap ini kesimpulan diambil berdasarkan penelitian hasil analisis yang telah dilakukan.


Mulai
Studi Literatur
Pengumpulan Informasi Berupa Data Struktur Bangunan Gedung
Pemodelan Struktur 3D dengan Program ETABS
Menghitung Pembebanan:
1. Beban Mati
2. Beban Hidup
3. Beban Gempa
Menginput Pembebanan pada ETABS
Scale Factor Respon Spektrum dengan Rumus = (g × I_e)/R
Melakukan Running Analisis Struktur dengan ETABS
Tidak Ok
Melakukan Cek
$V_{dinamik}$= 100% × V_{statik}
Ok
A



Gambar 4.10 Bagan Alir Tahapan Penelitian

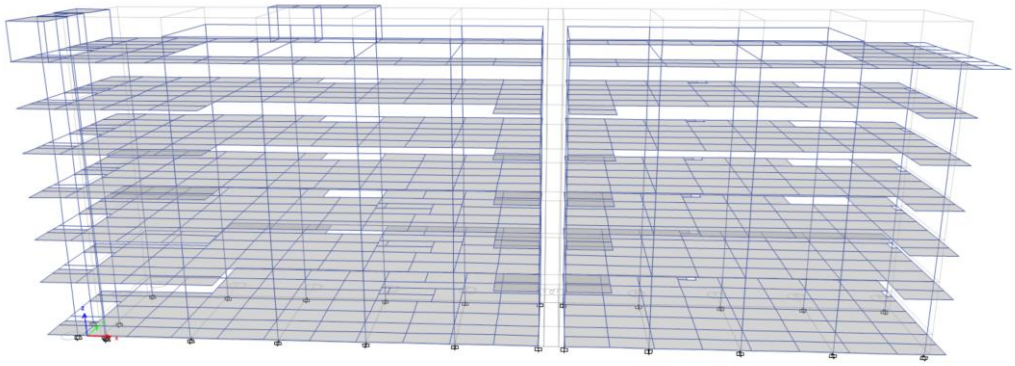
BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemodelan Struktur

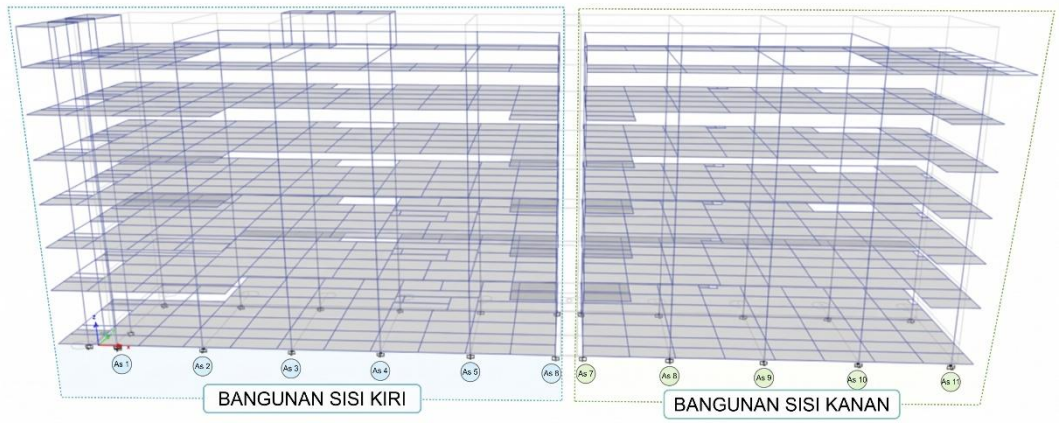
Pemodelan dan analisis struktur pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS v22 dengan menerapkan sistem struktur portal beton bertulang untuk elemen balok, kolom, dan pelat. Secara geometris, gedung memiliki dimensi total panjang 56,7 m dan lebar 12,7 m yang terdiri atas ground floor, lima lantai tingkat (Lantai 1 hingga Lantai 5), serta lantai atap. Pada bagian tengah bangunan terdapat dilatasi selebar 100 mm (10 cm) yang memisahkan massa gedung menjadi dua bagian terpisah, yaitu bangunan sisi kiri (As 1 - As 6) sepanjang 32,45 m dan bangunan sisi kanan (As 7 - As 11) sepanjang 24,15 m. Adanya dilatasi tersebut menyebabkan proses pemodelan struktural dan analisis pada ETABS v22 dijalankan secara terpisah untuk masing-masing blok massa bangunan, meskipun secara fungsi operasional keduanya merupakan satu kesatuan fasilitas gedung parkir yang sama.

Elemen yang dimodelkan dan dianalisis penulangannya mencakup struktur portal serta pelat beton bertulang, baik untuk komponen utama (ground floor, lantai 1 - lantai 5, lantai atap, dan balok penahan rangka atap) maupun struktur sekunder (dak tangga dan ruang mesin). Sementara itu, elemen non-struktural dan struktural tertentu tidak dimodelkan secara geometri penuh melainkan dikonversikan sebagai beban pengganti ke dalam sistem struktur portal. Beban dari tangga, ramp, dan lift diinputkan sebagai beban titik (*point load*) pada titik tumpuan terkait. Dinding serta atap eksisting yang diasumsikan berbentuk pelana juga tidak dimodelkan secara fisik, melainkan diperhitungkan beban setaranya dan diinputkan sebagai beban merata (*distributed load*) pada balok-balok penumpunya.

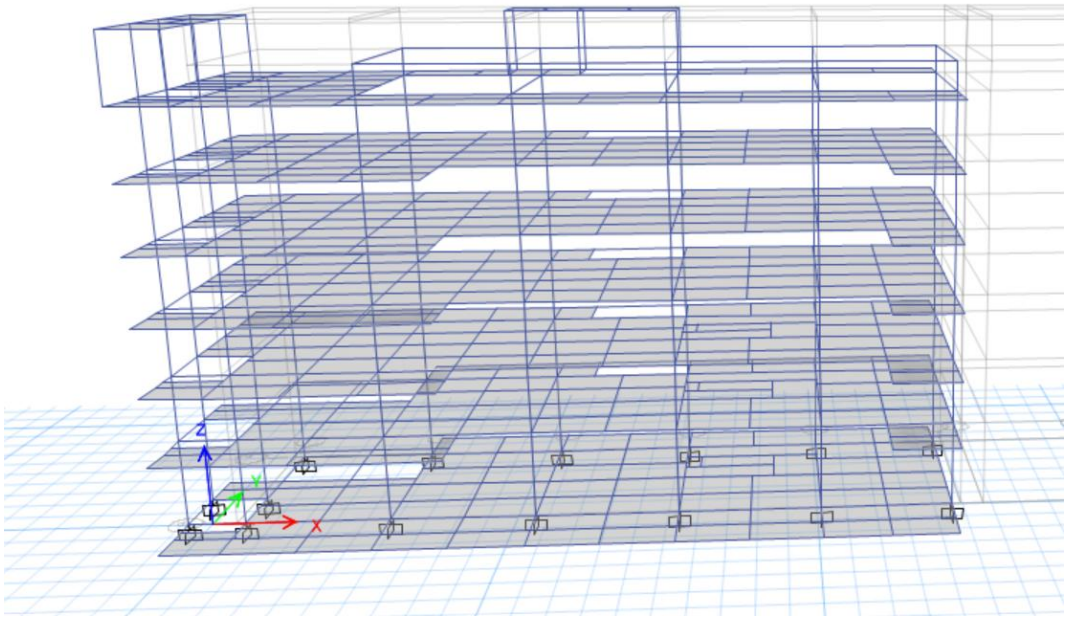
Adapun pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito dapat dilihat pada **Gambar 5.1** sampai **Gambar 5.4** halaman berikutnya.



Gambar 5. 1 Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor
Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22

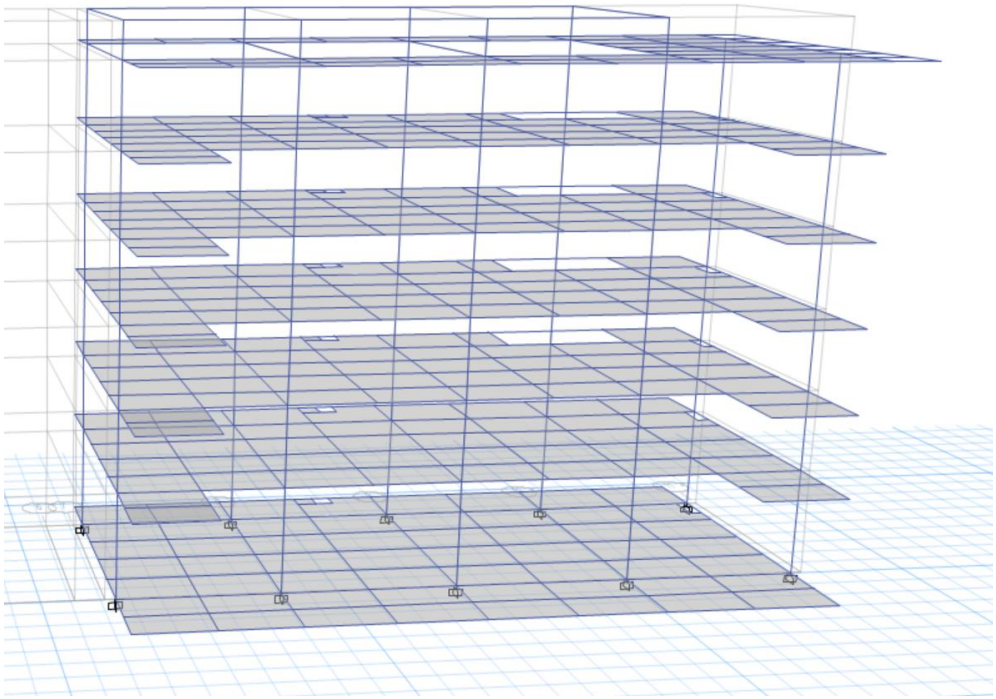


Gambar 5. 2 Tinjauan Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor Bangunan Sisi Kiri dan Sisi Kanan
Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22



Gambar 5. 3 Tinjauan Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor Bangunan Sisi Kiri

Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22



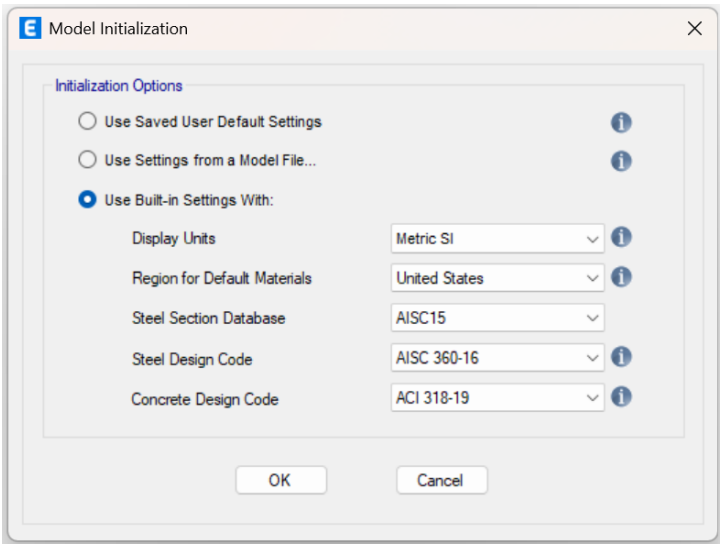
Gambar 5. 4 Tinjauan Pemodelan 3D Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor Bangunan Sisi Kanan

Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22

5.1.1 Mendefinisikan Dan Memodelkan Grid

Pada tahap awal untuk membuat desain yaitu pertama dengan membuat *Grid* terlebih dahulu. *Grid* atau *As* merupakan garis bantu acuan yang digunakan untuk menentukan posisi elemen struktural secara presisi dalam memodelkan bangunan struktur serta membantu dalam menyelaraskan model analisis struktur dengan gambar rancangan desain atau DED sehingga menyediakan titik acuan yang tepat dalam meng-apply dan menentukan posisi kolom, balok, pelat, dan komponen struktural lainnya.

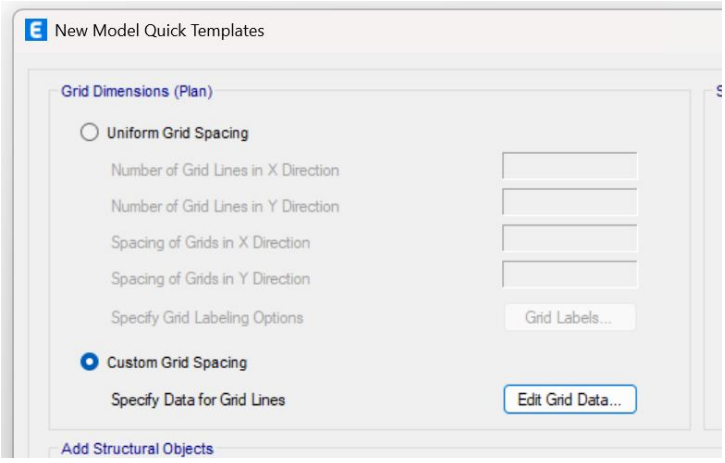
Adapun tahapan untuk membuat grid pada desain bangunan ini ialah diantaranya sebagai berikut. Buka software ETABS - *File - New Model* – pada tampilan *Model Initialization* pilih *Use Built-in Settings With* – pada *Use Built-in Settings With isi Display Units* dengan *Metric SI, Region for Default Materials* isi *United States*, pada *Steel Section Database* isi *AISC15*, pada *Steel Design Code* isi *AISC 360-16*, pada *Concrete Design Code* pilih *ACI 318-19* – Ok. Adapun untuk tampilan *model initialization* dapat dilihat pada **Gambar 5.5** sebagai berikut.



Gambar 5. 5 Tampilan *Model Initalization*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

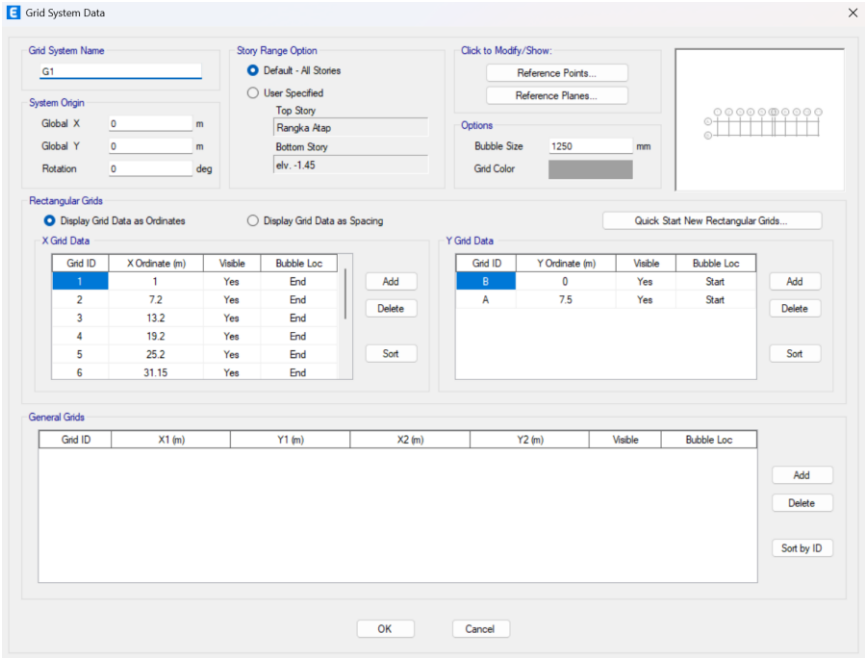
Setelah mengisi *Model Initialization* maka akan muncul tampilan *New Model Quick Templates* – pada *Grid Dimensions (Plan)* pilih *Custom Grid Spacing*

kemudian *Edit Grid Data*. Adapun untuk tampilan *New Model Quick Templates* dapat dilihat pada **Gambar 5.6** berikut.



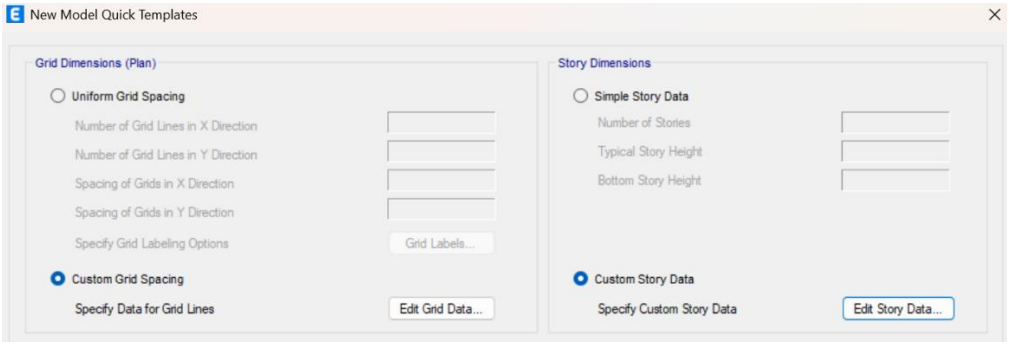
Gambar 5. 6 Tampilan *New Model Quick Templates*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Kemudian akan muncul tampilan *Grid System Data* – pada *Rectangular Grids* pilih *Display Grid Data as Spacing* – kemudian isi pada *X Grid Data* dan *Y Grid Data* sesuai desain denah pada *DED* – Ok. Adapun untuk tampilan *Grid System Data* dapat dilihat pada **Gambar 5.7** berikut.



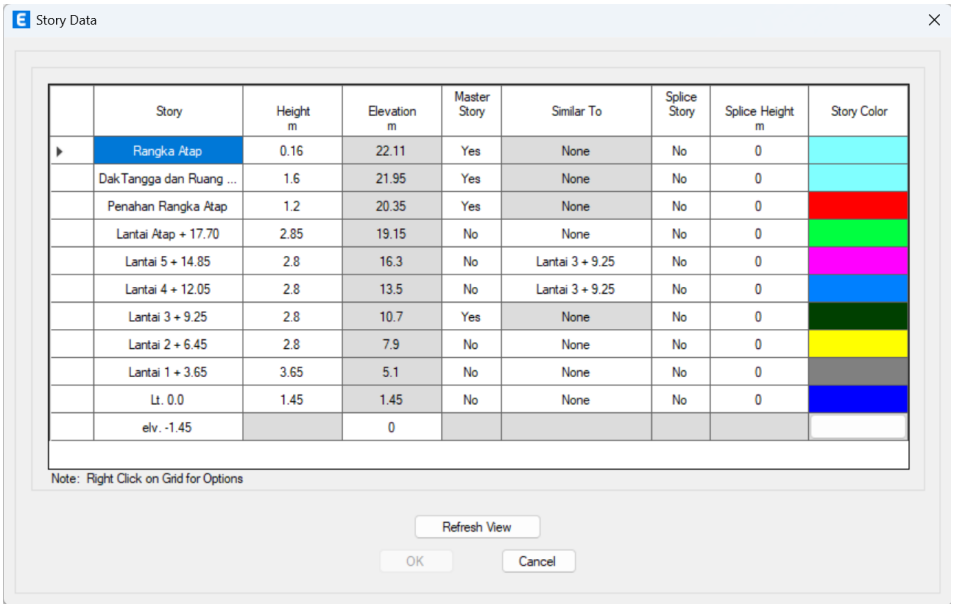
Gambar 5. 7 Tampilan *Grid System Data*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Kembali pada tampilan *New Model Quick Templates* – pada *Story Dimension* pilih *Custom Story Data – Edit Story Data*. Adapun memilih *Custom Story Data* pada tampilan *New Model Quick Templates* dapat dilihat pada **Gambar 5.8** berikut.



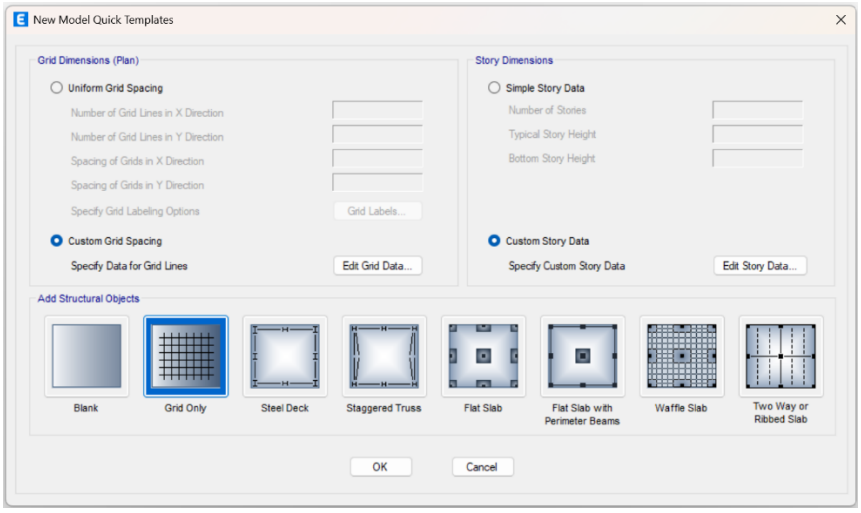
Gambar 5. 8 Tampilan *New Model Quick Templates*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Story Data* akan muncul keterangan *Story* atau tingkat, kemudian *Height, Elevation*, dan lain-lain – kemudian isi data tersebut sesuai pada gambar desain *DED* – Ok. Untuk tampilan *Story Data* dapat dilihat pada **Gambar 5.9** berikut.



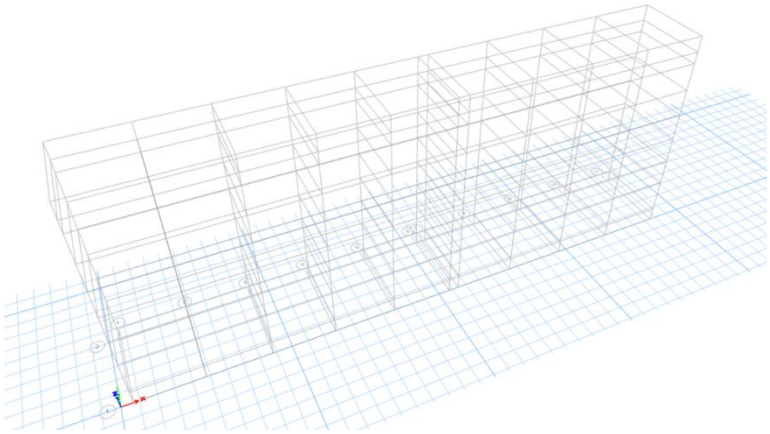
Gambar 5. 9 Tampilan *Story Data*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Kembali pada tampilan *New Model Quick Templates*, pada *Add Structural Objects* pilih *Grid Only* – Ok. Adapun untuk memilih *Grid Only* pada tampilan *New Model Quick Templates* dapat dilihat pada **Gambar 5.10** berikut.

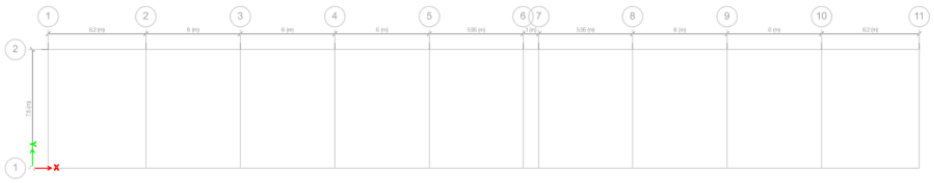


Gambar 5. 10 Tampilan *New Model Quick Templates*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Setelah langkah terakhir *click Grid Only*, maka *grid* sudah jadi sesuai pada gambar eksisting yang terdapat pada DED. Adapun untuk tampilan pemodelan Grid dapat dilihat pada **Gambar 5.11** berikut untuk pemodelan tampak 3D nya dan **Gambar 5.12** untuk pemodelan grid tampak 2D nya dapat dilihat pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 11 Pemodelan Grid Tampak 3D
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 12 Pemodelan Grid Tampak 2D
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

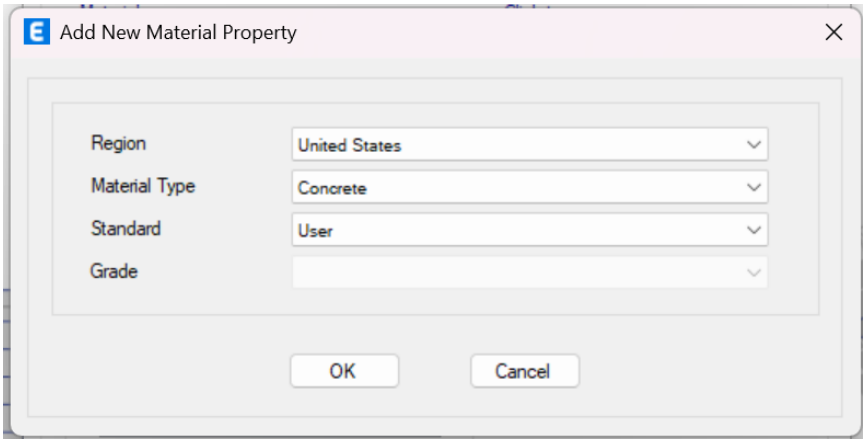
5.1.2 Mendefinisikan Material yang Akan Digunakan

Sebelum memasuki tahapan mendefinisikan penampang kolom, maka harus dilakukan pendefinisian material terlebih dahulu dengan bertujuan untuk memastikan bahwa model struktur dapat menganalisis dan merancang dengan akurat berdasarkan karakteristik material yang digunakan dalam konstruksi.

1. Mendefinisikan material beton yang akan digunakan

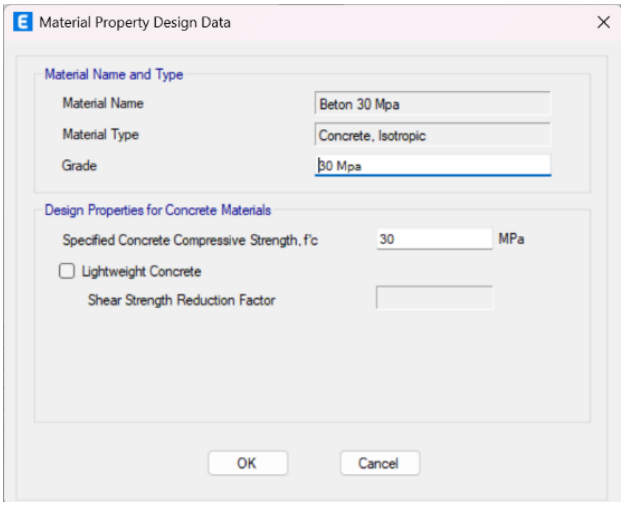
   Definisi material beton dalam ETABS dirancang untuk menyediakan informasi yang tepat mengenai sifat-sifat beton (seperti kekuatan, modulus elastisitas, dan berat jenis) untuk memungkinkan ETABS melakukan analisis dan desain struktural yang lebih akurat sesuai dengan standar yang berlaku. Desain elemen struktural berbasis beton (seperti balok, pelat, dan kolom) serta analisis perilaku struktural di bawah beban akan dipengaruhi oleh definisi material beton ini. ETABS menghitung kekuatan, kekakuan, dan perilaku struktural menggunakan data dari material beton. Kapasitas struktural, di mana data material beton yang akurat menentukan kemampuan struktur untuk menahan beban.

   Adapun langkah untuk mendefinisikan material beton yang akan digunakan ialah dengan meng-*klik Define – Material properties* – pada tampilan *Define Material* pilih *Add New Material property* – pada *Region* pilih *United State*s – *Material Type* pilih *Concrete* – pada *Standa*r pilih *User* – Ok. Adapun untuk tampilan *Add New Material property* pada beton dapat dilihat pada **Gambar 5.13** halaman berikutnya.

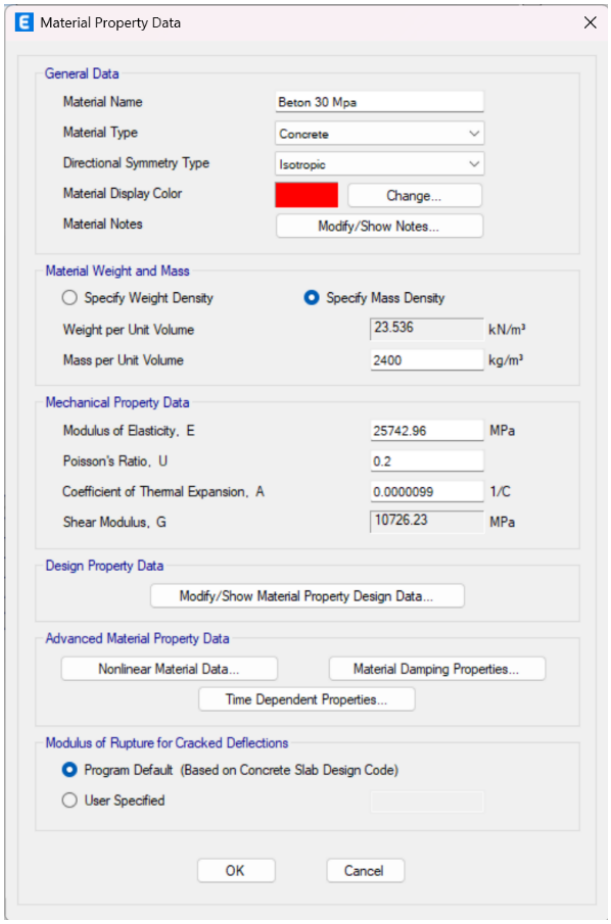


Gambar 5. 13 Tampilan *Add New Material Property* pada Beton
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Selanjutnya akan muncul tampilan *Material Property Data* – pada *General D*ata isi *Material Name* yang akan digunakan – pada *Material Weight and Mess* pilih *Specify Mass Density* kemudian isi berat bahan bangunan beton sesuai SNI-1727-1989 pada *Mass per Unit Volume* – pada *Mechanical Property Data* isi *Modulus of Elasticity (E*) beton dan *Poisson's Ratio (U*) sesuai SNI 2847-2019 – pada *Design Property Data* klik *Modify/Show Material Property Design Data* – pada tampilan *Material Property Design Data* kemudian isi *Grad*e pada *Material Name And Type* serta isi f'c pada *Design Properties For Concrete Materials* selanjutnya tekan ok – kemudian Kembali pada tampilan *Materials Property Data* – pilih ok. Adapun untuk tampilan *Material Property Design Data* pada beton dapat dilihat pada **Gambar 5.14** serta untuk tampilan *Material Property Data* pada beton dapat dilihat pada **Gambar 5.15** pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 14 Tampilan *Material Property Design Data* pada Beton
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

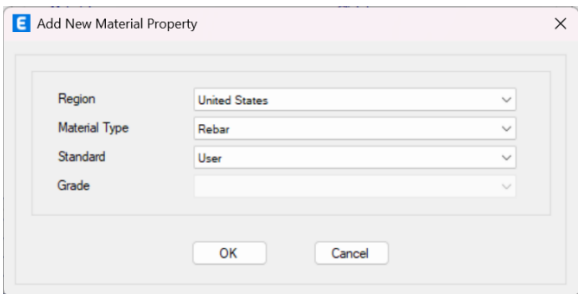


Gambar 5. 15 Tampilan *Material Property Data* pada Beton
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

2. Mendefinisikan material tulangan yang akan digunakan

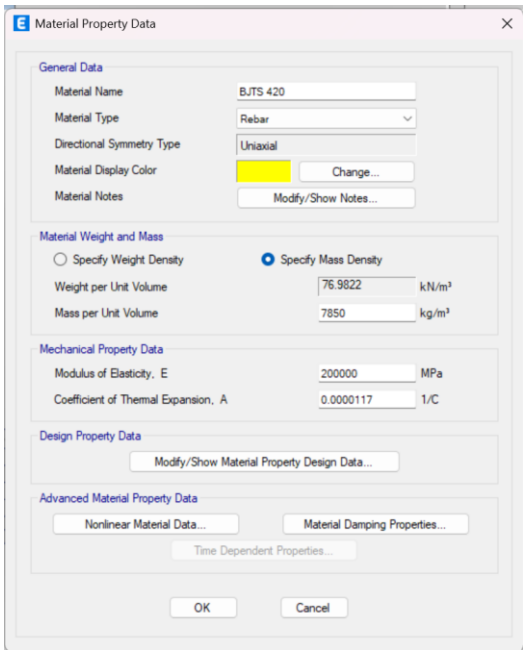
Memastikan perhitungan struktural dan desain yang akurat sesuai dengan persyaratan bahan yang digunakan merupakan tujuan utama dalam menentukan material tulangan dalam ETABS. Selain itu, karena ETABS memerlukan detail tentang sifat-sifat material tulangan, termasuk kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan berat jenis, definisi material tulangan digunakan untuk menentukan sifat-sifat material tersebut. Hal ini memungkinkan ETABS untuk menghitung tegangan, deformasi, dan kapasitas struktural dengan akurat. Dampaknya pada desain juga mencakup kapasitas struktural, di mana kekuatan dan kemampuan struktur untuk menahan beban baik v*ertik*al maupun *horizontal*, seperti gempa bumi ditentukan oleh bahan penguat yang digunakan.

Cara untuk mendefinisikan atau menentukan material tulangan yang akan digunakan pada ETABS caranya tidak jauh beda dengan mendefinisikan material pada beton, akan tetapi hanya ada beberapa perbedaan pada peng-Inputannya, seperti Material typenya yaitu menggunakan rebar, dan lain sebagainya. Berikut cara untuk mendefinisikan material tulangan yang akan digunakan pada ETABS yaitu diantaranya pilih *Define – Material properties* – pada tampilan *Define Material* pilih *Add New Material property* – pada *Region* pilih *United States – Material Type* pilih *Rebar* – pada *Standar* pilih *User* – ok. Adapun untuk tampilan *Add New Material property* dapat dilihat pada **Gambar 5.16** berikut.



Gambar 5. 16 Tampilan Add New Material Property
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Selanjutnya akan muncul tampilan *Material Property Data* – pada *General Data* isi *Material Name* yang akan digunakan – *pada Material Weight and Mess* pilih *Specify Mass Density* kemudian isi berat bahan bangunan baja sesuai SNI-1727-1989 pada *Mass per Unit Volume* – pada *Mechanical Property Data* isi *Modulus of Elasticity (E)* baja sesuai SNI 1729-2020. Adapun untuk tampilan *Material Property Data* pada BJTS 420 dapat dilihat pada **Gambar 5.17** sebagai berikut.

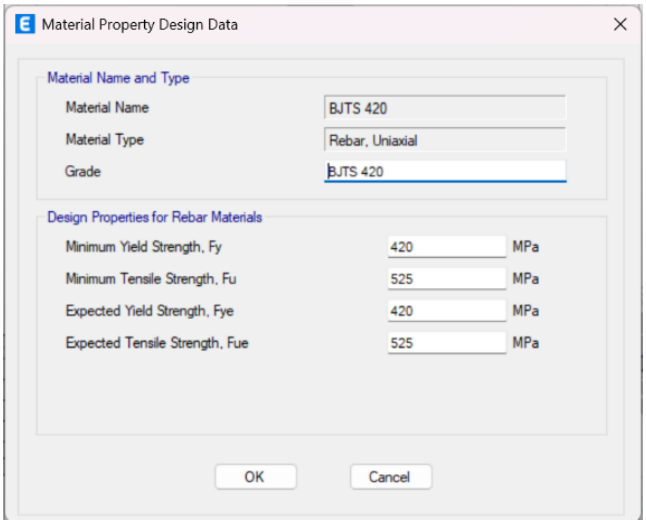


Gambar 5. 17 Tampilan Material Property Data BJTS 420
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Selanjutnya pada *Design Property* data klik Modify/Show Material Property Design Data – pada tampilan *Material Property Design Data* isi *Grade* pada *Material Name And Type* serta isi nilai Fy, Fu, Fye, dan Fue pada design properties for concrete materials sesuai RSNI3 2052:2024 pada Tabel 7 Sifat Mekanis halaman 9 dari 13 pada dokumen terkait selanjutnya tekan Ok – kemudian kembali pada tampilan Materials Property Data – pilih Ok. Adapun untuk tabel mengenai sifat mekanis dapat dilihat pada **Tabel 5.1** berikutnya serta untuk tampilan *Material Property Design Data* BJTS 420 dapat dilihat pada **Gambar 5.18** halaman berikutnya.

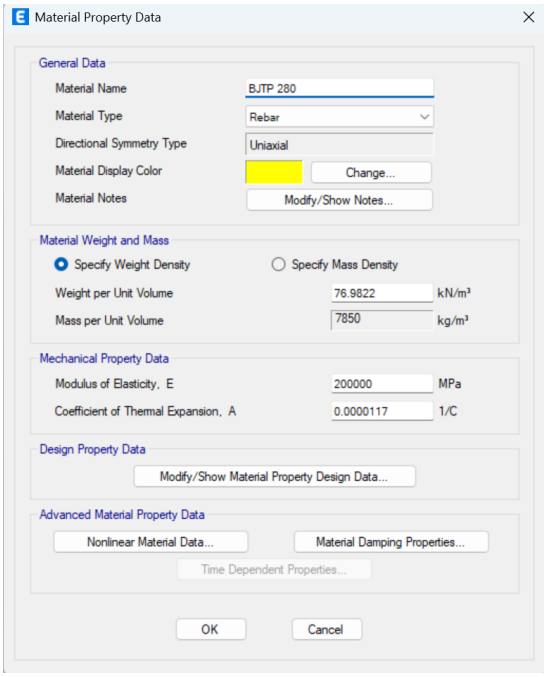
Tabel 5. 1 Sifat Mekanis

Kelas baja tulangan	Uji tarik			Uji lengkung		Rasio TS/YS (Hasil Uji)
	Kuat luluh/leleh (YS) (N/mm^2)	Kuat Tarik (TS) (N/mm^2)	Regangan/uluran dalam 200 mm, Min. %	Sudut lengkung	Diameter pelengkung mm	
BjTP 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 (d ≤ 10 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	-
			12 (d ≥ 12 mm)	180°	5d (d ≥ 19 mm)	
BjTS 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 (d ≤ 10 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	Min. 1,25
			12 (d ≥ 13 mm)	180°	5d (d ≥ 19 mm)	
BjTS 420	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	14 (d ≤ 19 mm)	180°	3,5d (d ≤ 16 mm)	Min. 1,25
			12 (22 ≤ d ≤ 36 mm)	180°	5d (19 ≤ d ≤ 25 mm)	
				180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
			10 (d > 36 mm)	90°	9d (d > 36 mm)	
BjTS 520	Min. 520 Maks. 645	Min. 650	7 (d ≤ 25 mm)	180°	5d (d ≤ 25 mm)	Min. 1,25
			6 (d ≥ 29 mm)	180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
				90°	9d (d > 36 mm)	
BjTS 550	Min. 550 Maks. 675	Min. 687,5	12 (6 ≤ d ≤ 36 mm)	180°	3,5d (6 ≤ d ≤ 16 mm)	Min. 1,25
				180°	5d (19 ≤ d ≤ 25 mm)	
				180°	7d (29 ≤ d ≤ 36 mm)	
			10 (d > 36 mm)	180°	9d (d > 36 mm)	

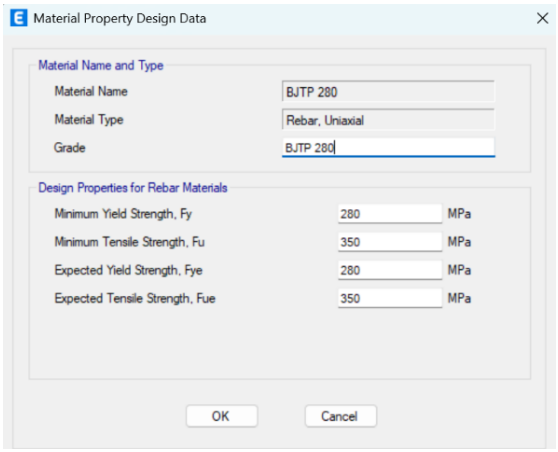


Gambar 5. 18 Tampilan Material Property Design Data BJTS 420
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Adapun untuk pendefinisian pada tulangan BJTP yang digunakan yaitu BJTP 280 dapat dilihat pada **Gambar 5.19** berikut dan **Gambar 5.20** pada halaman berikutnya.



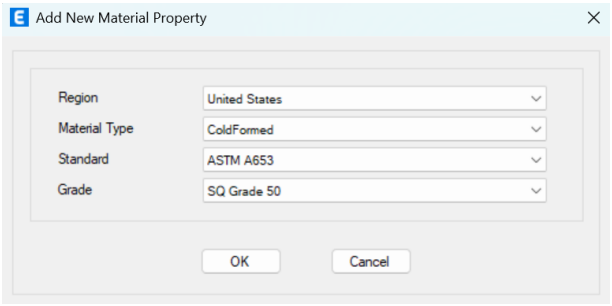
Gambar 5. 19 Tampilan Material Property Data BJTP 280
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 20 Tampilan *Material Property Design Data* BJTP 280
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

3. Mendefinisikan material galvalume untuk rangka atap yang akan digunakan

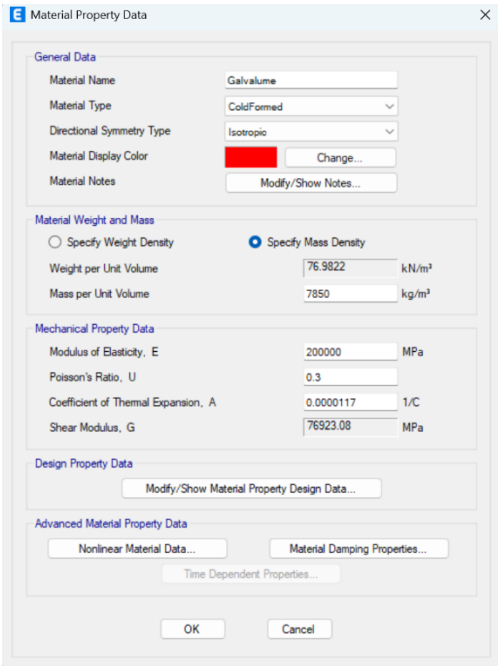
Adapun langkah untuk mendefinisikan material galvalume untuk rangka atap yang akan digunakan ialah dengan meng-klik *Define – Material properties* – pada tampilan *Define Materi*al pilih *Add New Material property* – pada *Region* pilih *United States – Material Type* pilih *ColdForme*d – pada *Standar* pilih *ASTM A653* (mengikuti default ETABS) – pada *Grade* pilih *SQ Grade 50* - Ok. Adapun untuk tampilan *Add New Material property* pada galvalum dapat dilihat pada **Gambar 5.21** berikut.



Gambar 5. 21 Tampilan *Add New Material Property* pada Galvalum
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

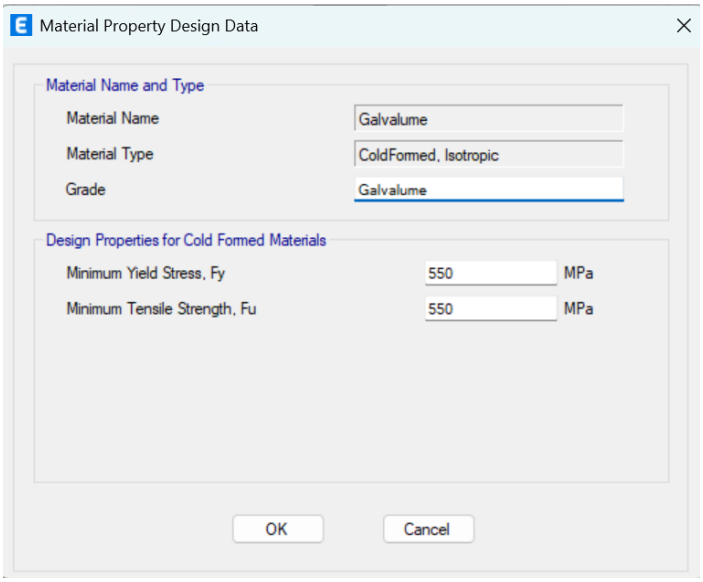
Selanjutnya akan muncul tampilan *Material Property Data* – pada *General Data* isi *Material Name* yang akan digunakan – pada *Material Weight and Mess* pilih *Specify Mass Density* kemudian isi berat bahan bangunan baja sesuai SNI-1727-1989 pada *Mass per Unit Volume* – pada

Mechanical Property data isi *Modulus of Elasticity (E)* baja sesuai SNI 1729-2020. Adapun untuk tampilan *Material Property Data* pada galvalume dapat dilihat pada **Gambar 5.22** berikut.



Gambar 5. 22 Tampilan *Material Property Data* pada Galvalum
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Selanjutnya pada *Design Property Data* klik *Modify/Show Material Property Design Data* kemudian isi *Grade* pada *Material Name And Type* serta isi nilai Fy, Fu pada *Design Properties For Concrete Materials* - *Ok* – kemudian kembali pada tampilan *Materials Property Data* – pilih Ok. Adapun untuk tampilan *Material Property Design Data* pada material Galvalum dapat dilihat pada **Gambar 5.23** halaman berikutnya.



Gambar 5. 23 Tampilan *Material Property Design Data* pada Galvalum
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.1.3 Pemodelan Balok

Setelah mendefinisikan material yang akan digunakan, langkah berikutnya ialah mendefinisikan penampang atau profil material yang akan digunakan. Menentukan penampang melintang material sangat penting dalam analisis structural karena penampang melintang suatu material menentukan bagaimana suatu struktur akan merespons beban yang diterapkan. Kekuatan, kekakuan, dan kemampuan menahan beban suatu struktur ditentukan oleh ukuran dan bentuk penampang melintang. Penampang melintang yang lebih besar seperti balok akan memiliki kekuatan yang lebih besar dan mampu menahan beban yang lebih berat.

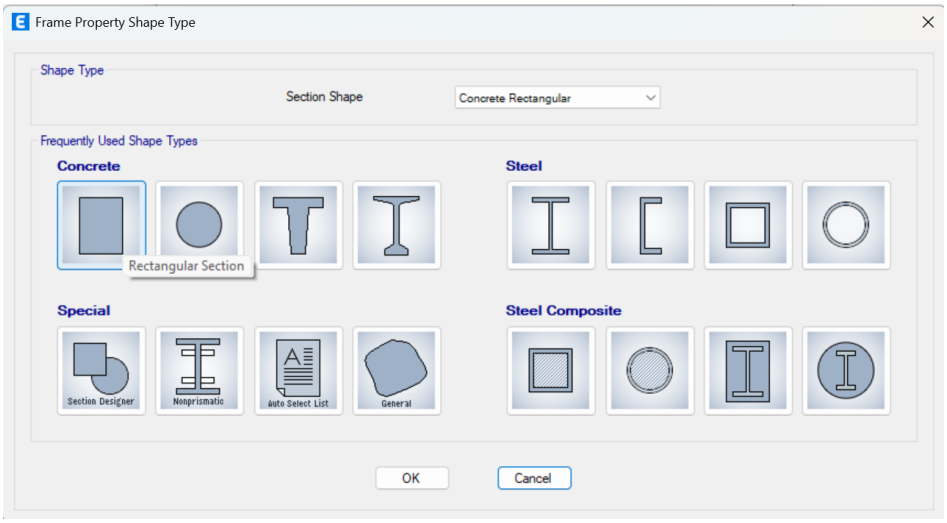
Dalam menentukan dimensi penampang atau profil yang digunakan perlu dilakukan reduksi atau dilakukan pengubah kekakuan pada dimensi penampang beton yang akan digunakan yang bertujuan untuk membantu mengurangi kekakuan pada penampang beton dalam memodelkan perilaku retak beton pada saat dikenai beban sehingga dapat mengetahui dari kapasitas struktur tersebut. Reduksi atau pengubah kekakuan ini hanya diterapkan pada struktur beton karena retak akibat pembebanan. Adapun untuk menentukan nilai reduksi atau pengubah kekakuan ini yang ditetapkan pada penampang beton sesuai SNI 2847-2019 dapat dilihat pada **Tabel 5.2** halaman berikutnya.

Tabel 5. 2 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan untuk Analisis Elastis pada Level Beban Terfaktor

Bagian dan Kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		$0{,}70\ I_g$	$1{,}0\ A_g$
Dinding	Tidak retak	$0{,}70\ I_g$	
	Retak	$0{,}35\ I_g$	
Balok		$0{,}35\ I_g$	
Pelat datar dan slab datar		$0{,}25\ I_g$	

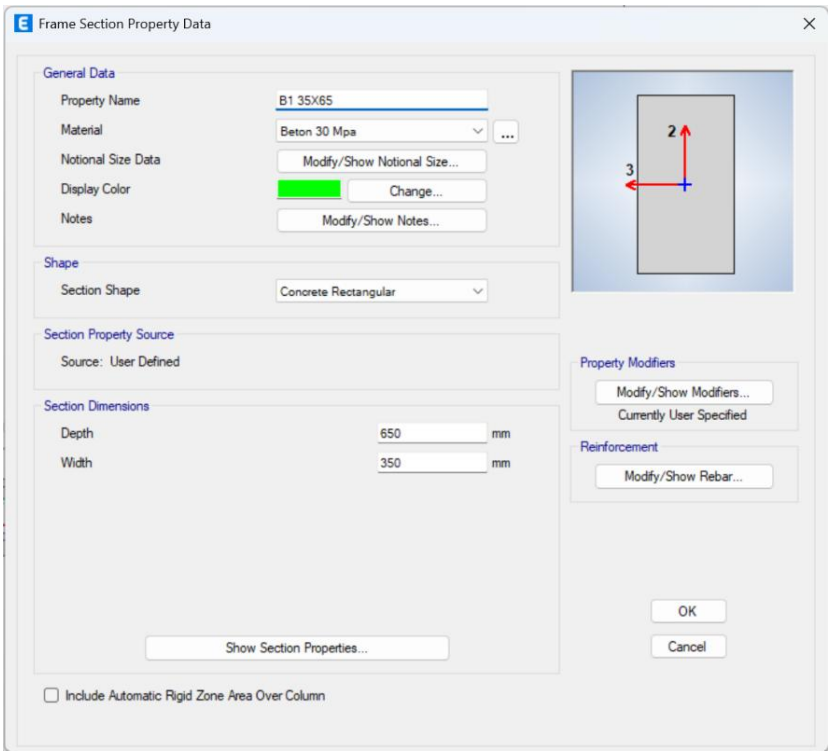
Sumber: SNI 2847-2019 pada Tabel 6.6.3.1.1(a)

Adapun berikut ini Langkah-langkah untuk mendefinisikan dan pemodelan penampang balok. Pada tahapan pemodelan elemen balok yaitu dilakukan dengan *Rectangular Section*, dengan tahapan klik *Define - Section Properties - Frame Sections* - pada tampilan Frame Properties pilih *Add New Property pada Klik to* - pada tampilan *Frame Property Shape Type* pilih *Concrete Rectangular* pada bagian *Section Shape* – pada *Frequently Used Shapes Types* pilih *Rectangular Section - Ok.* Adapun untuk tampilan *Frame Property Shape Type* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.24** berikut.

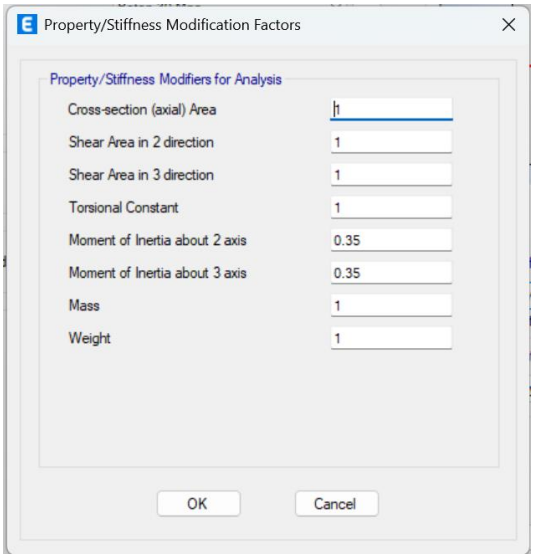


Gambar 5. 24 Tampilan *Frame Property Shape Type* pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Frame Section Property Data* ini, isi data penampang beton sesuai data pada DED – pada General Data isi *Property Name* untuk memberi nama kode balok yang akan digunakan dan isi *Material* dengan material beton yang sudah dibuat sebelumnya – pada Section Dimensions isi *Depth* atau kedalaman tinggi penampang balok dan isi *Width* atau lebar penampang balok – pilih *Modify/Show Modifiers* pada *Property Modifiers* untuk dilakukan reduksi atau pengubah kekakuan momen inersia pada penampang balok sesuai SNI 2847-2019 pada Tabel 6.6.3.1.1(a) – pada *Property/Stiffnes Modifiers Factors,* isi *Moment of Inertia about 2 Axis* dan *Moment of Inertia about 3 Axis* dengan nilai 0,35 untuk momen inersia balok – *Ok.* Adapun untuk tampilan *Frame Section Property Data* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.25** berikut serta untuk tampilan *Property/Stiffnes Modifiers Factors* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.26** halaman berikutnya.

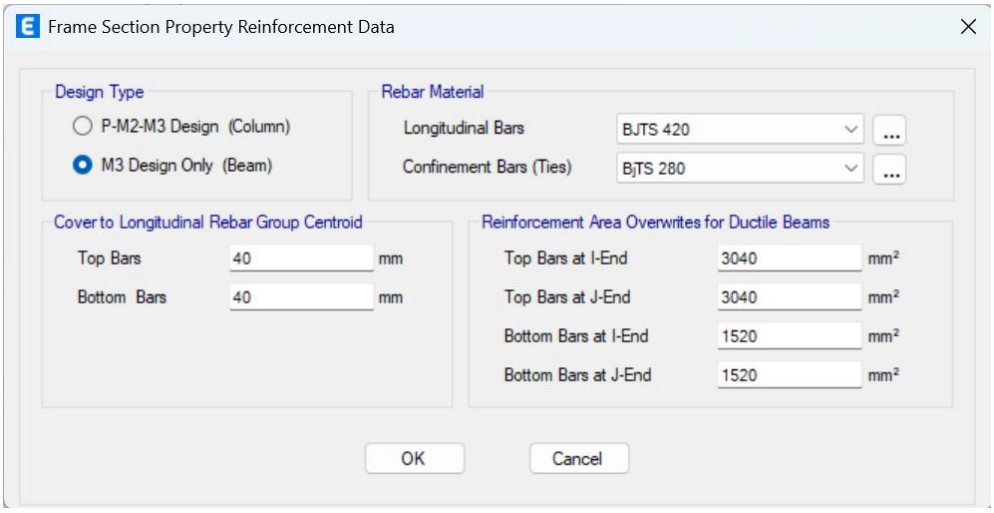


Gambar 5. 25 Tampilan *Frame Section Property Data* pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



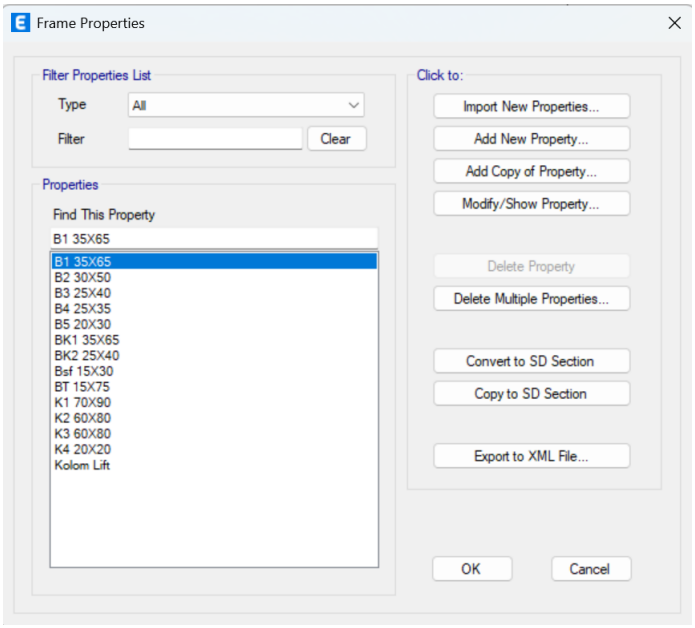
Gambar 5. 26 Tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Kembali pada tampilan *Frame Section Property Data*, pilih *Modify/Show Rebar* pada *Reinforcement* untuk menentukan tulangan yang akan dipakai pada penampang balok – muncul tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* - pilih *M3 Design Only (Beam)* pada *Design Type* – pada *Rebar Material* isi *Longitudinal Bars* (tulangan pokok) dengan tulangan yang sudah dibuat sebelumnya yaitu BJTS 420 dan isi *Cinfinement Bars (Ties)* atau tulangan sengkah dengan tulangan yang sudah dibuat sebelumnya yaitu BJTS 280 - pada *Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid* atau selimut beton isi *top bars* dan *bottom bars* sesuai desain pada DED yaitu untuk B1 nilainya ialah 40 mm – kemudian pada *Reinforcement Area Overwrite for Ductile Beams* isi luas tulangan balok sesuai dengan DED – *Ok.* Kembali pada tampilan *Frame Section Property Data – Ok.* Adapun untuk balok yang sudah selesai didefinisikan sesuai Ded dapat dilihat pada tampilan *Frame Properties* Adapun untuk tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* balok dapat dilihat pada **Gambar 5.27** serta untuk tampilan *Frame Properties* dapat dilihat pada **Gambar 5.28** halaman berikutnya.



Gambar 5. 27 Tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada Balok

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



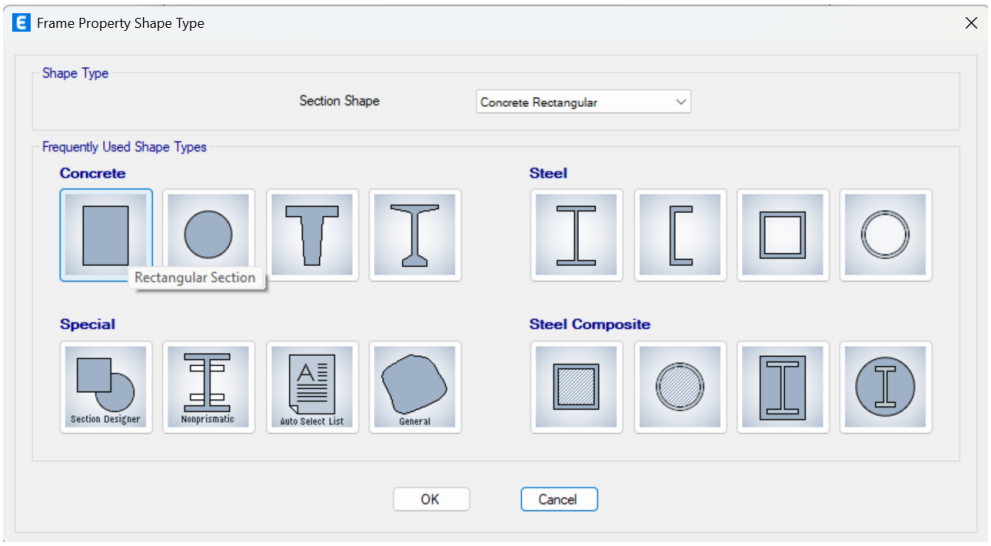
Gambar 5. 28 Tampilan *Frame Properties*

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.1.4 Pemodelan Kolom

Pada tahapan pemodelan penampang kolom, untuk Langkah desainnya tidak jauh beda dikarenakan type shape yang sama yaitu rectangular section, akan tetapi hal yang membedakannya ialah pada *Modify/Show Rebar* pada *Reinforcement* untuk menentukan tulangan yang akan dipakai pada penampang kolom yaitu pada

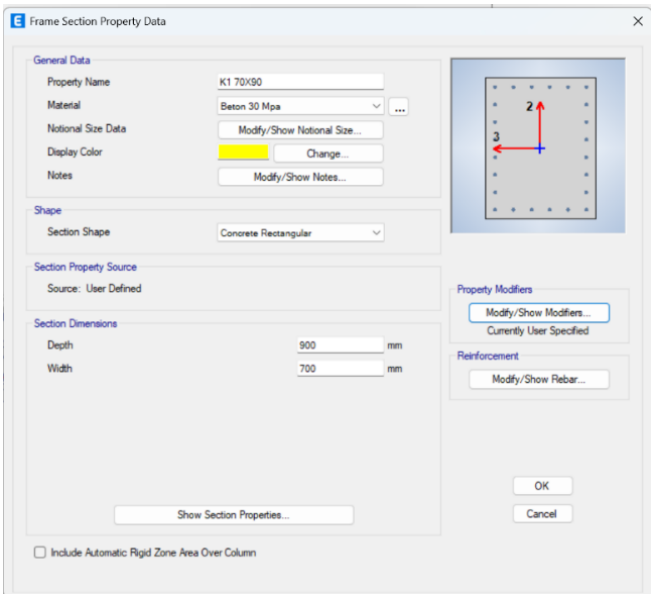
Design Type nya menggunakan *P-M2-M3 Design (Column)*. Adapun untuk desain penampang kolom yaitu dilakukan dengan *Rectangular Section*, dengan tahapan klik *Define - Section Properties - Frame Sections* - pada tampilan *Frame Properties* pilih *Add New Property pada Klik to* - pada tampilan *Frame Property Shape Type* pilih *Concrete Rectangular* pada bagian *Section Shape* – pada *Frequently Used Shapes Types* pilih *Rectangular Section - Ok.* Adapun untuk tampilan *Frame Property Shape Type* pada kolom dapat dilihat pada **Gambar 5.29** berikut.



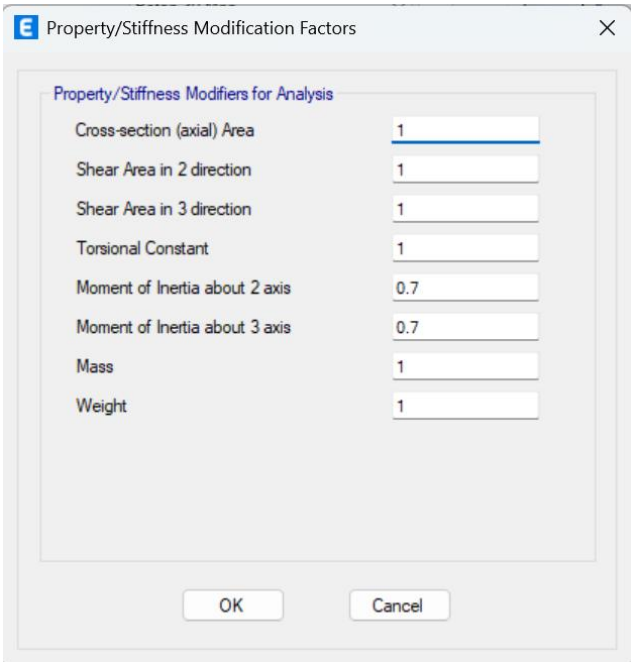
Gambar 5. 29 Tampilan *Frame Property Shape Type* pada Kolom
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Frame Section Property Data* ini, isi data penampang beton sesuai data pada DED – pada General Data isi *Property Name* untuk memberi nama kode kolom yang akan digunakan dan isi *Material* dengan material beton yang sudah dibuat sebelumnya – pada *Section Dimensions* isi *Depth* atau kedalaman tinggi penampang kolom dan isi *Width* atau lebar penampang kolom – pilih *Modify/Show Modifiers* pada *Property Modifiers* untuk dilakukan reduksi atau pengubah kekakuan momen inersia pada penampang kolom sesuai SNI 2847-2019 pada Tabel 6.6.3.1.1(a) – pada *Property/Stiffnes Modifiers Factors,* isi *Moment of Inertia about 2 Axis* dan *Moment of Inertia about 3 Axis* dengan nilai 0,7 untuk momen inersia kolom – *Ok.* Adapun untuk tampilan *Frame Section Property Data*

pada kolom dapat dilihat pada **Gambar 5.30** serta untuk *Property/Stiffnes Modifiers Factors* pada kolom dapat dilihat pada **Gambar 5.31** berikut.

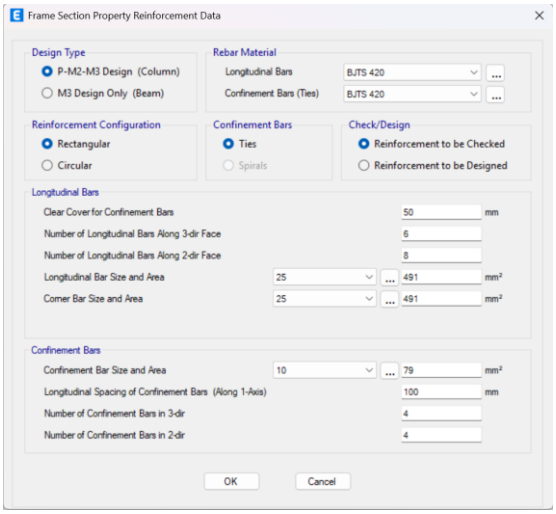


Gambar 5. 30 Tampilan *Frame Section Property Data* pada Kolom
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



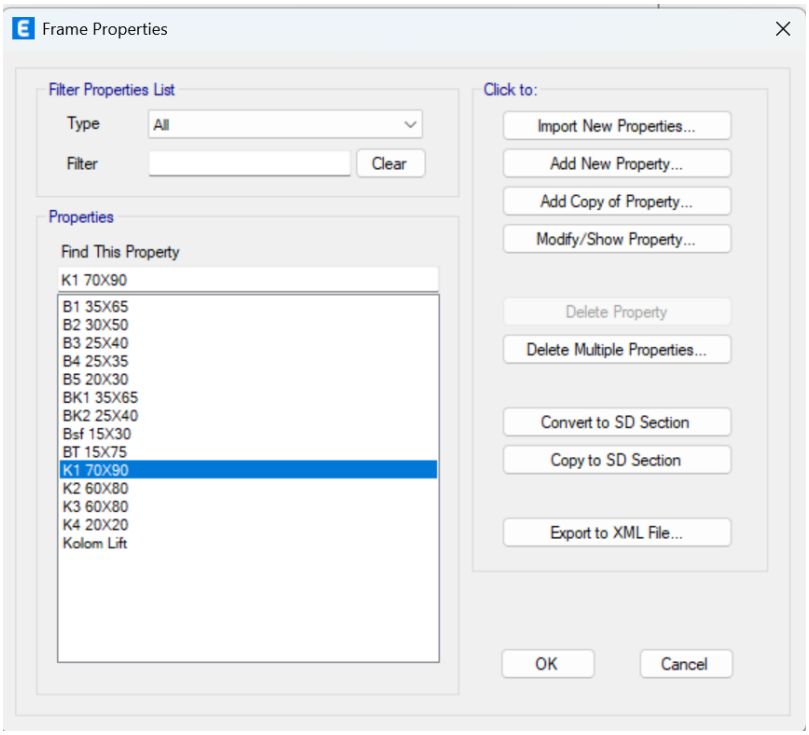
Gambar 5. 31 Tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* pada Kolom
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Kembali pada tampilan *Frame Section Property Data*, pilih *Modify/Show Rebar* pada *Reinforcement* untuk menentukan tulangan yang akan dipakai pada penampang kolom – muncul tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* - pilih *P-M2-M3 Design (Column)* pada *Design Type* – pada *Rebar Material* isi *Longitudinal Bars* (tulangan pokok) dengan tulangan yang sudah dibuat sebelumnya yaitu BJTS 420 dan isi *Confinement Bars (Ties)* atau tulangan sengkang dengan tulangan yang sudah dibuat sebelumnya yaitu BJTS 420 - pada *Reinforcement Configuration* pilih *Rectangular* – pada *Check/Design* pilih *Reinforcement to be Checked* - pada *Longitudinal Bars* isi *Clear Cover for Confinement Bars atau selimut beton, Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face, Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face, Longitudinal Bar Size and Area, Corner Bar Size and Area* sesuai data DED – pada *Confinement Bars* isi *Confinement Bar Size and Area, Longitudinal Spacing of Confinement Bars in 3-dir, Number of Confinement Bars in 2-dir* sesuai DED – *Ok.* Kembali pada tampilan *Frame Section Property Data – Ok.* Kembali pada tampilan *Frame Properties* buat kembali untuk kolom lainnya. Adapun untuk tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada kolom dapat dilihat pada **Gambar 5.32** berikut serta untuk *Frame Properties* pada kolom dapat dilihat pada **Gambar 5.33** halaman berikutnya.



Gambar 5. 32 Tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada Kolom

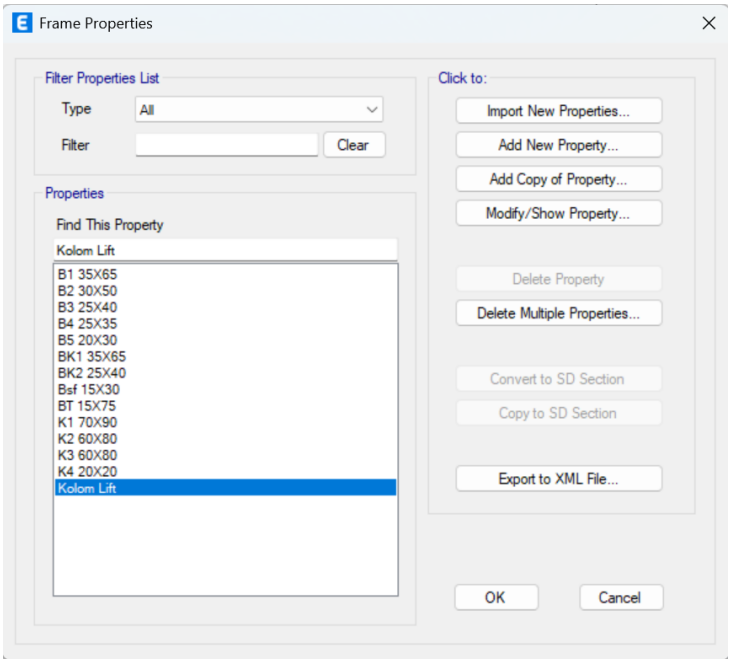
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



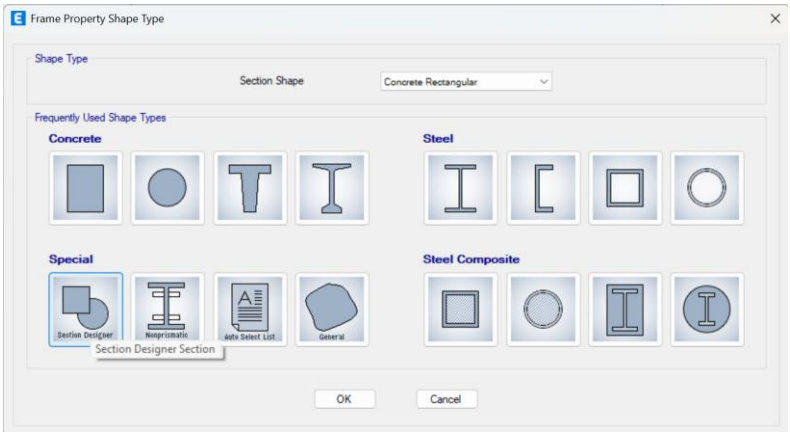
Gambar 5. 33 Tampilan *Frame Properties* pada Kolom
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.1.5 Pemodelan Penampang dan Tulangan Kolom Lift

Adapun untuk desain penampang kolom lift yaitu dilakukan dengan *Rectangular Section*, dengan tahapan klik *Define* - *Section Properties* - *Frame Sections* - pada tampilan Frame Properties pilih *Add New Property pada Klik to* - pada tampilan *Frame Property Shape Type* pilih *Concrete Rectangular* pada bagian *Section Shape* – pada *Frequently Used Shapes Types* pilih *Section Designer*, hal ini dipilih karena bentuk kolom lift yang harus dibuat dengan custom berbentuk kolom L – *Ok.* Adapun untuk tampilan *Frame Properties* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.34** halaman berikutnya, serta untuk tampilan *Frame Property Shape Type* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.35** halaman berikutnya.



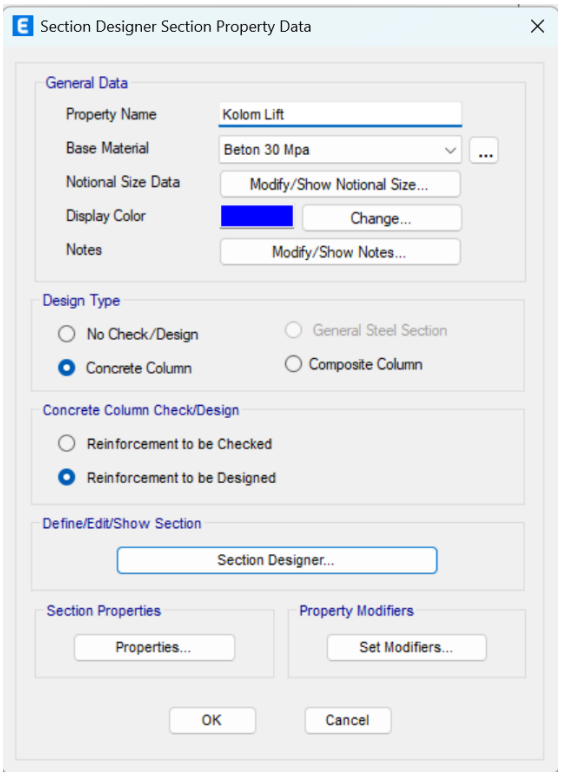
Gambar 5. 34 Tampilan *Frame Properties* pada Kolom Lift
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 35 Tampilan *Frame Property Shape Type* pada Kolom Lift
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Section Designer Section Property Data* ini, isi data penampang beton sesuai data pada DED – pada General Data isi *Property Name* untuk memberi nama kode kolom lift yang akan digunakan dan isi *Base Material* dengan material beton yang sudah dibuat sebelumnya – pada *Define/Edit/Show Section* klik *Section Designer* untuk memulai mendesain penampang kolom lift berbentuk seperti huruf L sesuai dengan DED. Adapun untuk tampilan *Section*

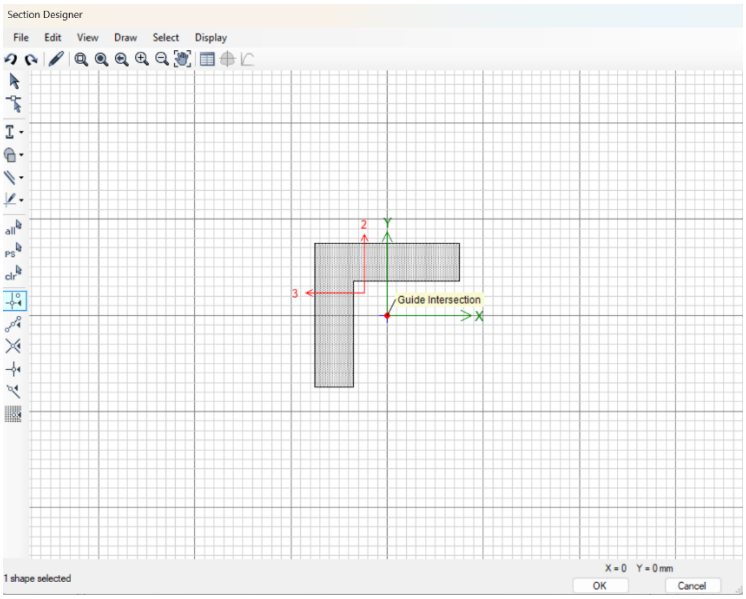
Designer Section Property Data pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.36** berikut.



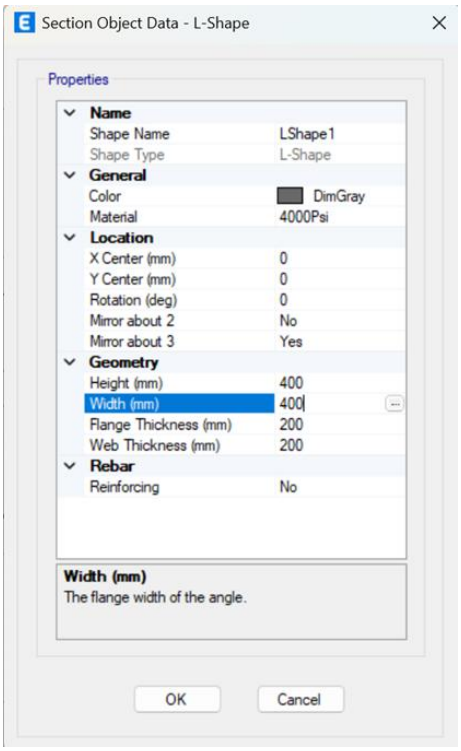
Gambar 5. 36 Tampilan *Section Designer Section Property Data* pada Kolom Lift

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Section Designer* pilih *Draw Concrete Shape* yang terdapat pada tool disamping – pilih *Draw L-shape – klik* pada *Guide Intersection* yang terdapat pada tampila halaman cartesius *Section Designer – klik* pada kolomnya dan *klik* kanan pada mouse – pada tampilan *Section Object Data-L-shape,* isi *Geometry* kolom lift sesuai desain pada DED seperti *Height (mm), Width (mm), Flange ThickNess (mm), dan Web ThickNess (mm) – Ok.* Adapun untuk tampilan awal *Section Designer* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.37** serta untuk tampilan *Section Object Data – L – Shape* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.38** pada halaman berikutnya.



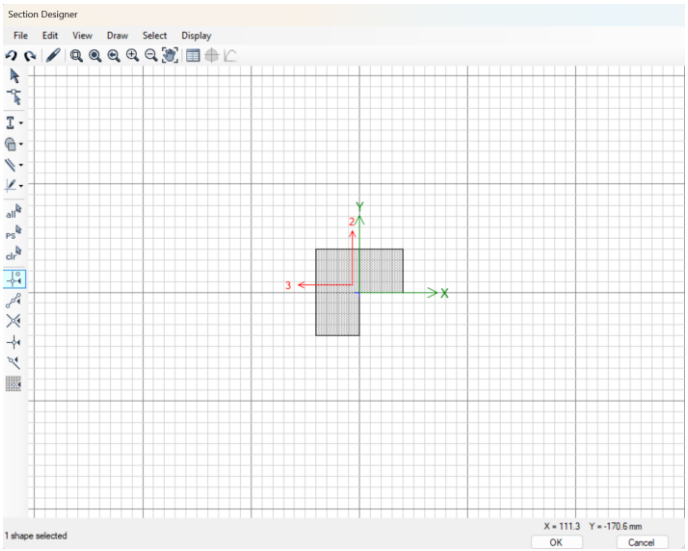
Gambar 5. 37 Tampilan Awal *Section Designer* pada Kolom Lift
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 38 Tampilan *Section Object Data – L – Shape* pada Kolom Lift
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

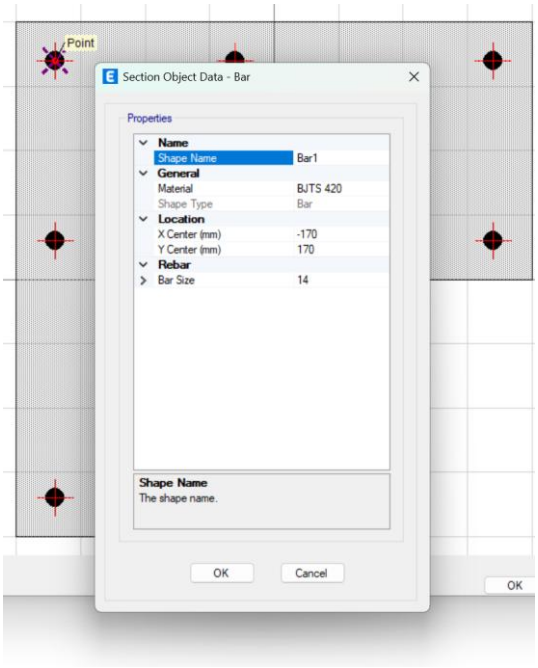
Kembali pada tampilan *Section Designer,* selanjutnya ialah membuat tulangan untuk penampang kolom lift sesuai dengan DED, yaitu *Klik Draw-Rebar*

shape-Single Bar kemudian klik dan tempatkan sementara tulangan tersebut sesuai pada penempatan pada DED, kemudian penempatan tulangan tersebut di edit untuk mengikuti letak sebenarnya sesuai gambar kerja, buka DED pada autocad kemudian ukur jarak tulangan, kemudian pilih dan klik kanan tulangan pada ETABS maka akan muncul tampilan *Section Object Data-Bar, kemudian isi data-data sesuai dengan DED-Ok.* Adapun untuk tampilan sebelum penulangan *Section Designer* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.39** berikut, sedangkan untuk tampilan *Section Object Data – Bar* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.40** dan untuk tampilan penulangan *Section Designer* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.41** pada halaman berikutnya.

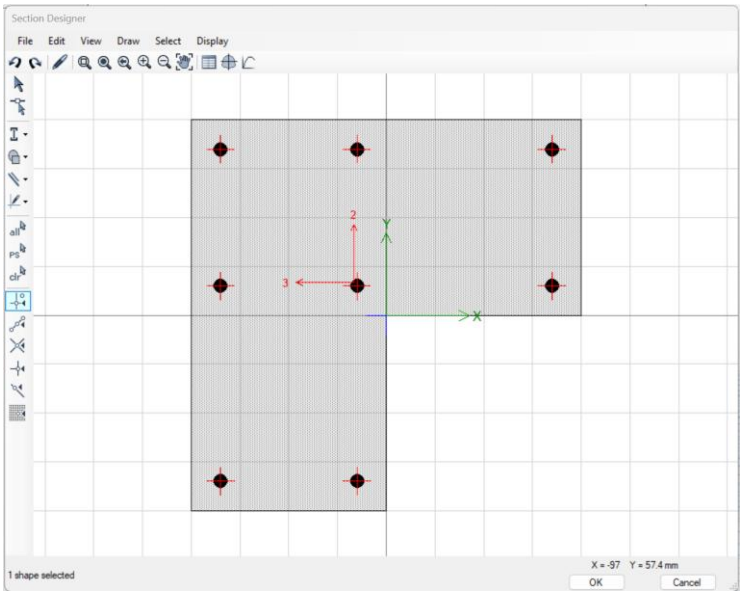


Gambar 5. 39 Tampilan Sebelum Penulangan *Section Designer* pada Kolom Lift

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



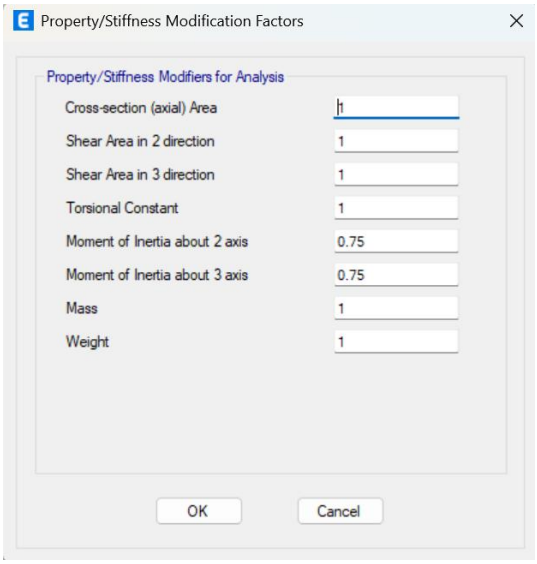
Gambar 5. 40 Tampilan *Section Object Data – Bar* pada Kolom Lift
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 41 Tampilan Penulangan *Section Designer* pada Kolom Lift
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Kembali pada tampilan *Section Designer Section Property Data,* pilih *Set Modifiers* pada *Property Modifiers* untuk mereduksi penampang kolom lift dengan momen inersia sesuai dengan SNI 2847-2019 yang terdapat pada Tabel 6.6.3.1.1(a)

– pada *Property/Stiffnes Modifiers Factors,* isi *Moment of Inertia about 2 Axis* dan *Moment of Inertia about 3 Axis* dengan nilai 0,7 untuk momen inersia kolom – *Ok.* Adapun untuk tampilan *Propert/Stiffness Modification Factors* pada kolom lift dapat dilihat pada **Gambar 5.42** berikut.

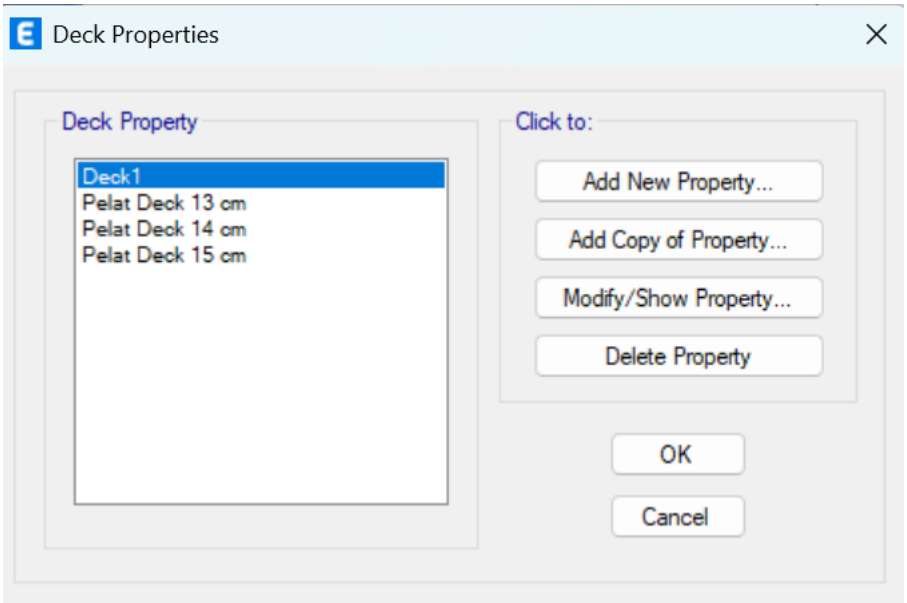


Gambar 5. 42 Tampilan *Propert/Stiffness Modification Factors* pada Kolom Lift

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

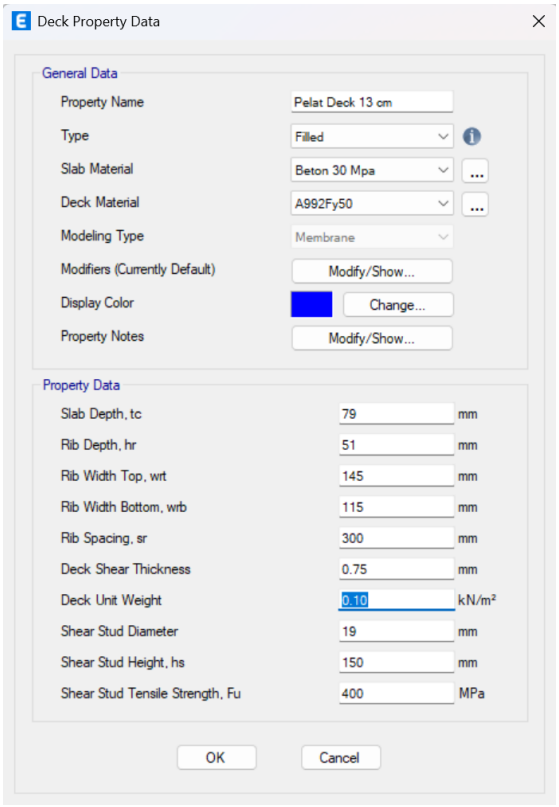
5.1.6 Pemodelan Pelat Bondex atau Slab Bondex

Pada pemodelan penampang slab untuk desainnya berbeda dikarenakan pada *Section Properties* memilih *Deck Section,* sedangkan untuk desain pemodelan kolom dan balok menggunakan *Frame Section.* Adapun Langkah untuk membuat desain penampang pada pelat atau slab yaitu klik *Define - Section Properties - Deck Sections – Deck Properties –* pada bagian *Click to* pilih *Add New Property.* Adapun untuk memilih *Add New Property* dapat dilihat pada tampilan *Deck Properties* pada **Gambar 5.43** halaman berikutnya.

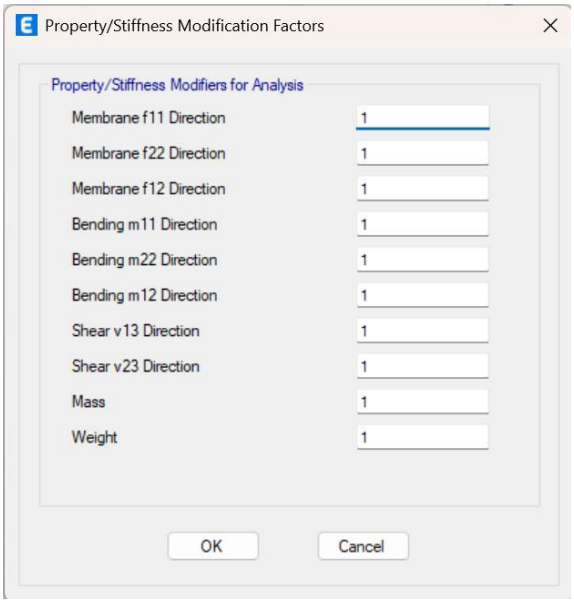


Gambar 5. 43 Tampilan *Deck Properties* pada Pelat Bondex
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Deck Property Data* isi *General Data* sesuai desain DED, isi *Property Name* untuk kode penampang *Deck* yang akan digunakan, isi *Type* dengan memilih *Filled*, isi *Slab Material* dengan memilih material beton yang sudah dibuat sebelumnya yaitu beton 30 Mpa, pada *Modeling Type* isi *Membrane,* pada *Modifiers (Currently Default*) klik *Modify/show,* selanjutnya akan muncul tampilan *Property/Stiffness Modification Factors,* isi nilai 1 pada *Property/Stiffness Modification for Analysis* kemudian klik *Ok,* kembali pada tampilan *Deck Property Data,* pada *Property Data* isi nilai-nilai tersebut sesuai data kemudian klik *Ok.* Adapun untuk tampilan Deck Properties Data pada Pelat Bondex dapat dilihat pada **Gambar 5.44** dan untuk tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* dapat dilihat pada **Gambar 5.45** halaman berikutnya.



Gambar 5. 44 Tampilan *Deck Properties Data* pada Pelat Bondex
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 45 Tampilan *Property/Stiffness Modification Factors* pada Pelat Deck
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada pemodelan struktur, elemen pelat deck atau bondek dimodelkan sebagai elemen membrane dengan nilai faktor modifikasi kekakuan (stiffness modifier) sebesar 1,0 pada seluruh komponennya. Penggunaan nilai 1,0 ini didasarkan pada fungsi utama pelat lantai dalam analisis beban lateral gempa, yaitu sebagai diafragma kaku atau rigid diaphragm yang bertugas menyalurkan gaya inersia gempa secara horizontal ke elemen penahan struktur utama yaitu balok dan kolom. Karena elemen membrane secara ideal hanya mentransfer beban gravitasi searah dan hanya memiliki kekakuan di dalam bidang, pelat tidak diplot untuk memikul momen lentur. Oleh karena itu, reduksi kekakuan akibat retak beton penampang tidak diterapkan pada pelat deck, melainkan difokuskan secara penuh pada elemen perimeter utama penahan gaya lateral yaitu balok dan kolom sesuai dengan ketentuan.

5.2 Pembebanan Struktur

Setelah struktur selesai dimodelkan 3D pada ETABS sesuai gambar desain pada DED, Langkah selanjutnya ialah dengan mendefinisikan dan menginput beban-beban yang akan bekerja dan digunakan sesuai pada struktur gedung tersebut. Pembebanan struktur terbagi menjadi 2, yaitu beban statik dan beban dinamik. Pembebanan statik ialah beban yang selalu ada dalam gedung tersebut meliputi perhitungan beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan lain sebagainya. Sedangkan untuk beban dinamik meliputi beban gempa, beban angin, dan beban hujan. Adapun untuk perhitungan pembebanan ini didasarkan sesuai pada SNI 1727-2019 sebagai berikut.

5.2.1 Beban Mati Atau Dead Load (DL)

Beban mati merupakan beban yang bekerja dari bagian gedung yang bersifat tetap dan permanen, atau dengan kata lain beban yang berasal dari material dan penampang yang digunakan pada struktur dengan kata lain hanya beban yang berasal dari bagian strukturnya saja. Adapaun yang termasuk beban mati yang diperhitungkan pada analisis ini ialah seperti balok, kolom, dan pelat. Struktur yang sudah dimodelkan pada program ETABS, maka program ETABS akan secara otomatis untuk menentukan beban mati yang digunakan dalam struktur ini. Volume

struktur dikalikan dengan berat jenis setiap material yang digunakan menghasilkan beban mati struktur. Persyaratan beban material standar sesuai dengan SNI-03-1727-1989-PPURG digunakan sebagai dasar untuk berat jenis yang digunakan pada struktur ini ialah :

1. Baja = 7.850 $\frac{kg}{m^3}$
2. Beton bertulang = 2.400 $\frac{kg}{m^3}$

5.2.2 Beban Mati Tambahan atau *Super Imposed Dead Load* (SIDL)

Beban mati tambahan merupakan beban finishing struktur yang berasal dari luar beban struktur utama.

1. Beban mati tambahan atau *finishing* (SIDL) pada pelat lantai GF – lantai 5
   a. Mekanikal dan elektrikal = 25 $\frac{kg}{m^2}$
   b. Acian (tebal 2 mm) = 1.700 $\frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1000}$ m
      = 3,4 $\frac{kg}{m^2}$
   c. Qd pelat lantai GF – lantai 5 = 25 + 3,4
      = 28,4 $\frac{kg}{m^2}$
2. Beban mati tambahan atau *finishing* (SIDL) pada pelat lantai atap – lantai dak tangga dan ruang mesin
   a. Mekanikal dan elektrikal = 25 $\frac{kg}{m^2}$
   b. Spesi (tebal 2 cm) = 21 $\frac{kg}{m^2} \times 2$
      = 42 $\frac{kg}{m^2}$
   c. Waterproof (tebal 2 mm) = 2.000 $\frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1.000}$ m
      = 4 $\frac{kg}{m^2}$
   d. Qd pelat lantai atap – lantai dak tangga dan ruang mesin
      = 25 + 42 + 4
      = 71 $\frac{kg}{m^2}$

3. Beban mati tambahan atau *finishing* (SIDL) pada pelat lantai atap pelat ruang mesin pada lantai atap

   a. Mekanikal dan elektrikal = 25 $\frac{kg}{m^2}$

   b. Keramik = 24 $\frac{kg}{m^2}$

   c. Spesi (tebal 1 cm) = 21 $\frac{kg}{m^2}$ × 1

      = 21 $\frac{kg}{m^2}$

   d. Qd pelat lantai atap pelat ruang mesin pada lantai atap

      = 25 + 24 + 21

      = 70 $\frac{kg}{m^2}$

4. Beban mati tambahan (SIDL) pada dinding sisi gedung tinggi 1,2 m

   a. Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

      = 1,2 m × 200 $\frac{kg}{m^2}$

      = 240 $\frac{kg}{m}$

   b. Plesteran (tebal 3 cm)

      = 1,2 m × 2 × 3 × 21 $\frac{kg}{m^2}$

      = 151,2 $\frac{kg}{m}$

   c. Acian (tebal 2 mm)

      = 1.700 $\frac{kg}{m^3}$ × $\frac{2}{1.000}$ m × 1,2 m

      = 4,08 $\frac{kg}{m}$

   d. Qd dinding ramp

      = 240 + 151,2 + 4,08

      = 395,28 $\frac{kg}{m}$

5. Beban mati tambahan (SIDL) pada ramp

   a. Beban mati tambahan pada dinding ramp (SIDL) tinggi 1.2 m

      1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

         = 1,2 m × 200 $\frac{kg}{m^2}$

$= 240 \frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

$= 1{,}2 \text{ m} \times 2 \times 3 \times 21 \frac{kg}{m^2}$

$= 151{,}2 \frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

$= 1.700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1.000} \text{ m} \times 1{,}2 \text{ m}$

$= 4{,}08 \frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ramp $= 240 + 151{,}2 + 4{,}08$

$= 395{,}28 \frac{kg}{m}$

b. Beban mati tambahan pada pelat ramp (SIDL)

1) Mekanikal dan elektrikal

$= 25 \frac{kg}{m^2}$

2) Acian (tebal 2 mm)

$= 1700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1.000} \text{ m}$

$= 3{,}4 \frac{kg}{m^2}$

3) Qd pelat ramp $= 25 + 3{,}4$

$= 28{,}4 \frac{kg}{m^2}$

5. Beban mati tambahan (SIDL) pada tangga

a. Keramik $= 24 \frac{kg}{m^2}$

b. Spesi (tebal 1 cm) $= 21 \frac{kg}{m^2} \times 1$

$= 21 \frac{kg}{m^2}$

c. Menghitung beban anak tangga

1) Data tangga

a) Tinggi Langkah (Optrade, o) = 175 mm

= 0,175 m

b) Lebar injakan (Antrade, a) = 300 mm

= 0,3 m

c) Lebar anak tangga (b) = 1.100 mm
= 1,1 m

d) Berat jenis beton bertulang (γ_{beton}) = 2400 $\frac{kg}{m^3}$

2) Menghitung beban anak tangga

a) Menghitung volume 1 buah anak tangga

Volume 1 anak tangga $= \frac{1}{2} \times a \times o \times b$
$= \frac{1}{2} \times 0{,}3 \times 0{,}175 \times 1{,}1$
$= 0{,}0289\ m^3$

b) Menghitung berat total 1 anak tangga

Berat 1 anak tangga = Volume anak tangga × γ_{beton}
$= 0{,}0289\ m^3 \times 2.400\ \frac{kg}{m^3}$
= 69,3 kg

c) Menghitung luas proyeksi datar (horizontal) untuk 1 anak tangga

Luas datar 1 anak tangga $= a \times b$
$= 0{,}3 \times 1{,}1$
$= 0{,}33\ m^2$

d) Menghitung beban anak tangga

Beban anak tangga $= \frac{Volume\ anak\ tangga \times BJ\ beton}{Luas\ datar\ 1\ anak\ tangga}$
$= \frac{Berat\ 1\ anak\ tangga}{Luas\ datar\ 1\ anak\ tangga}$
$= \frac{69{,}3\ kg}{0{,}33\ m^2}$
$= 210\ \frac{kg}{m^2}$

d. Qd pada tangga = 24 + 21 + 210
$= 255\ \frac{kg}{m^2}$

6. Beban mati tambahan (SIDL) pada ruang kamar mandi Lt.GF dan Lt.1

a. Beban mati tambahan pelat Lt.Gf di dalam ruang kamar mandi

1) Keramik $= 24\ \frac{kg}{m^2}$

2) Spesi (tebal 1 cm) $= 21 \frac{kg}{m^2} \times 1$

$= 21 \frac{kg}{m^2}$

3) Qd pelat Lt.Gf di dalam ruang kamar mandi

$= 24 + 21$

$= 45 \frac{kg}{m^2}$

b. Beban mati tambahan pada dinding kamar mandi (SIDL) lt.GF tinggi 3,65 m

1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

$= 3{,}65 \text{ m} \times 200 \frac{kg}{m^2}$

$= 730 \frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

$= 3{,}65 \text{ m} \times 2 \times 3 \times 21 \frac{kg}{m^2}$

$= 459{,}9 \frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

$= 1.700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1.000} \text{ m} \times 3{,}65 \text{ m}$

$= 12{,}41 \frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ruang kamar mandi (SIDL) lt.GF tinggi 3,65 m

$= 730 + 459{,}9 + 12{,}41$

$= 1.202{,}31 \frac{kg}{m}$

c. Beban mati tambahan pelat Lt.1 di dalam ruang kamar mandi

1) Keramik $= 24 \frac{kg}{m^2}$

2) Spesi (tebal 1 cm) $= 21 \frac{kg}{m^2} \times 1$

$= 21 \frac{kg}{m^2}$

3) Mekanikal dan elektrikal $= 25 \frac{kg}{m^2}$

4) Qd pelat Lt1-Lt.5 di dalam ruang kamar mandi

$= 24 + 21 + 25$

$= 70 \frac{kg}{m^2}$

d. Beban mati tambahan pada dinding ruang kamar mandi (SIDL) lt.1 tinggi 2,8 m

1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

$= 2{,}8 \text{ m} \times 200 \frac{kg}{m^2}$

$= 560 \frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

$= 2{,}8 \text{ m} \times 2 \times 3 \times 21 \frac{kg}{m^2}$

$= 352{,}8 \frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

$= 1700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1000} \text{ m} \times 2{,}8 \text{ m}$

$= 9{,}52 \frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ruang kamar mandi (SIDL) lt.1 tinggi 2,8 m

$= 560 + 352{,}8 + 9{,}52$

$= 922{,}32 \frac{kg}{m}$

7. Beban mati tambahan (SIDL) pada ruang kantor dan dinding sekitar lift

a. Beban mati tambahan pelat Lt.Gf di dalam ruang kantor

1) Keramik $= 24 \frac{kg}{m^2}$

2) Spesi (tebal 1 cm) $= 21 \frac{kg}{m^2} \times 1$

$= 21 \frac{kg}{m^2}$

3) Qd pelat Lt.Gf di dalam ruang kantor $= 24 + 21$

$= 45 \frac{kg}{m^2}$

b. Beban mati tambahan pelat Lt1-Lt.5 di dalam ruang kantor

1) Keramik $= 24 \frac{kg}{m^2}$

2) Spesi (tebal 1 cm) $= 21 \frac{kg}{m^2} \times 1$

$= 21 \frac{kg}{m^2}$

3) Mekanikal dan elektrikal $= 25 \frac{kg}{m^2}$

4) Qd pelat Lt1-Lt.5 di dalam ruang kantor $= 24 + 21 + 25$

$= 70 \frac{kg}{m^2}$

c. Beban mati tambahan pada dinding beton (SIDL) Lt.GF tinggi 3,65 m

1) Dinding beton tebal 20 cm

$= 0{,}2 \text{ m} \times 3{,}65 \text{ m} \times 2.400 \frac{kg}{m^3}$

$= 1.752 \frac{kg}{m}$

2) Acian (tebal 1 mm)

$= 1.700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1}{1.000} \text{ m} \times 3{,}65 \text{ m}$

$= 6{,}2 \frac{kg}{m}$

3) Qd dinding beton (SIDL) lt.GF tinggi 3,65 m

$= 1.752 \frac{kg}{m} + 6{,}2 \frac{kg}{m}$

$= 1.758{,}205 \frac{kg}{m}$

d. Beban mati tambahan pada dinding ruang kantor dan lift (SIDL) lt.GF tinggi 3,65 m

1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

$= 3{,}65 \text{ m} \times 200 \frac{kg}{m^2}$

$= 730 \frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

$= 3{,}65 \text{ m} \times 2 \times 3 \times 21 \frac{kg}{m^2}$

$= 459{,}9 \frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

$= 1.700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1.000} \text{ m} \times 3{,}65 \text{ m}$

$= 12{,}41 \frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ruang kantor dan lift (SIDL) lt.GF tinggi 3,65 m

= 730 + 459,9 + 12,41

= 1.202,31 $\frac{kg}{m}$

e. Beban mati tambahan pada dinding ruang kantor dan lift (SIDL) lt.1-lt.4 tinggi 2,8 m

1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

= 2,8 m × 200 $\frac{kg}{m^2}$

= 560 $\frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

= 2,8 m × 2 × 3 × 21 $\frac{kg}{m^2}$

= 352,8 $\frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

= 1.700 $\frac{kg}{m^3}$ × $\frac{2}{1.000}$ m × 2,8 m

= 9,52 $\frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ruang kantor dan lift (SIDL) lt.1-lt.4 tinggi 2,8 m

= 560 + 352,8 + 9,52

= 922,32 $\frac{kg}{m}$

f. Beban mati tambahan pada dinding ruang kantor dan lift (SIDL) lt.5 tinggi 2,81 m

1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

= 2,81 m × 200 $\frac{kg}{m^2}$

= 562 $\frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

= 2,81 m × 2 × 3 × 21 $\frac{kg}{m^2}$

= 354,06 $\frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

= 1.700 $\frac{kg}{m^3}$ × $\frac{2}{1.000}$ m × 2,81 m

$= 9{,}55 \frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ruang kantor dan lift (SIDL) lt.5 tinggi 2,81 m

$= 562 + 354{,}06 + 9{,}55$

$= 925{,}614 \frac{kg}{m}$

g. Beban mati tambahan pada dinding ruang tangga dan lift (SIDL) lt.atap tinggi 2,963 m

1) Dinding pasangan batako tanpa lubang tebal 10 cm

$= 2{,}963 \text{ m} \times 200 \frac{kg}{m^2}$

$= 592{,}6 \frac{kg}{m}$

2) Plesteran (tebal 3 cm)

$= 2{,}963 \text{ m} \times 2 \times 3 \times 21 \frac{kg}{m^2}$

$= 373{,}34 \frac{kg}{m}$

3) Acian (tebal 2 mm)

$= 1.700 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2}{1.000} \text{ m} \times 2{,}963 \text{ m}$

$= 10{,}07 \frac{kg}{m}$

4) Qd dinding ruang tangga dan lift (SIDL) lt.atap tinggi 2,963 m

$= 592{,}6 + 373{,}34 + 10{,}07$

$= 976{,}01 \frac{kg}{m}$

8. Beban mati tambahan pada rangka atap

Evaluasi kinerja struktur menggunakan analisis *pushover* mensyaratkan estimasi beban gravitasi awal yang akurat untuk merepresentasikan massa seismik efektif bangunan gedung parkir. Berdasarkan data Detail Engineering Design (DED) dan dokumen Bill of Quantities (BOQ), lantai teratas gedung parkir ditutupi oleh struktur rangka kuda-kuda baja ringan dengan penutup genteng metal pasir.

Pada analisis pembebanan struktur atap dilakukan analisis pembebanan terhadap struktur penopang atap eksisting Gedung Parkir. Berdasarkan gambar rencana arsitektural (DED), atap eksisting menggunakan konfigurasi

atap perisai (limasan). Namun, dalam analisis pembebanan dan pemodelan struktur utama pada program ETABS, struktur atap diidealisasikan menggunakan pendekatan Atap Pelana.

Komponen beban yang bekerja pada atap diklasifikasikan menjadi Beban Mati Tambahan (Superimposed Dead Load / SIDL) dan Beban Hidup (Live Load). Distribusi beban dihitung secara manual dan disalurkan sebagai beban garis merata (uniform frame load) pada balok tumpuan utama, yaitu Balok B3 (25x40 cm) sepanjang Sumbu A dan Sumbu B.

a. Data Geometri dan Volume Atap

Data dasar yang digunakan dalam analisis perhitungan pembebanan atap bersumber dari hasil pengukuran aktual dokumen BOQ dan DED sebagai berikut:

1) Panjang nok atap genteng metal pasir = 43 m
2) Sudut kemiringan atap (θ) = $20{,}01^{O}$
3) Lebar bentang bersih kuda-kuda (sumbu a–b) = 8,5
4) Panjang total atap (P) = 43 m
5) Lebar atap = 8,5 m
6) Tinggi puncak nok utama (V_1)

Tinggi puncak nok utama (V_1) $= \frac{1}{2} \times$ Lebar atap $\times \tan(\theta)$

$= \frac{1}{2} \times 8{,}5 \times \tan(20{,}01^{\circ})$

$= 4{,}25 \text{ m} \times 0{,}36413$

$= 1{,}547$ m

7) Jarak antar kuda-kuda = 0,9 m
8) Total panjang efektif balok penopang B3 = 86 m (43 m sumbu a + 43 m sumbu b)
9) lebar area distribusi pembebanan (*tributary area*)

$L_t = \frac{8{,}5\ m}{2} = 4{,}25$ m

10) Luas miring rangka atap baja ringan

a) Menghitung panjang sis miring atap

$$\text{Panjang sisi miring} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Lebar atap}}{\cos(\theta)}$$

$$= \frac{4{,}25}{\cos(20{,}01^{\circ})}$$

$$= \frac{4{,}25}{0{,}93963}$$

$$= 4{,}523 \text{ m}$$

b) Luas miring atap total

Luas miring atap total = 2 × panjang sisi miring × P

= 2 × 4,523 × 43

= 388,98 m^2

11) Luas miring penutup genteng metal pasir = 388,98 m^2

b. Analisis Komponen Beban Mati tambahan atap

Adapun berikut ini merupakan analisis komponen-komponen terkait untuk perhitungan kebutuhan beban mati tambahan pada atap ialah sebagai berikut :

1) Analisis Komponen Penutup Atap (Genteng Metal Pasir)

a) Data dan spesifikasi material genteng metal pasir

Diambil genteng metal pasir merek terracotta dengan tipe 2×4 yaitu 2 baris kebawah dan 4 lajur kesamping.

(1) Panjang total lembaran = 870 mm (0,87 m)

(2) Lebar total lembaran = 885 mm (0,885 m)

(3) Panjang efektif pemasangan = 780 mm (0,78 m)

(4) Lebar efektif pemasangan = 800 mm (0,8 m)

(5) Luas efektif bersih = 0,78 × 0,8

= 0,624 m^2

(6) Jumlah per m^2 = $\frac{1}{0{,}624}$

= 1,6 lembar

(7) Berat per lembar = 2,1 kg

b) Menghitung kebutuhan lembar dan berat genteng metal pasir

Dalam menghitung jumlah lembaran dilakukan dengan membagi menjadi 2 arah pemasangan yaitu arah melebar sepanjang rangka atap genteng metal pasir yaitu 43 m serta ke arah miring atas ke arah puncak nok sebesar 4,523 m.

(1) Kebutuhan ke arah samping (panjang atap)

Rangka atap genteng metal pasir memiliki panjang sebesar 43 m, yang mana genteng tersebut dipasang berjajar ke arah samping menggunakan nilai lebar efektif sebesar 0,8 m. Adapun untuk perhitungannya ialah sebagai berikut :

Jumlah lajur ke samping $= \frac{43\ m}{0{,}8\ m}$

$= 53{,}75$

$\approx$ 54 lajur

(2) Kebutuhan ke arah atas (panjang lereng miring per sisi)

Rangka atap memiliki sisi miring sebesar 4,523 m, yang mana genteng tersebut dipasang berjajar ke arah atas puncak nok pada panjang lereng miring per sisi dengan menggunakan panjang efektif genteng metal pasir sebesar 0,78 m

Jumlah susunan baris genteng $= \frac{4{,}523\ m}{0{,}78\ m}$

$= 5{,}798$

$\approx$ 6 susunan

(3) Kebutuhan lembar untuk 1 sisi lereng

Kebutuhan 1 sisi = 54 lajur × 6 susunan

= 324 lembar

(4) Total kebutuhan lembar atap

Karena terdapat 2 sisi miring yaitu sisi kiri dan sisi kanan, maka total kebutuhan lembar genteng metal pasir ialah sebagai berikut :

Total kebutuhan lembar genteng

= 324 lembar × 2 sisi

= 648 lembar

(5) Menghitung total berat massa genteng metal pasir

Total berat genteng = 648 lembar × 2,1 kg

= 1.360,8 kg

(6) Menghitung beban genteng metal pasir per meter persegi

Beban genteng luasan $= \frac{1.360{,}8 \text{ kg}}{388{,}98\ m^2}$

$= 3{,}50\ \frac{kg}{m^2}$

c) Menghitung kebutuhan jumlah dan berat sekrup genteng metal pasir

1 lembar genteng metal pasir membutuhkan 4 buah sekrup yang dipasang pada lekukan bawah genteng metal pasir yang menempel langsung ke reng baja ringan dengan tujuan supaya tidak berisik saat tertiup angin dan tidak bocor.

(1) Menghitung jumlah kebutuhan sekrup genteng metal pasir

Kebutuhan sekrup genteng = (648 + (54 × 2)) × 4

= 3.024 buah sekrup

(2) Menghitung berat sekrup genteng metal pasir

Massa satu buah sekrup baja (self-drilling roofing screw) beserta ring karet sebesar 9,32 gram atau sebesar 0,00932 kg.

Total berat sekrup genteng = 3.024 × 0,00932

= 28,18 kg

(3) Menghitung berat sekrup gentengmetal pasir per meter persegi

Beban luasan sekrup genteng $= \frac{28{,}18\ kg}{388{,}98\ m^2}$

$= 0{,}072\ \frac{kg}{m^2}$

d) Total beban komponen penutup atap per luasan meter persegi

$Beban\ penutup\ atap$ = Berat genteng + Berat sekrup

$= 3{,}5\ \frac{kg}{m^2} + 0{,}072\ \frac{kg}{m^2}$

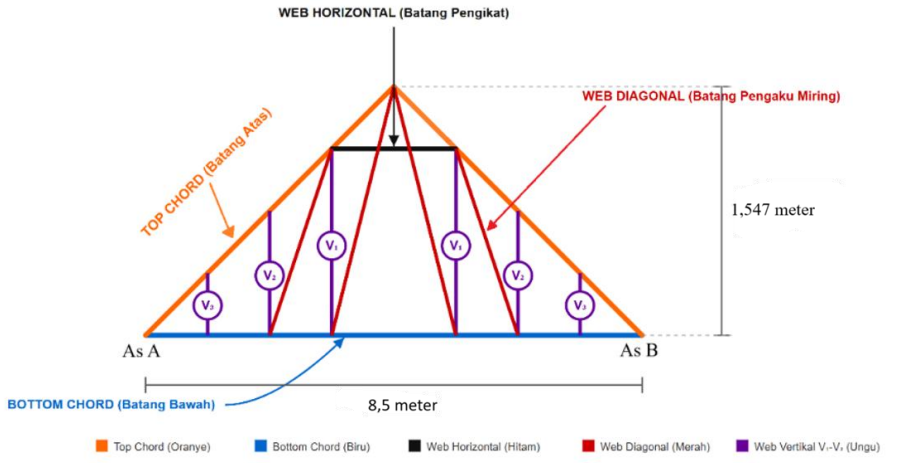
$= 3{,}572\ \frac{kg}{m^2}$

2) Analisis komponen rangka baja ringan (C75 + reng)

Massa batangan baja ringan yang bersatuan meter dikonversikan menjadi beban luasan ($\frac{kg}{m^2}$) melalui hitungan indeks densitas geometri di lapangan:

a) Kebutuhan kuda-kuda

Satu unit rangkaian segitiga kuda-kuda utuh dengan bentang 8,5 m dengan setengah bentang sebesar 4,25 m, serta masing-masing bentang dibagi 4 bagian, dan memiliki tinggi nok atau kuda-kuda sebesar 1,547 m dibedah menjadi komponen-komponen batang murni melalui Teorema Pythagoras. Adapun untuk detail gambar kuda-kuda dapat dilihat pada **Gambar 5.46** halaman berikutnya.



Gambar 5. 46 Detail Gambar Kuda-kuda

(Sumber: Gambar ulang dari dokumentasi lapanagan dan DED)

(1) Jarak antar tiang vertikal $= \frac{4{,}25\ m}{4}$

$= 1{,}0625$ m

(2) Batang bawah (bottom chord)

Adapun untuk batang bawah mengikuti lebar bentang struktur

Batang bawah = 1 batang × 8,50 m

= 8,5 m

(3) Batang atas (top chord)

Sisi miring tempat menumpunya reng dihitung berdasarkan proyeksi fungsi cosinus terhadap sudut kemiringan aktual.

$\text{Cos } (20{,}01^0) = \frac{Alas}{Panjang\ batang\ atas}$

$\text{Panjang batang atas} = \frac{Alas}{\cos(20{,}01^0)}$

Karena batang atas memiliki 2 sisi, maka :

$\text{Batang atas} = 2 \times \left(\frac{Alas}{\cos(20{,}01^0)}\right)$

$= 2 \times \left(\frac{4{,}25\ m}{0{,}93963}\right)$

$= 2 \times 4{,}523$ m

= 9,046 m

(4) Batang anyaman tengah (web members)

Batang anyaman tengah (web members) dihitung untuk mentransfer gaya tekan dan tarik interior serta mencegah tekuk (buckling), Adapun untuk analisis panjang batangnya ialah sebagai berikut :

(a) Batang vertikal

- Tiang vertikal anak (V_1) dekat nok

  $V_1 = \frac{3}{4} \times 1{,}547$ m

  = 1,160 m

  Karena ada 2 sisi yaitu kiri dan kanan, maka :

  V_1 = 1,160 m × 2

  = 2,320 m

- Tiang vertikal anak (V_2) tengah

  $V_2 = \frac{2}{4} \times 1{,}547$ m

  = 0,774 m

  Karena ada 2 sisi yaitu kiri dan kanan, maka :

  V_2 = 0,774 m × 2

  = 1,548 m

- Tiang vertikal anak (V_3) dekat ujung sudut

  $V_3 = \frac{1}{4} \times 1{,}547$ m

  = 0,387 m

  Karena ada 2 sisi yaitu kiri dan kanan, maka :

  V_3 = 0,387 m × 2

  = 0,774 m

- Total panjang batang tiang vertikal (Δ_V)

  $\Delta_V = V_1 + V_2 + V_3$

  = 2,320 m + 1,548 m + 0,774 m

  = 4,642 m

(b) Batang diagonal

Dalam menghitung batang diagonal pada web digunakan rumus phytagoras anatara jarak rangka sebesar 1,0625 m dan tinggi masing-masing tiang vertikal

- Batang diagonal (D_1) dekat nok

  Menghubungkan kaki tiang V_1 ke puncak nok dengan bentang mendatar 1,0625 m

  D_1 $= \sqrt{1{,}0625^2 + 1{,}547^2}$

  = 1,877 m

  Karena ada 2 sisi yaitu kiri dan kanan, maka :

  D_1 = 1,877 m × 2

  = 3,754 m

- Batang diagonal (D_2)

  Menghubungkan kaki tiang V_2 ke kepala tiang V_1 dengan bentang mendatar 0,9375 m

  D_2 $= \sqrt{1{,}0625^2 + 1{,}160^2}$

  = 1,573 m

  Karena ada 2 sisi yaitu kiri dan kanan, maka :

  D_2 = 1,573 m × 2

  = 3,146 m

- Total panjang batang diagonal (Δ_D)

  Δ_D $= D_1 + D_2$

  = 3,754 m + 3,146 m

  = 6,900 m

(c) Batang horizontal

Batang horizontal dihitung dari puncak V_1 bentang sebelah kiri ke puncak V_1 bentang sebelah kanan

- Batang horizontal H_1

  H_1 = jarak antar tiang vertikal × 2

  = 1,0625 m × 2

  = 2,125 m

(d) Total panjang batang web (Δ_{web})

$\Delta_{web} = \Delta_V + \Delta_D + \Delta_H$

= 4,642 m + 6,900 m + 2,125 m

= 13,667 m

(5) Maka, total panjang dan berat bersih 1 kuda-kuda ialah sebagai berikut :

(a) Total panjang

= batang bawah + batang web + batang atas

= 8,5 m + 13,667 m + 9,046 m

= 31,213 m

(b) Total berat bersih kuda-kuda

Berat 1 batang profil C75 yaitu sebesar 6 kg dengan panjang 6 meter untuk per batangnya, maka untuk berat per meter ialah 1 $\frac{kg}{m}$.

Total berat bersih kuda-kuda

= 31,213 m × 1 $\frac{kg}{m}$

= 31,213 kg

(6) Menghitung berat kuda-kuda ke beban luasan per meter persegi ($\frac{kg}{m^2}$)

(a) Luas area pikul tumpuan kuda-kuda

= 8,5 m × 0,9 m

= 7,65 m^2

(b) Berat kuda-kuda $= \frac{31{,}213 \text{ kg}}{7{,}65\ m^2}$

$= 4{,}080\ \frac{kg}{m^2}$

b) Kebutuhan berat reng

(1) Jumlah baris reng untuk luasan 1 × 1meter

Untuk jarak reng yang menggunakan atap metal pasir memiliki jarak reng sebesar 38,5 cm. maka, jumlah baris reng yang diperlukan ketika akan dipasang pada luasan 1 × 1 meter ialah sebagai berikut :

Jumlah baris reng $= \frac{1\ m}{0{,}385\ m}$

$= 2{,}597$ baris

(2) Total panjang reng untuk luasan 1 × 1 meter

Karena pada luasan 1 × 1 meter yang mana luasan tersebut memiliki lebar 1 m, yang mana setiap baris reng memiliki panjang 1 meter. maka, total panjang reng dalam luasan 1 × 1 meter tersebut ialah sebagai berikut :

Total panjang reng $= 2{,}597 \times 1$ m

$= 2{,}597$ m

(3) Berat reng

Reng baja ringan profil R40×45 dengan tebal 0,45 mm memiliki berat sebesar 0,45 $\frac{kg}{m}$.

Berat reng $= 2{,}597 \text{ m} \times 0{,}45\ \frac{kg}{m}$

$= 1{,}1687\ \frac{kg}{m^2}$

c) Kebutuhan batang pengaku (C75) tambahan untuk pengaku kuda-kuda (Stiffener)

Adapun untuk batang pengaku tambahan yang berfungsi untuk pengaku kuda-kuda dengan arah horizontal sepanjang atap gedung yaitu 43 m yaitu berupa roof stifner

atau pengaku horizontal yang mana berfungsi untuk mengunci jarak antar kuda-kuda agar tidak bergeser yaitu 4 buah stiffener tegak lurus horizontal dengan kuda-kuda bagian bottom chord dan 2 buah stiffener tegak lurus horizontal dengan web horizontal pada kuda-kuda.

(1) Total batang pengaku = 6 buah atau jalur

(2) Total panjang pengaku tambahan = 6 jalur × 43 meter

= 258 m

(3) Konversi menjadi koefisien per 1 m^2 luasan atap

Koefisien batang pengaku

$$= \frac{Total\ panjang\ pengaku\ tambahan}{Luas\ atap\ miring}$$

$$= \frac{258\ m}{388{,}98\ m^2}$$

$$= 0{,}663\ \frac{m}{m^2}$$

(4) Berat batang pengaku tambahan

$$= 0{,}663\ \frac{m}{m^2} \times 1\ \frac{kg}{m}$$

$$= 0{,}663\ \frac{kg}{m^2}$$

d) Kebutuhan jumlah sekrup dan berat sekrup untuk rangka baja ringan

Untuk menghitung total kebutuhan sekrup pada rangka baja ringan dilakukan dengan menghitung jumlah titik simpul (node) pada satu unit kuda-kuda, kemudian dikalikan dengan jumlah seluruh kuda-kuda dan reng yang terpasang.

(1) Data dasar eksisting

(a) Panjang atap = 43 m

(b) Jarak antar kuda-kuda = 0,9 m

(c) Jumlah kuda-kuda utama

Jumlah kuda-kuda $= \left(\frac{43\ m}{0{,}9\ m}\right) + 1$

= 48,77 unit

≈ 49 unit

(d) Jumlah baris reng

Berdasarkan panjang miring atap pada salah satu sisi bidang sebesar 4,523 m dengan jarak pasang reng sebesar 0,385 m

Jumlah baris reng $= \left(\frac{4{,}523\ m}{0{,}385\ m}\right) + 1$

= 12,74

≈ 13 baris

Karena terdapat 2 sisi yaitu sebelah kanan dan kiri, maka

Jumlah baris reng = 13 baris × 2

= 26 baris

(2) Sekrup untuk kuda-kuda

(a) Titik tumpu ujung (kiri dan kanan)

Titik tumpu ujung = 2 titik × 4 sekrup

= 8 buah

(b) Titik puncak nok = 1 titik × 4 sekrup

= 4 buah

(c) Pertemuan batang web internal

Pada pertemuan batang web pada masing-masing sisi terdapat 6 titik simpul yaitu 3 titik di simpul atas yang menempel pada top chord dan 3 titik simpul pada bottom chord, dan masing-masing diikat rata-rata menggunakan 3 sekrup.

Pertemuan batang web = 6 titik × 3 sekrup

= 18 buah

Karena ada 2 sisi yaitu sebalah kanan dan kiri, maka

Pertemuan batang web = 18 buah × 2

= 36 buah

(d) Total sekrup untuk 1 kuda-kuda ($\Delta_{sekrup\ 1\ kuda-kuda}$)

$\Delta_{sekrup\ 1\ kuda-kuda}$ = 8 + 4 + 36

= 48 buah per unit

(e) Total sekrup semua kuda-kuda (49 unit)

$\Delta_{sekrup\ kuda-kuda}$ = 48 × 49

= 2.352 buah

(3) Sekrup untuk ikatan pengaku (roof stiffener)

Terdapat 6 pengaku horizontal yang terpasang melewati pada kuda-kuda, yang mana setiap titik pertemuan menggunakan 2 sekrup.

(a) Total titik pertemuan

= 6 jalur × 49 kuda-kuda

= 294 titik

(b) Total sekrup pengaku ($\Delta_{sekrup\ pengaku}$)

$\Delta_{sekrup\ pengaku}$ = 294 titik × 2 sekrup

= 588 buah

(4) Sekrup untuk reng

Reng dipasang sepanjang 43 m di atas 49 unit kuda-kuda. Adapun setiap reng pada setiap di atas kuda-kuda dikunci menggunakan 2 sekrup yang dipasang menyilang pada sisi sayapnya. Adapun untuk kebutuhan reng ialah sebagai berikut :

(a) Total titik pertemuan reng

= 26 baris reng × 49 kuda-kuda

= 1.274 titik

(b) Total sekrup reng ($\Delta_{sekrup\ reng}$)

$\Delta_{sekrup\ reng}$ = 1.274 titik × 2 sekrup

= 2.548 buah

(5) Total kebutuhan sekrup

Total kebutuhan sekrup $= \Delta_{sekrup\ kuda-kuda} + \Delta_{sekrup\ pengaku} + \Delta_{sekrup\ reng}$

$= 2.352 + 588 + 2.548$

$= 5.488$ buah

(6) Berat sekrup baja ringan per meter persegi ($\frac{kg}{m^2}$)

Sekrup jenis profit yang digunakan untuk rangka baja ringan memiliki berat sebesar 2,2 gram atau 0,0022 kg.

(a) Total berat sekrup

$= 5.488$ buah $\times$ 0,0022 kg

$= 12{,}074$ kg

(b) Berat sekrup per meter persegi

Total berat sekrup $= \frac{12{,}074\ kg}{388{,}98\ m^2}$

$= 0{,}031\ \frac{kg}{m^2}$

e) Overlapp rangka atap baja ringan

(1) Berat profil material

(a) Profil C75 $= 1\ \frac{kg}{m}$

(b) Reng $= 0{,}45\ \frac{kg}{m}$

(2) Overlapp pada kuda-kuda (bottom cord)

Pada kuda-kuda bagian batang bawah atau bottom chord, masing-masing memiliki titik sambungan lewatan sepanjang 0,5 m.

(a) Total panjang overlap $= 49$ unit $\times$ 0,5 m

$= 24{,}5$ m

(b) Total berat overlap kuda-kuda ($\Delta_{overlap\ kuda-kuda}$)

$\Delta_{overlap\ kuda-kuda} = 24{,}5$ m $\times\ 1\ \frac{kg}{m}$

$= 24{,}5\ kg$

(3) Overlap pada batang pengaku

Pada batang pengaku memiliki titik sambungan lewatan sebesar 0,4 m setiap melewati panjang 1 batang pengaku setiap 6 meter pada 1 jalur.

(a) Panjang efektif batang = 6 m – 0,4 m
= 5,6 m

(b) Jumlah sambungan

$= \frac{Panjang\ atap}{Panjang\ efektif\ batang} - 1$

$= \frac{43\ m}{5{,}6\ m} - 1$

= 6,68 titik sambungan

≈ 7 titik sambungan

(c) Panjang material tambahan

Setiap jalur pengaku memerlukan tambahan material akibat lewatan atau overlap yaitu sebagai berikut :

Panjang material tambahan

= 7 titik × 0,4 m

= 2,8 m

(d) Total titik sambungan = 6 jalur × 7 titik
= 42 titik

(e) Total panjang overlap = 42 titik × 0,4 m
= 16,8 m

(f) Total berat overlap batang pengaku ($\Delta_{overlap\ batang\ pengaku}$)

$\Delta_{overlap\ batang\ pengaku}$ = 16,8 m × 1 $\frac{kg}{m}$
= 16,8 kg

(4) Overlap pada reng

(a) Panjang sisi miring atap (top chord)

Panjang miring $= \frac{Setengah\ bentang\ datar\ atap}{sudut\ kemiringan\ atap}$

$$= \frac{4{,}25\ m}{\cos(20{,}01^0)}$$

$$= \frac{4{,}25\ m}{0{,}9396}$$

= 4,523 m

(b) Menentukan jumlah baris dan jarak reng

Jumlah baris per sisi $= \left(\frac{panjang\ miring}{jarak\ reng}\right) + 1$

$= \left(\frac{4{,}523\ m}{0{,}385\ m}\right) + 1$

= 12,74

≈ 13 baris

Jarak aktual antar reng $= \frac{4{,}523}{13-1}$

= 0,377 m

= 37,7 cm

Karena terdapat 2 sisi reng yaitu sisi kiri dan kanan, maka jumlah baris reng ialah sebagai berikut :

Total baris reng = 13 baris × 2

= 26 baris

(c) Menghitung panjang efektif reng

Reng memiliki sambungan lewatan atau overlap sebesar 0,2 m. setiap batang sepanjang 6 m harus termakan atau terpotong sebesar 0,2 m untuk masuk ke batang di sebelahnya.

Panjang efektif reng = 6 m – 0,2 m

= 5,8 m

(d) Kebutuhan batang per jalur sepanjang 43 meter

$= \frac{Panjang\ atap}{Panjang\ efektif}$

$= \frac{43\ m}{5{,}8\ m}$

= 7,41 batang

≈ 8 batang

(e) Jumlah titik sambungan per jalur

= jumlah potongan batang – 1

= 8 – 1

= 7 titik

(f) Menghitung total titik sambungan reng pada rangka atap

Total titik sambungan = 26 baris × 7 titik

= 182 titik

(g) Menghitung total panjang overlap reng

Total panjang overlap reng

= 182 titik × 0,2 m

= 36,4 m

(h) Menghitung total berat overlap reng ($\Delta_{overlap\ reng}$)

Total berat overlap reng = 36,4 m × 0,45 $\frac{kg}{m}$

= 16,38 kg

(5) Total berat overlap rangka baja ringan ($\Delta_{overlap\ rangka\ baja\ ringan}$)

$\Delta_{overlap\ rangka\ baja\ ringan}$ = $\Delta_{overlap\ kuda-kuda}$ + $\Delta_{overlap\ batang\ pengaku}$ + $\Delta_{overlap\ reng}$

= 24,5 + 16,8 + 16,38

= 57,68 kg

(6) Total berat overlap komponen rangka baja ringan atap per meter persegi

Berat overlap rangka baja ringan = $\frac{57{,}68\ kg}{388{,}98\ m^2}$

= 0,148 $\frac{kg}{m^2}$

f) Total berat komponen rangka baja ringan (C75 + reng)

Total berat rangka baja ringan = berat kuda-kuda + Berat batang pengaku + Berat reng + berat sekrup + berat overlap sambungan

$= 4{,}080 \frac{kg}{m^2} + 0{,}663 \frac{kg}{m^2} + 1{,}169 \frac{kg}{m^2} + 0{,}031 \frac{kg}{m^2} + 0{,}148 \frac{kg}{m^2}$

$= 6{,}091 \frac{kg}{m^2}$

c. Perhitungan Beban Mati Tambahan (SIDL Atap)

Beban mati tambahan ditinjau dari material non-struktural permanen yang membebani rangka atap. Karena analisis dilakukan pada bidang datar horisontal, maka beban luasan aktual pada bidang miring harus dikonversi terlebih dahulu menggunakan faktor proyeksi sudut cos $20{,}01^O$ = 0,9396

1) Data-data

a) Berat penutup atap (genteng metal pasir + sekrup)
$= 3{,}572 \frac{kg}{m^2}$

b) Berat rangka baja ringan (profil c75 + reng) = $6{,}091 \frac{kg}{m^2}$

c) Beban utilitas gantung (instalasi lampu + kabel) = $2 \frac{kg}{m^2}$

d) Total beban aktual bidang miring = 3,572 + 6,091 + 2
$= 11{,}663 \frac{kg}{m^2}$

2) Beban proyeksi ke bidang datar horizontal

Beban datar $= \frac{beban\ miring}{\cos\theta}$

$= \frac{11{,}663 \frac{kg}{m^2}}{\cos 20{,}01^O}$

$$= \frac{11{,}663\ \frac{kg}{m^2}}{0{,}9396}$$

$$= 12{,}413\ \frac{kg}{m^2}$$

3) Total berat komponen luasan atap

Total massa dari komponen luasan atap dihitung berdasarkan luas miring aktual struktur

Berat luasan atap = luas miring atap × beban miring aktual

$= 388{,}98\ m^2 \times 11{,}663\ \frac{kg}{m^2}$

= 4.536,67 kg

4) kebutuhan komponen nok atap

a) Panjang efektif nok

(1) Panjang batang nok = 1 meter

(2) Overlap nok = 10 cm

= 0,1 m

(3) Panjang efektif nok = panjang batang nok – overlap nok

= 1 m – 0,1 m

= 0,9 m

b) Menghitung kebutuhan batang dan berat nok

(1) Kebutuhan batang nok $= \frac{panjang\ nok}{panjang\ efektif\ nok}$

$= \frac{43\ m}{0{,}9\ m}$

= 47,78

≈ 48 batang

(2) Total berat batang nok

Berat batang nok = 48 × 1,5 kg

$= 72\ kg$

c) Kebutuhan jumlah dan berat sekrup nok

(1) Kebutuhan sekrup nok

Dilapangan nok dijepit di puncak atap yang mana kemudian di sekrup menembus genteng metal

ujung di puncak nok dengan menggunakan 2 buah sekrup per masing-masing batang nok di seblah kiri dan sebelah kanan atau dengan kata lain 4 buah sekrup yang dibutuhkan untuk per setiap meternya.

Kebutuhan sekrup nok = panjang atap × 4 $\frac{buah}{meter}$

= 43 m × 4 $\frac{buah}{meter}$

= 172 buah

(2) Total berat sekrup nok

Berat sekrup nok = 172 × 0,00932 kg

= 1,603 kg

d) Total berat komponen nok

Berat komponen nok = berat batang nok + berat sekrup nok

= 72 kg + 1,603 kg

= 73,603 kg

5) Total akumulasi beban mati tambahan (SIDL Total)

$W_{SIDL\ total}$ = berat luasan atap + berat nok

= 4.536,67 kg + 73,603 kg

= 4.610,273 kg

6) Beban garis merata pada balok B3 (q_{SIDL})

Distribusi beban luasan atap menuju elemen balok penopang B3 memanjang (Sumbu A dan Sumbu B) dianalisis menggunakan metode distribusi area (*Tributary Area*). Berdasarkan geometri atap, lebar distribusi beban (L_t) untuk masing-masing sisi balok penopang memanjang adalah 3,75 m

a) Beban merata akibat luasan atap (q_{luasan})

q_{luasan} = Beban datar × L_t

= 12,413 $\frac{kg}{m^2}$ × 4,25 m

= 52,755 $\frac{kg}{m}$

b) Beban merata tambahan akibat komponen nok (q_{nok})

Beban merata tambahan akibat komponen nok ini didistribusikan ke total panjang efektif balok B3 yaitu sepanjang 84 m.

$$q_{nok} = \frac{Massa\ nok\ total}{Total\ panjang\ balok\ B3\ memanjang}$$

$$= \frac{73{,}603\ kg}{86\ m}$$

$$= 0{,}856\ \frac{kg}{m}$$

c) Total beban garis merata pada balok memanjang B3 (q_{SIDL})

$$q_{SIDL} = q_{luasan} + q_{nok}$$

$$= 52{,}755\ \frac{kg}{m} + 0{,}856\ \frac{kg}{m}$$

$$= 53{,}611\ \frac{kg}{m}$$

$$= \frac{(53{,}611 \times 9{,}81)}{1.000}$$

$$= 0{,}526\ \frac{kN}{m}$$

5.2.3 Beban Hidup Atau Live Load (LL)

Berdasarkan SNI 1727-2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain menjelaskan bahwa beban hidup merujuk pada beban yang dihasilkan oleh pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lainnya, yang mana tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti angin, hujan, gempa bumi, banjir, atau beban mati. Beban hidup itu sendiri ditentukan berdasarkan fungsi bangunan itu sendiri. Adapun fungsi atau tujuan bangunan dalam analisis penelitian ini adalah sebagai area parkir, beban hidup yang digunakan ialah sebagai berikut :

1. Beban hidup pada pelat lantai GF – lantai 5

   Garasi/parkir mobil penumpang saja $= 1{,}92\ \frac{kN}{m^2}$

2. Beban hidup pada pelat lantai atap – lantai dak tangga dan ruang mesin

   Atap datar $= 0{,}96\ \frac{kN}{m^2}$

3. Beban hidup pada pelat lantai atap pelat ruang mesin pada lantai atap

Asumsi yang ada pada ruang mesin seperti pada pabrik ringan

$= 6 \frac{kN}{m^2}$

4. Beban hidup pada ramp

   Garasi atau parkir mobil penumpang saja $= 1{,}92 \frac{kN}{m^2}$

5. Beban hidup pada tangga

   a. Beban hidup pelat tangga

      Jalur penyelamatan saat kebakaran atau tangga dan jalan keluar

      $= 4{,}79 \frac{kN}{m^2}$

   b. Beban hidup railing

      Pegangan tangga dan sistem pagar pengaman beban merata (railing)

      $= 0{,}73 \frac{kN}{m^2}$

6. Beban hidup pada ruang kantor dan dinding sekitar lift

   a. Beban hidup kantor

      Kantor $= 2{,}4 \frac{kN}{m^2}$

   b. Beban hidup koridor

      Koridor $= 4{,}79 \frac{kN}{m^2}$

7. Beban hidup pada pelat lantai untuk lift

   Kapasitas 1.000 kg/m2 untuk mak.13 orang = $1.000 \frac{kg}{m^2}$

8. Beban hidup pada kamar mandi

   Asumsi hunian atau penggunaan rumah tinggal yaitu semua ruang kecuali tangga $= 1{,}92 \frac{kN}{m^2}$

9. Perhitungan beban hidup atap (live load roof)

   Berdasarkan Tabel 4.3-1 mengenai beban hidup terdistribusi merata minimum L_o dan beban hidup terpusat minimum yang terdapat pada SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain, komponen atap yang hanya diakses untuk keperluan pemeliharaan oleh pekerja wajib diperhitungkan memikul beban hidup sebesar $0{,}96 \frac{kN}{m^2}$ atau setara dengan $96 \frac{kg}{m^2}$.

Untuk mengubah beban luasan dalam satuan $\frac{kN}{m^2}$ menjadi beban garis merata dalam satuan $\frac{kN}{m}$ yang menempel di atas balok B3 maka harus dikalikan dengan nilai lebar tributary datar atau panjang bentang atap yang membebani balok tersebut. Adapun untuk perhitungannya ialah sebagai berikut :

1) Beban hidup luasan (q_{live}) = 0,96 $\frac{kN}{m^2}$

2) Setengah bentang datar atap (L_{datar})

   = $\frac{1}{2}$ × 8,5 m

   = 4,25 m

3) Menghitung beban hidup garis merata ($q_{live\ beban\ merata}$)

   $q_{live\ beban\ merata}$ = q_{live} × L_{datar}

   = 0,96 $\frac{kN}{m^2}$ × 4,25 m

   = 4,08 $\frac{kN}{m}$

5.2.4 Beban Dead, SIDL, dan Live dari Desain Ramp dan Tangga

Pemodelan elemen ramp dan tangga dilakukan secara terpisah dari portal gedung utama dengan tujuan untuk menganalisis gaya-gaya dalam murni akibat beban gravitasi serta mencegah timbulnya efek kekakuan berlebih (*stiffness effect*) pada model 3D gedung utama. Transfer atau penyaluran beban dari struktur ramp dan tangga ke balok penumpu gedung utama disalurkan dalam bentuk beban terpusat titik (*Joint Load*) pada titik-titik perletakannya.

1. Konversi gaya reaksi beban ramp bangunan sisi kiri menjadi beban titik terpusat pada balok penumpu gedung

   Gaya reaksi vertikal Fz hasil analisis model terpisah pada tumpuan yang terletak di atas dan tumpuan yang terletak di bawah dirata-ratakan untuk mendistribusikan beban gravitasi (*dead load, superimposed dead load/sidl, dan live load*) secara seimbang dan simetris pada balok penumpu yang terhubung ke gedung utama. Nilai beban titik yang di-assign pada setiap joint balok penumpu dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_{joint} = \frac{\sum Fz_{tumpuan\ bawah} + \sum Fz_{tumpuan\ atas}}{4}$$

Keterangan :

a. P_{joint} = Nilai beban titik yang di-input pada setiap joint balok yang terhubung ke gedung utama (kN)

b. $\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$ = Total gaya reaksi vertikal dari titik tumpuan bawah (kN)

c. $\sum Fz_{tumpuan\ atas}$ = Total gaya reaksi vertikal dari titik tumpuan atas (kN)

d. 4 = Jumlah total titik joint penumpu (2 titik di tumpuan bawah dan 2 titik di tumpuan atas)

Berikut perhitungan beban titik yang terletak pada ramp lantai 0.0 (GF) - lantai 1.

a. Perhitungan beban mati murni (*dead load*)

1) Gaya reaksi tumbuan yang berada di bawah ($\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$)

a) $Fz_{tumpuan\ bawah\ \ sebalh\ kiri}$ = 24,0557 kN

b) $Fz_{tumpuan\ bawah\ \ sebalh\ kanan}$ = 21,3829 kN

c) $\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$

= 24,0557 kN + 21,3829 kN

= 45,4386 kN

2) Gaya reaksi tumbuan yang berada di bawah ($\sum Fz_{tumpuan\ atas}$)

a) $Fz_{tumpuan\ atas\ \ sebalh\ kiri}$ = 138,5388 kN

b) $Fz_{tumpuan\ atas\ \ sebalh\ kanan}$ = 135,8660 kN

c) $\sum Fz_{tumpuan\ atas}$

= 138,5388 kN + 135,8660 kN

= 274,4048 kN

3) Total beban mati ramp ($\sum Fz_{total}$)

a) $\sum Fz_{total}$

= 45,4386 kN + 274,4048 kN

= 319,8434 kN

4) Input beban titik per joint (P_{dead})

a) P_{dead} $= \frac{319,8434\ kN}{4}$

= 79,96085 kN

b. Perhitungan beban mati tambahan (superimposed *dead load/ SIDL*)

1) Gaya reaksi tumbuan yang berada di bawah ($\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$)

a) $Fz_{tumpuan\ bawah\ \ sebalh\ kiri}$ = 35,1926 kN

b) $Fz_{tumpuan\ bawah\ \ sebalh\ kanan}$ = 35,1926 kN

c) $\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$

= 35,1926 kN + 35,1926 kN

= 70,3852 kN

2) Gaya reaksi tumbuan yang berada di bawah ($\sum Fz_{tumpuan\ atas}$)

a) $Fz_{tumpuan\ atas\ \ sebalh\ kiri}$ = 42,6288 kN

b) $Fz_{tumpuan\ atas\ \ sebalh\ kanan}$ = 42,6288 kN

c) $\sum Fz_{tumpuan\ atas}$

= 42,6288 kN + 42,6288 kN

= 85,2576 kN

3) Total beban mati ramp ($\sum Fz_{total}$)

a) $\sum Fz_{total}$

= 70,3852 kN + 85,2576 kN

= 155,6428 kN

4) Input beban titik per joint (P_{dead})

a) P_{dead} $= \frac{155,6428\ kN}{4}$

= 38,9107 kN

c. Perhitungan beban hidup (*live load*)

1) Gaya reaksi tumbuan yang berada di bawah ($\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$)

a) $Fz_{tumpuan\ bawah\ \ sebalh\ kiri}$ = 0 kN

b) $Fz_{tumpuan\ bawah\ \ sebalh\ kanan}$ = 0 kN

c) $\sum Fz_{tumpuan\ bawah}$

= 0 kN + 0 kN

= 0 kN

2) Gaya reaksi tumbuan yang berada di bawah ($\sum Fz_{tumpuan\ atas}$)

a) $Fz_{tumpuan\ atas\ \ sebalh\ kiri}$ = 51,2640 kN

b) $Fz_{tumpuan\ atas\ \ sebalh\ kanan}$ = 51,2640 kN

c) $\sum Fz_{tumpuan\ atas}$

= 51,2640 kN + 51,2640 kN

= 102,5280 kN

3) Total beban mati ramp ($\sum Fz_{total}$)

a) $\sum Fz_{total}$

= 0 kN + 102,5280 kN

= 102,5280 kN

4) Input beban titik per joint (P_{dead})

a) P_{dead} $= \frac{102,5280\ kN}{4}$

= 25,6320 kN

Pada saat *input* atau *assign* beban terpusat *joint load* ke dalam program ETABS, nilai beban tersebut harus diberi tanda negatif (-) pada sumbu Global Z karena arah kerjanya searah dengan gaya gravitasi yaitu ke arah bawah. Adapun rekapitulasi hasil konversi gaya reaksi (*joint reaction*) dari pemodelan terpisah ramp beserta besaran beban terpusat rata-rata yang dimasukkan atau di *input* ke dalam model gedung utama dapat dilihat pada **Tabel 5.3** halaman berikutnya.

Tabel 5. 3 Tabel Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction Ramp Bangunan Sisi Kiri Menjadi Beban Titik

No.	Ramp	Jenis Beban	Reaksi Tumpuan Vertikal (Fz) (kN)		Beban Titik Rata-Rata per Joint (kN)
			Tumpuan bawah (kN)	Tumpuan Atas (kN)	
1	Ramp Lt.0 – Lt.1	Dead	24,0557	138,5388	79,96085
			21,3829	135,866	
		SIDL	35,1926	42,6288	38,9107
			35,1926	42,6288	
		Live	0	51,264	25,632
			0	51,264	
2	Ramp Lt.1-Lt.2	Dead	23,8552	138,3383	79,77145
			21,2046	135,6877	
		SIDL	34,8992	34,8992	34,8992
			34,8992	34,8992	
		Live	0	51,264	25,632
			0	51,264	
3	Ramp Lt.2-Lt.3	Dead	23,8552	138,3383	79,77145
			21,2046	135,6877	
		SIDL	34,8992	42,3354	38,6173
			34,8992	42,3354	
		Live	0	51,264	25,632
			0	51,264	
4	Ramp Lt.3-Lt.4	Dead	23,8552	138,3383	79,77145
			21,2046	135,6877	
		SIDL	34,8992	34,8992	34,8992
			34,8992	34,8992	
		Live	0	51,264	25,632
			0	51,264	
5	Ramp Lt.4-Lt.5	Dead	23,8552	138,3383	79,77145
			21,2046	135,6877	
		SIDL	34,8992	42,3354	38,6173
			34,8992	42,3354	
		Live	0	51,264	25,632
			0	51,264	

2. Konversi gaya reaksi beban tangga bangunan sisi kiri menjadi beban titik terpusat pada balok penumpu gedung

Adapun rekapitulasi hasil konversi gaya reaksi (*joint reaction*) dari pemodelan terpisah tangga beserta besaran beban terpusat rata-rata yang dimasukkan atau di *input* ke dalam model gedung utama disajikan pada **Tabel 5.4** berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction tangga Bangunan Sisi Kiri Menjadi Beban Titik

No.	Ramp	Jenis Beban	Reaksi Tumpuan Vertikal (Fz) (kN)		Beban Titik Rata-Rata per Joint (kN)
			Tumpuan bawah (kN)	Tumpuan Atas (kN)	
1	Ramp Lt.0 – Lt.1	Dead	12,6263	13,1562	12,89125
			12,6263	13,1562	
		SIDL	7,3639	7,6729	7,5184
			7,3639	7,6729	
		Live	14,1052	14,6973	14,40125
			14,1052	14,6973	
2	Ramp Lt.1-Lt.2	Dead	12,1217	12,1207	11,736125
			11,3506	11,3515	
		SIDL	7,0696	7,069	6,844725
			6,6199	6,6204	
		Live	13,5416	13,5405	13,110875
			12,6802	12,6812	
3	Ramp Lt.2-Lt.3	Dead	12,1217	12,1207	11,736125
			11,3506	11,3515	
		SIDL	7,0696	7,069	6,844725
			6,6199	6,6204	
		Live	13,5416	13,5405	13,110875
			12,6802	12,6812	
4	Ramp Lt.3-Lt.4	Dead	12,1217	12,1207	11,736125
			11,3506	11,3515	
		SIDL	7,0696	7,069	6,844725
			6,6199	6,6204	

Lanjutan Tabel 5. 4 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction tangga Bangunan Sisi Kiri Menjadi Beban Titik

No.	Ramp	Jenis Beban	Reaksi Tumpuan Vertikal (Fz) (kN)		Beban Titik Rata-Rata per Joint (kN)
			Tumpuan bawah (kN)	Tumpuan Atas (kN)	
		Live	13,5416	13,5405	13,110875
			12,6802	12,6812	
5	Ramp Lt.4-Lt.5	Dead	11,5649	11,9074	11,73615
			11,5649	11,9074	
		SIDL	6,7448	6,9446	6,8447
			6,7448	6,9446	
		Live	12,9195	13,3022	13,11085
			12,9195	13,3022	
6	Ramp Lt.5-Lt.Atap	Dead	12,1995	12,1985	11,79845
			11,3974	11,3984	
		SIDL	7,1149	7,1144	6,88105
			6,6472	6,6477	
		Live	13,6284	13,6273	13,180425
			12,7325	12,7335	

3. Konversi gaya reaksi beban ramp bangunan sisi kanan menjadi beban titik terpusat pada balok penumpu gedung

Adapun rekapitulasi hasil konversi gaya reaksi (*joint reaction*) dari pemodelan terpisah ramp beserta besaran beban terpusat rata-rata yang dimasukkan atau di *input* ke dalam model gedung utama disajikan pada **Tabel 5.5** halaman berikutnya.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction Ramp Bangunan Sisi Kanan Menjadi Beban Titik

No.	Ramp	Jenis Beban	Reaksi Tumpuan Vertikal (Fz) (kN)		Beban Titik Rata-Rata per Joint (kN)
			Tumpuan bawah (kN)	Tumpuan Atas (kN)	
1	Ramp Lt.0 – Lt.1	Dead	80,9588	80,9588	79,6278
			78,2968	78,2968	
		SIDL	38,7528	38,7528	38,7528
			38,7528	38,7528	
		Live	25,524	25,524	25,524
			25,524	25,524	
2	Ramp Lt.1-Lt.2	Dead	80,7575	80,7575	79,43765
			78,1178	78,1178	
		SIDL	38,4581	38,4581	38,4581
			38,4581	38,4581	
		Live	25,524	25,524	25,524
			25,524	25,524	
3	Ramp Lt.2-Lt.3	Dead	80,7575	80,7575	79,43765
			78,1178	78,1178	
		SIDL	38,4581	38,4581	38,4581
			38,4581	38,4581	
		Live	25,524	25,524	25,524
			25,524	25,524	
4	Ramp Lt.3-Lt.4	Dead	80,7575	80,7575	79,43765
			78,1178	78,1178	
		SIDL	38,4581	38,4581	38,4581
			38,4581	38,4581	
		Live	25,524	25,524	25,524
			25,524	25,524	
5	Ramp Lt.4-Lt.5	Dead	80,7575	80,7575	79,43765
			78,1178	78,1178	
		SIDL	38,4581	38,4581	38,4581
			38,4581	38,4581	
		Live	25,524	25,524	25,524
			25,524	25,524	

4. Konversi gaya reaksi beban tangga bangunan sisi kanan menjadi beban titik terpusat pada balok penumpu gedung

Adapun rekapitulasi hasil konversi gaya reaksi (*joint reaction*) dari pemodelan terpisah tangga beserta besaran beban terpusat rata-rata yang

dimasukkan atau di *input* ke dalam model gedung utama disajikan pada **Tabel 5.6** berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Konversi Beban Joint Reaction tangga Bangunan Sisi kanan Menjadi Beban Titik

No.	Ramp	Jenis Beban	Reaksi Tumpuan Vertikal (Fz) (kN)		Beban Titik Rata-Rata per Joint (kN)
			Tumpuan bawah (kN)	Tumpuan Atas (kN)	
1	Ramp Lt.1-Lt.2	Dead	12,1696	12,1696	12,1696
			12,1696	12,1696	
		SIDL	7,0975	7,0975	7,0975
			7,0975	7,0975	
		Live	13,595	13,595	13,595
			13,595	13,595	
2	Ramp Lt.2-Lt.3	Dead	12,1696	12,1696	12,1696
			12,1696	12,1696	
		SIDL	7,0975	7,0975	7,0975
			7,0975	7,0975	
		Live	13,595	13,595	13,595
			13,595	13,595	
3	Ramp Lt.3-Lt.4	Dead	12,1696	12,1696	12,1696
			12,1696	12,1696	
		SIDL	7,0975	7,0975	7,0975
			7,0975	7,0975	
		Live	13,595	13,595	13,595
			13,595	13,595	
4	Ramp Lt.4-Lt.5	Dead	12,1696	12,1696	12,1696
			12,1696	12,1696	
		SIDL	7,0975	7,0975	7,0975
			7,0975	7,0975	
		Live	13,595	13,595	13,595
			13,595	13,595	

5.2.5 Beban Air Hujan (R) pada Pelat Atap Datar

Setiap komponen atap harus dirancang dan dibangun untuk menahan beban air hujan yang terkumpul di atasnya dalam kasus sistem drainase utama pada bagian tersebut tersumbat, serta beban merata yang ditimbulkan oleh air yang naik melampaui inlet atau lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran yang dimaksud.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung beban hujan desain berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 8.3 ialah sebagai berikut.

= 0,0098 ($d_s + d_h$).

1. Menentukan nilai d_s

   Nilai d_s pada analisis gedung ini diambil dari spesi batas pelat atap sampai keramik pada tangga atap, maka didapat nilai d_s yaitu

   d_s = 13 cm

   = 130 mm

2. Menentukan nilai d_h

   Terdapat perbedaan kedalaman air sebesar 1 cm di atap yang tidak mengalami penurunan, karena kedalaman air di atas inlet sistem drainase sekunder diukur sebesar 2 cm.

   d_h = 1 cm

   = 10 mm

3. Menghitung nilai beban air hujan (R) pada pelat atap datar

   = 0,0098 × ($d_s + d_h$).

   = 0,0098 × (130 + 10)

   = 1,372 $\frac{kN}{m^2}$

   = 137,2 $\frac{kg}{m^2}$

5.2.6 Analisa Beban Gempa Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726:2019

Pada penelitian ini objek yang dianalisis ialah Gedung Parkir Bertingkat Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito. Gedung parkir ini terletak di Kalurahan Sinduadi, Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasinya persis di sebelah barat Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada dan di sebelah selatan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

1. Menentukan klasifikasi situs

   Klasifikasi situs pada penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil pengujian penelitian tanah yaitu pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) sesuai data hasil pengujian penelitian tanah pada Gedung Parkir RSUP Dr. Sardjito berdasarkan hasil (Thoriq Maulana et al, 2015). Adapun untuk

perhitungan dalam menentukan klasifikasi situs dapat dilihat pada **Tabel 5.7** dibawah ini ialah sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Analisis Nilai Klasifikasi Situs

Lapisan (i)	Interval Kedalaman (m)	Tebal Lapisan d_i (m)	N-SPT Lapangan	N_i (Maks.50)	$\frac{d_i}{N_i}$
1	0 – 2	2	10	10	$\frac{2}{10} = 0{,}2$
2	2 – 4	2	>50	50	$\frac{2}{5} = 0{,}04$
3	4 – 6	2	23	23	$\frac{2}{23} = 0{,}087$
4	6 – 8	2	14	14	$\frac{2}{14} = 0{,}143$
5	8 – 10	2	>50	50	$\frac{2}{50} = 0{,}04$
6	10 – 12	2	>50	50	$\frac{2}{50} = 0{,}04$
7	12 – 14	2	24	24	$\frac{2}{24} = 0{,}083$
8	14 – 16	2	>50	50	$\frac{2}{50} = 0{,}04$
9	16 – 18	2	>50	50	$\frac{2}{50} = 0{,}04$
10	18 – 20	2	44	44	$\frac{2}{44} = 0{,}045$
11	20 – 22	2	54 (>50)	50	$\frac{2}{50} = 0{,}04$
12	22 – 24	2	39	39	$\frac{2}{39} = 0{,}051$
13	24 – 26	2	41	41	$\frac{2}{41} = 0{,}049$
14	26 – 28	2	41	41	$\frac{2}{41} = 0{,}049$
15	28 – 30	2	50	50	$\frac{2}{50} = 0{,}04$
Total		$\sum d_i = 30$			$\sum\left(\frac{d_i}{N_i}\right) = 0{,}987$

Berdasarkan SNI 1726-2019 untuk menentukan klasifikasi situs digunakan rumus dan perhitungan sebagai berikut :

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}}$$

$$= \frac{30}{0{,}987}$$

$$= 30{,}40$$

Adapun didapatkan hasil perhitungan rekapitulasi nilai klasifikasi situs berdasarkan pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) pada tiap pengujian yang dapat dilihat pada **Tabel 5.8** sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Hasil Analisis Nilai Klasifikasi Situs Hasil Pengujian SPT

No. Titik Pengujian	Nilai Klasifikasi Situs ($\overline{N}$)
BM 01 SJT	30,40
BM 02 SJT	19,05

Berdasarkan Tabel 5 mengenai klasifikasi situs yang terdapat pada SNI 1726-2019 didapatkan nilai klasifikasi situs $\overline{N}$ pada kedua pengujian 2 titik SPT tersebut sebesar 30,40 dan 19,05 yang mana nilai tersebut berada pada rentang $15 \leq \overline{N} \leq 50$, yang mana lapisan tanah termasuk tanah sedang, maka dari itu klasifikasi situs termasuk kedalam kelas situs SD (tanah sedang).

2. Parameter percepatan gempa

   a. Menentukan nilai spectral percepatan periode pendek (S_s) dan spectral percepatan periode 1 detik (S_1)

      Dalam menentukan nilai spectral percepatan periode pendek (S_s) berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gambar 15 mengenai parameter gerak tanah (S_s) didapat nilai S_s untuk wilayah Yogyakarta ialah diantara nilai 0,9-1,0 g, 1,0-1,2 g, 1,2-1,5 g, 1,5-2,0 g, dan 2,0-2,5 g, sedangkan menurut puskim atau RSA Cipta Karya didapat nilai S_s untuk lokasi Gedung Parkir Motor A RSUP Dr. Sardjito yang terletak pada titik koordinat $-7{,}7675031^{\circ}$ Lintang Selatan (LS) dan $110{,}3695411^{\circ}$ Bujur Timur (BT) ialah sebesar 1,0963 g. Sedangkan dalam menentukan nilai spectral percepatan periode 1 detik (S_1) berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gambar 15 mengenai parameter gerak tanah (S_1) untuk wilayah Yogyakarta ialah diantara nilai 0,4-0,5 g, 0,5-0,6 g, 0,6-0,7 g, dan 0,7-0,8 g sedangkan menurut puskim atau RSA Cipta Karya didapat nilai S_s untuk daerah lokasi Gedung Parkir

Motor A RSUP Dr. Sardjito ialah sebesar 0,4979 g. Adapun dalam analisis ini diambil untuk nilai S_s dan S_1 berdasarkan puskim atau RSA Cipta Karya didapat nilai S_1 untuk daerah Sleman ialah sebesar 0,4979 g, sedangkan nilai S_s untuk daerah Sleman ialah sebesar 1,0963 g.

b. Menentukan koefisien situs (F_a dan F_v)

Untuk menentukan koefisien situs F_a dan F_v dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 pada tabel 6 untuk menentukan nilai F_a dan tabel 7 untuk menentukan nilai F_v yang terdapat pada SNI 1726:2019. Adapun berikut untuk menentukan nilai F_a dan F_v.

1) Mencari nilai F_a

S_s = 1,0963

Karena nilai S_s didapat diantara interval nilai $1 \leq S_s \leq 1{,}25$ maka nilai F_a dicari dengan cara menggunakan interpolasi sebagai berikut:

S_{s1} = 1 didapat F_{a1} = 1,1 (batas bawah)

S_{s2} = 1,25 didapat F_{a2} = 1 (batas bawah)

Mencari nilai F_a dengan cara interpolasi

$$\frac{(F_a - F_{a1})}{(F_{a2} - F_{a1})} = \frac{(S_s - S_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})}$$

$$\frac{(F_a - 1{,}1)}{(1 - 1{,}1)} = \frac{(1{,}0963 - 1)}{(1{,}25 - 1)}$$

$$\frac{(F_a - 1{,}1)}{(-0{,}1)} = \frac{(0{,}0963)}{(0{,}25)}$$

$$\frac{(F_a - 1{,}1)}{(-0{,}1)} = 0{,}3852$$

$$F_a - 1{,}1 = 0{,}3852 \times (-0{,}1)$$

$$F_a - 1{,}1 = -0{,}03852$$

$$F_a = -0{,}03852 + 1{,}1$$

$$F_a = 1{,}06148$$

$$F_a \approx 1{,}0615$$

2) Mencari nilai F_v

S_1 = 0,4979

Karena nilai S_s didapat diantara interval nilai $0{,}4 \leq S_1 \leq 0{,}5$, maka nilai F_a dicari dengan cara menggunakan interpolasi sebagai berikut:

S_{11} = 0,4 didapat F_{v1} = 1,9 (batas bawah)

S_{12} = 0,5 didapat F_{v2} = 1,8 (batas bawah)

Mencari nilai F_a dengan cara interpolasi

$$\frac{(F_v - F_{v1})}{(F_{v2} - F_{v1})} = \frac{(S_1 - S_{11})}{(S_{12} - S_{11})}$$

$$\frac{(F_v - 1{,}9)}{(1{,}8 - 1{,}9)} = \frac{(0{,}4979 - 0{,}4)}{(0{,}5 - 0{,}4)}$$

$$\frac{(F_v - 1{,}9)}{(-0{,}1)} = \frac{(0{,}0979)}{(0{,}1)}$$

$$\frac{(F_v - 1{,}9)}{(-0{,}1)} = 0{,}979$$

$$F_v - 1{,}9 = 0{,}979 \times (-0{,}1)$$

$$F_v - 1{,}9 = -0{,}0979$$

$$F_v = -0{,}0979 + 1{,}9$$

$$F_v = 1{,}8021$$

c. Menentukan nilai koefisien terpetakan (C_{RS} dan C_{R1})

Berdasarkan peta zonasi gempa dalam SNI 1726-2019 wilayah Yogyakarta memiliki rentang nilai koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respon periode pendek (C_{RS}) antara 0,85-0,9 dan 0,9-0,95, sehingga diambil nilai C_{RS} sebesar 0,9. Kemudian untuk nilai koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respon periode 1 detik (C_{R1}) wilayah Yogyakarta memiliki rentang nilai C_{R1} antara 0,85-0,9 dan 0,9-0,95, sehinggan diambil nilai C_{R1} sebesar 0,9.

d. Menentukan parameter respons spektral percepatan gempa bumi maksimum yang dianggap berorientasi risiko (MCE_R)

Untuk menentukan parameter respond spectral percepatan gempa MCE_R dapat menggunakan persamaan 7 dan 8 yang terdapat pada SNI 1726:2019 yang terdapat pada pasal 6.2 mengenai koefisien-koefisien situs dan paramater-parameter respons spektral percepatan gempa

maksimum. Adapun untuk menentukan S_{MS} dan S_{M1} ialah sebagai berikut.

1) Parameter respon spectral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) $S_{MS} = F_a \times S_s$

= 1,0615 × 1,0963

= 1,1637225

≈ 1,1637 g

2) Parameter respon spectral percepatan pada periode 1 detik (S_{M1})

$S_{M1} = F_v \times S_1$

= 1,8021 × 0,4979

= 0,8972656

≈ 0,8973 g

e. Parameter percepatan spectral desain (S_{DS} dan S_{D1})

Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik (S_{D1}), dapat dihitung menggunakan persamaan 9 dan 10 yang terdapat pada SNI 1726:2019 pasal 6.2 mengenai parameter percepatan spektral desain. Berikut ini untuk menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}.

1) Spektral desain untuk periode pendek (S_{DS})

$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$

$= \frac{2}{3} \times 1{,}1637$

= 0,7758 g

2) Spektral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$

$= \frac{2}{3} \times 0{,}8973$

= 0,5982 g

3. Parameter gempa

a. Menentukan kategori resiko dan factor keutamaan (I_e)

Berdasarkan pada SNI 1726-2019 yang terdapat pada tabel 3 tentang kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa mengenai fungsi atau pemanfaatan bangunan yaitu sebagai bangunan parkir sepeda motor maka bangunan termasuk ke dalam kategori resiko II. Serta sesuai Tabel 4 mengenai faktor keutamaan gempa didapat nilai I_e sebesar 1.

b. Menentukan kategori desain seismik

Berdasarkan tabel 8 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan tabel 9 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik yang terdapat pada SNI 1726:2019 pada pasal 6.5 mengenai kategori desain seismic, dimana bangunan gedung termasuk kategori resiko II, serta bangunan memiliki nilai S_{DS} sebesar 0,7758 g yang mana nilai $S_{DS} \geq$ 0,50 dan bangunan memiliki nilai S_{D1} sebesar 0,5982 g yang mana nilai $S_{D1} \geq$ 0,20 maka bangunan termasuk kategori desain seismik D.

c. Menentukan Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismic

Berdasarkan tabel 12 mengenai Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismic pasal 7.2.2 mengenai kombinasi sistem struktur dalam arah Yang berbeda, dimana bangunan termasuk dalam kategori desain seismic D yang mana memiliki gempa resiko tinggi, maka sistem struktur yang digunakan pada gedung tersebut menggunakan sistem rangka pemikul momen, yaitu rangka beton bertulang pemikul momen khusus karena tidak dibatasi untuk kategori desain seismic D. Adapun untuk parameter strukturnya ialah sebagai berikut.

1) Koefisien modifikasi respon (R) = 8
2) Faktor kuat lebih sistem (C_d) = 3
3) Faktor pembesaran defleksi (Ω_0) = 5,5

4. Spektrum respon desain

Berikut parameter untuk menghitung spektrum respons desain

a. Menghitung T_o

T_o = 0,2 × $(\frac{S_{D1}}{S_{Ds}})$

= 0,2 × $(\frac{0,5982}{0,7758})$

= 0,1542 detik

b. Menghitung T_s

T_s = $\frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$

= $\frac{0,5982}{0,7758}$

= 0,7710 detik

c. Menentukan nilai T_L

Untuk menentukan nilai T_L dapat dilihat pada Gambar 20 mengenai peta transisi periode Panjang wilayah Indonesia yang terdapat pada SNI 1726:2019. Berdasarkan gambar 20 pada peta yang terdapat pada SNI 1726:2019, bahwa wilayah Yogyakarta memiliki nilai T_L sebesar 20

T_L = 20

d. Menentukan nilai S_a

Untuk menentukan nilai S_a dapat ditentukan berdasarkan persamaan 11-13 pada SNI 1726:2019 pada pasal 6.4 mengenai spektrum respond desain. Adapun untuk perhitungannya ialah sebagai berikut.

1) Kondisi untuk perioda kurang dari T_o (T < T_o)

Diambil T = 0

S_a = S_{DS}× (0,4 + 0,6× $(\frac{T}{T_o})$)

= 0,7758 × (0,4 + 0,6× $(\frac{0}{0,1542})$)

= 0,7758 × (0,4 + 0)

= 0,7758 × 0,4

= 0,3103 g

2) Kondisi untuk perioda di antara T_o dan T_s (T_o ≤ T ≤ T_s)

S_a $= S_{DS}$

$= 0{,}7758$ g

3) Kondisi untuk perioda di antara T_s dan T_L ($T_s < T \leq T_L$)

$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Diambil T = 1

$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

$= \frac{0{,}5982}{1}$

$= 0{,}5982$ g

Diambil T = 2

$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

$= \frac{0{,}5982}{2}$

$= 0{,}2991$ g

4) Kondisi untuk perioda lebih besar dari T_L ($T > T_L$)

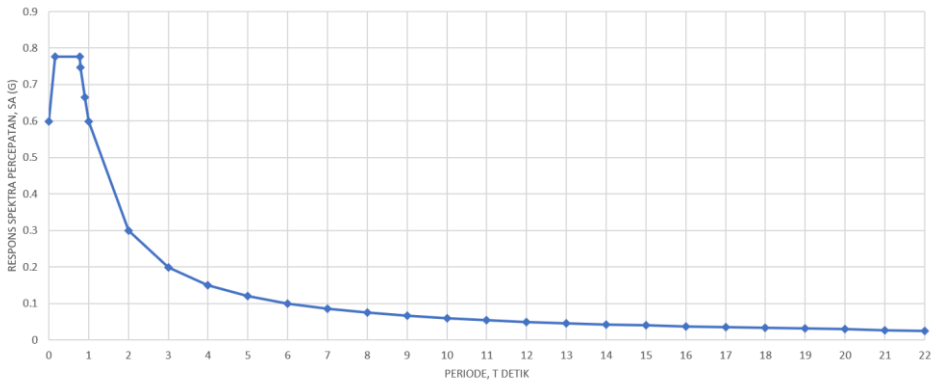
Diambil $T = 22$

$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2}$

$= \frac{0{,}5982 \times 20}{22^2}$

$= 0{,}0247$

5) Adapun berikut ini hasil spektrum respons desain yang dapat dilihat pada **Gambar 5.47** berikut.



Gambar 5. 47 Spektrum Respons Desain
(Sumber: Rekapitulasi pembebanan pada excel)

5. Periode struktur

a. Percepatan desain periode 1 detik (S_{D1})

S_{D1} = 0,5982 g

b. Menentukan koefisien untuk batas periode (C_u)

Berdasarkan tabel 17 mengenai koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung yang terdapat pada SNI 1726:2019 pada pasal 7.8.2 mengenai penentuan periode, yang mana parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik (S_{D1}) nilainya 0,5982 g, maka didapat nilai koefisien C_u ialah sebagai berikut.

C_u = 1,4

c. Menentukan parameter periode pendekatan (C_t dan x)

Berdasarkan tabel 18 mengenai nilai parameter periode pendekatan C_t dan x yang terdapat pada SNI 1726:2019 pada pasal 7.8.2.1 mengenai periode fundamental pendekatan, yang mana struktur bangunan memiliki tipe struktur rangka beton pemikul momen, maka didapat nilai C_t dan x ialah sebagai berikut.

1) C_t = 0,0466

2) x = 0,9

d. Tinggi bangunan gedung parkir

h = 17,7 m

e. Menentukan periode pendekatan fundamental (T_a)

Berdasarkan persamaan 36 yang terdapat pada SNI 1726:2019 pada pasal 7.8.2.1 mengenai periode fundamental pendekatan, maka dapat ditentukan nilai T_a ialah sebagai berikut.

$T_a = C_t \times {h_n}^x$

$= 0{,}0466 \times 17{,}7^{0{,}9}$

= 0,6188 detik

f. Menentukan periode maksimum (T_{max})

Berdasarkan pasal 7.8.2 mengenai penentuan periode yang terdapat pada SNI 1726:2019, maka didapat nilai T_{max} ialah sebagai berikut.

T_{max} = $C_u \times T_a$

= 1,4 × 0,6188

= 0,866 detik

g. Menentukan nilai periode struktur hasil pemodelan (T_c)

Dalam menentukan nilai periode struktur hasil pemodelan (T_c), dapat diperoleh berdasarkan hasil dari analisis ETABS. Adapun berikut nilai T_c.

T_c arah X = 1,204 detik

T_c arah Y = 1,087 detik

h. Menentukan periode struktur pakai

Untuk menentukan periode struktur pakai, berdasarkan hasil perhitungan pada nilai periode (T), maka periode dasar suatu struktur dapat ditentukan sesuai dengan kriteria berikut ini.

1) $T = T_{max}$, diterapkan jika $T_c > T_{max}$

2) $T = T_c$, diterapkan jika Ta < T_c < T_{max}

3) $T = T_a$, diterapkan jika T_c < Ta

Karena $T_c > T_{max}$ sesuai dengan rumus di atas, maka T_{max} = 0,866 detik merupakan nilai periode (T) yang digunakan.

6. Menghitung koefisien respon struktur (C_s)

Berdasarkan persamaan 31-35 yang terdapat pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 mengenai perhitungan koefisien respons seismic, maka dapat ditentukan untuk nilai koefisien respon struktur (C_s) ialah sebagai berikut.

a. Koefisien modifikasi respons, R = 8

b. Faktor keutaman struktur, I_e = 1 (fungsi bangunan sebagai tempat parkir sepeda motor)

c. Menentukan nilai C_s

1) Menentukan nilai $C_{s\ hitung}$

Berdasarkan persamaan 31 pada SNI 1726:2019, didapat nilai $C_{s\ hitung}$ ialah sebagai berikut.

$C_{s\ hitung} = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$

$$= \frac{0,7758}{\frac{8}{1}}$$

$$= 0,0970$$

2) Menentukan nilai $C_{s\,max}$

Berdasarkan persamaan 32 pada SNI 1726:2019, didapat nilai $C_{s\,max}$ ialah sebagai berikut

a) $C_{s\,max,\ arah\,x} = \frac{S_{D1}}{T_X \times \left(\frac{R}{I_e}\right)}$

$$= \frac{0.5982}{0,866 \times \left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$= 0,0863$$

b) $C_{s\,max,\ arah\,y} = \frac{S_{D1}}{T_Y \times \left(\frac{R}{I_e}\right)}$

$$= \frac{0.5982}{0,866 \times \left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$= 0,0863$$

3) Menentukan nilai $C_{s\,min}$

a) $C_{s\,min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$

$$= 0,044 \times 0,7758 \times 1 \geq 0,01$$

$$= 0,0341$$

b) $C_{s\,min}$, jika $S_1 \geq 0,6 \times g = \frac{0,5 \times S_1}{\frac{R}{I_e}}$

$$= \frac{0,5 \times 0,4979}{\frac{8}{1}}$$

$$= 0,0311$$

Diakrenakan nilai $C_{s\,hitung} > C_{s\,max}$, maka nilai C_s yang digunakan adalah $C_{s\,max}$

5) $C_{s\,pakai,\ arah\,x} = 0,0863$

6) $C_{s\,pakai,\ arah\,y} = 0,0863$

7. Penskalaan gaya

a. Berat seismic efektif $(W) = 20.515\ kN$

b. Gaya geser statik (V)

Berdasarkan persamaan 30 yang terdapat pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1 mengenai geser dasar seismic, maka gaya geser statik dapat ditentukan sebagai berikut.

1) $V_{arah\ x}$ $= C_s \times W$
$= 0{,}0863 \times 20.515$
$= 1.770{,}60$ kN

2) $V_{arah\ y}$ $= C_s \times W$
$= 0{,}0863 \times 20.515$
$= 1.770{,}6$ kN

c. Faktor skala awal (SF)

Berdasarkan pasal 7.9.1.2 mengenai parameter respons ragam yang terdapat pada SNI 1726:2019, maka nilai SF dapat dihitung ialah sebagai berikut.

$SF = \frac{g}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
$= \frac{9{,}80665}{\left(\frac{R8}{1}\right)}$
$= 1{,}226\ \frac{m}{s^2}$

8. Distribusi vertical gaya seismic

Berdasarkan persamaan 40 dan 41 yang terdapat pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.3 mengenai distribusi vertikal gaya seismic, maka didapat untuk menghitung gaya seismic lateral ialah sebagai berikut.

a. $F_x = C_{VX} \times V$

b. $C_{VX} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i \times h_i^k}$

Keterangan :

Berdasarkan keterangan pada SNI 1726:2019 ialah sebagai berikut.

1) C_{VX} = factor distribusi vertikal
2) V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
3) w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

4) h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

5) k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

a) untuk struktur dengan $T \leq 0{,}5$ detik, maka $k = 1$

b) untuk struktur dengan $T \geq 2{,}5$ detik, maka $k = 2$

c) untuk struktur dengan $0{,}5 < T < 2{,}5$ detik, maka $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

c. Menentukan nilai k

Dengan menggunakan interpolasi, nilai k untuk T = 0,866 detik dapat ditentukan sebagai berikut.

$$k = \frac{(2-1) \times (0{,}866 - 0{,}5)}{(2{,}5-0{,}5)} + 1$$

$$= 1{,}1832$$

d. Hasil distribusi gaya seismic lateral

Adapun untuk hasil distribusi gaya seismik lateral setiap lantai atau layer berdasarkan pada beban gempa SNI 1726-2019 dapat dilihat pada **Tabel 5.9** untuk bangunan sisi kiri berikut dan **Tabel 5.10** untuk bangunan sisi kanan pada halaman berikutnya.

Tabel 5. 9 Hasil Perhitungan Gaya Seismik Lateral Bangunan Sisi Kiri

Lantai ke-	h_i (m)	h_i^k	w_i (kN)	$w_i \times h_i^k$	C_{VXY}	F_{xy}
Lantai Atap + 17.70	17,70	29,96	2.633,93	78.916,93	0,24	422,45
Lantai 5 + 14.85	14,85	24,34	3.392,11	82.570,17	0,25	442,00
Lantai 4 + 12.05	12,05	19,01	3.629,87	69.005,53	0,21	369,39
Lantai 3 + 9.25	9,25	13,90	3.629,87	50.466,39	0,15	270,15
Lantai 2 + 6.45	6,45	9,08	3.677,09	33.369,69	0,10	178,63
Lantai 1 + 3.65	3,65	4,63	3.552,13	16.435,29	0,05	87,98
Jumlah					0,10	1.770,60

Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Gaya Seismik Lateral Bangunan Sisi Kanan

Lantai ke-	h_i (m)	h_i^k	w_i (kN)	$w_i \times h_i^k$	C_{VXY}	F_{xy}
Lantai Atap + 17.70	17,70	29,96	1.724,35	51.664,49	0,22	286,06
Lantai 5 + 14.85	14,85	24,34	2.396,80	58.342,52	0,25	323,03
Lantai 4 + 12.05	12,05	19,01	2.687,86	51.097,53	0,22	282,92
Lantai 3 + 9.25	9,25	13,90	2.687,86	37.369,58	0,16	206,91
Lantai 2 + 6.45	6,45	9,08	2.730,78	24.781,90	0,10	137,21
Lantai 1 + 3.65	3,65	4,63	2.978,74	13.782,29	0,06	76,31
Jumlah					0,10	1.312,43

5.2.7 Kontrol Kinerja dan Ketidakberaturan Struktur Gedung

1. Simpangan antar tingkat bangunan sisi kiri dan kanan

Evaluasi simpangan antar tingkat (*story drift*) dilakukan untuk memastikan bahwa kekakuan lateral struktur gedung memenuhi persyaratan batas deformasi elastis dan inelastis sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.12. Penentuan batas simpangan ini bertujuan untuk mencegah kerusakan struktural maupun non-struktural yang berlebihan akibat beban gempa desain.

a. Parameter dan ketentuan desain

Berdasarkan data perencanaan dan Kategori Desain Seismik (KDS) gedung, parameter yang digunakan dalam evaluasi simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut

1) Kategori resiko bangunan = II
2) Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1
3) Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5
4) Simpangan antar tingkat izin

Berdasarkan tabel 20 yang terdapat pada SNI 1726:2019 untuk kategori semua struktur lainnya yaitu kategori resiko I dan II ialah sebagai berikut.

Δ_a = 0,020 × h_{sx}

5) Simpangan izin berdasarkan kategori desain seismic (KDS) dan factor redundansi (ρ)

a) kategori desain seismic (KDS) D

b) Faktor redundansi (ρ)

Untuk struktur yang didesain pada KDS D, memiliki factor redundansi ρ sebesar 1,3.

c) Berdasarkan SNI 1726:2019 yang terdapat pada pasal 7.12.1.1, struktur yang memiliki kategori desain seismic D, E, atau F dijelaskan bahwa simpangan antar tingkat desain (Δ_a) tidak boleh melebihi $\frac{\Delta_a}{\rho}$.

$$\Delta_{izin} = \frac{\Delta_a}{\rho}$$
$$= \frac{0{,}020 \times h_{sx}}{1{,}3}$$
$$= 0{,}01538 \times h_{sx}$$

b. Persamaan perhitungan

1) Simpangan inelastic desain

$$\Delta = \frac{\delta_e \times C_d}{I_e}$$

2) Syarat keamanan simpangan

$\Delta \leq \Delta_{izin}$

c. Analisis perhitungan

Perhitungan simpangan antar tingkat pada lantai 3 dengan tinggi tingkat h_{sx} sebesar 2.800 mm

1) Batas simpangan izin (Δ_{izin})

$$\Delta_{izin} = \frac{0{,}020 \times 2.800}{1{,}3}$$
$$= 43{,}077 \text{ mm}$$

2) Simpangan inelastic arah X (Δ_x)

a) δ_{eX} = 6,401 mm

b) $\Delta_x = \frac{6{,}401 \times 5{,}5}{1}$
$= 35{,}206$ mm

c) Cek keamanan

$\Delta_x \leq \Delta_{izin}$

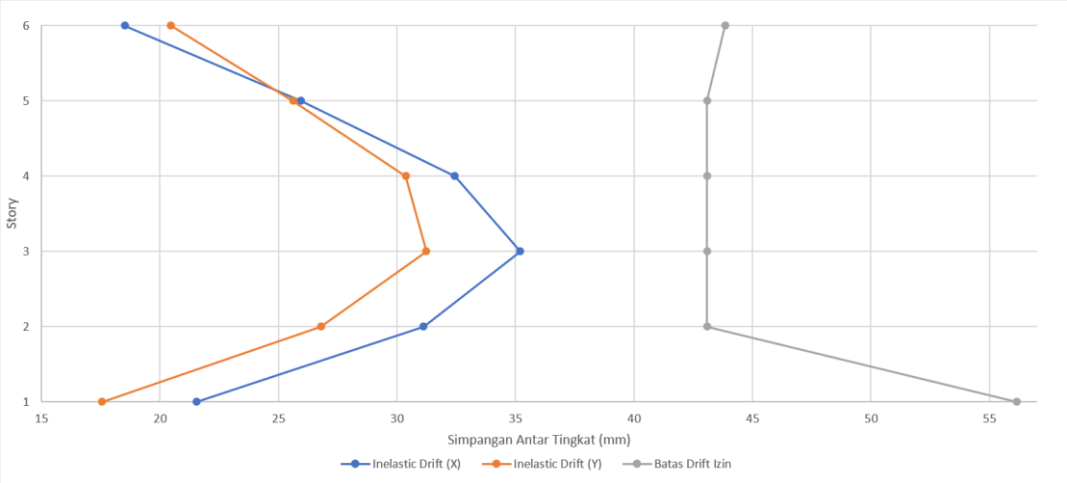
35,206 mm ≤ 43,077 mm (Ok)

d. Rekapitulasi simpangan antar tingkat

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat untuk seluruh lantai (Lantai 1 hingga Lantai atap) pada arah X dan arah Y pada bangunan sisi kiri dapat dilihat pada **Tabel 5.11** dan dapat dilihat pada **Gambar 5.45** mengenai grafik simpangan antar tingkat bangunan sisi kiri berikut. Sedangkan untuk bangunan sisi kanan dapat dilihat pada **Tabel 5.12** dan dapat dilihat pada **Gambar 5.49** mengenai grafik simpangan antar tingkat bangunan sisi kanan pada halaman berikutnya.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi nilai simpangan antar tingkat bangunan sisi kiri

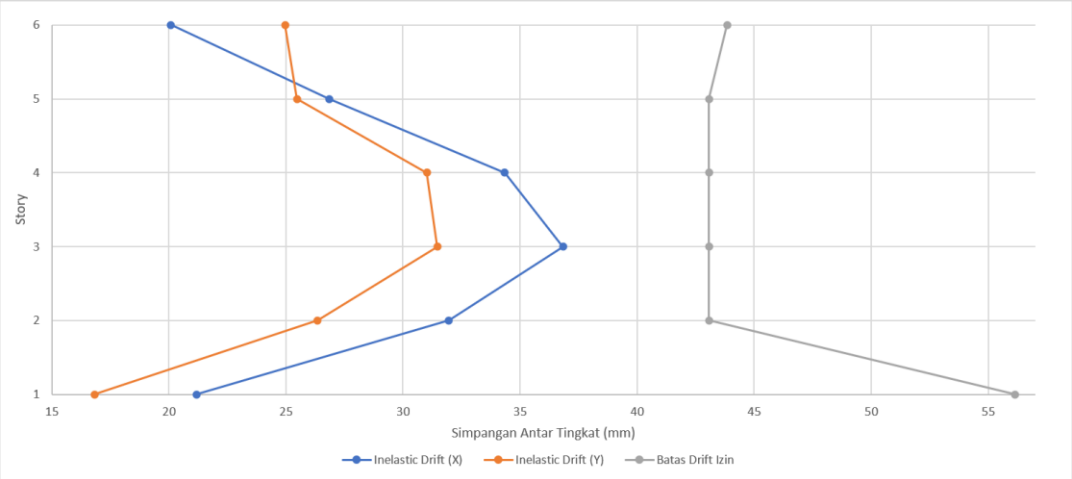
Story	Displacement		Elastis *Drift*		h_{sx}	Inelastis *Drift*		Δ_{izin}	cek
	δ_{eX}	δ_{ey}	δ_{eX}	δ_{ey}		Δ_x	Δ_y		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Lt. Atap (6)	29,96	27,65	3,37	3,72	2.850	18,52	20,47	43,85	OK
5	26,59	23,92	4,72	4,66	2.800	25,95	25,62	43,08	OK
4	21,87	19,27	5,90	5,52	2.800	32,44	30,37	43,08	OK
3	15,97	13,74	6,40	5,68	2.800	35,21	31,25	43,08	OK
2	9,57	8,06	5,66	4,87	2.800	31,12	26,79	43,08	OK
1	3,92	3,19	3,92	3,19	3.650	21,53	17,56	56,15	OK



Gambar 5. 48 Grafik Simpangan Antar Tingkat Bangunan Sisi Kiri

Tabel 5. 12 Rekapitulasi nilai simpangan antar tingkat bangunan sisi kanan

Story	Displacement		Elastis *Drift*		h_{sx}	Inelastis *Drift*		Δ_{izin}	cek
	δ_{eX}	δ_{ey}	δ_{eX}	δ_{ey}		Δ_x	Δ_y		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Lt. Atap (6)	31,14	28,39	3,65	4,54	2.850	20,10	24,97	43,85	OK
5	27,49	23,85	4,88	4,63	2.800	26,84	25,48	43,08	OK
4	22,61	19,21	6,25	5,64	2.800	34,35	31,02	43,08	OK
3	16,36	13,57	6,70	5,72	2.800	36,84	31,47	43,08	OK
2	9,66	7,85	5,81	4,79	2.800	31,96	26,36	43,08	OK
1	3,85	3,06	3,85	3,06	3.650	21,18	16,82	56,15	OK



Gambar 5. 49 Grafik Simpangan Antar Tingkat bangunan Sisi Kanan

2. Pengaruh P-Delta

Evaluasi pengaruh P-Delta dilakukan untuk memperhitungkan efek berupa momen tambahan akibat gravitasi (P) yang bekerja pada posisi struktur yang telah mengalami simpangan lateral (Δ). Sesuai dengan SNI 1726:2019 yang terdapat pada pasal 7.8.7, bahwa besarnya pengaruh P-Delta ditinjau berdasarkan nilai Koefisien Stabilitas θ pada setiap tingkat.

a. Koefisien Stabilitas (θ)

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d}$$

Keterangan :

1) P_x = Total beban desain vertikal pada dan di tingkat x
2) Δ = Simpangan antar tingkat inelastis
3) I_e = Faktor keutamaan gempa
4) V_x = Gaya geser seismic tingkat antara tingkat x dan x-1
5) h_{sx} = Tinggi tingkat
6) C_d = Faktor pembesaran defleksi

b. Batas maksimum koefisien stabilitas (θ_{max})

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times C_d} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \times 5,5}$$

$$= 0,0909$$

c. Analisis pengaruh P-Delta

Perhitungan koefisien pada lantai 3 dengan tinggi h_{sx} sebesar 2800 mm

1) Perhitungan θ_x
   a. P = 15.841,6347 kN
   b. V_x = 1.488,68 kN
   c. Δ_x = 35,206 mm
   d. h = 2800 mm
   e. $\theta_x = \frac{15.841,6347 \times 35,206 \times 1}{1.488,68 \times 2800 \times 5,5}$
   $= 0,0243$
2) Perhitungan θ_y
   a. P = 15.841,6347 kN
   b. V_y = 1.508,2564 kN
   c. Δ_y = 31,246 mm
   d. h = 2.800 mm
   e. $\theta_y = \frac{15.841,6347 \times 31,246 \times 1}{1.508,2564 \times 2800 \times 5,5}$
   $= 0,0213$
3) Nilai θ_x dan $\theta_y \leq$ batas θ_{max} (batas stabilitas struktur)
   0,0243 dan 0,0213 ≤ 0,0909, struktur stabil (Ok)
4) Nilai θ_x dan $\theta_y \leq$ batas pengaruh P-Delta

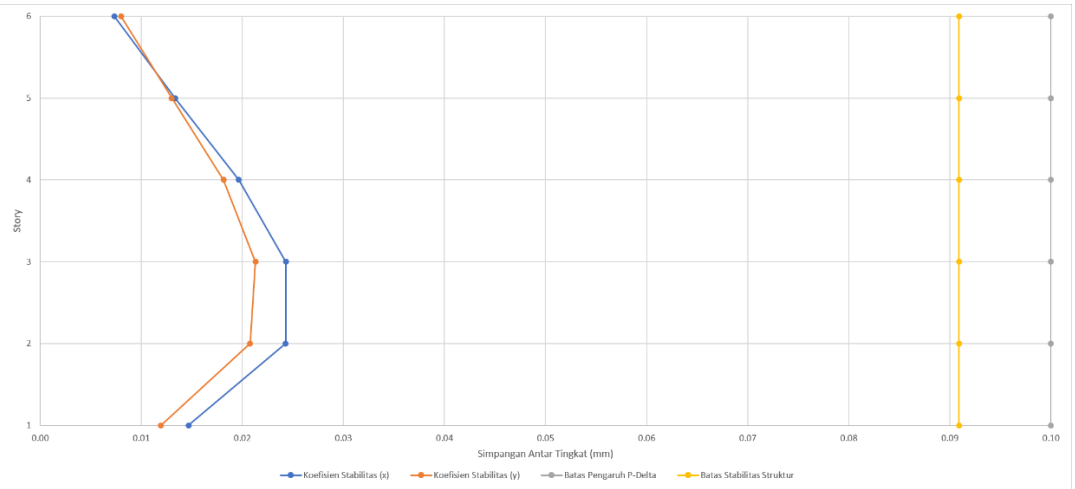
0,0243 dan 0,0213 ≤ 0,10, pengaruh P-Delta diabaikan (Ok)

d. Rekapitulasi perhitungan pengaruh P-Delta

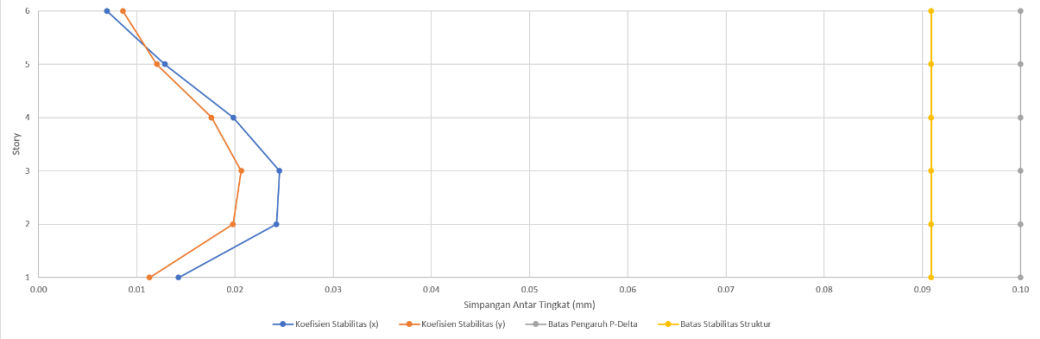
Hasil perhitungan koefisien stabilitas θ pada bangunan sisi kiri dapat dilihat pada **Tabel 5.13** mengenai Rekapitulasi evaluasi pengaruh P-Delta dan stabilitas struktur, serta dapat dilihat pada **Gambar 5.50** mengenai grafik pengaruh P-Delta pada bangunan sisi kiri. Sedangkan pada bangunan sisi kanan dapat dilihat pada **Tabel 5.14** mengenai Rekapitulasi evaluasi pengaruh P-Delta dan stabilitas struktur, serta dapat dilihat pada **Gambar 5.51** mengenai grafik pengaruh P-Delta pada bangunan sisi kanan pada halaman berikutnya.

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Bangunan Sisi Kiri

Story	Story Forces			h_{sx}	Koef. Stabilitas		Batas P-Delta	θ_{max}	Cek
	P	V_x	V_y						
	kN	kN	kN	mm	θ_x	θ_y			
Lt. Atap (6)	3.228,58	519,19	527,42	2.850	0,01	0,01	0,10	0,09	OK
5	7.251,26	914,46	927,09	2.800	0,01	0,01	0,10	0,09	OK
4	11.546,45	1.237,53	1.255,13	2.800	0,02	0,02	0,10	0,09	OK
3	15.841,63	1.488,68	1.508,26	2.800	0,02	0,02	0,10	0,09	OK
2	20.131,47	1.674,10	1.686,39	2.800	0,02	0,02	0,10	0,09	OK
1	24.203,41	1.767,82	1.770,36	3.650	0,01	0,01	0,10	0,09	OK



Gambar 5. 50 Grafik Pengaruh P-Delta Bangunan Sisi Kiri



Gambar 5. 51 Grafik Pengaruh P-Delta Bangunan Sisi Kanan

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Bangunan Sisi Kanan

Story	Story Forces			h_{sx}	Koef. Stabilitas		Batas P-Delta	θ_{max}	Cek
	P	V_x	V_y						
	kN	kN	kN	mm	θ_x	θ_y			
Lt. Atap (6)	1.924,00	354,25	357,65	2.850	0,01	0,01	0,10	0,09	OK
5	4.753,07	644,62	653,78	2.800	0,01	0,01	0,10	0,09	OK
4	7.929,05	892,02	907,17	2.800	0,02	0,02	0,10	0,09	OK
3	11.105,03	1.082,74	1.099,12	2.800	0,02	0,02	0,10	0,09	OK
2	14.279,66	1.223,70	1.234,84	2.800	0,02	0,02	0,10	0,09	OK
1	17.682,18	1.308,98	1.310,84	3.650	0,01	0,01	0,10	0,09	OK

3. Pemeriksaan eksentrisitas antara pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR)

Pemeriksaan eksentrisitas bertujuan untuk mengukur jarak antara pusat massa (*center of mass* / CM) dan pusat kekakuan (*center of rigidity* / CR) pada setiap tingkat gedung. Pusat massa (CM) merupakan titik tangkap resultan atau jumlah gaya berat total lantai, sedangkan pusat kekakuan (CR) merupakan titik pusat kekuatan elemen-elemen vertikal penahan gaya lateral seperti kolom. Berdasarkan SNI 1726:2019 yang terdapat pada pasal 7.8.4.1, apabila posisi CM dan CR tidak berimpit (eksentrisitas > 0) gaya gempa lateral akan menimbulkan momen puntir bawaan yang memutar struktur gedung. Brdasarkan SNI 1726:2019 yang terdapat pada pasal 7.8.4.2, nilai eksentrisitas bawaan idealnya tidak melebihi batas nominal 5% dari dimensi denah bangunan.

a. Analisis perhitungan eksentrisitas

Analisis perhitungan pada lantai 3 arah X

1) Data

a) X_{CM} = 14,7088 m

b) X_{CM} = 14,1546 m

c) Dimensi denah arah X, L_X = 32,45 m

2) Perhitungan

a) Eksentrisitas arah X (e_x)

e_x = $|14{,}7088 - 14{,}1546|$

= 0,5542 m

b) Batas toleransi nominal 5%

Batas e_x = 5% × 32,45

= 1,6225 m

c) Persentase eksentrisitas

$\%e_x$ = $\left(\frac{0{,}5542}{32{,}45}\right)$ × 100%

= 1,7079%

3) Cek evaluasi

$e_x \leq$ Batas e_x

0,5542 m ≤ 1,6225 m

1,7079% ≤ 5%, aman

b. Rekapitulasi pemeriksaan eksentrisitas antara pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR)

Adapun hasil rekapitulasi nilai eksentrisitas untuk bangunan sisi kiri dan sisi kanan dapat dilihat pada **Tabel 5.15** sampai **Tabel 5.18** halaman berikutnya.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah X Bangunan Sisi Kiri

Story	XCM	XCR	e_x	L_X	Batas e_x	$\%e_x$	Cek
	m	m	m	m	m	%	
Lantai 1	16,11	15,40	0,70	32,45	1,62	2,17	Ok
Lantai 2	14,80	14,70	0,10			0,30	Ok
Lantai 3	14,71	14,15	0,55			1,71	Ok
Lantai 4	14,75	13,71	1,03			3,19	Ok
Lantai 5	13,75	13,35	0,40			1,24	Ok
Lantai Atap	12,49	13,03	0,53			1,65	Ok

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Story	XCM	XCR	e_x	L_X	Batas e_x	$\%e_x$	Cek
	m	m	m	m	m	%	
Lantai 1	2,71	3,50	0,79	12,70	0,64	6,21	Tidak ok
Lantai 2	3,13	3,38	0,25			1,95	Ok
Lantai 3	3,12	3,31	0,19			1,46	Ok
Lantai 4	3,12	3,27	0,14			1,13	Ok
Lantai 5	3,46	3,24	0,22			1,71	Ok
Lantai Atap	3,38	3,22	0,16			1,29	Ok

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah X Bangunan Sisi Kanan

Story	XCM	XCR	e_x	L_X	Batas e_x	$\%e_x$	Cek
	m	m	m	m	m	%	
Lantai 1	44,38	44,16	0,22	24,15	1,2075	0,93	Ok
Lantai 2	44,48	44,16	0,32			1,33	Ok
Lantai 3	44,49	44,16	0,32			1,33	Ok
Lantai 4	44,49	44,17	0,31			1,30	Ok
Lantai 5	43,42	44,18	0,76			3,16	Ok
Lantai Atap	45,57	44,22	1,36			5,62	Tidak Ok

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Nilai Eksentrisitas Antara Pusat Massa (CM) Dan Pusat Kekakuan (CR) Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Story	XCM	XCR	e_x	L_X	Batas e_x	$\%e_x$	Cek
	m	m	m	m	m	%	
Lantai 1	3.41	3.76	0,36	12,70	0,64	2,80	Ok
Lantai 2	3,06	3,77	0,71			5,61	Tidak Ok
Lantai 3	3,05	3,77	0,72			5,71	Tidak Ok
Lantai 4	3,05	3,77	0,72			5,68	Tidak Ok
Lantai 5	3,42	3,75	0,33			2,61	Ok
Lantai Atap	3,05	3,70	0,65			5,13	Tidak Ok

4. Pemeriksaan ketidakberaturan torsi

Pemeriksaan ketidakberaturan torsi dilakukan untuk mengevaluasi apakah struktur gedung mengalami rotasi atau puntiran berlebih akibat beban gempa lateral. Berdasarkan SNI 1726:2019 yang terdapat pada Tabel 13 mengenai ketidakteraturan horisontal pada bangunan, evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan simpangan maksimum di ujung bangunan δ_{max} terhadap simpangan rata-rata kedua ujung bangunan δ_{avg} pada diafragma kaku.

a. Landasan aturan

Berdasarkan SNI 1726:2019 yang terdapat pada Tabel 13, pengkategorian ketidakberaturan torsi didefinisikan sebagai berikut

1) Ketidakberaturan torsi tipe 1a

Ketidakberaturan torsi 1a terjadi jika rasio simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata melebihi 1,2

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1{,}2$$

2) Ketidakberaturan torsi tipe 1b

Ketidakberaturan tipe 1b terjadi jika rasio simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata melebihi 1,4

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1{,}4$$

3) Jika terjadi ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b

Berdasarkan pasal 7.8.4.3 mengenai pembesaran momen torsi tak terduga A_x, apabila terjadi ketidakteraturan torsi Tipe 1a atau 1b, eksentrisitas tak terduga 5% harus dikalikan dengan faktor pembesaran A_x

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1{,}2 \times \delta_{avg}}\right)^2$$

Dengan $1 < A_x < 3$

b. Perhitungan pemeriksaan ketidakberaturan torsi

Perhitunganb pemeriksaan torsi pada lantai 1arah Y

1) Data

a) Simpangan maksimum (δ_{max}) = 0,001404

b) Simpangan titik a (δ_a) = 0,001404

c) Simpangan titik b (δ_b) = 0.001282

2) Perhitungan simpangan rata-rata

$$\text{Ratio} = \frac{\delta_{a+}\,\delta_b}{2}$$

$$= \frac{0{,}001404+0.001282}{2}$$

$$= 0{,}001343$$

3) Perhitungan ratio

$$\text{Ratio} = \frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}}$$

$$= \frac{0{,}001404}{0{,}001343}$$

$$= 1{,}0454$$

4) Cek pemeriksaan ketidakberaturan torsi

Ratio ≤ 1,2

1,0454 ≤ 1,2, Ok (tidak mengal;ami ketidakberaturan torsi)

5) Rekapitulasi pemeriksaan nilai torsi

Adapun hasil rekapitulasi nilai ketidakberaturan torsi pada arah X dan arah Y bangunan sisi kiri dan bangunan sisi kanan

dapat dilihat pada **Tabel 5.19** sampai **Tabel 5.22** halaman berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Story	Diafragma	δ_{max}	δ_a	δ_b	δ_{avg}	Ratio	$Ratio_{izin}$	Cek
Lantai Atap + 17.70	Diaph D_Lantai Atap Y	0,002443	0,001864	0,002443	0,002153	1,135	≤ 1,2	Ok
Lantai 5 + 14.85	Diaph D5 Y	0,002923	0,002359	0,002923	0,002641	1,107	≤ 1,2	Ok
Lantai 4 + 12.05	Diaph D4 Y	0,003312	0,002782	0,003312	0,003047	1,087	≤ 1,2	Ok
Lantai 3 + 9.25	Diaph D3 Y	0,003293	0,002937	0,003293	0,003115	1,057	≤ 1,2	Ok
Lantai 2 + 6.45	Diaph D2 Y	0,002695	0,002618	0,002695	0,002657	1,014	≤ 1,2	Ok
Lantai 1 + 3.65	Diaph D1 Y	0,001404	0,001404	0,001282	0,001343	1,046	≤ 1,2	Ok

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah X Bangunan Sisi Kiri

Story	Diafragma	δ_{max}	δ_a	δ_b	δ_{avg}	Ratio	$Ratio_{izin}$	Cek
Lantai Atap + 17.70	Diaph D_Lantai Atap Y	0,002068	0,002068	0,002022	0,002045	1,011	≤ 1,2	Ok
Lantai 5 + 14.85	Diaph D5 Y	0,002898	0,002898	0,00285	0,002874	1,008	≤ 1,2	Ok
Lantai 4 + 12.05	Diaph D4 Y	0,00357	0,00357	0,003524	0,003547	1,006	≤ 1,2	Ok
Lantai 3 + 9.25	Diaph D3 Y	0,003828	0,003828	0,003794	0,003811	1,004	≤ 1,2	Ok
Lantai 2 + 6.45	Diaph D2 Y	0,003371	0,003366	0,003348	0,003357	1,004	≤ 1,2	Ok
Lantai 1 + 3.65	Diaph D1 Y	0,001782	0,001782	0,001779	0,001781	1,00	≤ 1,2	Ok

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Story	Diafragma	δ_{max}	δ_a	δ_b	δ_{avg}	Ratio	$Ratio_{izin}$	Cek
Lantai Atap + 17.70	Diaph D_Lantai Atap Y	0,002544	0,002081	0,002544	0,002313	1,100	≤ 1,2	Ok
Lantai 5 + 14.85	Diaph D5 Y	0,003135	0,002548	0,003135	0,002842	1,103	≤ 1,2	Ok
Lantai 4 + 12.05	Diaph D4 Y	0,003604	0,002921	0,003604	0,003263	1,105	≤ 1,2	Ok
Lantai 3 + 9.25	Diaph D3 Y	0,003646	0,002936	0,003646	0,003291	1,108	≤ 1,2	Ok
Lantai 2 + 6.45	Diaph D2 Y	0,003055	0,002446	0,003055	0,002751	1,111	≤ 1,2	Ok
Lantai 1 + 3.65	Diaph D1 Y	0,001505	0,001196	0,001505	0,001351	1,114	≤ 1,2	Ok

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai Ketidakberaturan Torsi Arah X Bangunan Sisi Kanan

Story	Diafragma	δ_{max}	δ_a	δ_b	δ_{avg}	Ratio	$Ratio_{izin}$	Cek
Lantai Atap + 17.70	Diaph D_Lantai Atap Y	0,002397	0,002133	0,002397	0,002265	1,058	≤ 1,2	Ok
Lantai 5 + 14.85	Diaph D5 Y	0,003371	0,00299	0,003371	0,003181	1,059	≤ 1,2	Ok
Lantai 4 + 12.05	Diaph D4 Y	0,004169	0,003695	0,004169	0,003932	1,060	≤ 1,2	Ok
Lantai 3 + 9.25	Diaph D3 Y	0,004426	0,003922	0,004426	0,004174	1,060	≤ 1,2	Ok
Lantai 2 + 6.45	Diaph D2 Y	0,003818	0,003382	0,003818	0,003600	1,060	≤ 1,2	Ok
Lantai 1 + 3.65	Diaph D1 Y	0,001949	0,001728	0,001949	0,001839	1,060	≤ 1,2	Ok

5.3 Analisis Beban Gempa

Pemeriksaan kembali syarat beban gempa yang digunakan dalam analisis sebelumnya (biasanya spektrum respons/dinamis) diperlukan sebelum melakukan analisis *pushover*. Hal ini penting karena gaya lateral yang diterapkan memiliki dampak signifikan terhadap hasil analisis *pushover*. Dalam perencanaan struktur tahan gempa, hasil analisis dinamik (Vt) haruslah memiliki nilai yang memadai dan

tidak boleh terlalu kecil dibandingkan dengan hasil analisis statik (V) supaya struktur tersebut menjadi lebih kaku.

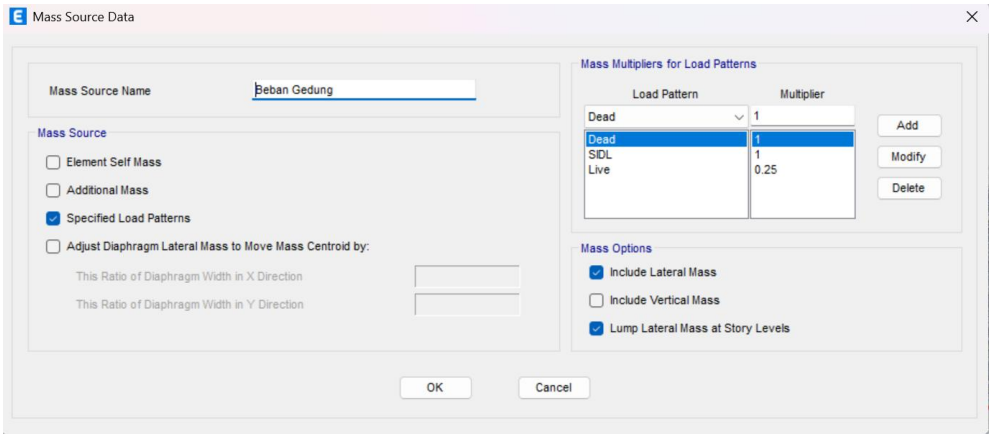
Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 mengenai penskalaan gaya bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vdinamik) kurang dari 100 % dari gaya geser (Vstatik) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan Vstatik/Vdinamik.

5.3.1 Mendefinisikan *Mass Source*

Selain menggambarkan seluruh massa struktur yang akan digunakan dalam analisis dinamis, seperti analisis gempa, Mass Source adalah pengaturan atau aturan yang menentukan dari mana massa bangunan "diambil" (dikumpulkan) untuk tujuan pemodelan pada ETABS. Massa ini biasanya berasal dari beban mati struktur (DL), yang kemudian ditambahkan ke massa beban mati tambahan (SIDL) dan persentase tertentu dari beban hidup (LL) sesuai dengan persyaratan desain yang berlaku. Untuk menghitung respons dinamis bangunan dengan tepat, faktor-faktor kunci seperti geser dasar, pusat massa struktur, dan distribusi massa di setiap lantai ditentukan menggunakan nilai massa yang diperoleh dari Mass Source.

Parameter Mass Source perlu diverifikasi dan diperiksa karena hasil analisis gempa sangat sensitif terhadap massa. Salah satu komponen penting yang secara langsung mempengaruhi kekuatan gaya inersia yang dihasilkan oleh gempa pada struktur adalah massa, jika massa yang dimasukkan terlalu besar atau terlalu kecil (misalnya, jika ada beban yang terlewatkan atau dihitung dua kali), geser dasar yang diperoleh juga akan bervariasi. Gaya geser dasar, yang sebenarnya merupakan gambaran dari total gaya gempa di dasar bangunan, merupakan alat penting untuk merancang komponen struktural dan mengevaluasi kinerja bangunan. Untuk memastikan bahwa gaya gempa yang dihitung akurat dan dapat dipertanggungjawabkan, diperlukan verifikasi Mass Source untuk memastikan bahwa massa model sesuai dengan standar dan kondisi konstruksi yang direncanakan. Adapun berikut ini merupakan tahapan untuk melakukan pendefinisian *mass source* struktur dapat dilakukan dengan cara klik *Define* - pilih *Mass Source* - pada tampilan *Mass Source* pada *Click to* klik *Add New Mass Source*

- pada tampilan *Mass Source Data* isi nama pada *Mass Source Name* - pada *Mass Source* centang *Specified Load Patterns* - pada kotak *Mass Multipliers for Patterns* masukan *Load Pattern* isi *Dead* (beban mati struktur) dan isi *Multiplier* dengan nilai 1 kemudian klik *Add,* kemudian isi kembali *Load Pattern* isi *SIDL* (beban mati tambahan) dan isi *Multiplier* dengan nilai 1 (sama dengan 100%) sesuai dengan ketetntuan pada SNI 1726:2019 pasal 7.7.2 kemudian klik *Add,* dan terakhir isi kembali *Load Pattern* isi *Live* (beban hidup) dan isi *Multiplier* dengan nilai 0,25 kemudian klik *Add* – pada *Mass Options* centang *Include Lateral Mass* dan *Lump Lateral Mass at Story Levels* - ok. Adapun untuk tampilan *Mass Source Data* dapat dilihat pada **Gambar 5.49** berikut.

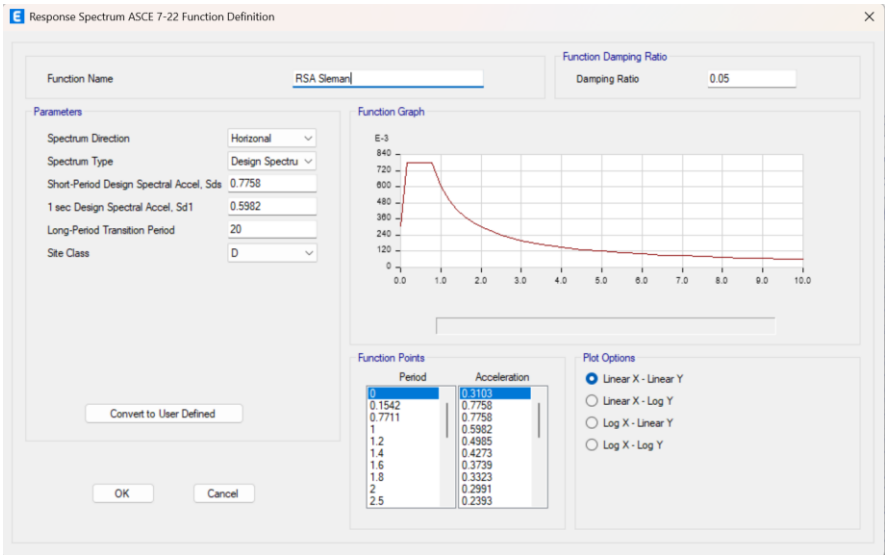


Gambar 5. 52 Tampilan *Mass Source Data*
Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22

5.3.2 Menginput Data Respon Spektrum Gempa

Tujuan memasukkan data spektrum respons gempa adalah untuk mendefinisikan kurva spektrum respons gempa, yang merupakan hubungan antara respons spectral percepatan (S_a) dengan periode struktural (T). Agar ETABS dapat menentukan respons struktur berdasarkan bentuk spektrum daripada gaya statis yang sesuai, Fungsi Spektrum Respons ini digunakan untuk Analisis Gempa menggunakan Metode Spektrum Respons (dinamis linier). Hasil tipikal meliputi simpangan antar lantai, gaya gempa per lantai/gaya geser dasar, dan lain sebagainya. Adapun berikut ini merupakan tahapan untuk melakukan penginputan untuk mendefinisian respon spektrum pada ETABS ialah dapat dilakukan dengan

cara mengklik *Define* - pilih *Functions* - *Respons Spectrum* - pada tampilan *Define Response Spectrum Functions* pada kotak *Choose Function Type To Add* pilih ASCE7-22 - pada *Click to* pilih *Add New Function* - pada tampilan *Response Spectrum ASCE 7-22 Funtion Definition* - isi nama respons spektrum pada *Function Name* - isi *Damping Ratio* dengan nilai 0,05 pada *Function Damping Ratio* – isi nilai-nilai pada *Parameters* sesuai hasil analisis perhitungan sebelumnya – centang *Linear X – Linear Y* pada *Plot Options* – ok. Adapun untuk tampilan *Response Spectrum ASCE 7-22 Function Definition* dapat dilihat pada **Gambar 5.50** berikut.



Gambar 5. 53 Tampilan *Response Spectrum ASCE 7-22 Function Definition*
Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22

5.3.3 Mengecheck Nilai Gaya Geser Dasar

Ada kriteria yang harus dipenuhi saat mengevaluasi hasil analisis ragam (dinamis) khususnya terkait kesesuaian nilai gaya geser dasar sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 mengenai penskalaan gaya, bahwa hasil analisis dinamis tidak dapat digunakan secara langsung tanpa modifikasi jika nilai gaya geser dasar yang diperoleh dari kombinasi hasil analisis respons, yaitu $V_{dinamik}$ menghasilkan nilai yang kurang dari 100% dari nilai gaya geser dasar yang direncanakan (V_{statik}) yang dihitung menggunakan metode statik ekivalen.

Oleh karena itu, semua nilai dari analisis ragam harus ditingkatkan atau dikalikan dengan faktor skala yaitu $V_{statik}/V_{dinamik}$. Adapun nilai gaya geser dasar

dinamis yang diperoleh dari hasil analisis ETABS dapat dilihat pada **Tabel 5.23** berikut.

Tabel 5. 23 Nilai Gaya Geser Dasar

No.	Arah	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik\ awal}$ (kN)	Kontrol
1.	Arah X sisi kiri	1.770,6	1.066,81	Belum memenuhi
2.	Arah Y sisi kiri	1.770,6	1.157,91	Belum memenuhi
3.	Arah X sisi kanan	1.312,4	754,80	Belum memenuhi
4.	Arah Y sisi kanan	1.312,4	827,45	Belum memenuhi

Gaya tersebut harus diskalakan karena berdasarkan hasil analisis program ETABS nilai geser dasar dinamis lebih kecil daripada nilai geser dasar statis. Adapun langkah-langkah untuk menghitung faktor skala adalah sebagai berikut.

Faktor skala arah X sisi kiri $= \frac{100\% V_{statik}}{V_{dinamik}}$

$= \frac{1.770,6}{1.066,81}$

$= 1,66$

Setalah faktor skala dihitung Langkah berikutnya ialah nilainya dimasukkan ke dalam program ETABS, dan gaya geser dasar dinamis ($V_{dinamik}$) yang dihasilkan kemudian dianalisis ulang dan dibandingkan dengan gaya geser dasar statis (V_{statik}). Adapun hasil analisis $V_{dinamik}$ setelah dikalikan dengan faktor skala dapat dilihat pada **Tabel 5.24** halaman selanjutnya**.**

Tabel 5. 24 Nilai Gaya Geser Dasar Setelah dikalikan Faktor Skala Baru

No.	Arah	Faktor Skala Baru	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik\ akhir}$ (kN)	Kontrol
1.	Arah X sisi kiri	1,66	1.770,6	1.770,6	Memenuhi
2.	Arah Y sisi kiri	1,53	1.770,6	1.770,6	Memenuhi
3.	Arah X sisi kanan	1,74	1.312,4	1.312,4	Memenuhi
4.	Arah Y sisi kanan	1,59	1.312,4	1.312,4	Memenuhi

Berdasarkan tabel di atas nilai gaya geser pada gaya dinamik ($V_{dinamik}$) sudah lebih besar atau sama dengan gaya statis (V_{statik}), maka sudah memenuhi standar gaya geser dasar sesuai SNI 1726-2019.

5.4 Analisis *Pushover*

Adapun berikut ini tahapan untuk mendefinisikan analisis *pushover* ialah sebagai berikut.

5.4.1 Mendefinisikan *Load Case Pushover*

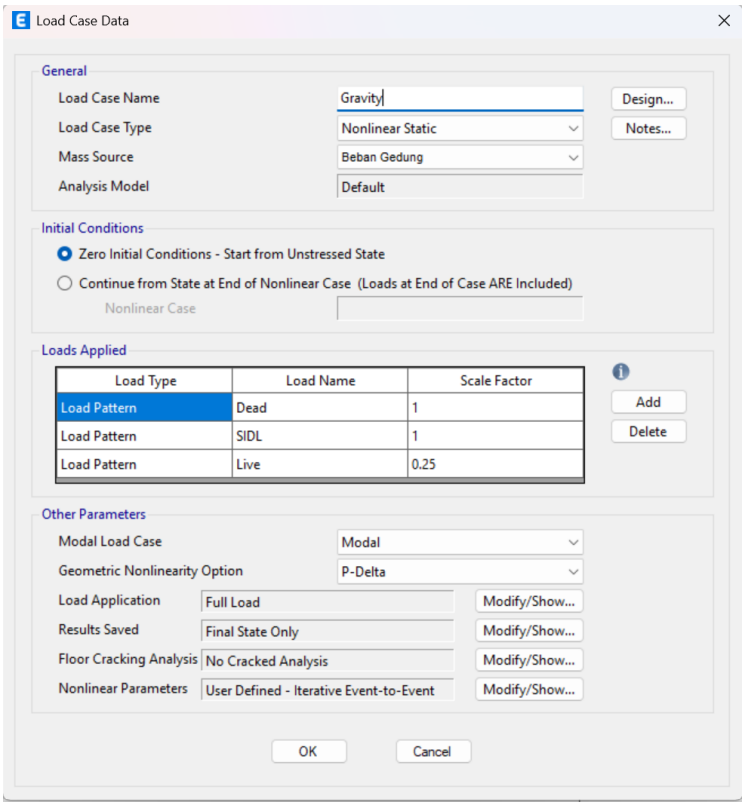
Load case *pushover* merupakan sebuah kasus analisis statis nonlinier yang menggambarkan bagaimana beban lateral diterapkan pada struktur secara bertahap dari kondisi beban gravitasi hingga tercapai perpindahan/pergeseran target atau kondisi keruntuhan tertentu. Hal ini dilakukan untuk menentukan kapasitas struktur dan perilaku pasca-elastisnya.

Dalam analisis *pushover load case* dilakukan dalam dua tahap. Beban lateral belum diperhitungkan pada tahap pertama, ketika struktur bangunan dikenakan beban struktural (beban mati dan beban mati tambahan) serta beban hidup. Pola beban lateral diterapkan secara bertahap seiring berjalannya tahap kedua.

1. Mendefinisikan beban gravitasi *pushover* (*gravity*)

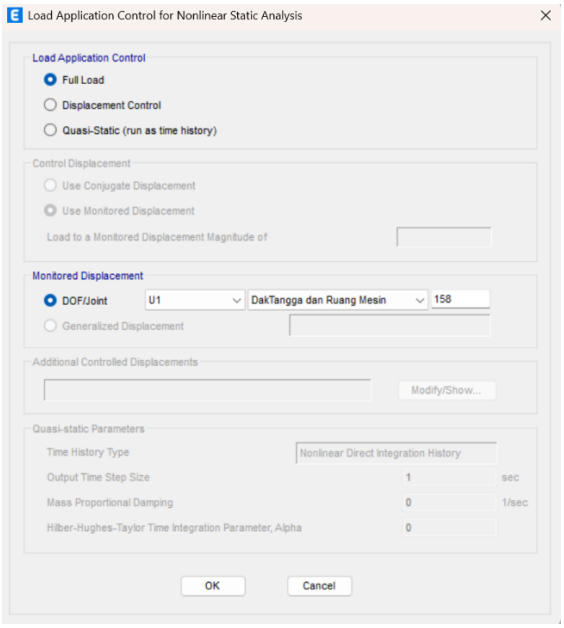
   Adapun berikut ini merupakan langkah untuk mendefinisikan beban gravitasi *pushover* atau *gravity* pada program ETABS dapat dilakukan

memalui tahapan klik *Define* - pilih *Load Case* - pada tampilan *Load Cases* pilih *Add New Case* pada *Click to* – tampilan *Load Case Data* - pada *General* isi *Load Case Name* dengan *Gravity*, isi *Load Case Type* pilih *Nonlinear Static*, isi *Mass Source* dengan memilih beban gedung sesuai dengan nama *mass source* yang telah dibuat sebelumnya - pada *Initial Condition*s pilih *Zero Initial Conditions-Start from Unstressed State* – pada *Loads Applied* isi *Load Type* dengan *Load Pattern* yang telah dibuat sebelumnya, kemudian pada *Load Name* pilih *Dead* dan masukan nilai 1 pada *Scale Factor* kemudian klik *Add*, selanjutnya isi kembali pada *Load Name* pilih SIDL dan masukan nilai 1 pada *Scale Factor* kemudian klik *Add*, terakhir isi kembali pada *Load Name* pilih *Live* dan masukan nilai 0,25 pada *Scale Factor* kemudian klik *Add* – pada *Other Parameters* isi *Modal Load Case* dengan *Modal*, isi *Geometric Nonlinearity Option* dengan memilih P-*Delta*. Adapun untuk tampilan *Load Case Data* dapat dilihat pada **Gambar 5.54** berikut.



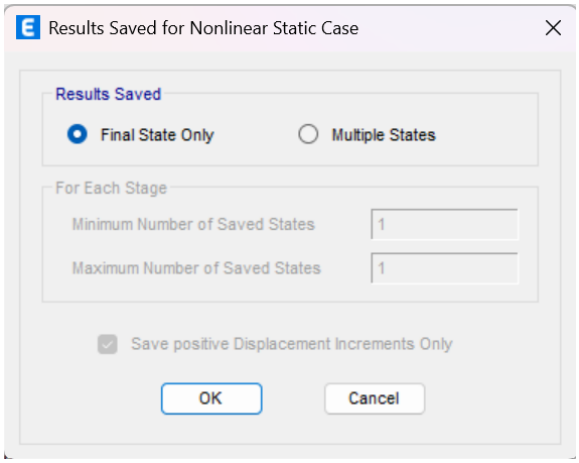
Gambar 5. 54 Tampilan Load Case Data
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Load Application* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Load Application Control for Nonliniar Static Analysis* – pada *Load Application Control* centang dan pilih *Full Load* – pada *Monotored Displacement* pilih dan centang *DOF/Joint* kemudian isikan joint yang digunakan sebagai acuan analisis – ok. Adapun untuk tampilan *Load Application Control for Nonliniar Static Analysis Gravity* dapat dilihat pada **Gambar 5.55** berikut.



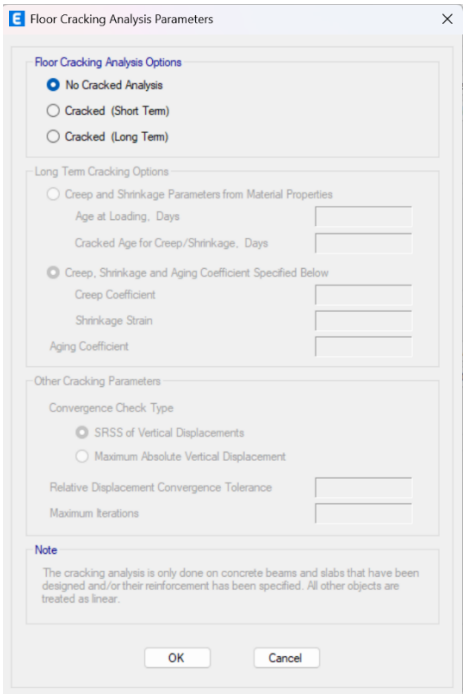
Gambar 5. 55 Tampilan *Load Application Control for Nonliniar Static Analysis Gravity*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Result Saved* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case* – pada *Results Saved* centang dan pilih *Final State Only* – ok. Adapun untuk tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Gravity* dapat dilihat pada **Gambar 5.56** halaman berikutnya.



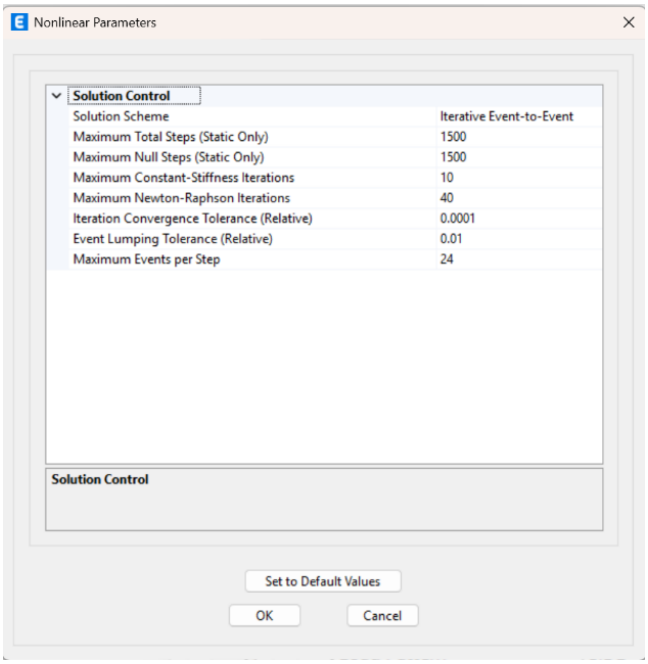
Gambar 5. 56 Tampilan Result Saved for Nonlinear Static Case Gravity
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Floor Cracking Analysis* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters* – pada *Floor Cracking Analysis* centang dan pilih *No Cracked Analysis* – ok. Adapun untuk tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Gravity* dapat dilihat pada **Gambar 5.57** berikut.



Gambar 5. 57 Tampilan Floor Cracking Analysis Parameters Gravity
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Nonlinear Parameters* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Nonlinear Parameters* – pada *Solution Control* isi nilai-nilai tersebut sesuai kebutuhan analisis– ok. Adapun untuk tampilan *Nonlinear Parameters Gravity* dapat dilihat pada **Gambar 5.58** berikut.

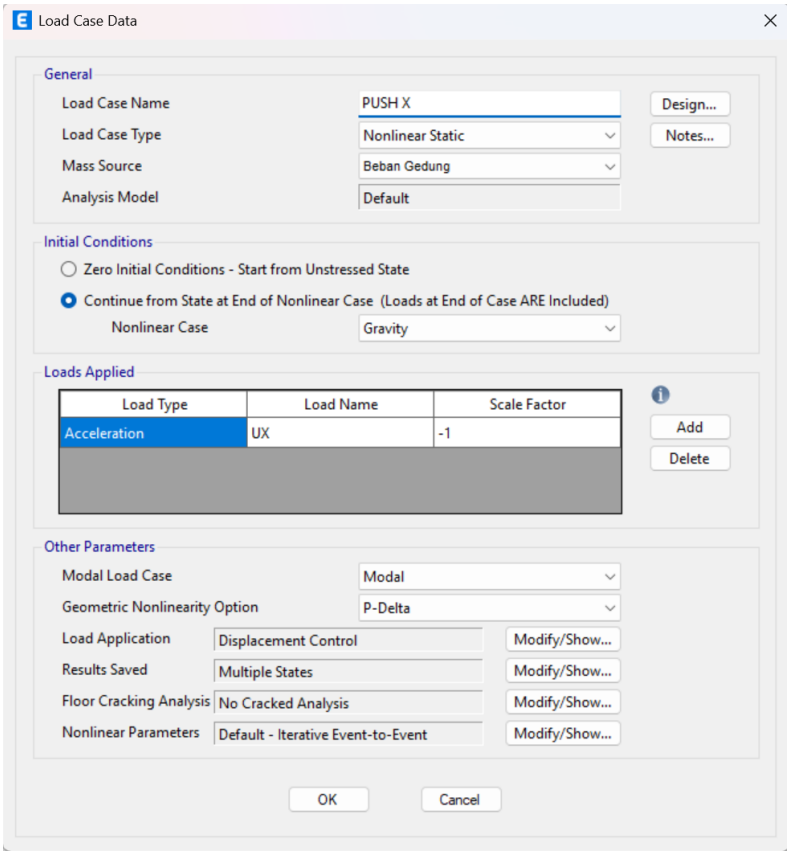


Gambar 5. 58 Tampilan Nonlinear Parameters Gravity
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

2. Mendefinisikan beban lateral *pushover* arah X dan arah Y

Adapun berikut ini merupakan langkah untuk mendefinisikan lateral *pushover* arah X pada program ETABS dapat dilakukan memalui tahapan klik *Define* - pilih *Load Case* - pada tampilan *Load Cases* pilih *Add New Case* pada *Click to* – tampilan *Load Case Data* - pada *General* isi *Load Case Name* dengan *PUSH X*, isi *Load Case Type* pilih *Nonlinear Static*, isi *Mass Source* dengan memilih beban gedung sesuai dengan nama *mass source* yang telah dibuat sebelumnya - pada *Initial Condition*s pilih *Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included),* kemudian pilih *Gravity* pada *Nonliniear Case* – pada *Loads Applied* isi *Load Type* dengan *Accelaration*, kemudian pada *Load Name* pilih *UX* dan masukan nilai -1 pada

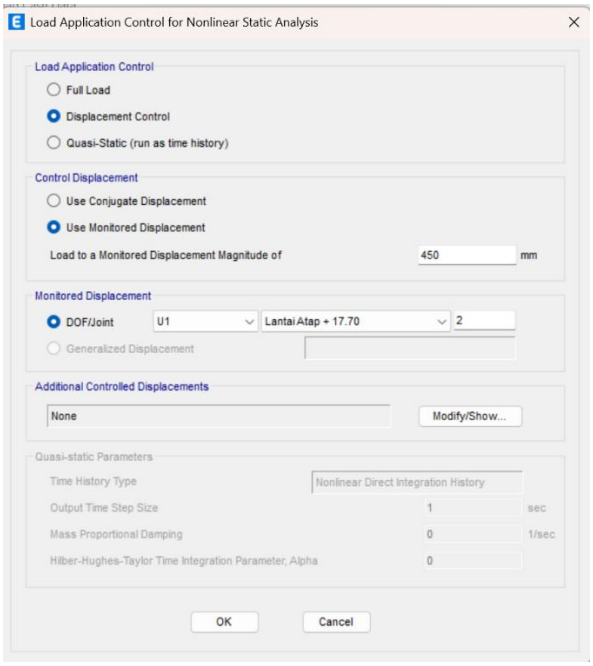
Scale Factor kemudian klik *Add* – pada *Other Parameters* isi *Modal Load Case* dengan *Modal*, isi *Geometric Nonlinearity Option* dengan memilih P-*Delta*. Adapun untuk tampilan *Load Case Data Pushover* arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.59** berikut.



Gambar 5. 59 Tampilan Load Case Data *Pushover* Arah X
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

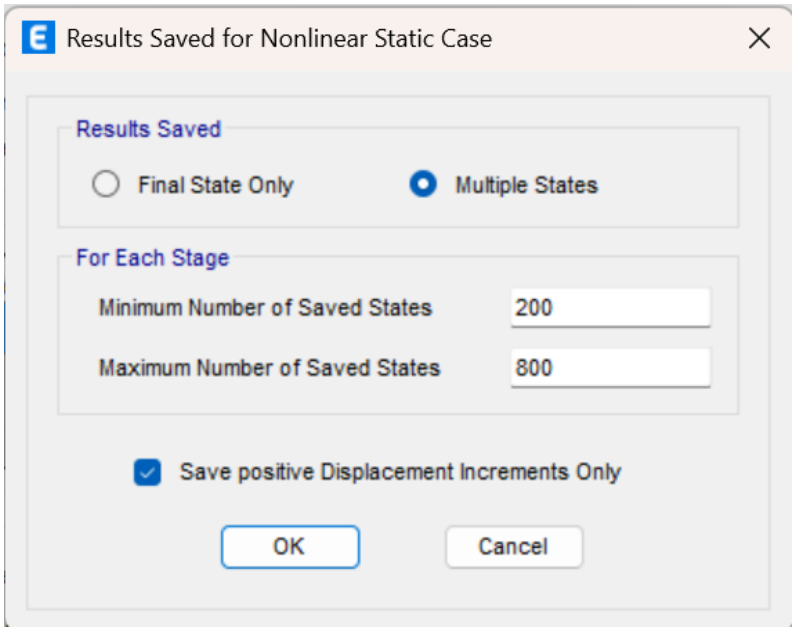
Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Load Application* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Load Application Control for Nonliniar Static Analysis* – pada *Load Application Control* centang dan pilih *Displacement Control* – pada *Control Displacement* pilih dan centang *Use Monitored Displacement,* kemudian pada *Load to a Monitored Displacement Magnitude of* isi dengan nilai 2% dari tinggi bangunan yaitu sebesar 0,439 meter - pada *Monotored Displacement* pilih dan centang *DOF/Joint* kemudian isikan joint yang digunakan sebagai acuan analisis – ok.

Adapun untuk tampilan *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis Pushover* arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.60** berikut.



Gambar 5. 60 Tampilan *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis Pushover* Arah X
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

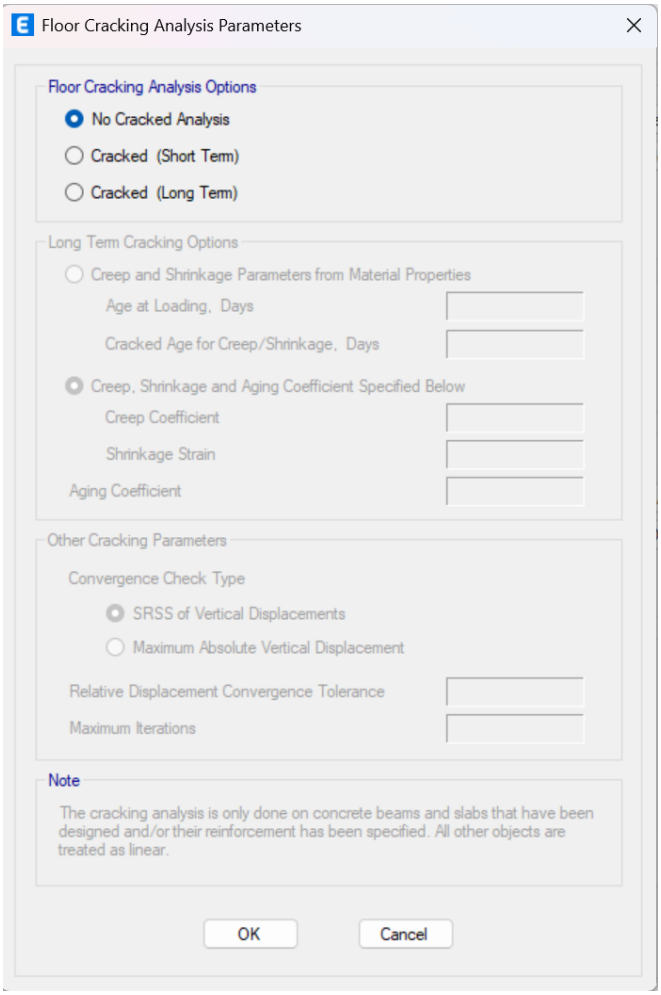
Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Result Saved* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case* – pada *Results Saved* centang dan pilih *Multiple States* – isi nilai *Minimum Number of Saved States* dan nilai *Maximum Number of Saved States* sesuai dengan kebutuhan analisis – centang *Save positive Displacement Increments Only* – ok. Adapun untuk tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Pushover* arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.61** halaman berikutnya.



Gambar 5. 61 Tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Pushover* Arah X

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

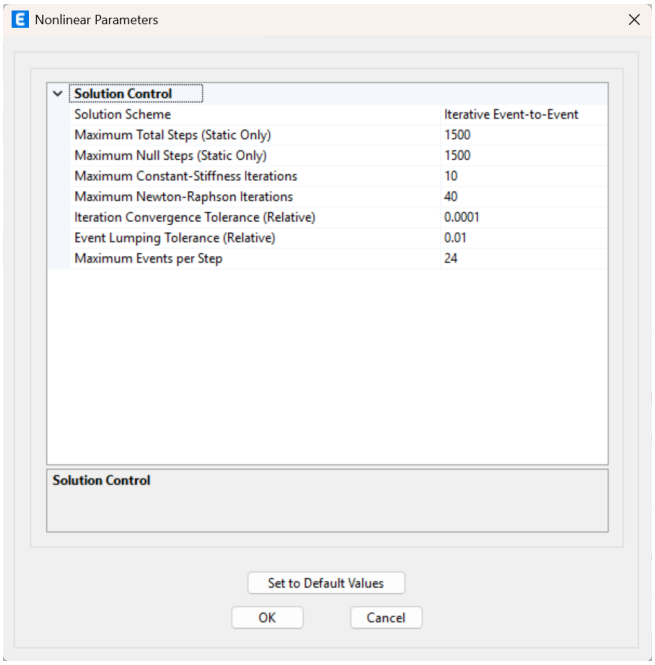
Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Floor Cracking Analysis* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters* – pada *Floor Cracking Analysis* centang dan pilih *No Cracked Analysis* – ok. Adapun untuk tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Pushover* arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.62** halaman berikutnya.



Gambar 5. 62 Tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Pushover* Arah X

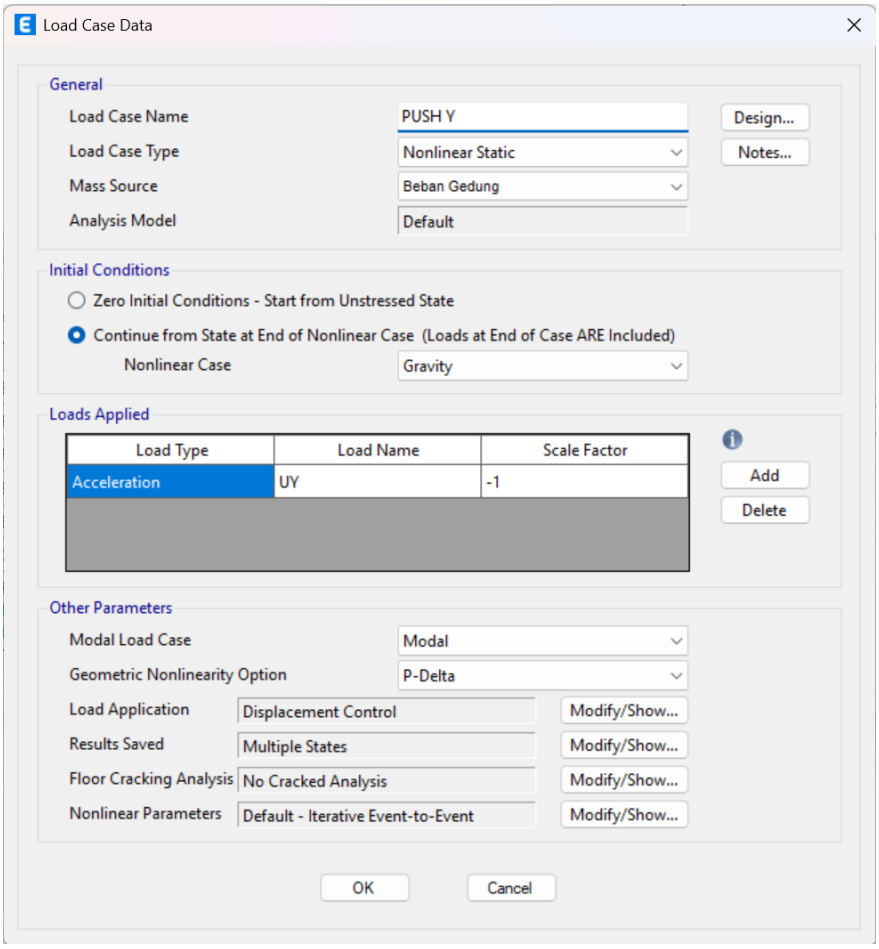
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Nonlinear Parameters* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Nonlinear Parameters* – pada *Solution Control* isi nilai-nilai tersebut sesuai kebutuhan analisis– ok. Adapun untuk tampilan *Nonlinear Parameters Pushover* arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.63** halaman berikutnya.



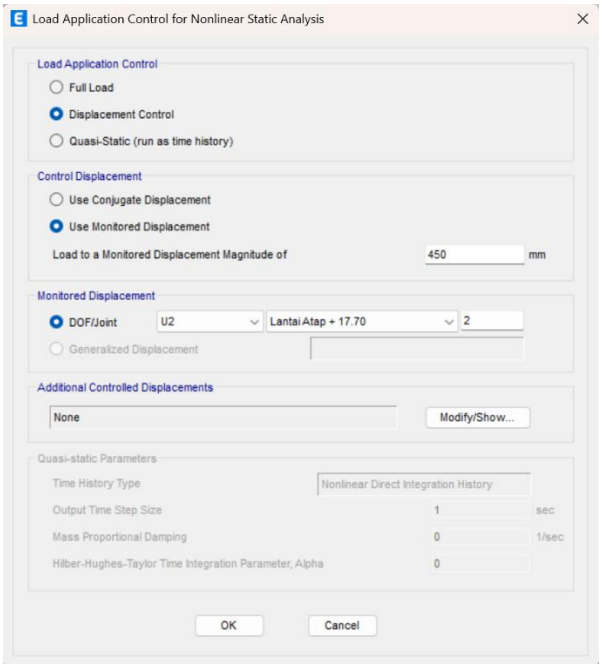
Gambar 5. 63 Tampilan *Nonlinear Parameters Pushover* Arah X
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Selanjutnya berikut ini merupakan langkah untuk mendefinisikan lateral *pushover* arah Y pada program ETABS dapat dilakukan memalui tahapan klik *Define* - pilih *Load Case* - pada tampilan *Load Cases* pilih *Add New Case* pada *Click to* – tampilan *Load Case Data* - pada *General* isi *Load Case Name* dengan *PUSH Y*, isi *Load Case Type* pilih *Nonlinear Static*, isi *Mass Source* dengan memilih beban gedung sesuai dengan nama *mass source* yang telah dibuat sebelumnya - pada *Initial Condition*s pilih *Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included),* kemudian pilih *Gravity* pada *Nonliniear Case* – pada *Loads Applied* isi *Load Type* dengan *Accelaration*, kemudian pada *Load Name* pilih *UY* dan masukan nilai -1 pada *Scale Factor* kemudian klik *Add* – pada *Other Parameters* isi *Modal Load Case* dengan *Modal*, isi *Geometric Nonlinearity Option* dengan memilih P-*Delta*. Adapun untuk tampilan *Load Case Data Pushover* arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.64** halaman berikutnya.



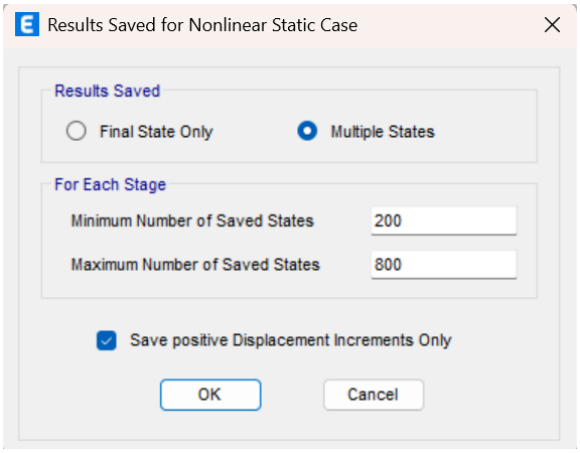
Gambar 5. 64 Tampilan *Load Case Data Pushover* Arah Y
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Load Application* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Load Application Control for Nonliniar Static Analysis* – pada *Load Application Control* centang dan pilih *Displacement Control* – pada *Control Displacement* pilih dan centang *Use Monitored Displacement,* kemudian pada *Load to a Monitored Displacement Magnitude of* isi dengan nilai 2% dari tinggi bangunan yaitu sebesar 0,439 meter - pada *Monotored Displacement* pilih dan centang *DOF/Joint* kemudian isikan joint yang digunakan sebagai acuan analisis – ok. Adapun untuk tampilan *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis Pushover* arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.65** halaman berikutnya.



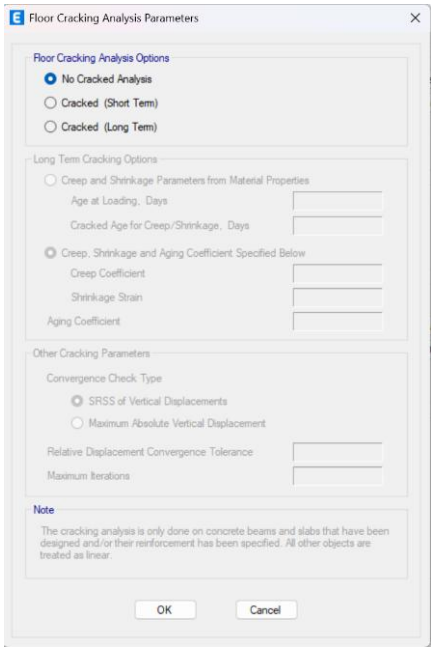
Gambar 5. 65 Tampilan *Load Application Control for Nonlinear Static Analysis Pushover* Arah Y
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Result Saved* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case* – pada *Results Saved* centang dan pilih *Multiple States* – isi nilai *Minimum Number of Saved States* dan nilai *Maximum Number of Saved States* sesuai dengan kebutuhan analisis – centang *Save positive Displacement Increments Only* – ok. Adapun untuk tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Pushover* arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.66** halaman berikutnya.



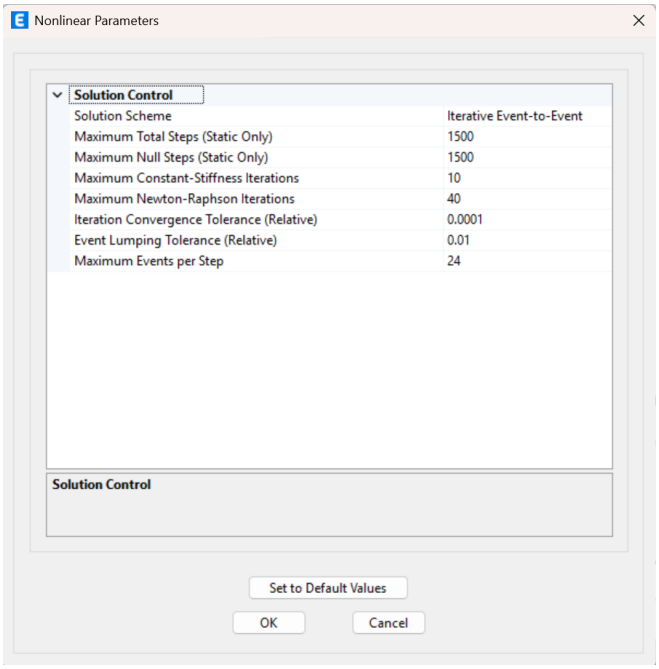
Gambar 5. 66 Tampilan *Result Saved for Nonlinear Static Case Pushover* Arah Y
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Floor Cracking Analysis* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters* – pada *Floor Cracking Analysis* centang dan pilih *No Cracked Analysis* – ok. Adapun untuk tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Pushover* arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.67** berikut.



Gambar 5. 67 Tampilan *Floor Cracking Analysis Parameters Pushover* Arah Y
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Pada tampilan *Load Case Data*, pilih *Modify/show* pada *Nonlinear Parameters* di *Other Parametrs* – muncul tampilan *Nonlinear Parameters* – pada *Solution Control* isi nilai-nilai tersebut sesuai kebutuhan analisis– ok. Adapun untuk tampilan *Nonlinear Parameters Pushover Arah Y* dapat dilihat pada **Gambar 5.68** berikut.



Gambar 5. 68 Tampilan *Nonlinear Parameters Pushover* Arah Y
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.4.2 Mendefinisikan Sendi Plastis (*Hinges*)

Sendi plastik adalah area terbatas pada elemen struktural seperti kolom dan balok, di mana deformasi plastis dan inelastis terjadi ketika perilaku elastis elemen tersebut melampaui batas akibat beban gempa atau beban berat. Sendi plastik digunakan dalam rekayasa struktural sebagai cara untuk menyerap dan melepaskan energi guna meningkatkan daktilits (fleksibilitas) struktur dan mencegah keruntuhan total.

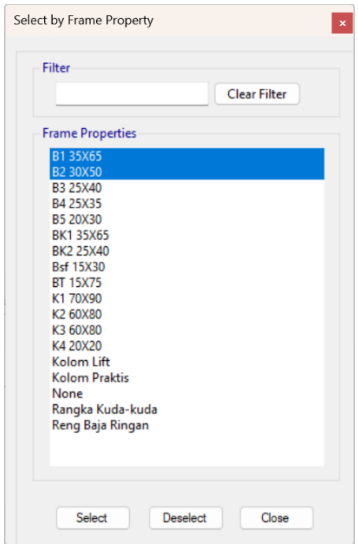
Karena analisis linier yang umum digunakan tidak dapat mewakili apa yang terjadi saat struktur mulai leleh, maka *hinges* harus didefinisikan. Untuk analisis *pushover* nonlinier, definisi *hinges* sangat diperlukan. *Hinges* diperlukan untuk mengidentifikasi mekanisme yang akan menyebabkan struktur mengalami

deformasi plastis pertama kali. Tanpa *hinges* ETABS mengasumsikan bahwa elemen-elemen tetap elastis (tidak ada rotasi plastis, tidak ada kehilangan kekakuan), yang dapat menyebabkan prediksi yang tidak akurat tentang pergeseran atau *drift*, distribusi gaya, dan mekanisme kegagalan atau keruntuhan struktur

1. Mendefinisikan sendi plastis (*hinges*) pada balok

   Adapun berikut ini merupakan langkah untuk melakukan pendefinisian sendi plastis atau *hinges* balok pada program ETABS ialah sebagai berikut.

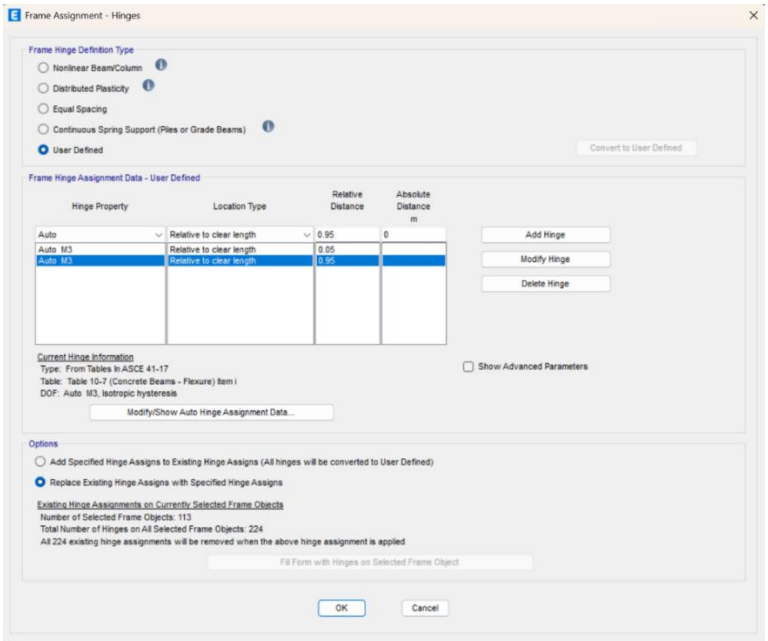
   a. Dalam analisis ini digunakan balok struktur atau induk yang mana balok-balok tersebut saling terhubung terhadap kolom yang akan diberi sendi plastis (*hinges*), Adapun untuk tahapannya ialah klik *Select* – pilih *Select* - pilih *Properties* - pilih *Frame Section* - pilih balok yang sudah dimodelkan sebelumnya – *Select* – *Close.* Adapun untuk tampilan *Select by Frame Property* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.69** berikut.



Gambar 5. 69 Tampilan *Select by Frame Property* pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

   b. Selanjutnya klik *Assign* - pilih *Frame* – pilih *Hinge* – muncul tampilan *Frame Assigment-Hinges* - pilih dan centang *User Defined* pada *Frame Hinge Definition Type* – pada *Frame Hinge Assigment Data-User Defined,* isi *Hinge Property* dengan memilih *Auto M3,* isi *Location*

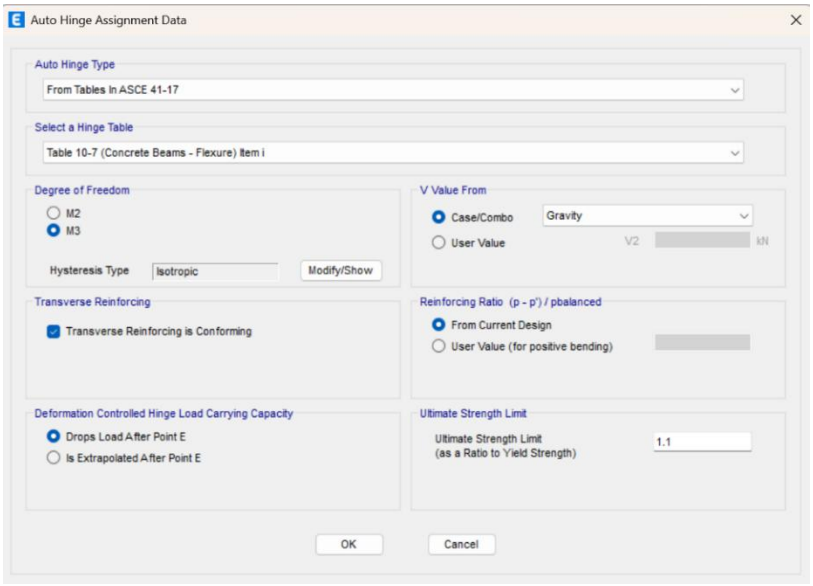
Type dengan memilih *Relative to clear length,* isi *Relative Distance* dengan nilai 0,05 kemudian klik *Add* – kemudian isi kembali *Hinge Property* dengan memilih *Auto M3,* isi *Location Type* dengan memilih *Relative to clear length,* isi *Relative Distance* dengan nilai 0,95 kemudian klik *Add.* Adapun untuk nilai *Relative Distance* 0,05 dan 0,95 serta memilih *Relative to clear length* pada *Location Type* menggambarkan bahwa sendi plastis atau *hinges* yang digunakan pada balok tersebut ditempatkan di ujung bentang bersih awal dan akhir balok. Adapun untuk tampilan *Frame Assugment-Hinges* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.70** berikut.



Gambar 5. 70 Tampilan Frame Assugment-*Hinge*s pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

c. Selanjutnya pada tampilan *Frame Assigment-Hinges* - pada *Frame Hinge Assigment Data-User Defined* klik *Modify/Show Auto Hinge Assigment Data* – muncul tampilan *Auto Hinge Assigment Data* - pada *Auto Hinge Type* pilih *From Table in ASCE 41-17* – pada *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-7 (Concrete Beams-Flexure) Item i* – pilih dan centang *M3* pada *Degree Of Freedom* – centang *Transverse Reinforcing is Conforming* pada *Transverse*

Reinforcing – pilih dan centang *Drops Load After Point E* pada *Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity* – pilih dan centang *Case/Combo* pada *V Value From* kemudian isi dengan *Gravity* – pilih dan centang *From Current Design* pada *Reinforcing Ratio (p-p')/pbalanced – ok.* Adapun untuk tampilan *Auto Hinge Assigment Data* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.71** berikut.

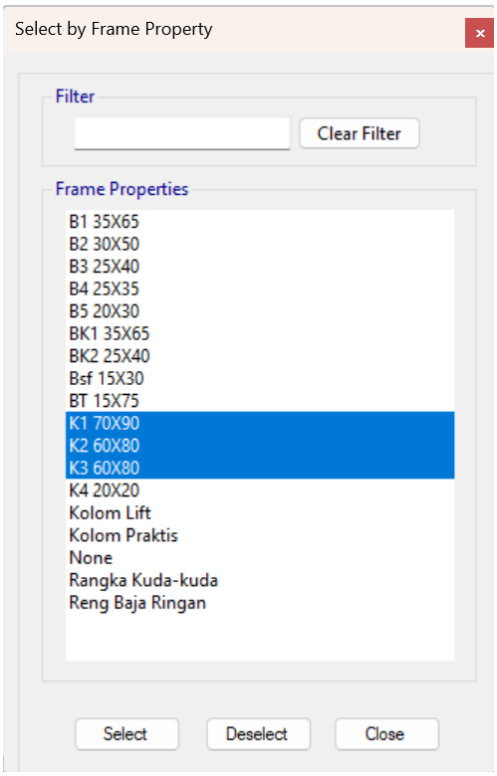


Gambar 5. 71 Tampilan *Auto Hinge Assigment Data* pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

2. Mendefinisikan sendi plastis pada kolom

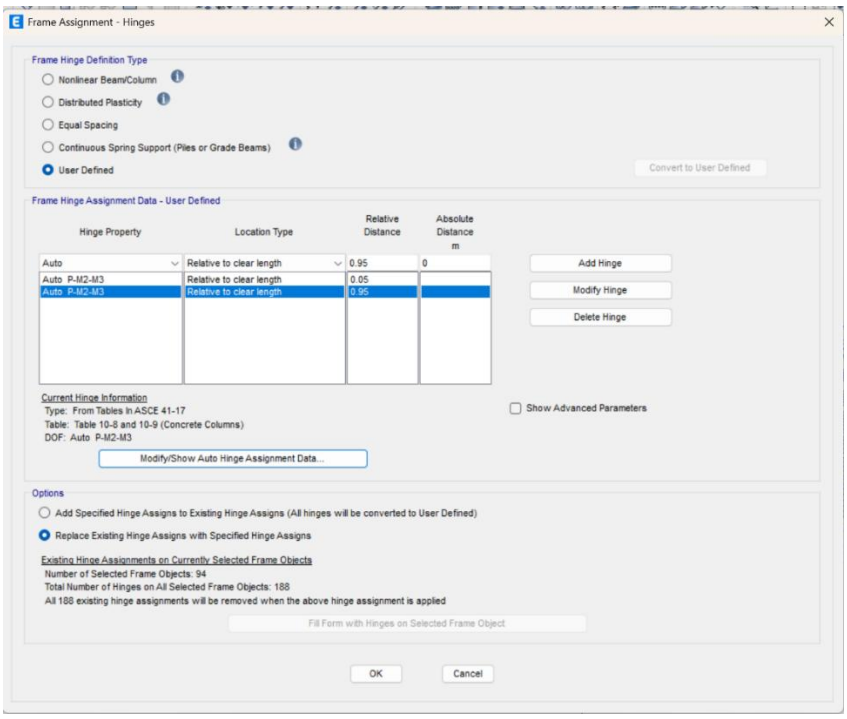
Adapun berikut ini merupakan langkah untuk melakukan pendefinisian sendi plastis atau *hinges* kolom pada program ETABS ialah sebagai berikut.

a. Dalam analisis ini digunakan kolom struktur yang akan diberi sendi plastis (*hinges*), Adapun untuk tahapannya ialah klik *Select* – pilih *Select* - pilih *Properties* - pilih *Frame Section* - pilih kolom yang sudah dimodelkan sebelumnya – klik *Select – Close.* Adapun untuk tampilan *Select by Frame Property* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.72** halaman berikutnya.



Gambar 5. 72 Tampilan Select by Frame Property pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

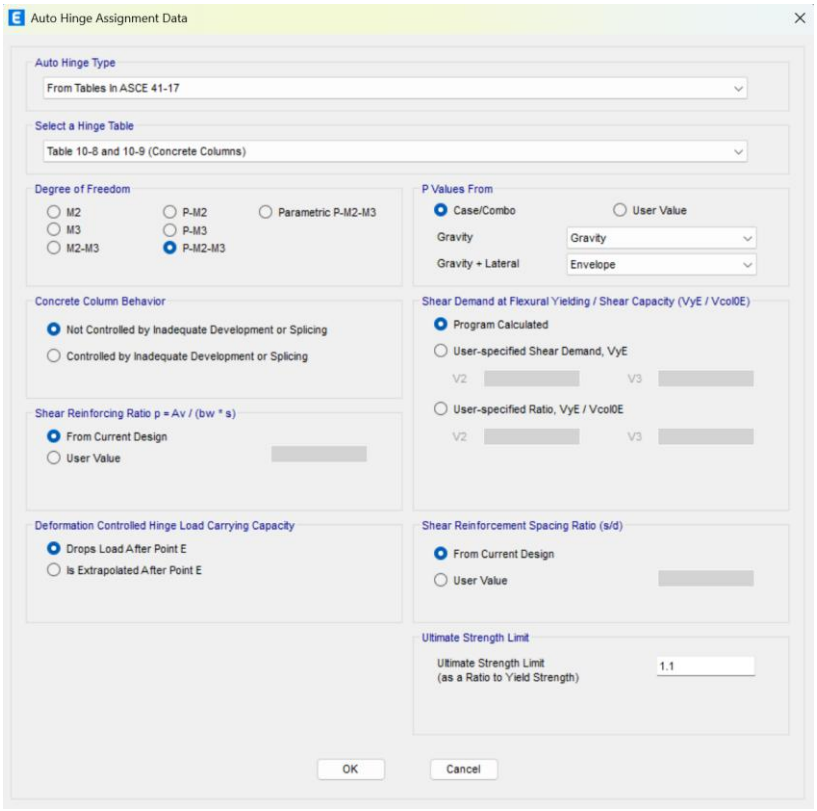
b. Selanjutnya klik *Assign* - pilih *Frame* – pilih *Hinge* – muncul tampilan *Frame Assigment-Hinges* - pilih dan centang *User Defined* pada *Frame Hinge Definition Type* – pada *Frame Hinge Assigment Data-User Defined,* isi *Hinge Property* dengan memilih *Auto P-M2-M3,* isi *Location Type* dengan memilih *Relative to clear length,* isi *Relative Distance* dengan nilai 0,05 kemudian klik *Add* – kemudian isi kembali *Hinge Property* dengan memilih *Auto P-M2-M3,* isi *Location Type* dengan memilih *Relative to clear length,* isi *Relative Distance* dengan nilai 0,95 kemudian klik *Add.* Adapun untuk nilai *Relative Distance* 0,05 dan 0,95 serta memilih *Relative to clear length* pada *Location Type* menggambarkan bahwa sendi plastis atau *hinges* yang digunakan pada kolom tersebut ditempatkan di ujung bentang bersih awal dan akhir kolom. Adapun untuk tampilan *Frame Assugment-Hinges* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.73** halaman berikutnya.



Gambar 5. 73 Tampilan Frame Assugment-*Hinge*s pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

c. Selanjutnya pada tampilan *Frame Assigment-Hinges* - pada *Frame Hinge Assigment Data-User Defined* klik *Modify/Show Auto Hinge Assigment Data* – muncul tampilan *Auto Hinge Assigment Data* - pada *Auto Hinge Type* pilih *From Table in ASCE 41-17* – pada *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)* – pilih dan centang *P-M2-M3* pada *Degree Of Freedom* –pilih dan centang *Not Controlled by Inadequate Development or Splicing* pada *Concrete Column Behavior* – pilih dan centang *From Current Design* pada *Shear Reinforcing Ratio p=Av/(bw × s)* – pilih dan centang *Drops Load After Point E* pada *Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity* - pilih dan centang *Case/Combo* pada *V Values From* kemudian pada *Gravity* pilih *Gravity*, kemudian pada *Gravity+Lateral* pilih *Gravity* – pilih dan centang *Program Calculated* pada *Shear Demand at Flexural Yielding/Shear Capacity (VyE/VcoIoE)* – pilih dan centang *From Current Design* pada *Shear Reinforcement Spacing Ratio (s/d) – ok.* Adapun untuk

tampilan *Auto Hinge Assigment Data* pada balok dapat dilihat pada **Gambar 5.74** halaman berikutnya.

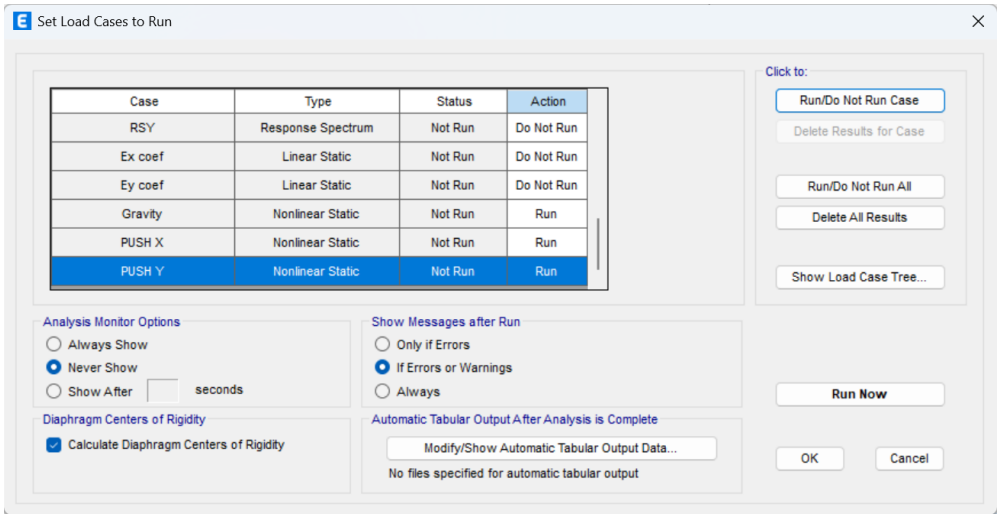


Gambar 5. 74 Tampilan *Auto Hinge Assigment Data* pada Balok
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.1.1 Merunning Analisis *Pushover*

Setelah membuat, mendefinisikan dan menginput data-data pada *Load Pattern, Load Case, Load Combination,* serta sendi plastis (*hinge*) pada model struktur di program ETABS, maka selanjutnya ialah merunning atau menjalankan program analisis *pushover,* adapun untuk tahapannya ialah dengan klik *Analyze* – pilih *Set Load Case to Run* – pada tampilan *Set Load Cases to Run* pada tabel pilih *Case* dengan *Type Case Nonlinear Static* yaitu *Gravity, PUSH X, dan PUSH Y* kemudian pilih *Action* di *Run-kan* dengan cara klik *Run/Do Not Run Case* pada *Click to* sampai dengan *Action* berubah menjadi *Run* - pilih dan centang *Never Show* pada *Analysis Monitor Options* – centang *Calculate Diaphragm Centers of Rigidity* pada *Diaphragm Centers of Rigidity* – pilih dan centang *If Errors or Warnings* pada

Show Message after Run – pada *Click to* klik *Run Now* – ok. Adapun untuk tampilan *Set Load Cases to Run* dapat dilihat pada **Gambar 5.75** halaman berikutnya.



Gambar 5. 75 Tampilan *Set Load Cases to Run*
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.5 Hasil Analisis *Pushover* Berdasarkan ATC-40 Bangunan Sisi Kiri

Analisis beban dorong *pushover* ini menghasilkan beberapa data penting yaitu kurva kapasitas, titik kinerja atau *performance point*, dan hasil skema sendi plastis yang muncul dalam model bangunan merupakan hasil output dari analisis *pushover* yang sudah di running. Adapun kinerja struktur berdasarkan ATC-40 akan ditentukan menggunakan nilai-nilai yang diperoleh pada titik-titik kinerja.

Setelah *performance point* atau target perpindahan didapatkan, tingkat kinerja (*performance level*) dari struktur bangunan ditentukan berdasarkan kondisi aktual gedung saat mencapai *performance point* tersebut. Penentuan tingkat kinerja dapat dilakukan dengan meninjau tingkat kerusakan pada setiap komponen balok dan kolom melalui status sendi plastis serta besarnya simpangan antar lantai bangunan. Berdasarkan ATC-40 Vol 1 pada chapter 3 mengenai performance objective yang terdapat pada sub bab 3.2.1 mengenai *structural performance levels and range* dan 3.2.3 *bulding performance level* bangunan akan dikelompokkan ke dalam tingkat kinerja utama sebagai berikut.

1. Operational

Tingkat kinerja operasional menitikberatkan pada keberlanjutan fungsi bangunan. Kerusakan komponen struktural dirancang sangat minim untuk memastikan bangunan tetap aman dihuni secara berkelanjutan, dengan perbaikan kecil yang tidak mengganggu aktivitas pengguna. Kerusakan pada komponen nonstruktural maupun fasilitas internal juga bersifat minor serta tidak membahayakan aktivitas di dalam bangunan. Selain itu, layanan vital eksternal seperti utilitas, akses transportasi, dan jaringan komunikasi harus ditunjang oleh sistem cadangan (*back-up*) yang memadai agar operasional gedung dapat terus berjalan saat pasokan utama terganggu.

2. *Immediate Occupancy (IO*)

Tingkat kinerja ini menggambarkan kondisi pascagempa dengan tingkat kerusakan struktural yang sangat terbatas. Sistem penahan beban lateral dan gravitasi utama tetap mempertahankan sebagian besar kapasitas aslinya, sehingga risiko cedera akibat kegagalan struktur tergolong sangat rendah. Bangunan dipastikan aman untuk akses keluar-masuk serta layak langsung dihuni kembali tanpa pembatasan, menjadikannya kriteria penting bagi fasilitas vital. Ruang dan sistem bangunan tetap dapat difungsikan secara wajar, meskipun kontinuitas layanan utilitas utama maupun cadangan belum tentu terjamin penuh serta kerusakan minor pada fasilitas nonstruktural internal masih dapat terjadi.

3. *Damage Control (DC)*

Damage Control merupakan rentang kondisi kinerja antara SP-1 (*Immediate Occupancy*) dan SP-3 (*Life Safety*), yang mana *Damage Control* ini bukan level kinerja tunggal. Struktur bangunan tetap kokoh serta aman untuk diakses kembali pascagempa rencana. Kerusakan dan pelelehan awal pada komponen struktural masih berada pada batas yang layak diperbaiki secara ekonomis dari segi biaya maupun waktu. Tingkat risiko keselamatan jiwa tergolong sangat rendah karena tidak terjadi keruntuhan elemen struktural utama maupun bahaya jatuhan komponen bangunan.

4. *Life Safety* (LS)

Tingkat kinerja ini menunjukkan kondisi pascagempa dengan kerusakan struktural yang signifikan, namun masih memiliki batas aman terhadap risiko keruntuhan parsial maupun total. Komponen struktural utama tidak mengalami keruntuhan atau pelepasan material yang membahayakan area internal dan eksternal gedung, sehingga ancaman cedera fatal tergolong sangat rendah. Meski keselamatan jiwa tetap terjamin, bangunan membutuhkan perbaikan struktural yang ekstensif sebelum dapat dihuni kembali, dengan pertimbangan biaya perbaikan yang mungkin tidak lagi bernilai ekonomis.

5. *Structural Stability* (SS)

Tingkat kinerja ini merupakan kondisi batas kerusakan pascagempa ketika sistem struktur berada di ambang keruntuhan parsial maupun total. Kerusakan yang sangat parah menyebabkan penurunan signifikan pada kekakuan dan kekuatan sistem penahan gaya lateral, meskipun seluruh komponen utama penahan beban gravitasi masih mampu menopang beban gedung. Meskipun kestabilan global bangunan masih bertahan untuk mencegah keruntuhan mendadak, risiko cedera tetap tinggi akibat bahaya jatuhan material serta kerentanan terhadap gempa susulan. Bangunan mengalami kerusakan kritis dan memerlukan perbaikan struktural menyeluruh yang sangat masif sebelum dapat dipertimbangkan untuk difungsikan kembali.

5.5.1 Kurva Kapasitas Bangunan Sisi Kiri

Kurva kapasitas adalah grafik yang memperlihatkan hubungan antara gaya geser total pada dasar gedung (*base shear*) dengan besarnya pergeseran samping bangunan (*displacement*). Grafik ini didapatkan secara otomatis melalui menu *Static Pushover Curve* di program ETABS setelah simulasi beban dorong selesai dijalankan atau *running*.

Tujuan dari evaluasi kapasitas ini adalah untuk mengetahui batas kekuatan maksimum gedung serta bagaimana perilaku bangunan setelah materialnya mulai meleleh saat menahan beban gempa rencana. Tingkat kinerja bangunan dinilai secara menyeluruh dengan melihat interaksi antara gaya geser dasar terhadap

simpangan di lantai atap (*monitored displacement*). Adapun ringkasan mengenai tahapan terbentuknya sendi plastis (*plastic hinges*) serta kapasitas gaya geser akibat beban lateral arah X dapat dilihat pada **Tabel 5.25** berikut, sedangkan untuk beban lateral arah Y disajikan pada **Tabel 5.26** halaman berikutnya.

Tabel 5. 25 Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
1	2.25	115.52	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
2	4.50	231.04	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
3	6.75	346.58	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
4	9.00	462.10	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
↓												
61	137.25	7047.88	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
62	139.50	7163.43	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
63	141.28	7253.70	386	2	0	0	0	388	0	0	0	388
64	144.86	7428.70	381	7	0	0	0	388	0	0	0	388
65	148.65	7588.77	378	10	0	0	0	388	0	0	0	388
66	150.90	7676.08	377	11	0	0	0	388	0	0	0	388
↓												
74	170.09	8248.96	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
75	172.34	8313.82	376	12	0	0	0	387	1	0	0	388
76	174.59	8378.53	376	12	0	0	0	384	4	0	0	388
↓												
80	183.59	8640.50	376	12	0	0	0	377	11	0	0	388
81	185.84	8704.84	376	12	0	0	0	377	11	0	0	388
82	188.09	8769.16	376	12	0	0	0	377	11	0	0	388
83	190.34	8833.50	376	12	0	0	0	376	12	0	0	388
↓												
136	309.59	11437.75	323	65	0	0	0	362	26	0	0	388
137	311.84	11474.62	323	64	1	0	0	362	26	0	0	388
138	311.84	11229.57	323	64	0	1	0	360	28	0	0	388
139	314.09	11276.55	323	64	0	1	0	358	30	0	0	388
140	314.63	11287.26	323	63	1	1	0	358	30	0	0	388
141	249.07	7445.62	323	60	1	4	0	358	30	0	0	388

Tabel 5. 26 Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
1	2.25	140.01	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
2	4.50	280.03	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
3	6.75	420.04	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
4	9.00	560.05	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
↓												
45	101.25	6300.04	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
46	103.50	6440.03	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
47	105.75	6577.17	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
↓												
56	126.00	7804.37	385	3	0	0	0	388	0	0	0	388
57	128.12	7927.96	384	4	0	0	0	388	0	0	0	388
58	131.89	8123.96	381	7	0	0	0	388	0	0	0	388
59	134.14	8231.55	381	7	0	0	0	388	0	0	0	388
60	137.56	8381.97	379	9	0	0	0	388	0	0	0	388
61	141.63	8554.67	377	11	0	0	0	387	1	0	0	388
62	143.88	8640.96	375	13	0	0	0	387	1	0	0	388
62	143.88	8640.96	375	13	0	0	0	387	1	0	0	388
↓												
71	165.70	9330.65	369	19	0	0	0	385	3	0	0	388
72	167.95	9387.90	367	21	0	0	0	385	3	0	0	388
73	170.20	9448.51	366	22	0	0	0	382	6	0	0	388
74	172.45	9499.12	366	22	0	0	0	382	6	0	0	388
↓												
129	296.20	11645.18	333	55	0	0	0	359	29	0	0	388
130	298.45	11671.23	333	55	0	0	0	359	29	0	0	388
131	300.70	11698.07	332	55	1	0	0	359	29	0	0	388
132	283.35	10545.03	332	55	0	1	0	359	29	0	0	388

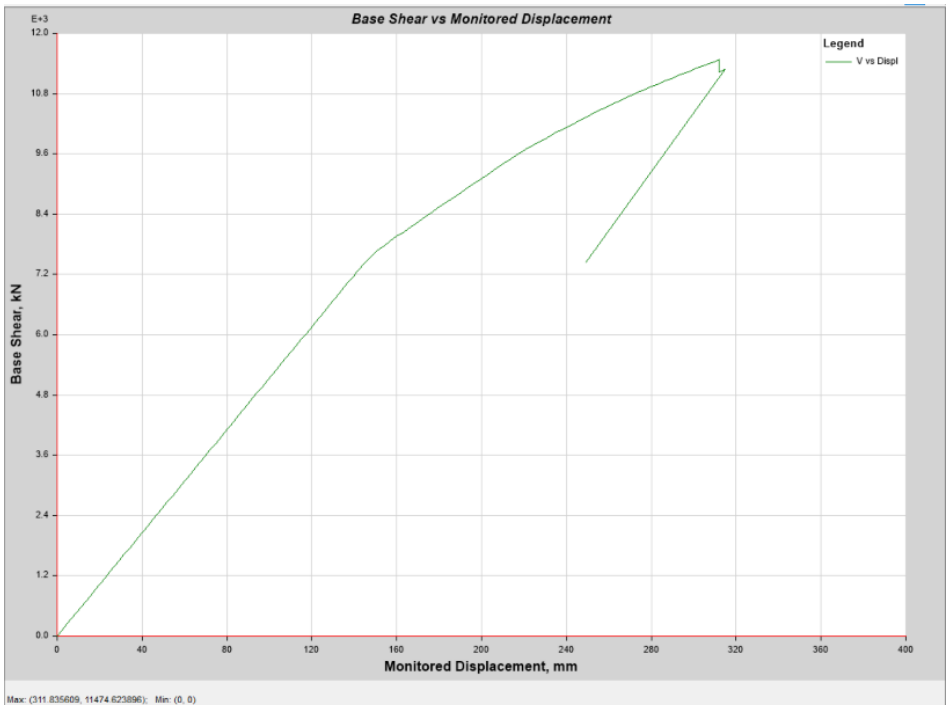
Berdasarkan data hasil *running* beban lateral pada **Tabel 5.25** struktur gedung didorong dalam arah X hingga mencapai 141 tahapan pembebanan. Di awal pengujian dari tahap 0 hingga tahap 4 seluruh bagian struktur yang berjumlah 388 buah berada dalam kondisi yang sangat normal dan utuh tanpa retak sama sekali pada kolom A-B yaitu kondisi elastis. Seluruh bagian sendi tersebut juga dikategorikan berada pada tingkat kinerja atau *acceptance criteria* pada sendi plastis yaitu *Immediate Occupancy* (A-IO) dengan kondisi kerusakan struktur sangat kecil atau hampir tidak ada. Seiring bertambahnya beban, tanda-tanda

kerusakan sendi plastis mulai muncul pertama kali pada tahap ke-62 ketika gedung didorong sejauh 139,5 mm dengan besar gaya *base shear* sebesar 7.163,43 kN. Pada tahap ini terdapat 1 bagian gedung yang mulai leleh dan mengalami retak-retak kecil sehingga bergeser masuk ke kolom B-C dengan kondsisi plastis. Kerusakan sendi plastis semakin meluas dan bertambah. Pada tahap 75 ketika dorongan mencapai 172,34 mm dengan *base shear* sebesar 8.313,82 kN terdapat 376 sendi pada kondisi elastis A-B, dan terdapat 12 sendi yang mengalami leleh atau plastis pada kondisi B-C, serta pada kolom sebelah kanan terdapat 387 sendi plastis dengan level kinerja sendi plastis yaitu A-IO dan terdapat 1 sendi plastis yang menglami level kinerja IO-LS atau *life safety.* Pada step 137 ketika gedung didorong sejauh 311,84 mm dengan besar *base shear* puncak untuk arah X sebesar 11.474,62 mm sendi mulai mengalami kondisi C-D atau degredasi kekuatan yaitu terjadi penurunan kekuatan setelah melewati kapasitas puncak. Pada step 138 ketika gedung didorong sejauh 311,84 mm dengan besar *base shear* mengalami penurunan sebesar 11.229,57 mm sendi mulai mengalami kondisi C-D atau degredasi kekuatan yaitu terjadi penurunan kekuatan setelah melewati kapasitas puncak. Pada step 139 sampai step 140 sendi plastis gedung mengalmi peningkatan *base shear* kembali dan pada step 141 sendi plastis mengalami penurunan atau sisa kekuatan *base shear* sebesar 11.287,26 mm yang sangat signifikan, tetapi sendi plastis belum mengalami runtuh atau kerusakan hancur yang mana ditandai dengan mekanisme kondisi sendi plastis pada kolom >E nilainya 0, dan level kinerja sendi plastispada kolom >CP nilainya 0 juga.

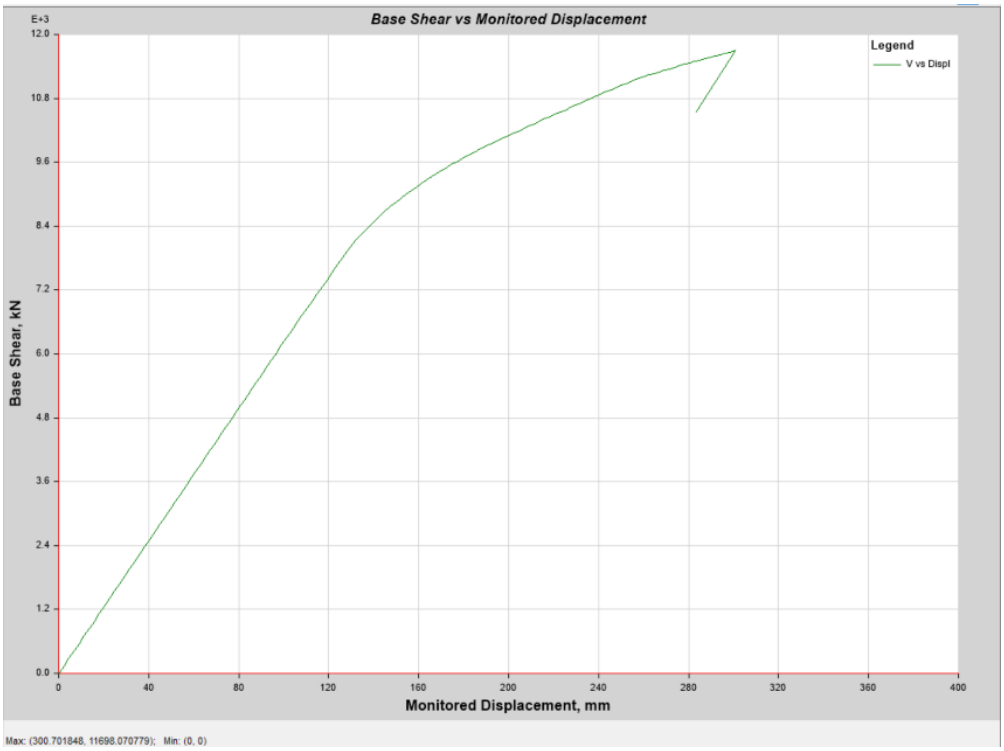
Kondisi yang jauh lebih kokoh dan aman ditunjukkan oleh bangunan saat menerima beban lateral arah Y yang didorong hingga mencapai 132 tahapan pembebanan seperti yang tertera pada **Tabel 5.26**. Gedung ini menunjukkan tingkat kestabilan yang sangat tinggi. Hal ini dibuktikan dari tahap awal pembebanan hingga tahap 45 di mana seluruh bagian sendi plastis yang berjumlah 388 buah secara konsisten mampu mempertahankan kondisi fisiknya tetap utuh tanpa retak atau elastis pada kondisi (A-B) serta berada pada kondisi level kinerja sendi plastis (A-IO). Sendi mengalami kondisi plastis pertama kali kondisi B-C atau leleh pertama kali pada tahap 46 saat perpindahan gedung menyentuh angka

103,5 mm yang ditandai dengan munculnya 1 bagian gedung yang mulai lelah di kolom B-C. Pada step 61 saat gedung di dorong sejauh 141,63 mm dengan besar *base shear* sebesar 8.554,67 kN, sendi plastis mengalami level kinerja pertama kali pada kondisi IO-LS sebanyak 1 sendi yaitu kondisi dimana sendi mengalami kerusakan elemen seperti selimut beton mulai retak dan tulangan mengalami pelelehan. Pada tahap 131 struktur gedung mengalami *base shear* puncak yaitu sebesar 11.698,07 kN ketika gedung didorong sejauh 300,7 mm, serta pada step tersebut sendi 1 sendi plastis bertama kali mengalami kondisi C-D atau kondisi degredasi kekuatan yaitu penurunan kekuatan setelah melewati kapasitas puncak. Pada step 132, sendi plastis menglami penurunan *base shear*atau kekuatan sisa Ketika gedung di dorong sejauh 283,35 mm serta sendi pertama kali menglami kondisi D-E atau kapasitas residu yaitu kondisi sendi plastis hanya mampu menahan beban sisa sebelum akhirnya runtuh total, tetapi secara keseluruhan pada kondisi sendi plastis arah Y, struktur masih aman karena sendi plastis tidak menglami keruntuhan dengan ditandai nilai kolom mekanisme sendi plastis kondisi >E dan kolom level kinerja sendi plastis kondisi >CP nilainya 0.

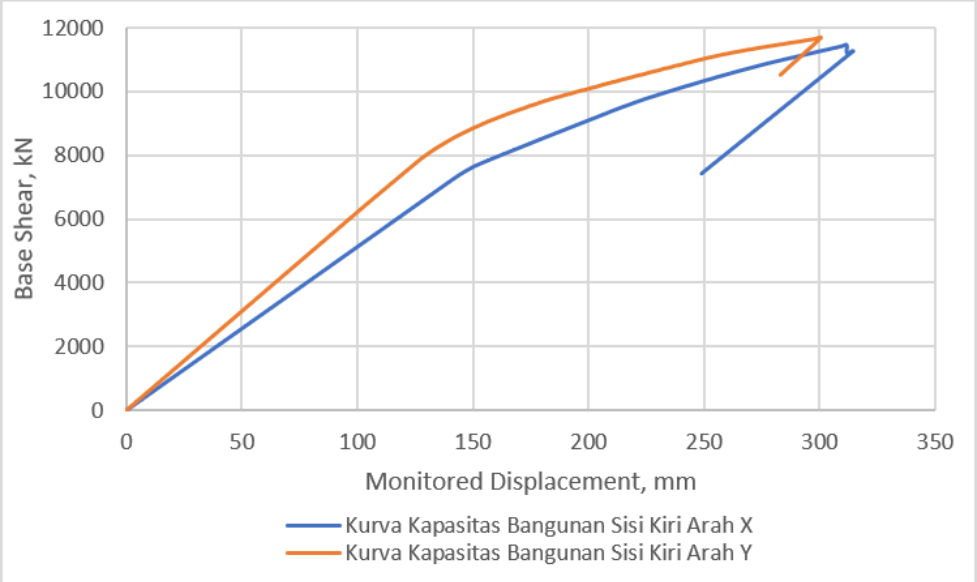
Adapun berikut ini merupakan hasil kurva kapasitas pada *pushover* arah X dan *pushover* arah Y yang dapat dilihat pada **Gambar 5.73** mengenai Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X, **Gambar 5.74** mengenai Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y, serta **Gambar 5.75** mengenai Perbandingan Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X dan Arah Y pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 76 Kurva Kapasitas Pushover Arah X Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 77 Kurva Kapasitas Pushover Arah Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 78 Perbandingan Kurva Kapasitas Pushover Arah X dan Arah Y Bangunan Sisi Kiri

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

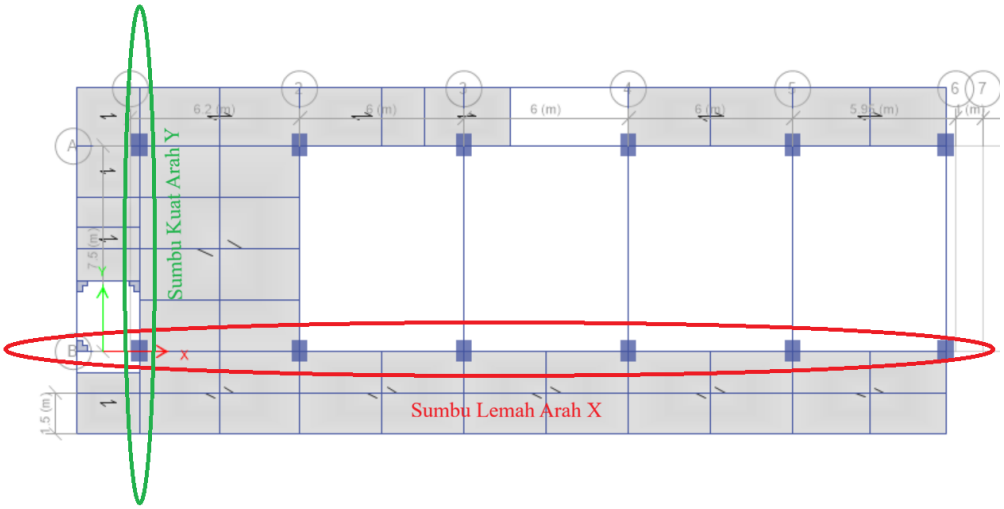
Berdasarkan grafik kurva kapasitas pada **Gambar 5.76** dan grafik perbandingan pada **Gambar 5.78** perilaku gedung saat menerima beban gempa arah X ditunjukkan oleh garis berwarna biru. Pada awal pembebanan grafik membentuk garis lurus naik secara stabil yang menandakan bahwa struktur gedung masih bekerja sepenuhnya dalam kondisi elastis atau normal tanpa kerusakan berarti. Kekuatan gedung terus naik hingga sempat mencapai titik puncak di bagian atas pada step 137 kemudian mengalami penurunan kekuatan pada step 138, tetapi menglami peningkatan kekuatan kembali pada step 139 dan 140 dan yang kemudian mengalami penurunan kekuatan kembali pada step 141 yang memiliki kekuatan Cadangan sebesar 7.445,62 kN.

Hasil pengujian lateral untuk arah Y yang ditunjukkan oleh garis berwarna jingga pada **Gambar 5.78** dan gambar kurva kapasitas arah Y pada **Gambar 5.77** memperlihatkan kekuatan struktur yang jauh lebih stabil. Sejak awal pembebanan dimulai hingga mencapai tahapan akhir, grafik kurva kapasitas arah Y terus bergerak naik ke atas secara konstan tanpa memperlihatkan adanya pola patahan turun kebawah. Kondisi garis yang mulus ini menandakan bahwa struktur bangunan sama sekali tidak mengalami kerusakan mendadak ataupun penurunan kekuatan yang drastis selama digoyang oleh gempa arah Y. Kekuatan menahan beban lateral

pada arah Y terus meningkat searah dengan bertambahnya perpindahan gedung hingga akhirnya berhenti di titik puncak displacement sejauh 300,7 mm dengan gaya geser dasar maksimum mencapai sebesar 11.698,07 kN. Setelah melewati kapasitas maksimum tersebut kekuatan gedung menurun yang mana terjadi pada step 132, Ketika gedung di dorong sejauh 282,35 kN dan kekuatan sisa gedung sebesar 10.545,03 kN.

Melalui grafik perbandingan kurva kapasitas pada **Gambar 5.78** terlihat perbedaan karakteristik kekakuan yang sangat jelas antara kedua arah peninjauan struktur bangunan yaitu Garis arah Y yang berwarna jingga memiliki kemiringan sudut yang jauh lebih tegak dan curam dibandingkan dengan garis arah X yang berwarna biru yang menandakan bahwa struktur bangunan arah Y memiliki tingkat kekakuan lateral yang jauh lebih tinggi. Struktur yang kaku pada arah Y ini terbukti mampu menahan gaya gempa yang lebih besar yaitu sebesar 11.698,07 kN dengan mengalami pergeseran atau goyangan ke samping yang relatif lebih kecil yaitu mengalami *displacement* hanya sejauh 300,7 mm. Sebaliknya garis arah X yang lebih landai menunjukkan bahwa struktur bangunan pada arah tersebut bersifat lebih fleksibel atau daktil, di mana gedung memerlukan ruang deformasi atau goyangan lateral yang jauh lebih besar hingga menyentuh angka 311,84 mm dengan kekuatan *base shear* sebesar 11.474,62 kN untuk bisa mengeluarkan kapasitas kekuatan maksimumnya dalam menahan beban gempa.

Berdasarkan evaluasi denah struktur dan perbandingan kurva kapasitas, konfigurasi struktur pada arah Y memiliki tingkat kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan arah X. Hal ini dipengaruhi oleh geometri bangunan yang cenderung memanjang ke arah sumbu X, sehingga menempatkan sumbu Y sebagai sisi pendek struktur yang secara alami bersifat lebih kaku. Tingginya kekakuan arah Y dibuktikan oleh respons kurva yang lebih tegak, di mana gedung mampu menahan gaya geser maksimum pada arah X sebesar 11.474,62 pada dorongan gedung sebesar 311,84, tetapi pada arah Y ketika mengalami kekuatan *base shear* sebesar kekuatan maksimum arah X, struktur gedung hanya terdorong mengalami simpangan sejauh 282,7 mm. Adapun untuk sumbu kuat dan lemah pada bangunan sisi kiri dapat dilihat pada **Gambar 5.79** halaman berikutnya.



Gambar 5. 79 Sumbu Kuat dan Lemah Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.5.2 *Performance Point* Atau Titik Kinerja Berdasarkan Kriteria ATC-40

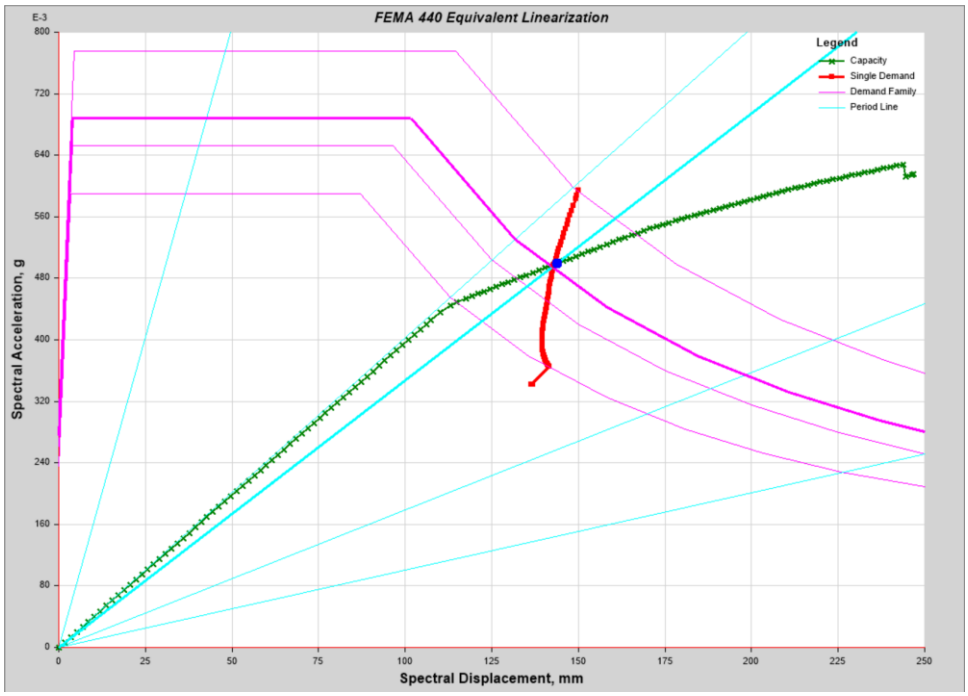
Titik kinerja ditentukan dengan mengonversi kurva kapasitas yang dihasilkan oleh analisis *pushover* menjadi spektrum kapasitas dalam format Spektrum Respons Percepatan-Pergeseran (ADRS) yang merupakan hubungan antara Percepatan Spektral (Sa) dan Pergeseran Spektral (Sd), dengan bantuan program ETABS.

Analisis *pushover* pada penelitian ini dilakukan dengan mengombinasikan metode FEMA 440 dan kriteria ATC-40. Kombinasi ini memisahkan antara tahap perhitungan perpindahan struktur dan tahap penilaian level keselamatan bangunan. Tahap Perhitungan (*Performance point*) Menggunakan FEMA 440 Equivalent Linearization. Yang mana kemudian tahap penilaian (*Performance Level*) Menggunakan Kriteria ATC-40. Setelah angka perpindahan maksimum (mm) diperoleh melalui FEMA 440, angka tersebut dikonversikan menjadi makimum total *drift* dan maksimum inelastic *drift*. Tingkat level kinerja bangunan selanjutnya dinilai berdasarkan Tabel 11-4 dokumen ATC-40. Standar ATC-40 digunakan pada tahap ini karena menyediakan batasan nilai batasan *drift* yang eksplisit dan sistematis untuk mengategorikan performa gedung ke dalam level *Immediate Occupancy* (IO), Life Safety (LS), atau Collapse Prevention (CP). Melalui kombinasi ini, analisis kekuatan struktur dihitung dengan akurasi matematis yang

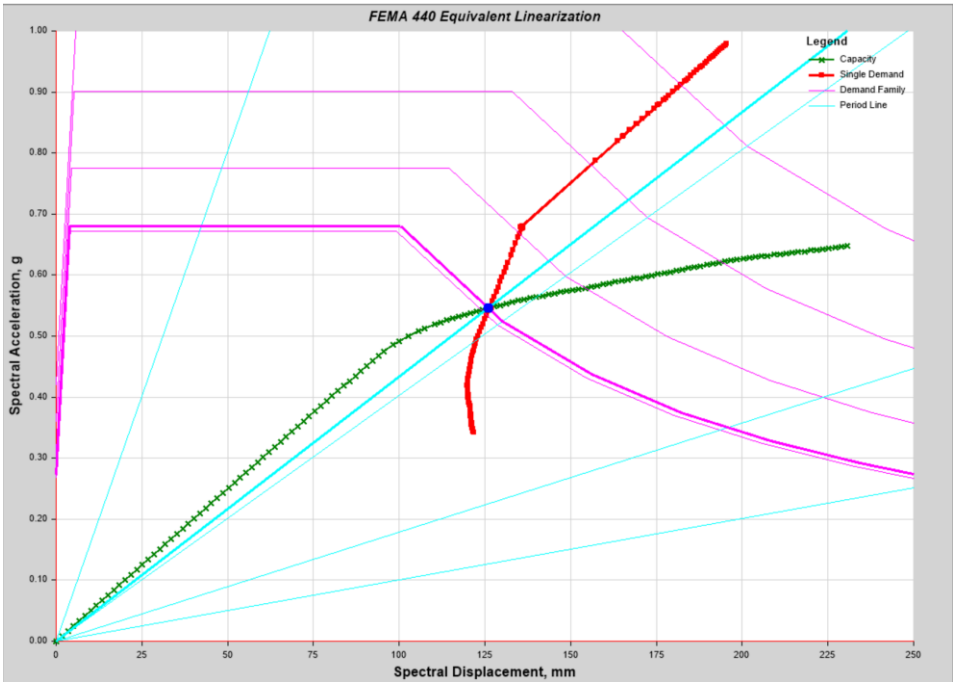
lebih modern (FEMA 440), sementara penentuan label tingkat keselamatannya tetap berpatokan pada parameter batas simpangan baku yang diakui internasional (ATC-40). Hasil numerik dan visualisasi grafik dari pemodelan ini dibahas pada bagian berikut

Berdasarkan hasil analisis *pushover* menggunakan software ETABS dengan metode FEMA 440 Equivalent Linearization, diperoleh nilai titik kinerja (*Performance point*) struktur dengan gaya geser dasar (Base Shear) dan perpindahan atap (Displacement). Selanjutnya, nilai perpindahan ini digunakan untuk menghitung nilai *drift* total struktur guna menentukan level kinerja bangunan berdasarkan kriteria batasan deformasi ATC-40.

Adapun kurva *performance point* pada arah X dan Y yang terdapat pada bangunan sisi kiri dapat dilihat pada **Gambar 5.80** berikut untuk arah X dan **Gambar 5.81** untuk arah Y halaman berikutnya, serta untuk hasil analisis *pushover* berupa nilai *performance point* dapat dilihat pada **Tabel 5.27** pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 80 Kurva *Performance point* Result Arah X Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 81 Kura Target Displacement Result Arah Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Tabel 5. 27 Nilai *Performance point* Bangunan Sisi Kiri

No.	Arah Beban	V_{max} (kN)	D_{max} (m)	*Performance point*						
				V_t (kN)	D_t (m)	S_a	S_d (mm)	T_{eff}	μ	β_{eff}
1	X	11.474,6	0,3118	8.742,51	0,1872	0,4981	0,1432	1,023	1,2754	0,0535
2	Y	11.698,0	0,3007	9.406,66	0,1686	0,5467	0,1265	0,911	1,2861	0,0538

Berdasarkan hasil analisis *pushover* non-linear menggunakan metode FEMA 440 Equivalent Linearization, didapatkan parameter titik kinerja (*performance point*) pada arah X dan arah Y yang kemudian dihubungkan dengan nilai kapasitas maksimum struktu. V_{max} dan D_{max} merupakan gaya geser dasar maksimum dan simpangan maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebelum mengalami keruntuhan total. Sementara itu, *performance point* yang dinyatakan melalui nilai gaya geser target V_t, pergeseran target D_t, percepatan spektral S_a, displasmen spektral S_d, periode efektif Teff, dan redaman efektif

β_{eff} menggambarkan respons riil serta tingkat kinerja struktur pada saat menerima beban gempa rencana.

Pada pembebanan arah X, struktur memiliki kapasitas gaya geser maksimum V_{max} sebesar 11.474,62 kN dengan displasmen maksimum D_{max} mencapai 0,31184 m. Ketika dikenai beban gempa rencana, titik kinerja arah X dicapai pada gaya geser target V_t sebesar 8.742,51 kN dan simpangan target D_t sebesar 0,1872 m. Sedangkan pada pembebanan arah Y, struktur menunjukkan kapasitas V_{max} sebesar 11.698,07 kN dan D_{max} sebesar 0,3007 m. Titik kinerja arah Y tercapai pada V_t sebesar 9.406,66 kN dan D_t sebesar 0,1686 m.

Adapun berdasarkan hasil perbandingan dari kedua arah menunjukkan bahwa struktur pada arah Y memiliki kekakuan lateral yang lebih tinggi dibandingkan arah X, yang mana terbukti dari nilai periode efektif Teff arah Y yang lebih pendek yaitu sebesar 0,911 detik, sedangkan arah X Teff sebesar 1,023 detik. Kekakuan yang lebih tinggi ini menyebabkan arah Y menyerap gaya geser gempa yang lebih besar, namun menghasilkan perpindahan target yang lebih kecil. Secara keseluruhan struktur dinyatakan aman dan memenuhi kriteria kinerja terhadap gempa rencana karena simpangan target pada kedua arah berada di bawah batas kapasitas displacement maksimumnya yaitu $D_t < D_{max}$, serta nilai target displacement masih berada di bawah batas target displacement yaitu sebesar 0,02 × tinggi bangunan yang mana nilainya dibawah 0,354 m.

5.5.3 Tingkat Kinerja Struktur Bangunan Sisi Kiri

Setelah *target dislacement* atau titik *performance point* diperoleh, tingkat keamanan struktur bangunan dievaluasi untuk menentukan level kinerja berdasarkan kriteria ATC-40. Penentuan level kinerja berdasarkan kriteria ATC 40, dilakukan dengan 2 tinjauan, yaitu ditinjau berdasarkan global atau makro dan berdasarkan simpangan antar tingkat atau mikro.

1. Tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria ATC-40 Arah X bangunan sisi kiri

   Berdasarkan hasil analisis *pushover* yang diambil berdasarkan FEMA 440, didapatkan nilai titik kinerja atau *performance point* Dt displacement sebesar 187,153 mm pada tinggi struktur utama sebesar H = 17.700 mm.

a. Tingkat kinerja struktur ditinjau secara global atau makro

1) Menghitung nilai effective yield displacement (Dy) atau perpindahan leleh atap

$$\mu = \frac{D_p}{D_y}$$

$$D_y = \frac{D_p}{\mu}$$

$$= \frac{187{,}153}{1{,}275366}$$

$$= 146{,}745 \text{ mm}$$

2) Maksimum total *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t}{H}$$

$$= \frac{187{,}153\ mm}{17.700\ mm}$$

$$= 0{,}01057$$

3) Maksimum inelastic *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t - Dy}{H}$$

$$= \frac{187{,}153\ mm - 146{,}745\ mm}{17.700\ mm}$$

$$= 0{,}00228$$

4) Hasil

Berdasarkan analisis *pushover* pada arah X secara global atau makro diperoleh nilai parameter *maximum total drift* sebesar 0,01057 dan nilai *maximum inelastic drift global* sebesar 0,00228. Merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 nilai *inelastic drift* makro sebesar 0,00228 memenuhi batas kriteria *Immediate Occupancy* yaitu <0,005. Namun, nilai *total drift* makro sebesar 0,01057 telah melewati batas *Immediate Occupancy* sebesar 0,01 yang mana sudah memasuki tingkat kinerja *Damage Control* dengan rentang nilai antara 0,01-0,02. Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Damage Control* (DC). Kondisi ini menunjukkan bahwa

bangunan masih memiliki ketahanan terhadap gempa dengan tingkat risiko korban jiwa manusia yang sangat rendah

b. Tingkat kinerja struktur ditinjau berdasarkan simpangan antar tingkat arah X

1) Menghitung simpangan total (maximum total *drift*) setiap lantai

Seberapa jauh posisi suatu titik target berada di antara dua titik data yang diketahui.

a) Factor proporsi *performance point* (f_p)

(1) Target displacement

D_t = 187,153 mm

(2) Displacement step 81

$UX_{step\ 81}$ = 185,84 mm

(3) Displacement step 82

$UX_{step\ 82}$ = 188,09 mm

(4) $f_p = \frac{D_t - UX_{step\ 81}}{UX_{step\ 82} - UX_{step\ 81}}$

$= \frac{187,153 - 185,84}{188,09 - 185,84}$

= 0,58356

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UX_p)

$UX_{p\ L.atap}$ = $UX_{step\ 81}$ + 0,58356 × ($UX_{step\ 82}$ - $UX_{step\ 81}$)

= 183,392 + 0,58356 × (185,642 - 183,392)

= 183,392 + 0,58356 × (2,250)

= 183,392 + 1,313

= 184,705

c) Simpangan total ($\Delta_{i\ total}$)

$\Delta_{i\ total}$ = $UX_{p\ L.atap}$ - $UX_{p\ L.5}$

= 184,705 - 168,721

= 15,984 mm

d) Maksimum total *drift* (total *drift* ratio)

Total *drift* ratio $= \frac{\Delta_{i\,total}}{h_i}$

$= \frac{15{,}984}{2.850}$

$= 0{,}0056$

e) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum total *drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,0056. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun nilai rekapitulasi hasil simpangan maksimum total *drift* untuk bangunan sisi kiri arah X dapat dilihat pada **Tabel 5.28** berikut.

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah X

Tingkat	h_i	$UX_{step\,81}$	$UX_{step\,82}$	ΔUX	UX_p	$\Delta_{i,total}$	$\frac{\Delta}{h_i}$	LK
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	183,392	185,642	2,250	184,705	15,984	0,0056	IO
Lantai 5	2.800	167,486	169,602	2,116	168,721	23,751	0,0085	IO
Lantai 4	2.800	143,852	145,767	1,915	144,970	32,190	0,0115	DC
Lantai 3	2.800	111,830	113,457	1,627	112,780	38,818	0,0139	DC
Lantai 2	2.800	73,241	74,475	1,234	73,961	38,845	0,0139	DC
Lantai 1	3.650	34,680	35,427	0,747	35,116	35,116	0,0096	IO

2) Menghitung simpangan inelastic total (maximum total inelastic *drift*) setiap lantai

a) Factor proporsi effective yield point (f_y)

(1) Target displacement

D_y = 146,745 mm

(2) Displacement step 64

$UX_{step\,64}$ = 144,86 mm

(3) Displacement step 65

$UX_{step\ 65}$ = 148,65 mm

(4) $f_p = \frac{D_y - UX_{step\ 64}}{UX_{step\ 65} - UX_{step\ 64}}$

$= \frac{146,745 - 144,86}{148,65 - 144,86}$

= 0,49736

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UX_y)

$UX_{y\ L.atap} = UX_{step\ 64} + 0,49736 \times (UX_{step\ 65} - UX_{step\ 64})$

= 142,417 + 0,49736 × (146,207 - 142,417)

= 142,417 + 0,49736 × (3,790)

= 142,417 + 1,885

= 144,302 mm

c) Simpangan leleh total ($\Delta_{i\ yield}$)

$\Delta_{i\ yield} = UX_{y\ L.atap} - UX_{y\ L.5}$

= 144,302 – 130,837

= 13,465 mm

d) Simpangan *inelastic*

$\Delta_{i\ inelastis} = \Delta_{i\ total} - \Delta_{i\ yield}$

= 15,984 – 13,465

= 2,520 mm

e) Inelastic drift ratio

Inelastic drift ratio $= \frac{\Delta_{i\ total} - \Delta_{i\ yield}}{h_i}$

$= \frac{2,520}{2850}$

= 0,000884

f) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum *total inelastic drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,000884. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun nilai rekapitulasi hasil simpangan maksimum inelastic untuk bangunan sisi kiri arah X dapat dilihat pada **Tabel 5.29** berikut.

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah X

Tingkat	Elevasi	$UX_{step\ 64}$	$UX_{step\ 65}$	ΔUX	UX_y	$\Delta_{i\ yield}$	$\frac{\Delta_p - \Delta_y}{h_i}$	LK
	m	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	142,417	146,207	3,790	144,302	13,4647	0,0009	IO
Lantai 5	2.800	129,104	132,589	3,485	130,837	19,9698	0,0014	IO
Lantai 4	2.800	109,359	112,392	3,033	110,868	26,8223	0,0019	IO
Lantai 3	2.800	82,845	85,258	2,413	84,045	31,6114	0,0026	IO
Lantai 2	2.800	51,613	53,263	1,650	52,434	30,1343	0,0031	IO
Lantai 1	3.650	21,877	22,726	0,849	22,299	22,2992	0,0035	IO

c. Menentukan tingkat kinerja struktur yang paling kritis diantara makro dan mikro

Berdasarkan hasil analisis tingkat kinerja struktur bangunan pada arah X bangunan sebelah kiri yaitu secara makro dan mikro yang mana mengacu pada kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai doformation limits yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 didapatkan Kesimpulan ialah sebagai berikut.

(1) Tinjauan secara makro (Global Structural Level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan total struktur, struktur memiliki *total drift* sebesar 0,01057 dan *inelastic drift* sebesar 0,00228. Berdasarkan paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Damage Control* (DC)

(2) Tinjauan secara mikro (Inter story *drift* level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan antar lantai (*story drift*) analisis *pushover* pada arah X secara mikro merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh level kinerja ketika keadaan *maximum total drift* yang paling kritis berada pada kondisi *Damage Control* (DC)

dan level kinerja ketika keadaan *maximum total inelastic drift* yang paling kritis semuanya berada pada kondisi damage *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis secara mikro maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

(3) Status kemanan dan kinerja struktur akhir

Secara keseluruhan berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis, struktur bangunan push X ditetapkan berada pada level kinerja *Damage Control* (DC). Struktur bangunan dinyatakan tahan dan aman terhadap risiko keruntuhan total (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana. Kerusakan struktural yang terjadi tergolong ringan hingga sedang, sehingga keselamatan jiwa penghuni bangunan tetap terlindungi dengan baik.

2. Tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria ATC-40 Arah Y bangunan sisi kiri

Berdasarkan hasil analisis *pushover* yang diambil berdasarkan FEMA 440, didapatkan nilai titik kinerja atau *performance point* Dt displacement sebesar 168,648 mm dengan base shear sebesar 9.406,66 kN pada tinggi struktur utama sebesar H = 17.700 mm.

a. Tingkat kinerja struktur ditinjau secara global atau makro arah Y bangunan sisi kiri

1) Menghitung nilai effective yield displacement (Dy) atau perpindahan leleh atap

$$\mu = \frac{D_p}{D_y}$$

$$D_y = \frac{D_p}{\mu}$$

$$= \frac{168{,}648}{1{,}286064}$$

$$= 131{,}1349 \text{ mm}$$

2) Maksimum total *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t}{H}$$

$$= \frac{168{,}648}{17.700\ mm}$$

$$= 0{,}009528$$

3) Maksimum inelastic *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t - Dy}{H}$$

$$= \frac{168{,}648\ mm - 131{,}1349\ mm}{17.700\ mm}$$

$$= 0{,}002119$$

4) Hasil

Berdasarkan analisis *pushover* pada arah X secara global atau makro diperoleh nilai parameter *maximum total drift* sebesar 0,009528 dan nilai *maximum inelastic drift global* sebesar 0,002119. Merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 nilai *inelastic drift* makro sebesar 0,00228 memenuhi batas kriteria *Immediate Occupancy* yaitu <0,005. Selain itu nilai *total drift* makro sebesar 0,009528 memenuhi batas kriteria *Immediate Occupancy* yaitu <0,01. Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Kondisi ini menunjukkan bahwa bangunan memiliki ketahanan terhadap gempa dengan baik, tidak ada kerusakan struktur maupun non-struktur, serta memiliki tingkat risiko korban jiwa manusia yang aman, dan bangunan bisa langsung ditempati Kembali sesaat gempa berhenti.

b. Tingkat kinerja struktur ditinjau berdasarkan simpangan antar tingkat arah Y bangunan sisi kiri

1) Menghitung simpangan total (maximum total *drift*) setiap lantai

Seberapa jauh posisi suatu titik target berada di antara dua titik data yang diketahui.

a) Factor proporsi *performance point* (f_p)

(1) Target displacement

D_t = 168,648 mm

(2) Displacement step 72

$UY_{step\ 72}$ = 167,95 mm

(3) Displacement step 73

$UY_{step\ 73}$ = 170,2 mm

(4) $f_p = \frac{D_t - UX_{step\ 72}}{UX_{step\ 73} - UX_{step\ 72}}$

$= \frac{168{,}648 - 167{,}95}{170{,}20 - 167{,}95}$

= 0,3093

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UY_p)

$UY_{p\ L.atap}$ = $UY_{step\ 72}$ + 0,3093 × ($UY_{step\ 73}$ - $UY_{step\ 72}$)

= 159,68 + 0,3093 × (161,93 - 159,68)

= 159,68 + 0,3093 × (2,250)

= 159,68 + 0,6959

= 160,3759

c) Simpangan total ($\Delta_{i\ total}$)

$\Delta_{i\ total}$ = $UY_{p\ L.atap}$ - $UY_{p\ L.5}$

= 160,3759 – 143,358

= 17,018 mm

d) Maksimum total *drift* (total *drift* ratio)

Total *drift* ratio $= \frac{\Delta_{i\ total}}{h_i}$

$= \frac{17{,}018}{2.850}$

= 0,006

e) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum total *drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,006. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun nilai rekapitulasi hasil simpangan maksimum total untuk bangunan sisi kiri arah Y dapat dilihat pada **Tabel 5.30** berikut.

Tabel 5. 30 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah Y

Tingkat	h_i	$UY_{step\ 72}$	$UY_{step\ 73}$	ΔUY	UY_p	$\Delta_{i,total}$	$\frac{\Delta}{h_i}$	LK
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	159.68	161.93	2,250	160,376	17,018	0,0060	IO
Lantai 5	2.800	142.711	144.801	2,090	143,358	22,214	0,0079	IO
Lantai 4	2.800	120.563	122.44	1,877	121,144	28,343	0,0101	DC
Lantai 3	2.800	92.313	93.888	1,575	92,800	32,727	0,0117	DC
Lantai 2	2.800	59.713	60.878	1,165	60,073	31,939	0,0114	DC
Lantai 1	3.650	27.925	28.603	0,678	28,135	28,135	0,0077	IO

2) Menghitung simpangan inelastic total (*maximum total inelastic drift*) setiap lantai

a) Factor proporsi effective yield point (f_y)

(1) Target displacement

D_y = 131,1349 mm

(2) Displacement step 57

$UY_{step\ 57}$ = 128,12 mm

(3) Displacement step 58

$UY_{step\ 58}$ = 131,89 mm

(4) $f_p = \frac{D_y - UY_{step\ 57}}{UY_{step\ 58} - UY_{step\ 57}}$

$= \frac{131,1349 - 128,12}{131,89 - 128,12}$

= 0,79877

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UY_y)

$UY_{y\ L.atap} = UY_{step\ 57} + 0,79877 \times (UY_{step\ 58} - UY_{step\ 57})$

= 119,85 + 0,79877× (123,622 - 119,85)

= 119,85 + 0,79877 × (3,772)

= 119,85 + 3,0129

= 122,8629 mm

c) Simpangan leleh total ($\Delta_{i\ yield}$)

$\Delta_{i\ yield}$ = $UX_{y\ L.atap}$ - $UX_{y\ L.5}$

= 122,8629 – 108,8275

= 14,0355 mm

d) Simpangan *inelastic*

$\Delta_{i\ inelastis}$ = $\Delta_{i\ total}$ - $\Delta_{i\ yield}$

= 17,0185 – 14,0355

= 2,983 mm

e) *Inelastic drift ratio*

Inelastic drift ratio = $\frac{\Delta_{i\ total} - \Delta_{i\ yield}}{h_i}$

= $\frac{2,983}{2850}$

= 0,0010

f) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum *total inelastic drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,001. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah Y dapat dilihat pada **Tabel 5.31** halaman berikutnya.

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kiri Arah Y

Tingkat	Elevasi	$UY_{step\ 57}$	$UY_{step\ 58}$	ΔUY	UY_y	$\Delta_{i\ yield}$	$\frac{\Delta_p - \Delta_y}{h_i}$	LK
	m	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	119,85	123,622	3,772	122,8630	14,0355	0,001	IO
Lantai 5	2.800	106,126	109,508	3,382	108,8275	18,2858	0,0014	IO
Lantai 4	2.800	88,242	91,121	2,879	90,5417	23,0650	0,0019	IO
Lantai 3	2.800	65,685	67,928	2,243	67,4767	25,9423	0,0024	IO
Lantai 2	2.800	40,337	41,836	1,499	41,5344	24,0759	0,0028	IO
Lantai 1	3.650	16,861	17,609	0,748	17,4585	17,4585	0,0029	IO

c. Menentukan tingkat kinerja struktur yang paling kritis diantara makro dan mikro

Berdasarkan hasil analisis tingkat kinerja struktur bangunan pada arah Y bangunan sebelah kiri yaitu secara makro dan mikro yang mana mengacu pada kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai doformation limits yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 didapatkan Kesimpulan ialah sebagai berikut.

(1) Tinjauan secara makro (Global Structural Level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan total struktur, struktur memiliki *total drift* sebesar 0,009528 dan *inelastic drift* sebesar 0,002119. Berdasarkan paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

(2) Tinjauan secara mikro (Inter story *drift* level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan antar lantai (*story drift*) analisis *pushover* pada arah Y secara mikro merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh level kinerja ketika keadaan *maximum total drift* yang paling kritis berada pada kondisi *Damage Control* (DC) dan level kinerja ketika keadaan *maximum total inelastic drift* yang paling kritis semuanya berada pada kondisi damage *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan tingkat kinerja yang

paling kritis secara mikro maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

(3) Status kemanan dan kinerja struktur akhir

Secara keseluruhan berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis, struktur bangunan push Y ditetapkan berada pada level kinerja *Damage Control* (DC). Struktur bangunan dinyatakan tahan dan aman terhadap risiko keruntuhan total (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana. Kerusakan struktural yang terjadi tergolong ringan hingga sedang, sehingga keselamatan jiwa penghuni bangunan tetap terlindungi dengan baik.

3. Menentukan kinerja struktur secara keseluruhan berdasarkan kriteria ATC-40 bangunan sisi kiri

Berdasarkan hasil analisis tingkat kinerja struktur bangunan pada arah X dan arah Y bangunan sebelah kiri yang masing-masing dianalisis secara makro dan mikro yang mana mengacu pada kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai doformation limits yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 didapatkan kesimpulan akhir untuk kinerja bangunan yang terdapat di sebelah kiri ialah sebagai berikut.

a. Tinjauan keseluruhan tingkat kinerja bangunan sisi kiri arah X

Berdasarkan tinjauan baik secara makro maupun mikro pada bangunan sisi kiri arah X, merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh tingkat kinerja yang paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

b. Tinjauan keseluruhan tingkat kinerja bangunan sisi kiri arah Y

Berdasarkan tinjauan baik secara makro maupun mikro pada bangunan sisi kiri arah Y, merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh tingkat kinerja yang paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

c. Status kemanan dan kinerja struktur akhir pada bangunan sisi kiri

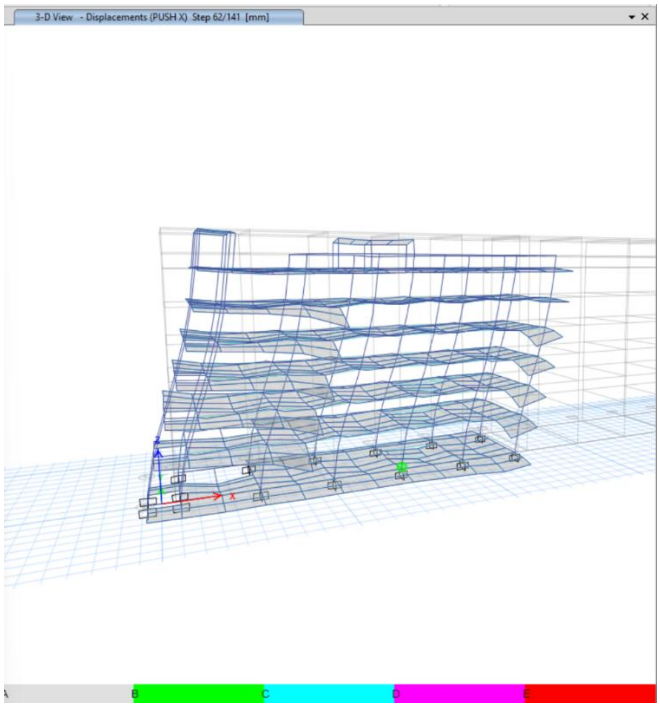
Secara keseluruhan berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis, struktur bangunan sisi kiri ditetapkan berada pada level kinerja *Damage Control* (DC). Struktur bangunan dinyatakan tahan dan aman terhadap risiko keruntuhan total (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana. Kerusakan struktural yang terjadi tergolong ringan hingga sedang, sehingga keselamatan jiwa penghuni bangunan tetap terlindungi dengan baik.

5.5.4 Mekanisme Sendi Plastis Bangunan Sisi Kiri

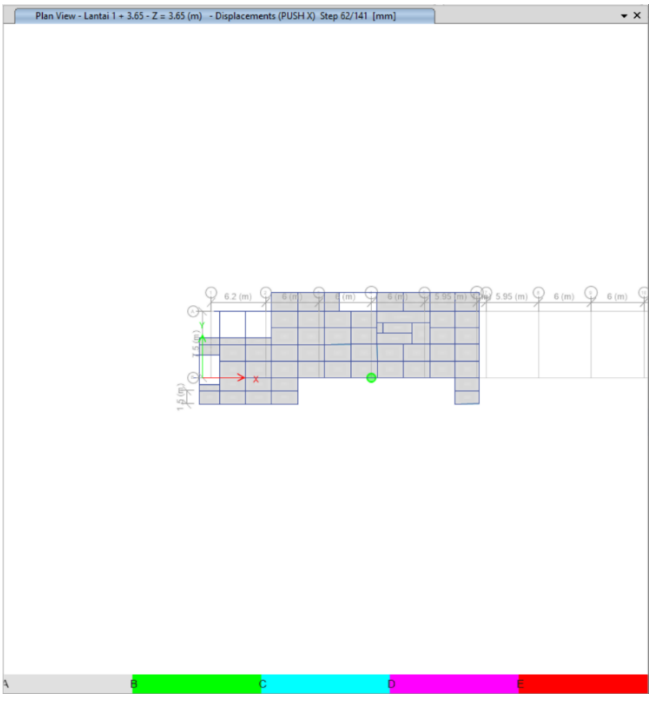
Analisis sendi plastis atau *plastic hinge* dilakukan untuk mengetahui titik lokasi kerusakan dan bagaimana pola penyebaran retak/leleh pada elemen struktur balok dan kolom saat gedung diguncang gempa. Sendi plastis sendiri merupakan bagian pada ujung-ujung balok atau kolom yang sengaja didesain untuk mengalami pelelehan terlebih dahulu guna menyerap dan meredam energi gempa, sehingga gedung tidak langsung runtuh seketika. Adapun berdasarkan analisis *pushover* didapatkan mekanisme sendi plastis ialah sebagai berikut.

1. Mekanisme sendi plastis arah X Bangunan Sisi Kiri
   a. Sendi plastis leleh pertama kali pada arah X Bangunan Sisi Kiri

      Pertama kali sendi plastis arah X terjadi pada step ke 62. Pada step tersebut gedung baru mulai memasuki perilaku nonlinear saat mengalami *base shear* sebesar 7.163,43 kN pada saat bangunan mengalami displacement sejauh 139,5 mm. sendi yang menglami plastis awal terjadi pada 1 kolom yaitu kolom C3 yang berada di As 4B lantai 1 pada saat fase B-C yang ditandai bulatan berwarna hijau, di mana sendi mulai mengalami pelelehan pertama kali. Pembentukan satu sendi plastis tersebut penanda awal bahwa struktur bawah mulai menyerap dan meredam energi gempa secara daktil sebelum kerusakan merambat ke kolom-kolom utama lainnya di step-step berikutnya. Adapun untuk sendi plastis leleh pertama kali pada arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.82** dan **Gambar 5.83** halaman berikutnya.



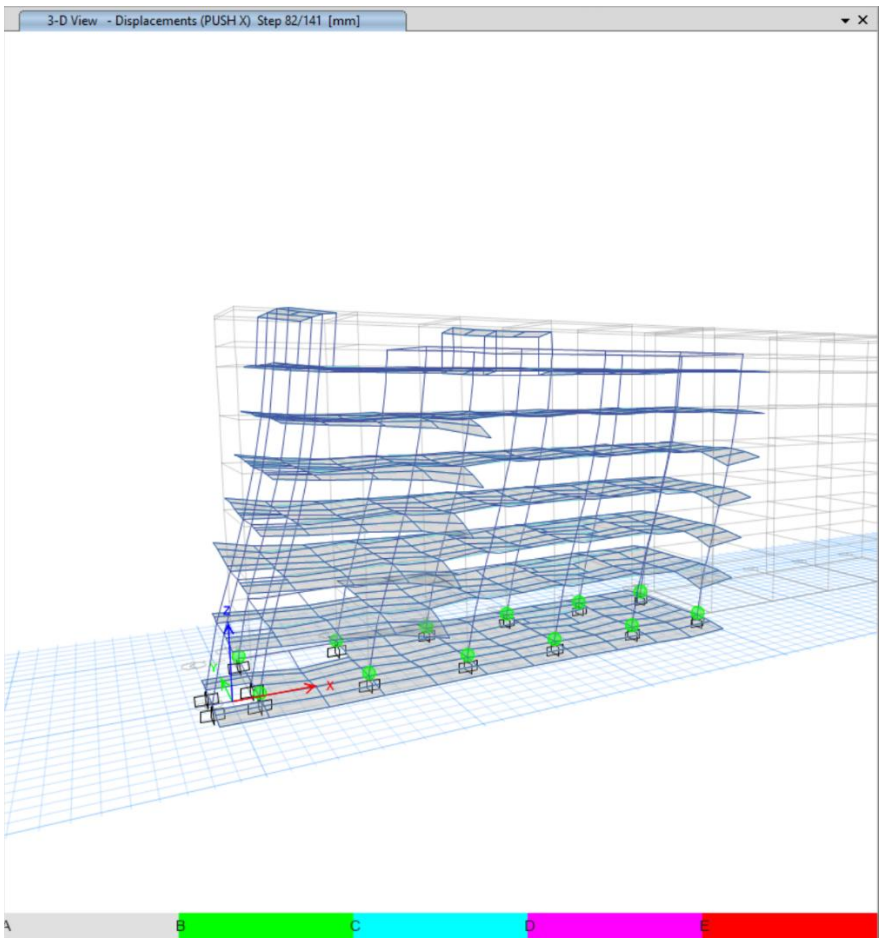
Gambar 5. 82 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 83 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

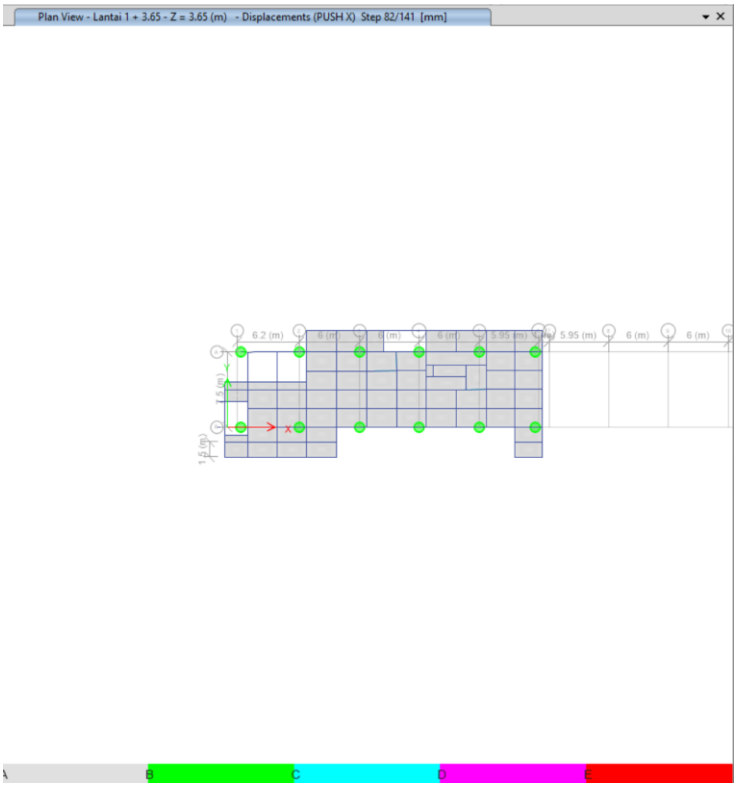
b. Sendi plastis terjadi di titik *performance point* Bangunan Sisi Kiri

Struktur mencapai pada titik *performance point* yaitu pada saat berada di antara step 81 sampai 82, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 187,153 mm dan *base shear* sebesar 8.742,5 kN. Pada saat *step* di titik performance ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 12 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik *performance point* dapat dilihat pada **Gambar 5.84** berikut dan **Gambar 5.85** halaman berikutnya.



Gambar 5. 84 Sendi Plastis Titik Performnace Point pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri

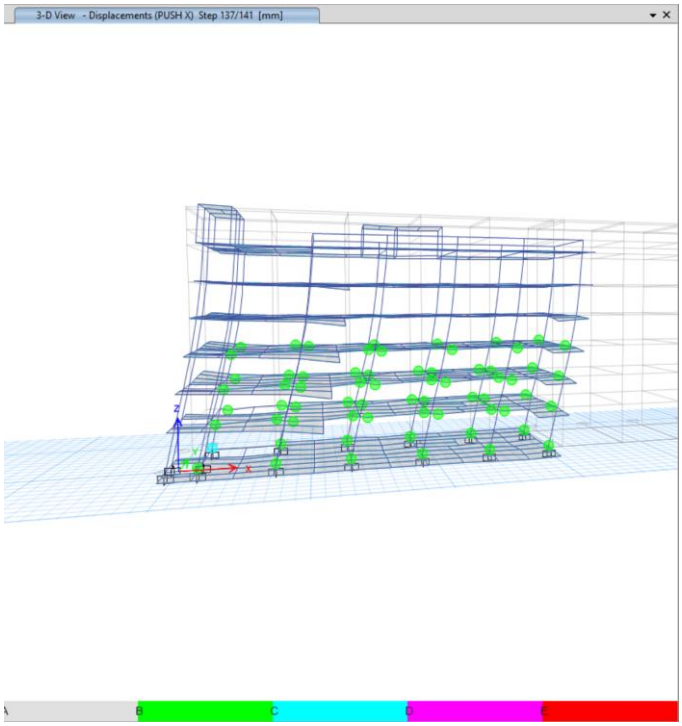
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



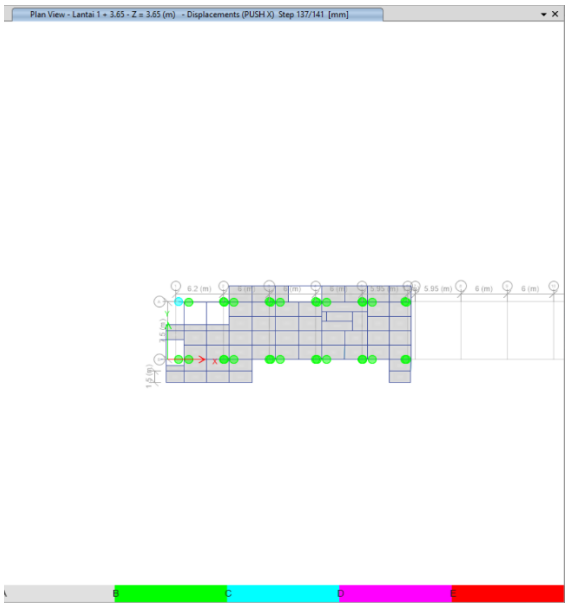
Gambar 5. 85 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

c. Sendi plastis terjadi di titik kapasitas maksimum Bangunan Sisi Kiri

Struktur mencapai pada titik kapasitas maksimum yaitu pada saat step ke-137, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 311,84 mm dan *base shear* sebesar 11.474,62 kN. Pada saat *step* di titik kapasitas ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 64 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Serta 1 sendi plastis baru mengalami kapasitas maksimumnya yaitu pada kondisi C-D. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik kapasitas dapat dilihat pada **Gambar 5.86** dan **Gambar 5.87** halaman berikutnya.



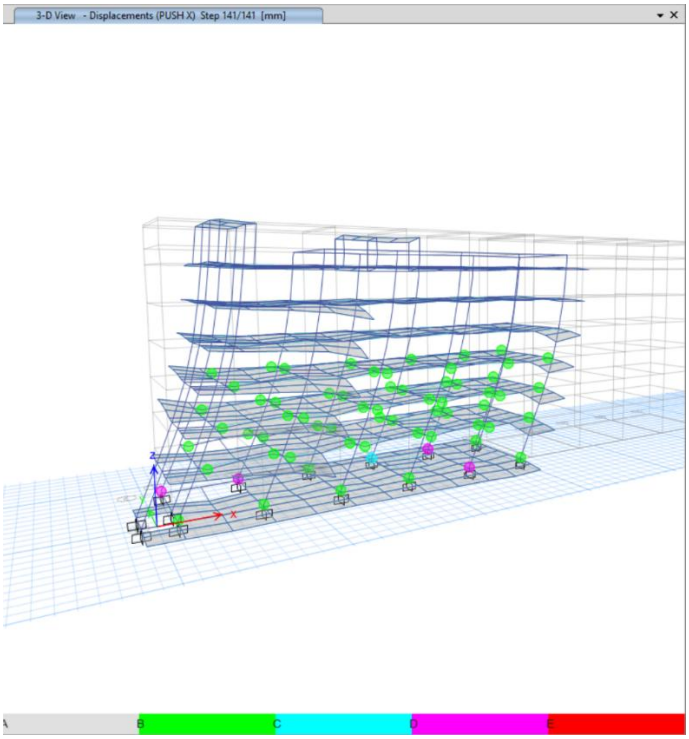
Gambar 5. 86 Sendi Plastis Titik Kapasitas Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 87 Sendi Plastis Titik Kapasitas pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

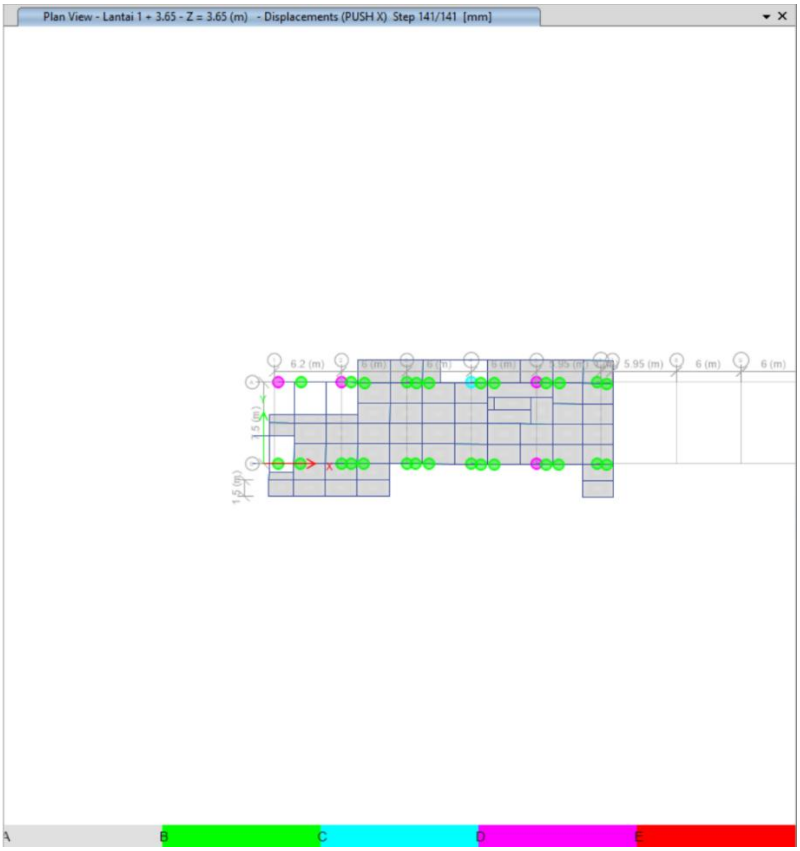
d. Sendi plastis berada di batas akhir analisis arah X Bangunan Sisi Kiri

Pada titik akhir arah X yang berada pada step 141, beberapa komponen sendi telah melewati batas elastisnya yaitu dari 388 buah sendi plastis sebanyak 64 sendi plastis sudah melewati batas elastisnya. Pada step 141, sebanyak 60 sendi berada pada kondisi plastis B-C. Kerusakan struktural yang lebih serius terdapat pada beberapa elemen lantai 1, di mana terdapat 1 sendi plastis yang telah memasuki rentang C-D yang ditandai bulatan warna biru muda dan sebanyak 4 sendi plastis telah berada pada rentang D-E yang ditandai bulatan warna ungu yang menggambarkan kondisi sendi berada pada kekuatan sisa. Masuknya 4 sendi plastis ke rentang D-E ini menggambarkan terjadinya penurunan kekuatan secara signifikan pada elemen kolom dasar bangunan akibat gaya lateral maksimum gempa arah X. Adapun untuk sendi plastis batas akhir analisis arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.88** berikut dan **Gambar 5.89** halaman berikutnya.



Gambar 5. 88 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 89 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri

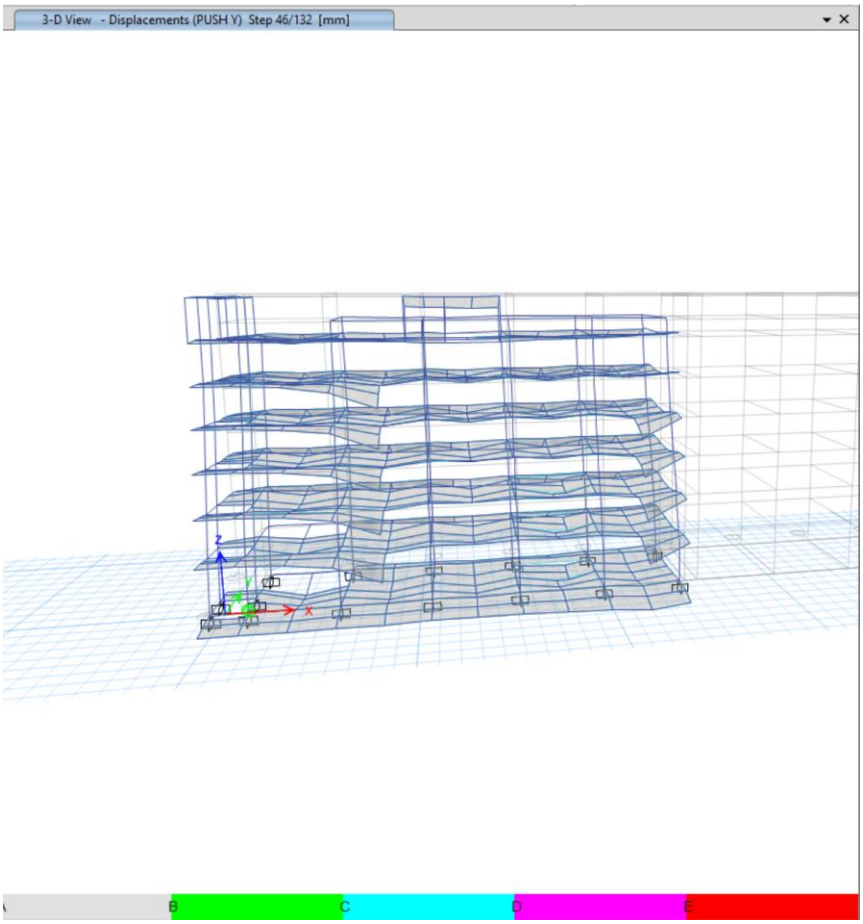
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

2. Mekanisme sendi plastis arah Y Bangunan Sisi Kiri

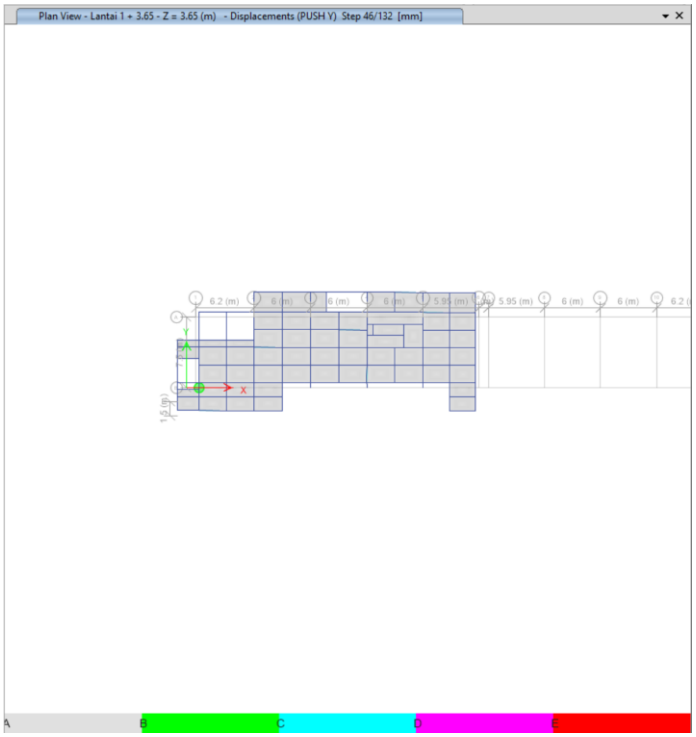
   a. Sendi plastis leleh pertama kali pada arah Y Bangunan Sisi Kiri

      Pertama kali sendi plastis arah Y terjadi pada step ke-46. Pada step tersebut gedung baru mulai memasuki perilaku nonlinear saat mengalami simpangan *base shear* sebesar 6.440,03 kN pada saat bangunan mengalami displacement sejauh 103,5 mm. Sendi yang mengalami plastis pertama kali terjadi pada 1 kolom yaitu kolom C15 yang berada di As 1B lantai 1 pada saat fase B-C yang ditandai bulatan berwarna hijau, di mana sendi mulai mengalami pelelehan pertama kali. Pembentukan satu sendi plastis tersebut penanda awal bahwa struktur bawah mulai menyerap dan meredam energi gempa secara daktil sebelum kerusakan merambat ke kolom-kolom utama lainnya di step-step berikutnya. Adapun untuk sendi plastis leleh pertama kali pada

arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.90** berikut dan **Gambar 5.91** halaman berikutnya.



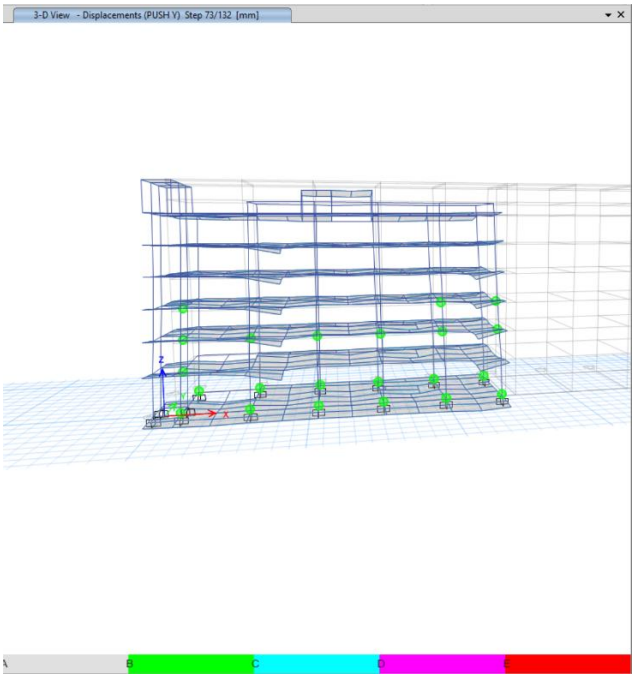
Gambar 5. 90 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 91 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

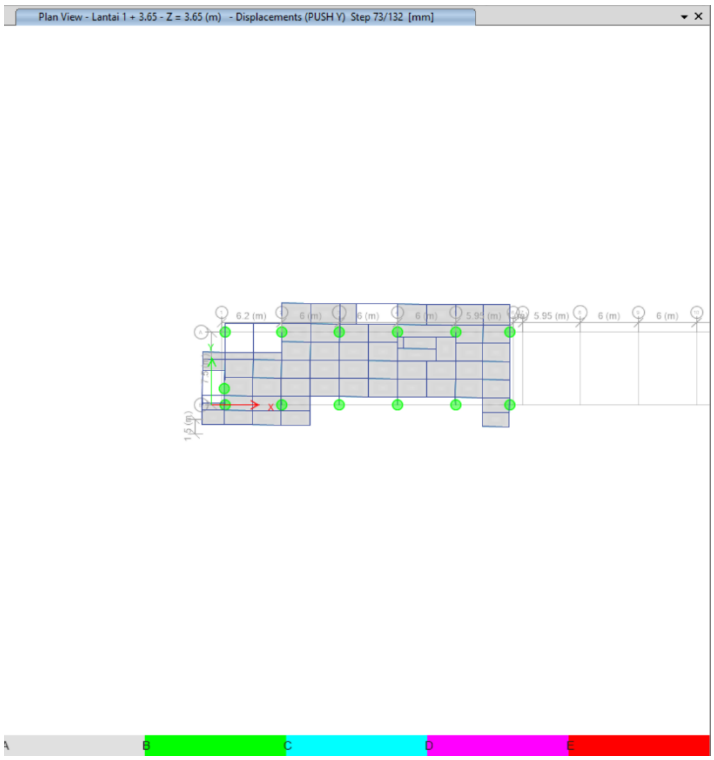
b. Sendi plastis terjadi di titik *performance point* Bangunan Sisi Kiri

Struktur mencapai pada titik *performance point* yaitu pada saat berada di antara step 72 sampai 73, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 168,648 mm dan *base shear* sebesar 9.406,66 kN. Pada saat *step* di titik performance ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 21-22 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik *performance point* dapat dilihat pada **Gambar 5.92** berikut dan **Gambar 5.93** halaman berikutnya.



Gambar 5. 92 Sendi Plastis Titik *Performance point* Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

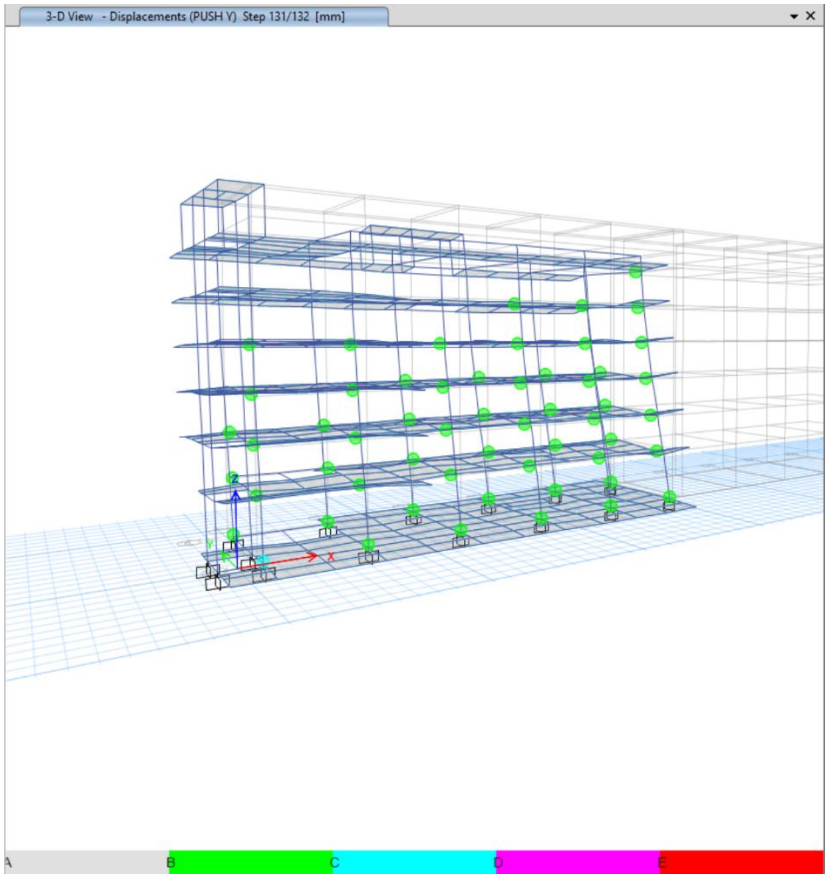


Gambar 5. 93 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

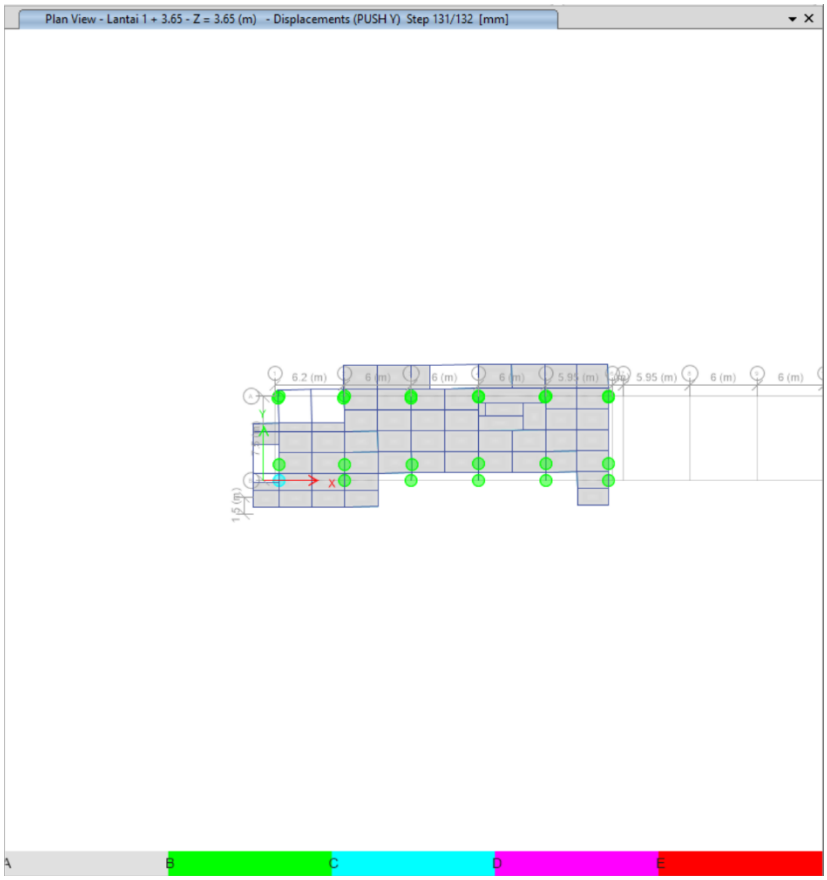
c. Sendi plastis terjadi di titik kapasitas maksimum bangunan sisi kiri

Struktur mencapai pada titik kapasitas maksimum yaitu pada saat step ke-131, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 300,70 mm dan *base shear* sebesar 11.698,07 kN. Pada saat *step* di titik kapasitas ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 55 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Serta 1 sendi plastis baru mengalami kapasitas maksimumnya yaitu pada kondisi C-D. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik kapasitas dapat dilihat pada **Gambar 5.94** berikut dan **Gambar 5.95** halaman berikutnya.



Gambar 5. 94 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri

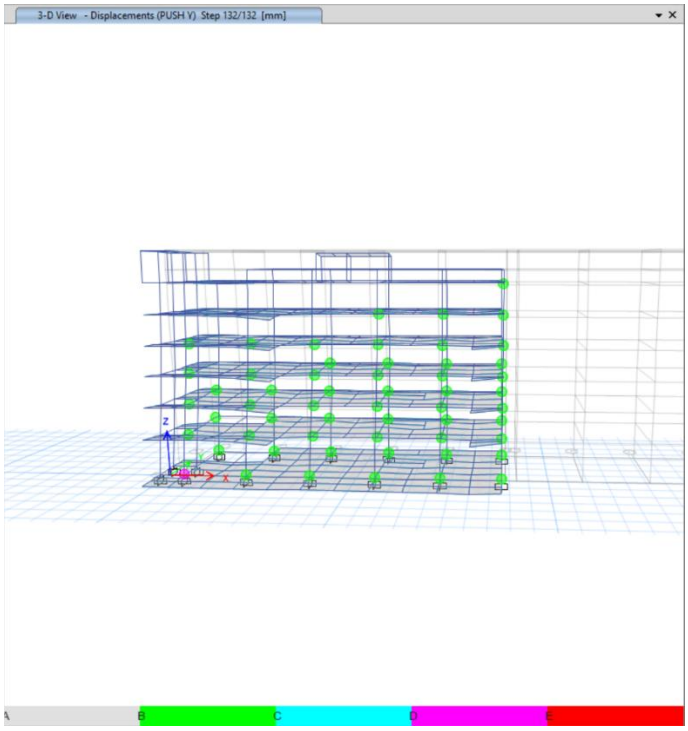
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



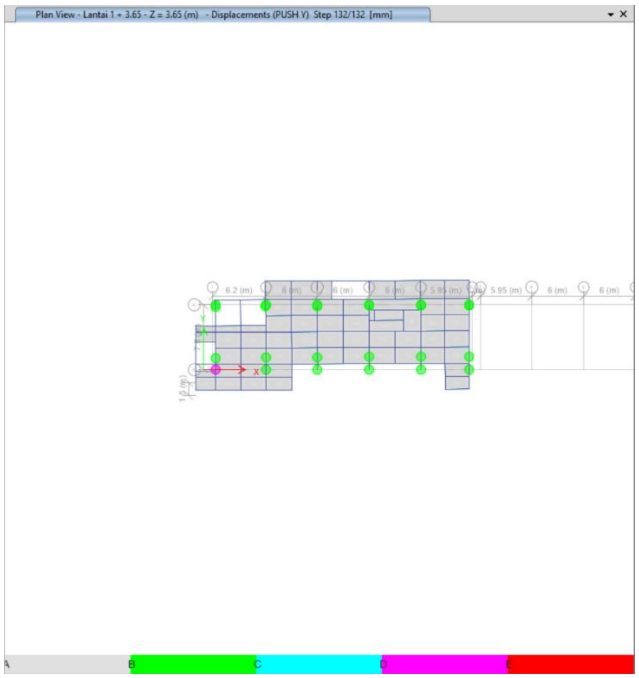
Gambar 5. 95 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

d. Sendi plastis berada di batas akhir analisis arah Y Bangunan Sisi Kiri

Pada titik akhir arah Y yang berada pada step 132, beberapa komponen sendi telah melewati batas elastisnya yaitu dari 388 buah sendi plastis sebanyak 56 sendi plastis sudah melewati batas elastisnya. Pada step 132, sebanyak 55 sendi berada pada kondisi plastis B-C yang ditandai bulatan warna hijau dan sebanyak 1 sendi plastis telah berada pada rentang D-E yang ditandai dengan berwarna ungu. Masuknya 1 sendi plastis ke rentang D-E ini menggambarkan terjadinya penurunan kekuatan secara signifikan pada elemen kolom dasar bangunan akibat gaya lateral maksimum gempa arah Y. Adapun untuk sendi plastis batas akhir analisis arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.96** dan **Gambar 5.97** halaman berikutnya.



Gambar 5. 96 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 97 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi Kiri
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.6 Hasil Analisis *Pushover* Berdasarkan Kriteria ATC-40 Bangunan Sisi Kanan

Analisis beban dorong *pushover* ini menghasilkan beberapa data penting yaitu kurva kapasitas, titik kinerja atau *performance point*, dan hasil skema sendi plastis yang muncul dalam model bangunan merupakan hasil output dari analisis *pushover* yang sudah di running. Adapun kinerja struktur berdasarkan ATC-40 akan ditentukan menggunakan nilai-nilai yang diperoleh pada titik-titik kinerja.

Setelah *performance point* atau target perpindahan didapatkan, tingkat kinerja (*performance level*) dari struktur bangunan ditentukan berdasarkan kondisi aktual gedung saat mencapai *performance point* tersebut. Penentuan tingkat kinerja dapat dilakukan dengan meninjau tingkat kerusakan pada setiap komponen balok dan kolom melalui status sendi plastis serta besarnya simpangan antar lantai bangunan. Berdasarkan ATC-40 Vol 1 pada chapter 3 mengenai performance objective yang terdapat pada sub bab 3.2.1 mengenai *structural performance levels and range* dan 3.2.3 *bulding performance level* bangunan akan dikelompokkan ke dalam tingkat kinerja utama sebagai berikut.

1. Operational

Tingkat kinerja operasional menitikberatkan pada keberlanjutan fungsi bangunan. Kerusakan komponen struktural dirancang sangat minim untuk memastikan bangunan tetap aman dihuni secara berkelanjutan, dengan perbaikan kecil yang tidak mengganggu aktivitas pengguna. Kerusakan pada komponen nonstruktural maupun fasilitas internal juga bersifat minor serta tidak membahayakan aktivitas di dalam bangunan. Selain itu, layanan vital eksternal seperti utilitas, akses transportasi, dan jaringan komunikasi harus ditunjang oleh sistem cadangan (*back-up*) yang memadai agar operasional gedung dapat terus berjalan saat pasokan utama terganggu.

2. *Immediate Occupancy (IO*)

Tingkat kinerja ini menggambarkan kondisi pascagempa dengan tingkat kerusakan struktural yang sangat terbatas. Sistem penahan beban lateral dan gravitasi utama tetap mempertahankan sebagian besar kapasitas aslinya, sehingga risiko cedera akibat kegagalan struktur tergolong sangat

rendah. Bangunan dipastikan aman untuk akses keluar-masuk serta layak langsung dihuni kembali tanpa pembatasan, menjadikannya kriteria penting bagi fasilitas vital. Ruang dan sistem bangunan tetap dapat difungsikan secara wajar, meskipun kontinuitas layanan utilitas utama maupun cadangan belum tentu terjamin penuh serta kerusakan minor pada fasilitas nonstruktural internal masih dapat terjadi.

3. *Damage Control (DC)*

Damage Control merupakan rentang kondisi kinerja antara SP-1 (*Immediate Occupancy*) dan SP-3 (*Life Safety*), yang mana *Damage Control* ini bukan level kinerja tunggal. Struktur bangunan tetap kokoh serta aman untuk diakses kembali pascagempa rencana. Kerusakan dan pelelehan awal pada komponen struktural masih berada pada batas yang layak diperbaiki secara ekonomis dari segi biaya maupun waktu. Tingkat risiko keselamatan jiwa tergolong sangat rendah karena tidak terjadi keruntuhan elemen struktural utama maupun bahaya jatuhan komponen bangunan.

4. *Life Safety* (LS)

Tingkat kinerja ini menunjukkan kondisi pascagempa dengan kerusakan struktural yang signifikan, namun masih memiliki batas aman terhadap risiko keruntuhan parsial maupun total. Komponen struktural utama tidak mengalami keruntuhan atau pelepasan material yang membahayakan area internal dan eksternal gedung, sehingga ancaman cedera fatal tergolong sangat rendah. Meski keselamatan jiwa tetap terjamin, bangunan membutuhkan perbaikan struktural yang ekstensif sebelum dapat dihuni kembali, dengan pertimbangan biaya perbaikan yang mungkin tidak lagi bernilai ekonomis.

5. *Structural Stability* (SS)

Tingkat kinerja ini merupakan kondisi batas kerusakan pascagempa ketika sistem struktur berada di ambang keruntuhan parsial maupun total. Kerusakan yang sangat parah menyebabkan penurunan signifikan pada kekakuan dan kekuatan sistem penahan gaya lateral, meskipun seluruh komponen utama penahan beban gravitasi masih mampu menopang beban

gedung. Meskipun kestabilan global bangunan masih bertahan untuk mencegah keruntuhan mendadak, risiko cedera tetap tinggi akibat bahaya jatuhan material serta kerentanan terhadap gempa susulan. Bangunan mengalami kerusakan kritis dan memerlukan perbaikan struktural menyeluruh yang sangat masif sebelum dapat dipertimbangkan untuk difungsikan kembali.

5.6.1 Kurva Kapasitas Bangunan Sisi Kanan

Kurva kapasitas adalah grafik yang memperlihatkan hubungan antara gaya geser total pada dasar gedung (*base shear*) dengan besarnya pergeseran samping bangunan (*displacement*). Grafik ini didapatkan secara otomatis melalui menu *Static Pushover Curve* di program ETABS setelah simulasi beban dorong selesai dijalankan atau *running*.

Tujuan dari evaluasi kapasitas ini adalah untuk mengetahui batas kekuatan maksimum gedung serta bagaimana perilaku bangunan setelah materialnya mulai meleleh saat menahan beban gempa rencana. Tingkat kinerja bangunan dinilai secara menyeluruh dengan melihat interaksi antara gaya geser dasar terhadap simpangan di lantai atap (*monitored displacement*). Adapun ringkasan mengenai tahapan terbentuknya sendi plastis (*plastic hinges*) serta kapasitas gaya geser akibat beban lateral arah X dapat dilihat pada **Tabel 5.32** berikut, sedangkan untuk beban lateral arah Y disajikan pada **Tabel 5.33** halaman berikutnya.

Tabel 5. 32 Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
1	2.25	82.44	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
2	4.50	164.88	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
↓												
60	135.00	4946.45	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
61	137.25	5028.89	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
62	139.50	5109.99	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
↓												
67	150.75	5513.78	315	3	0	0	0	318	0	0	0	318
68	152.89	5586.85	313	5	0	0	0	318	0	0	0	318
69	155.91	5677.19	309	9	0	0	0	318	0	0	0	318
70	159.46	5751.53	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
↓												
76	172.96	6014.25	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
77	175.21	6056.93	308	10	0	0	0	317	1	0	0	318
78	177.46	6099.97	308	10	0	0	0	316	2	0	0	318
↓												
83	188.71	6312.17	308	10	0	0	0	310	8	0	0	318
84	190.96	6355.24	308	10	0	0	0	309	9	0	0	318
85	193.21	6396.89	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
86	195.46	6438.60	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
↓												
138	312.46	7897.67	262	56	0	0	0	299	19	0	0	318
139	314.71	7915.54	262	56	0	0	0	298	20	0	0	318
140	316.96	7933.41	262	55	1	0	0	297	21	0	0	318
141	316.96	7434.28	262	54	0	2	0	297	21	0	0	318
142	319.21	7460.86	262	53	1	2	0	295	23	0	0	318
143	238.89	3313.16	262	47	1	8	0	295	20	3	0	318

Tabel 5. 33 Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
1	2.25	104.55	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
2	4.50	209.10	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
3	6.75	313.65	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
4	9.00	418.20	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
↓												
57	128.25	5959.41	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
58	130.23	6051.45	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
59	132.48	6153.85	316	2	0	0	0	318	0	0	0	318
60	134.73	6254.09	315	3	0	0	0	318	0	0	0	318
61	136.98	6350.89	315	3	0	0	0	318	0	0	0	318
62	140.42	6489.75	313	5	0	0	0	318	0	0	0	318
63	144.27	6627.41	310	8	0	0	0	318	0	0	0	318
64	146.52	6692.04	310	8	0	0	0	318	0	0	0	318
60	137.56	8381.97	379	9	0	0	0	388	0	0	0	388
61	141.63	8554.67	377	11	0	0	0	387	1	0	0	388
62	143.88	8640.96	375	13	0	0	0	387	1	0	0	388
62	143.88	8640.96	375	13	0	0	0	387	1	0	0	388
↓												
70	161.79	7045.45	305	13	0	0	0	318	0	0	0	318
71	164.04	7092.27	305	13	0	0	0	317	1	0	0	318
72	166.29	7136.13	304	14	0	0	0	317	1	0	0	318
73	168.54	7182.19	303	15	0	0	0	317	1	0	0	318
74	170.79	7218.62	301	17	0	0	0	316	2	0	0	318
75	173.04	7261.82	299	19	0	0	0	315	3	0	0	318
↓												
153	346.86	9042.01	268	50	0	0	0	287	31	0	0	318
154	349.11	9055.34	268	49	1	0	0	286	32	0	0	318
155	349.11	8242.91	268	48	0	2	0	286	31	1	0	318
156	351.64	8281.28	268	48	0	2	0	286	30	2	0	318
157	352.20	8293.17	268	48	0	2	0	286	30	2	0	318
158	354.45	8316.25	268	48	0	2	0	286	30	2	0	318
159	356.70	8360.35	268	45	3	2	0	286	30	2	0	318
160	286.71	4930.55	268	45	1	4	0	286	29	3	0	318

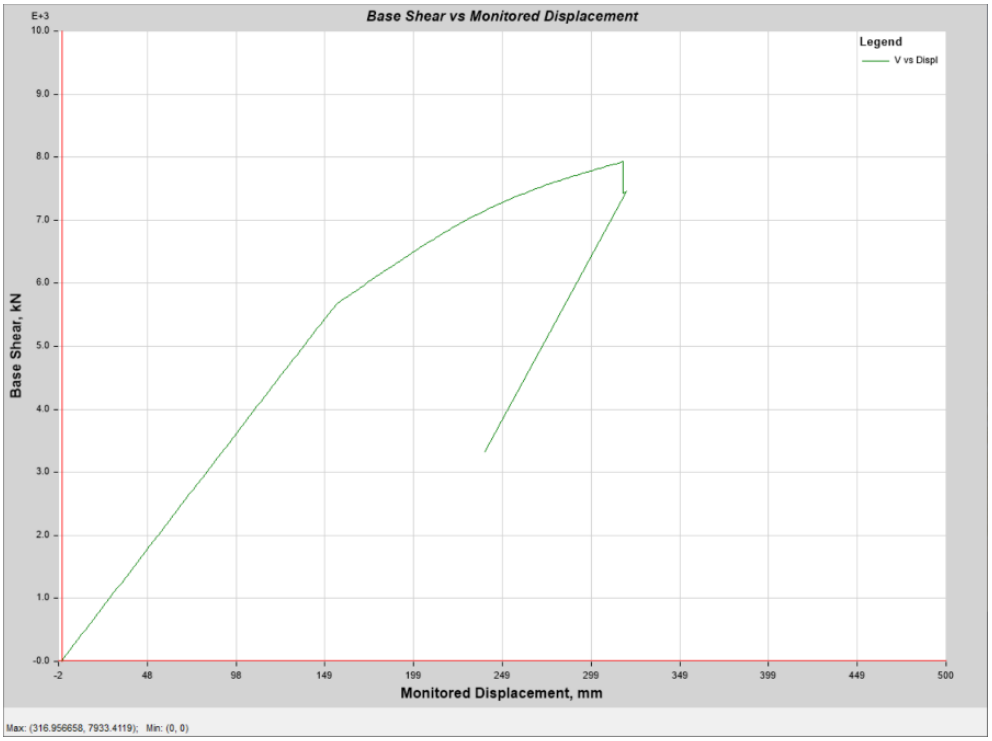
Berdasarkan data hasil *running* beban lateral pada **Tabel 5.32** struktur gedung didorong dalam arah X hingga mencapai 143 tahapan pembebanan. Di awal pengujian dari tahap 0 hingga tahap 3 seluruh bagian struktur yang berjumlah 318 buah berada dalam kondisi yang sangat normal dan utuh tanpa retak sama

sekali pada kolom A-B yaitu kondisi elastis. Seluruh bagian sendi tersebut juga dikategorikan berada pada tingkat kinerja atau *acceptance criteria* pada sendi plastis yaitu *Immediate Occupancy* (A-IO) dengan kondisi kerusakan struktur sangat kecil atau hampir tidak ada. Seiring bertambahnya beban, tanda-tanda kerusakan sendi plastis mulai muncul pertama kali pada tahap ke-61 ketika gedung didorong sejauh 137,25 mm dengan besar gaya *base shear* sebesar 5.028,89 kN. Pada tahap ini terdapat 1 bagian gedung yang mulai leleh dan mengalami retak-retak kecil sehingga bergeser masuk ke kolom B-C dengan kondsisi plastis. Kerusakan sendi plastis semakin meluas dan bertambah. Pada tahap 77 ketika dorongan mencapai 175,21 mm dengan *base shear* sebesar 6.056,93 kN terdapat 308 sendi pada kondisi elastis A-B, dan terdapat 10 sendi yang mengalami leleh atau plastis pada kondisi B-C, serta pada kolom sebelah kanan terdapat 317 sendi plastis dengan level kinerja sendi plastis yaitu A-IO dan terdapat 1 sendi plastis yang menglami level kinerja IO-LS atau *life safety*. Pada step 140 ketika gedung didorong sejauh 316,96 mm dengan besar *base shear* puncak untuk arah X sebesar 7.933,41 mm 1 sendi mulai mengalami kondisi C-D atau degredasi kekuatan yaitu terjadi penurunan kekuatan setelah melewati kapasitas puncak. Pada step 141 ketika gedung didorong sejauh 316,96 mm dengan besar *base shear* mengalami penurunan sebesar 7.434,28 mm serta 2 sendi pertama kali mulai mengalami kondisi D-E atau residual strength yaitu kekuatan sia setelah melewati penurunan kekuatan. Pada step 143 sendi plastis terus mengalami penurunan atau sisa kekuatan *base shear* sebesar 3.313,16 mm yang sangat signifikan, tetapi sendi plastis belum mengalami runtuh atau kerusakan hancur yang mana ditandai dengan mekanisme kondisi sendi plastis pada kolom >E nilainya 0, dan level kinerja sendi plastis pada kolom > CP nilainya 0 juga.

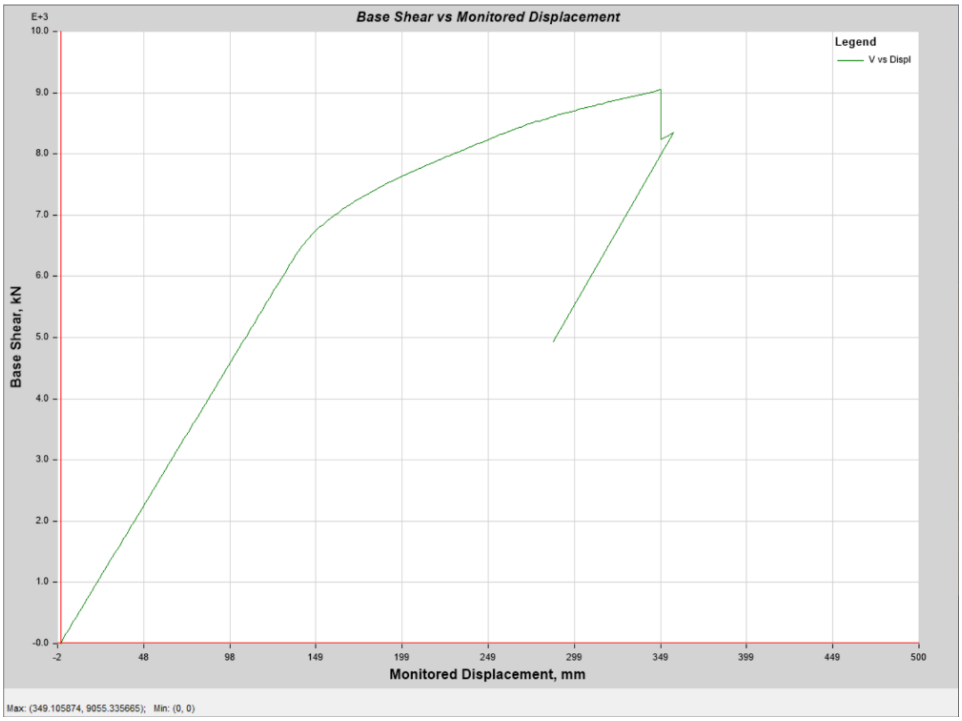
Kondisi yang jauh lebih kokoh dan aman ditunjukkan oleh bangunan saat menerima beban lateral arah Y yang didorong hingga mencapai 160 tahapan pembebanan seperti yang tertera pada **Tabel 5.33**. Gedung ini menunjukkan tingkat kestabilan yang sangat tinggi. Hal ini dibuktikan dari step awal pembebanan hingga step 57 di mana seluruh bagian sendi plastis yang berjumlah 318 buah secara konsisten mampu mempertahankan kondisi fisiknya tetap utuh

tanpa retak atau elastis pada kondisi (A-B) serta berada pada kondisi level kinerja sendi plastis (A-IO). Sendi mengalami kondisi plastis pertama kali kondisi B-C atau leleh pertama kali pada step 58 saat perpindahan gedung sebesar 130,23 mm yang ditandai dengan munculnya 1 sendi yang mulai leleh di kolom B-C. Pada step 71 saat gedung di dorong sejauh 164,04 mm dengan besar *base shear* sebesar 7.092,27 kN, sendi plastis mengalami kondisi IO-LS sebanyak 1 sendi yaitu kondisi dimana sendi mengalami kerusakan elemen seperti selimut beton mulai retak meluas dan tulangan mengalami pelelehan. Pada step 154 struktur gedung mengalami *base shear* puncak yaitu sebesar 9.055,34 kN ketika gedung didorong sejauh 349,11 mm, serta pada step tersebut terdapat 1 sendi plastis pertama kali mengalami kondisi C-D atau kondisi degredasi kekuatan yaitu penurunan kekuatan setelah melewati kapasitas puncak. Pada step 155 ketika gedung didorong sejauh 349,11 mm dengan besar *base shear* mengalami penurunan sebesar 8.242,91 mm serta 2 sendi pertama kali mulai mengalami kondisi D-E atau residual strength yaitu kekuatan sisa setelah melewati penurunan kekuatan. Pada step 156 sendi plastis terus mengalami penurunan atau sisa kekuatan yang sangat signifikan, sampai pada step 160 yang merupakan step akhir struktur tetapi sendi plastis belum mengalami runtuh atau kerusakan hancur yang mana ditandai dengan mekanisme kondisi sendi plastis pada kolom >E nilainya 0, dan level kinerja sendi plastis pada kolom > CP nilainya 0 juga.

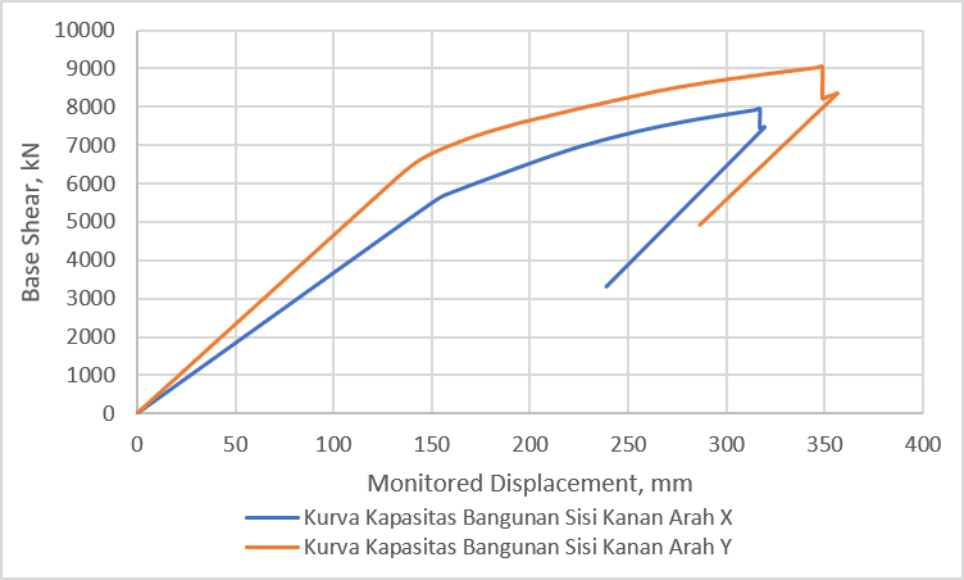
Adapun berikut ini merupakan hasil kurva kapasitas pada *pushover* arah X dan *pushover* arah Y yang dapat dilihat pada **Gambar 5.98** mengenai Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X, **Gambar 5.99** mengenai Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y, serta **Gambar 5.100** mengenai Perbandingan Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X dan Arah Y pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 98 Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X Bangunan Sisi Kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 99 Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y Bangunan Sisi Kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 100 Perbandingan Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X dan Arah Y Bangunan Sisi Kanan

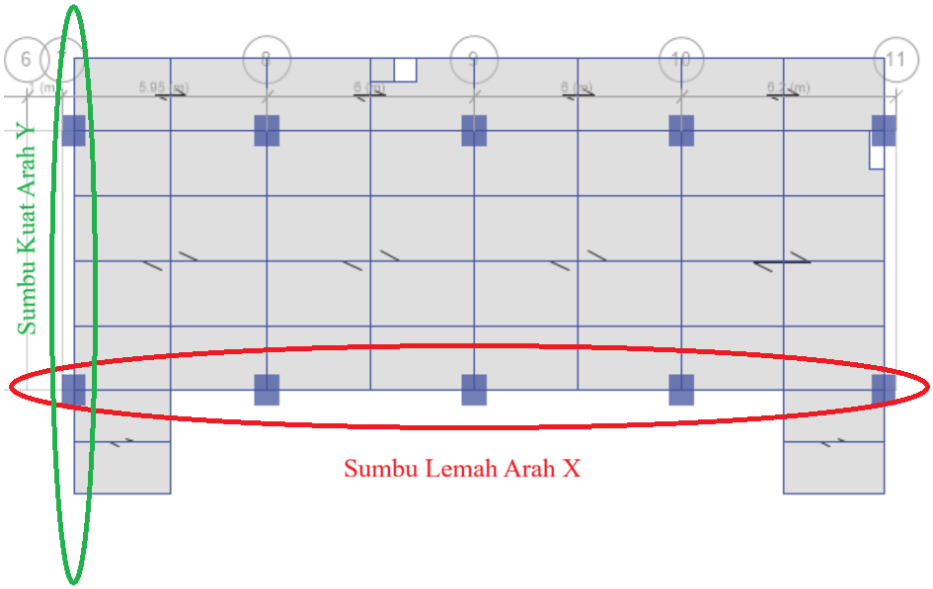
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Berdasarkan grafik kurva kapasitas pada **Gambar 5.98** dan grafik perbandingan pada **Gambar 5.100** perilaku gedung saat menerima beban gempa arah X ditunjukkan oleh garis berwarna biru. Pada awal pembebanan grafik membentuk garis lurus naik secara stabil yang menandakan bahwa struktur gedung masih bekerja sepenuhnya dalam kondisi elastis atau normal tanpa kerusakan berarti. Kekuatan gedung terus naik hingga sempat mencapai titik puncak di bagian atas pada step 140 kemudian mengalami penurunan kekuatan pada step 141-143 yang memiliki kekuatan sisa pada step akhir 143 sebesar 3.313,16 kN.

Hasil pengujian lateral untuk arah Y yang ditunjukkan oleh garis berwarna jingga pada **Gambar 5.100** dan gambar kurva kapasitas arah Y pada **Gambar 5.99** memperlihatkan kekuatan struktur yang jauh lebih stabil. Sejak awal pembebanan dimulai hingga mencapai tahapan akhir, grafik kurva kapasitas arah Y terus bergerak naik ke atas secara konstan tanpa memperlihatkan adanya pola patahan turun kebawah. Kondisi garis yang mulus ini menandakan bahwa struktur bangunan sama sekali tidak mengalami kerusakan mendadak ataupun penurunan kekuatan yang drastis selama digoyang oleh gempa arah Y. Kekuatan menahan beban lateral pada arah Y terus meningkat searah dengan bertambahnya perpindahan gedung

hingga akhirnya berhenti di titik puncak displacement sejauh 349,11 mm pada step 154 dengan gaya geser dasar maksimum mencapai sebesar 9.055,34 kN. Setelah melewati kapasitas maksimum tersebut kekuatan gedung menurun yang mana terjadi pada step 155-160, yang mana pada step 160 akhir ketika gedung di dorong sejauh 286,71 mm dan kekuatan sisa gedung sebesar 4.930,55 kN.

Melalui grafik perbandingan kurva kapasitas pada **Gambar 5.100** terlihat perbedaan karakteristik kekakuan yang sangat jelas antara kedua arah peninjauan struktur bangunan yaitu Garis arah Y yang berwarna jingga memiliki kemiringan sudut yang jauh lebih tegak dan curam dibandingkan dengan garis arah X yang berwarna biru yang menandakan bahwa struktur bangunan arah Y memiliki tingkat kekakuan lateral yang jauh lebih tinggi. Struktur yang kaku pada arah Y ini terbukti mampu menahan gaya gempa yang lebih besar yaitu sebesar 9.055,34 kN sedangkan untuk arah X hanya mampu menahan base shear maksimum sebesar 7.933,41 kN. Struktur arah Y memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih baik dari arah X. Karena ketika saat struktur arah X mengalami kapasitas maksimum dengan base shear sebesar 7.933,41 kN, struktur arah X tersebut harus menahan gempa lateral dan terdorong sejauh 316,96 ketika terjadi pada step 140. Sedangkan untuk arah Y, ketika struktur tersebut menahan beban lateral sekitar sebesar 7.933,41 kN, struktur tersebut hanya terdorong sebesar 225,54 mm, yang mana mengalami perpindahannya jauh lebih kecil daripada arah X. Adapun untuk sumbu kuat dan lemah pada bangunan sisi kiri dapat dilihat pada **Gambar 5.101** halaman berikutnya.



Gambar 5. 101 Sumbu Kuat dan Lemah Bangunan Bangunan Sisi Kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

5.6.2 *Performance Point* atau Titik Kinerja Berdasarkan Kriteria ATC-40 Bangunan Sisi Kanan

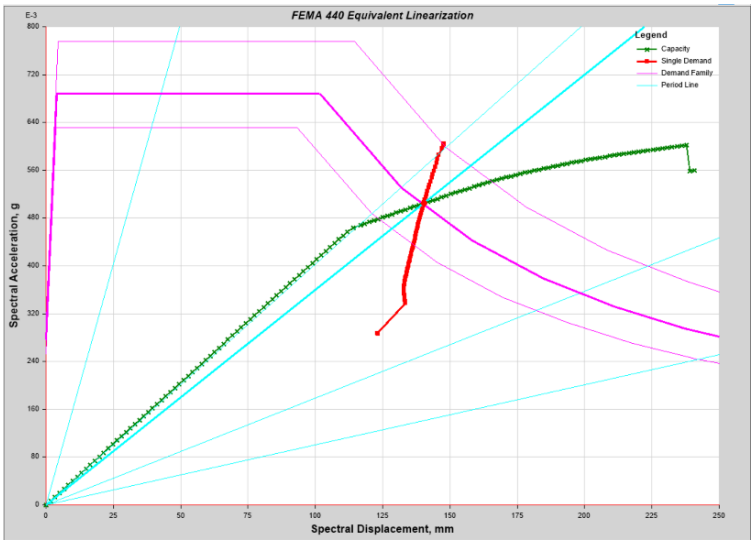
Titik kinerja ditentukan dengan mengonversi kurva kapasitas yang dihasilkan oleh analisis *pushover* menjadi spektrum kapasitas dalam format Spektrum Respons Percepatan-Pergeseran (ADRS) yang merupakan hubungan antara Percepatan Spektral (Sa) dan Pergeseran Spektral (Sd), dengan bantuan program ETABS.

Analisis *pushover* pada penelitian ini dilakukan dengan mengombinasikan metode FEMA 440 dan kriteria ATC-40. Kombinasi ini memisahkan antara tahap perhitungan perpindahan struktur dan tahap penilaian level keselamatan bangunan. Tahap Perhitungan (*Performance point*) Menggunakan FEMA 440 Equivalent Linearization. Yang mana kemudian tahap penilaian (*Performance Level*) Menggunakan Kriteria ATC-40. Setelah angka perpindahan maksimum (mm) diperoleh melalui FEMA 440, angka tersebut dikonversikan menjadi makimum total *drift* dan maksimum inelastic *drift*. Tingkat level kinerja bangunan selanjutnya dinilai berdasarkan Tabel 11-4 dokumen ATC-40. Standar ATC-40 digunakan pada tahap ini karena menyediakan batasan nilai batasan *drift* yang eksplisit dan

sistematis untuk mengategorikan performa gedung ke dalam level *Immediate Occupancy* (IO), Life Safety (LS), atau Collapse Prevention (CP). Melalui kombinasi ini, analisis kekuatan struktur dihitung dengan akurasi matematis yang lebih modern (FEMA 440), sementara penentuan label tingkat keselamatannya tetap berpatokan pada parameter batas simpangan baku yang diakui internasional (ATC-40). Hasil numerik dan visualisasi grafik dari pemodelan ini dibahas pada bagian berikut

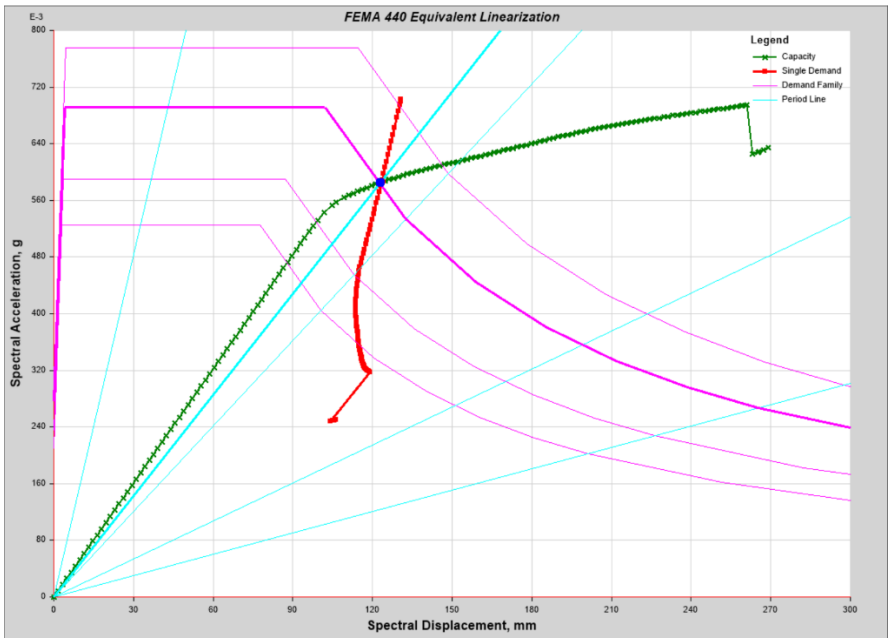
Berdasarkan hasil analisis *pushover* menggunakan software ETABS dengan metode FEMA 440 Equivalent Linearization, diperoleh nilai titik kinerja (*Performance point*) struktur dengan gaya geser dasar (Base Shear) dan perpindahan atap (Displacement). Selanjutnya, nilai perpindahan ini digunakan untuk menghitung nilai *drift* total struktur guna menentukan level kinerja bangunan berdasarkan kriteria batasan deformasi ATC-40

Adapun kurva *performance point* pada arah X dan Y yang terdapat pada bangunan sisi kiri dapat dilihat pada **Gambar 5.102** berikut untuk arah X dan **Gambar 5.103** untuk arah Y. serta untuk hasil analisis *pushover* berupa nilai *performance point* dapat dilihat pada **Tabel 5.34** pada halaman berikutnya.



Gambar 5. 102 Kurva *Performance point* Result Arah X Bangunan Sisi Kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 103 Kura Target Displacement Result Arah Y Bangunan Sisi Kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

Tabel 5. 34 Nilai *Performance point* Bangunan Sisi Kanan

No.	Arah Beban	V_{max} (kN)	D_{max} (m)	*Performance point*						
				V_t (kN)	D_t (m)	S_a	S_d (mm)	T_{eff}	μ	β_{eff}
1	X	7.933,41	0,3169	6.360,92	0,1913	0,5049	0,1404	1,003	1,2466	0,0528
2	Y	9.055,34	0,3491	7.194,68	0,1693	0,5861	0,1235	0,872	1,2046	0,052

Berdasarkan hasil analisis *pushover* non-linear menggunakan metode FEMA 440 Equivalent Linearization, didapatkan parameter titik kinerja (*performance point*) pada arah X dan arah Y yang kemudian dihubungkan dengan nilai kapasitas maksimum struktu. V_{max} dan D_{max} merupakan gaya geser dasar maksimum dan simpangan maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebelum mengalami keruntuhan total. Sementara itu, *performance point* yang dinyatakan melalui nilai gaya geser target V_t, pergeseran target D_t, percepatan spektral S_a, displasmen spektral S_d, periode efektif Teff, dan redaman efektif

β_{eff} menggambarkan respons riil serta tingkat kinerja struktur pada saat menerima beban gempa rencana.

Pada pembebanan arah X, struktur memiliki kapasitas gaya geser maksimum V_{max} sebesar 7.933,41 kN dengan displasmen maksimum D_{max} mencapai 0,3169 m. Ketika dikenai beban gempa rencana, titik kinerja arah X dicapai pada gaya geser target V_t sebesar 6.360,92 kN dan simpangan target D_t sebesar 0,1913 m. Sedangkan pada pembebanan arah Y, struktur menunjukkan kapasitas V_{max} sebesar 9.055,34 kN dan D_{max} sebesar 0,3491 m. Titik kinerja arah Y tercapai pada V_t sebesar 7.194,68 kN dan D_t sebesar 0,1693 m.

Adapun berdasarkan hasil perbandingan dari kedua arah menunjukkan bahwa struktur pada arah Y memiliki kekakuan lateral yang lebih tinggi dibandingkan arah X, yang mana terbukti dari nilai periode efektif Teff arah Y yang lebih pendek yaitu sebesar 0,872 detik, sedangkan arah X Teff sebesar 1,003 detik. Kekakuan yang lebih tinggi ini menyebabkan arah Y menyerap gaya geser gempa yang lebih besar, namun menghasilkan perpindahan target yang lebih kecil. Secara keseluruhan struktur dinyatakan aman dan memenuhi kriteria kinerja terhadap gempa rencana karena simpangan target pada kedua arah berada di bawah batas kapasitas displacement maksimumnya yaitu $D_t < D_{max}$, serta nilai target displacement masih berada di bawah batas target displacement yaitu sebesar 0,02 × tinggi bangunan yang mana nilainya dibawah 0,354 m.

5.6.3 Tingkat Kinerja Struktur Bangunan Sisi Kanan

Setelah *target dislacement* atau titik *performance point* diperoleh, tingkat keamanan struktur bangunan dievaluasi untuk menentukan level kinerja berdasarkan kriteria ATC-40. Penentuan level kinerja berdasarkan kriteria ATC 40, dilakukan dengan 2 tinjauan, yaitu ditinjau berdasarkan global atau makro dan berdasarkan simpangan antar tingkat atau mikro.

1. Tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria ATC-40 Arah X bangunan sisi kanan

   Berdasarkan hasil analisis *pushover* yang diambil berdasarkan FEMA 440, didapatkan nilai titik kinerja atau *performance point* Dt displacement sebesar 187,153 mm pada tinggi struktur utama sebesar H = 17.700 mm

a. Tingkat kinerja struktur ditinjau secara global atau makro

1) Menghitung nilai effective yield displacement (Dy) atau perpindahan leleh atap

$$\mu = \frac{D_p}{D_y}$$

$$D_y = \frac{D_p}{\mu}$$

$$= \frac{191{,}263}{1{,}246675}$$

= 153,418 mm

2) Maksimum total *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t}{H}$$

$$= \frac{191{,}263\ mm}{17.700\ mm}$$

= 0,01081

3) Maksimum inelastic *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t - Dy}{H}$$

$$= \frac{191{,}263\ mm - 153{,}418\ mm}{17.700\ mm}$$

= 0,002138

4) Hasil

Berdasarkan analisis *pushover* pada arah X secara global atau makro diperoleh nilai parameter *maximum total drift* sebesar 0,01081 dan nilai *maximum inelastic drift global* sebesar 0,002138. Merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 nilai *inelastic drift* makro sebesar 0,002138 memenuhi batas kriteria *Immediate Occupancy* yaitu <0,005. Namun, nilai *total drift* makro sebesar 0,01081 telah melewati batas *Immediate Occupancy* sebesar 0,01 yang mana sudah memasuki tingkat kinerja *Damage Control* dengan rentang nilai antara 0,01-0,02. Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Damage Control* (DC). Kondisi ini menunjukkan bahwa

bangunan masih memiliki ketahanan terhadap gempa dengan tingkat risiko korban jiwa manusia yang sangat rendah

b. Tingkat kinerja struktur ditinjau berdasarkan simpangan antar tingkat bangunan sisi kanan

1) Menghitung simpangan total (maximum total *drift*) setiap lantai

Seberapa jauh posisi suatu titik target berada di antara dua titik data yang diketahui.

a) Factor proporsi *performance point* (f_p)

a. Target displacement

D_t = 191,263 mm

b. Displacement step 84

$UX_{step\ 84}$ = 190,96 mm

c. Displacement step 85

$UX_{step\ 85}$ = 193,21 mm

d. $f_p = \frac{D_t - UX_{step\ 84}}{UX_{step\ 85} - UX_{step\ 84}}$

$= \frac{191{,}263 - 190{,}96}{193{,}21 - 190{,}96}$

= 0,136

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UX_p)

$UX_{p\ L.atap}$ = $UX_{step\ 84}$ + 0,136 × ($UX_{step\ 85}$ - $UX_{step\ 84}$)

= 191,718 + 0,136 × (193,968 - 191,718)

= 191,718 + 0,136 × (2,250)

= 191,718 + 0,306

= 192,024

c) Simpangan total ($\Delta_{i\ total}$)

$\Delta_{i\ total}$ = $UX_{p\ L.atap}$ - $UX_{p\ L.5}$

= 192,024 – 174,449

= 17,575 mm

d) Maksimum total *drift* (total *drift* ratio)

Total *drift* ratio = $\frac{\Delta_{i\ total}}{h_i}$

$$= \frac{17{,}575}{2.850}$$

$$= 0{,}0062$$

e) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum total *drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,0062. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun rekapitulasi hasil simpangan maksimum total *drift* dan tingkat kinerja bangunan sisi kanan arah X dapat dilihat pada **Tabel 5.35** berikut.

Tabel 5. 35 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kanan Arah X

Tingkat	h_i	$UX_{step\ 84}$	$UX_{step\ 85}$	ΔUX	UX_p	$\Delta_{i,total}$	$\frac{\Delta}{h_i}$	LK
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	191,718	193,968	2,250	192,024	17,575	0,0062	IO
Lantai 5	2.800	174,161	176,282	2,121	174,449	25,680	0,0092	IO
Lantai 4	2.800	148,508	150,432	1,924	148,770	34,419	0,0123	DC
Lantai 3	2.800	114,128	115,762	1,634	114,350	40,628	0,0145	DC
Lantai 2	2.800	73,554	74,788	1,234	73,722	39,585	0,0141	DC
Lantai 1	3.650	34,036	34,777	0,741	34,137	34,137	0,0094	IO

2) Menghitung simpangan inelastic total (maximum total inelastic *drift*) setiap lantai

a) Factor proporsi effective yield point (f_y)

(1) Target displacement

D_y = 153,418 mm

(2) Displacement step 68

$UX_{step\ 68}$ = 152,89 mm

(3) Displacement step 69

$UX_{step\ 69}$ = 155,91 mm

(4) $f_p = \frac{D_y - UX_{step\ 68}}{UX_{step\ 69} - UX_{step\ 68}}$

$= \frac{153{,}418 - 152{,}89}{155{,}91 - 152{,}89}$

= 0,1757

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UX_y)

$UX_{y\ L.atap}$ = $UX_{step\ 68}$ + 0,49736 × ($UX_{step\ 69}$ - $UX_{step\ 68}$)

= 153,648 + 0,1757 × (156,674 - 153,648)

= 153,648 + 0,1757 × (3,026)

= 153,648 + 0,5317

= 154,1797 mm

c) Simpangan leleh total ($\Delta_{i\ yield}$)

$\Delta_{i\ yield}$ = $UX_{y\ L.atap}$ - $UX_{y\ L.5}$

= 154,1797 – 138,9009

= 15,2787 mm

d) Simpangan *inelastic*

$\Delta_{i\ inelastis}$ = $\Delta_{i\ total}$ - $\Delta_{i\ yield}$

= 17,5745 – 15,2787

= 2,2958 mm

e) *Inelastic drift ratio*

Inelastic drift ratio $= \frac{\Delta_{i\ total} - \Delta_{i\ yield}}{h_i}$

$= \frac{2{,}2958}{2850}$

= 0,00081

f) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum *total inelastic drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,00081. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun nilai rekapitulasi hasil simpangan maksimum inelastic *drift* untuk bangunan sisi kanan arah X dapat dilihat pada **Tabel 5.36** berikut.

Tabel 5. 36 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kanan Arah X

Tingkat	Elevasi	$UX_{step\ 68}$	$UX_{step\ 69}$	ΔUXy	UX_y	$\Delta_{i\ yield}$	$\frac{\Delta_p - \Delta_y}{h_i}$	LK
	m	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	153,648	156,674	3,026	154,179	15,279	0,0008	IO
Lantai 5	2.800	138,413	141,19	2,777	138,900	22,179	0,0013	IO
Lantai 4	2.800	116,299	118,707	2,408	116,722	29,352	0,0018	IO
Lantai 3	2.800	87,036	88,935	1,899	87,369	33,775	0,0024	IO
Lantai 2	2.800	53,37	54,651	1,281	53,595	31,331	0,0029	IO
Lantai 1	3.650	22,151	22,796	0,645	22,264	22,264	0,0033	IO

c. Menentukan tingkat kinerja struktur yang paling kritis diantara makro dan mikro

Berdasarkan hasil analisis tingkat kinerja struktur bangunan pada arah X bangunan sebelah kiri yaitu secara makro dan mikro yang mana mengacu pada kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai doformation limits yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 didapatkan Kesimpulan ialah sebagai berikut.

(1) Tinjauan secara makro (Global Structural Level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan total struktur, struktur memiliki *total drift* sebesar 0,01081 dan *inelastic drift* sebesar 0,002138. Berdasarkan paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Damage Control* (DC)

(2) Tinjauan secara mikro (Inter story *drift* level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan antar lantai (*story drift*) analisis *pushover* pada arah X secara mikro merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh level kinerja ketika keadaan *maximum total drift* yang paling kritis berada pada kondisi *Damage Control* (DC)

dan level kinerja ketika keadaan *maximum total inelastic drift* yang paling kritis semuanya berada pada kondisi damage *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis secara mikro maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

(3) Status kemanan dan kinerja struktur akhir

Secara keseluruhan berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis, struktur bangunan push X ditetapkan berada pada level kinerja *Damage Control* (DC). Struktur bangunan dinyatakan tahan dan aman terhadap risiko keruntuhan total (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana. Kerusakan struktural yang terjadi tergolong ringan hingga sedang, sehingga keselamatan jiwa penghuni bangunan tetap terlindungi dengan baik.

2. Tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria ATC-40 Arah Y bangunan sisi kanan

Berdasarkan hasil analisis *pushover* yang diambil berdasarkan FEMA 440, didapatkan nilai titik kinerja atau *performance point* Dt displacement sebesar 169,315 mm dengan base shear sebesar 7.194,68 kN pada tinggi struktur utama sebesar H = 17.700 mm.

a. Tingkat kinerja struktur ditinjau secara global atau makro

1) Menghitung nilai effective yield displacement (Dy) atau perpindahan leleh atap

$$\mu = \frac{D_p}{D_y}$$

$$D_y = \frac{D_p}{\mu}$$

$$= \frac{169{,}315}{1{,}204605}$$

$$= 140{,}5564 \text{ mm}$$

2) Maksimum total *drift*

$$Drift_{total} = \frac{D_t}{H}$$

$$= \frac{169{,}315}{17.700\ mm}$$

= 0,00956

3) Maksimum inelastic *drift*

$Drift_{total}$ $= \frac{D_t - Dy}{H}$

$= \frac{169{,}315\ mm - 140{,}5564\ mm}{17.700\ mm}$

= 0,001625

4) Hasil

Berdasarkan analisis *pushover* pada arah X secara global atau makro diperoleh nilai parameter *maximum total drift* sebesar 0,00956 dan nilai *maximum inelastic drift global* sebesar 0,001625. Merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 nilai *inelastic drift* makro sebesar 0,00228 memenuhi batas kriteria *Immediate Occupancy* yaitu <0,005. Selain itu nilai *total drift* makro sebesar 0,009528 memenuhi batas kriteria *Immediate Occupancy* yaitu <0,01. Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Kondisi ini menunjukkan bahwa bangunan memiliki ketahanan terhadap gempa dengan baik, tidak ada kerusakan struktur maupun non-struktur, serta memiliki tingkat risiko korban jiwa manusia yang aman, dan bangunan bisa langsung ditempati Kembali sesaat gempa berhenti.

b. Tingkat kinerja struktur ditinjau berdasarkan simpangan antar tingkat mikro

1) Menghitung simpangan total (maximum total *drift*) setiap lantai

Seberapa jauh posisi suatu titik target berada di antara dua titik data yang diketahui.

a) Factor proporsi *performance point* (f_p)

(1) Target displacement

D_t = 169,315 mm

(2) Displacement step 73

$UY_{step\ 73}$ = 167,95 mm

(3) Displacement step 74

$UY_{step\ 74}$ = 170,20 mm

(4) $f_p = \frac{D_t - UX_{step\ 73}}{UX_{step\ 74} - UX_{step\ 73}}$

$= \frac{169{,}315 - 167{,}95}{170{,}20 - 167{,}95}$

= 0,6057

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UY_p)

$UY_{p\ L.atap}$ = $UY_{step\ 73}$ + 0,3093 × ($UY_{step\ 74}$ - $UY_{step\ 73}$)

= 160,585 + 0,6057 × (162,835 - 160,585)

= 160,585 + 0,6057 × (2,250)

= 160,585 + 1,3628

= 161,948

c) Simpangan total ($\Delta_{i\ total}$)

$\Delta_{i\ total}$ = $UY_{p\ L.atap}$ - $UY_{p\ L.5}$

= 161,948 – 143,878

= 18,07 mm

d) Maksimum total *drift* (total *drift* ratio)

Total *drift* ratio $= \frac{\Delta_{i\ total}}{h_i}$

$= \frac{18{,}07}{2.850}$

= 0,0063

e) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum total *drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,0063. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun nilai rekapitulasi hasil simpangan maksimum total *drift* untuk bangunan sisi kanan arah Y dapat dilihat pada **Tabel 5.37** berikut.

Tabel 5. 37 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi Kanan Arah Y

Tingkat	h_i	$UY_{step\ 73}$	$UY_{step\ 74}$	ΔUY	UY_p	$\Delta_{i,total}$	$\frac{\Delta}{h_i}$	LK
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	160,585	162,835	2,250	161,948	18,070	0,0063	IO
Lantai 5	2.800	142,608	144,704	2,090	143,878	23,521	0,0084	IO
Lantai 4	2.800	119,213	121,101	1,888	120,357	29,626	0,0106	DC
Lantai 3	2.800	89,766	91,359	1,593	92,731	33,417	0,0119	DC
Lantai 2	2.800	56,592	57,784	1,192	57,314	31,547	0,0113	DC
Lantai 1	3.650	25,338	26,047	0,709	25,767	25,767	0,0071	IO

2) Menghitung simpangan inelastic total (*maximum total inelastic drift*) setiap lantai

a) Factor proporsi effective yield point (f_y)

(1) Target displacement

D_y = 140,5564 mm

(2) Displacement step 62

$UY_{step\ 62}$ = 140,42 mm

(3) Displacement step 63

$UY_{step\ 63}$ = 144,27 mm

(4) $f_p = \frac{D_y - UY_{step\ 62}}{UY_{step\ 63} - UY_{step\ 62}}$

$= \frac{140,5564 - 140,42}{144,27 - 140,42}$

= 0,03667

b) Menghitung interpolasi simpangan kondisi kinerja (UY_y)

$UY_{y\ L.atap}$ = $UY_{step\ 62}$ + 0,49736 × ($UY_{step\ 63}$ - $UY_{step\ 62}$)

= 132,457 + 0,03667 × (136,314 - 132,457)

= 132,457 + 0,03667 × (3,857)

= 132,457 + 0,1414

= 132,5984 mm

c) Simpangan leleh total ($\Delta_{i\ yield}$)

$\Delta_{i\ yield}$ = $UX_{y\ L.atap}$ - $UX_{y\ L.5}$

= 132,5984 – 116,9229

= 15,6756 mm

d) Simpangan *inelastic*

$\Delta_{i\ inelastis}$ = $\Delta_{i\ total}$ - $\Delta_{i\ yield}$

= 18,0703 – 15,6756

= 2,3947 mm

e) *Inelastic drift ratio*

Inelastic drift ratio = $\frac{\Delta_{i\ total} - \Delta_{i\ yield}}{h_i}$

= $\frac{2,983}{2850}$

= 0,00084

f) Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai maksimum *total inelastic drift* yang terdapat pada lantai atap ialah sebesar 0,00084. Berdasarkan kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai *doformation limits* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1, nilai tersebut memenuhi level kinerja (LK) kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Adapun nilai rekapitulasi hasil simpangan maksimum inelastic *drift* untuk bangunan sisi kanan arah Y dapat dilihat pada **Tabel 5.36** berikut

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Hasil Simpangan Maksimum total Inelastic *Drift* dan Tingkat Kinerja Bangunan Sisi kanan Arah Y

Tingkat	Elevasi	$UY_{step\ 62}$	$UY_{step\ 63}$	ΔUY	UY_y	$\Delta_{i\ yield}$	$\frac{\Delta_p - \Delta_y}{h_i}$	LK
	m	mm	mm	mm	mm	mm		
Lantai atap	2.850	132,457	136,314	3,857	132,5984	15,6756	0,00084	IO
Lantai 5	2.800	116,796	120,255	3,459	116,9229	20,3787	0,00112	IO
Lantai 4	2.800	96,436	99,385	2,949	96,5441	25,4237	0,00150	IO
Lantai 3	2.800	71,036	73,339	2,303	71,1205	28,0636	0,00191	IO
Lantai 2	2.800	43	44,551	1,551	43,0569	25,4330	0,00218	IO
Lantai 1	3.650	17,595	18,383	0,788	17,6239	17,6239	0,00223	IO

c. Menentukan tingkat kinerja struktur yang paling kritis diantara makro dan mikro

Berdasarkan hasil analisis tingkat kinerja struktur bangunan pada arah Y bangunan sebelah kiri yaitu secara makro dan mikro yang mana mengacu pada kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai doformation limits yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 didapatkan Kesimpulan ialah sebagai berikut.

1) Tinjauan secara makro (Global Structural Level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan total struktur, struktur memiliki *total drift* sebesar 0,009565 dan *inelastic drift* sebesar 0,0016247. Berdasarkan paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

2) Tinjauan secara mikro (Inter story *drift* level)

Berdasarkan tinjauan dari simpangan antar lantai (*story drift*) analisis *pushover* pada arah Y secara mikro merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh level kinerja ketika keadaan *maximum total drift* yang paling kritis berada pada kondisi *Damage Control* (DC) dan level kinerja ketika keadaan *maximum total inelastic drift* yang paling kritis semuanya berada pada kondisi damage *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis secara mikro maka ditetapkan struktur berada pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

3) Status kemanan dan kinerja struktur akhir

Secara keseluruhan berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis, struktur bangunan push Y ditetapkan berada pada level kinerja *Damage Control* (DC). Struktur bangunan dinyatakan tahan dan aman terhadap risiko keruntuhan total (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana. Kerusakan struktural yang terjadi tergolong ringan hingga sedang, sehingga keselamatan jiwa penghuni bangunan tetap terlindungi dengan baik.

3. Menentukan kinerja struktur secara keseluruhan berdasarkan kriteria ATC-40 bangunan sisi kanan

Berdasarkan hasil analisis tingkat kinerja struktur bangunan pada arah X dan arah Y bangunan sebelah kanan yang masing-masing dianalisis secara makro dan mikro yang mana mengacu pada kriteria penilaian tingkat kinerja pada Tabel 11-2 mengenai doformation limits yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 didapatkan kesimpulan akhir untuk kinerja bangunan yang terdapat di sebelah kanan ialah sebagai berikut.

a. Tinjauan keseluruhan tingkat kinerja bangunan sisi kanan arah X

Berdasarkan tinjauan baik secara makro maupun mikro pada bangunan sisi kanan arah X, merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh tingkat kinerja yang paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

b. Tinjauan keseluruhan tingkat kinerja bangunan sisi kanan arah Y

Berdasarkan tinjauan baik secara makro maupun mikro pada bangunan sisi kanan arah Y, merujuk pada Tabel 11-2 mengenai *deformation limit* yang terdapat pada ATC-40 Vol 1 diperoleh tingkat kinerja yang paling kritis struktur terdapat pada kategori kinerja *Damage Control* (DC).

c. Status kemanan dan kinerja struktur akhir pada bangunan sisi kanan

Secara keseluruhan berdasarkan tingkat kinerja yang paling kritis, struktur bangunan sisi kanan ditetapkan berada pada level kinerja *Damage Control* (DC). Struktur bangunan dinyatakan tahan dan aman terhadap risiko keruntuhan total (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana. Kerusakan struktural yang terjadi tergolong ringan hingga sedang, sehingga keselamatan jiwa penghuni bangunan tetap terlindungi dengan baik

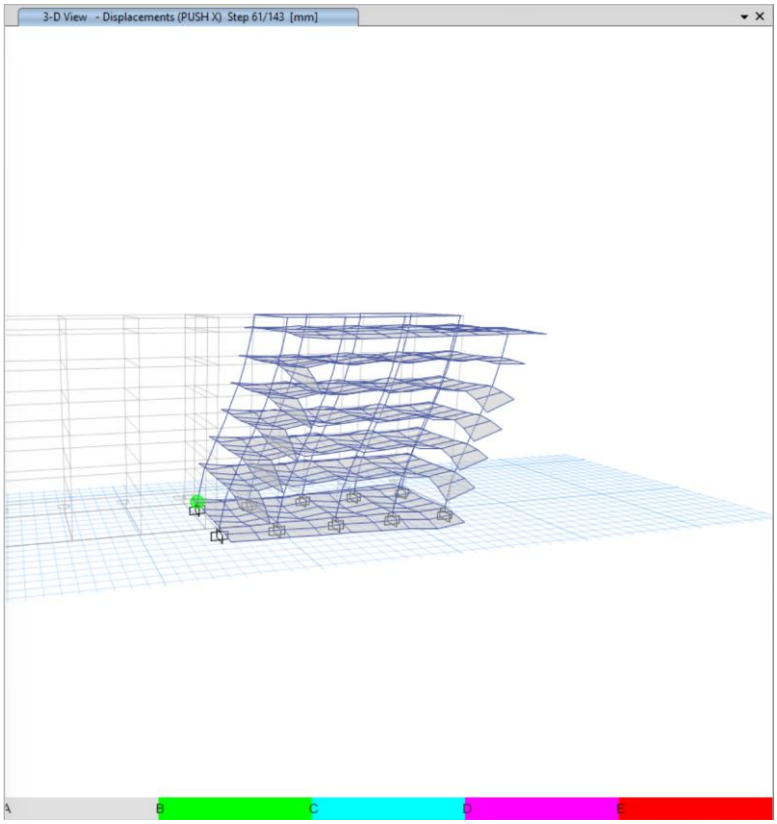
5.6.4 Mekanisme Sendi Plastis Bangunan Sisi Kanan

Analisis sendi plastis atau *plastic hinge* dilakukan untuk mengetahui titik lokasi kerusakan dan bagaimana pola penyebaran retak/leleh pada elemen struktur

balok dan kolom saat gedung diguncang gempa. Sendi plastis sendiri merupakan bagian pada ujung-ujung balok atau kolom yang sengaja didesain untuk mengalami pelelehan terlebih dahulu guna menyerap dan meredam energi gempa, sehingga gedung tidak langsung runtuh seketika. Adapun berdasarkan analisis *pushover* didapatkan mekanisme sendi plastis ialah sebagai berikut.

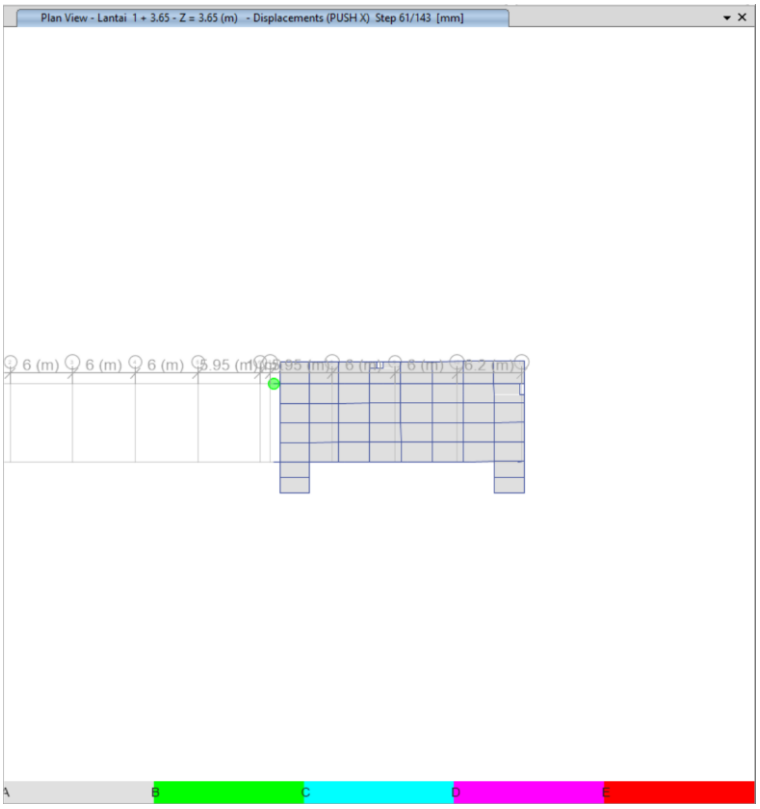
1. Mekanisme sendi plastis arah X
    a. Sendi plastis leleh pertama kali pada arah X

        Pertama kali sendi plastis arah X terjadi pada step ke 61. Pada step tersebut gedung baru mulai memasuki perilaku nonlinear saat mengalami *base shear* sebesar 5.028,89 kN pada saat bangunan mengalami displacement sejauh 137,25 mm. sendi yang menglami plastis awal terjadi pada 1 kolom yaitu kolom C20 yang berada di As 4B lantai 1 pada saat fase B-C yang ditandai bulatan berwarna hijau, di mana sendi mulai mengalami pelelehan pertama kali. Pembentukan satu sendi plastis tersebut penanda awal bahwa struktur bawah mulai menyerap dan meredam energi gempa secara daktil sebelum kerusakan merambat ke kolom-kolom utama lainnya di step-step berikutnya. Adapun untuk sendi plastis leleh pertama kali pada arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.104** dan **Gambar 5.105** halaman berikutnya.



Gambar 5. 104 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kanan

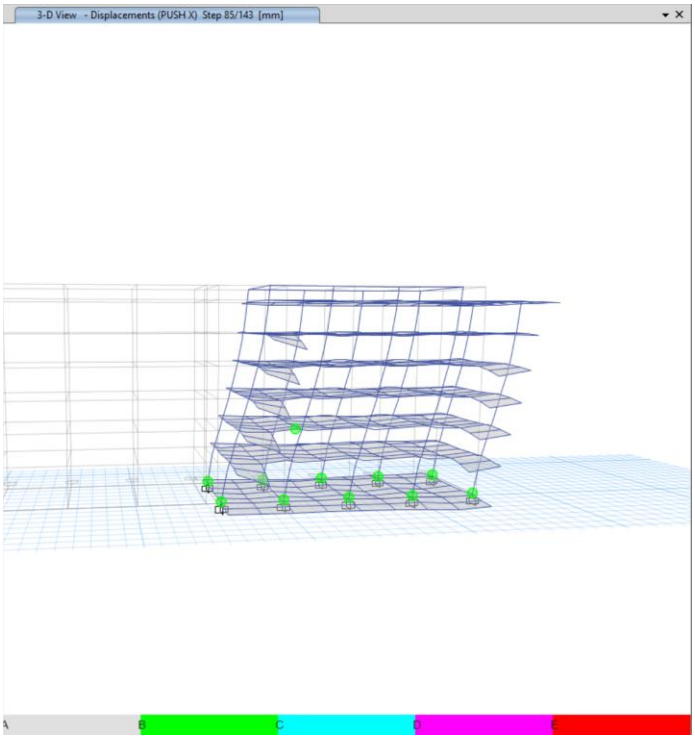
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



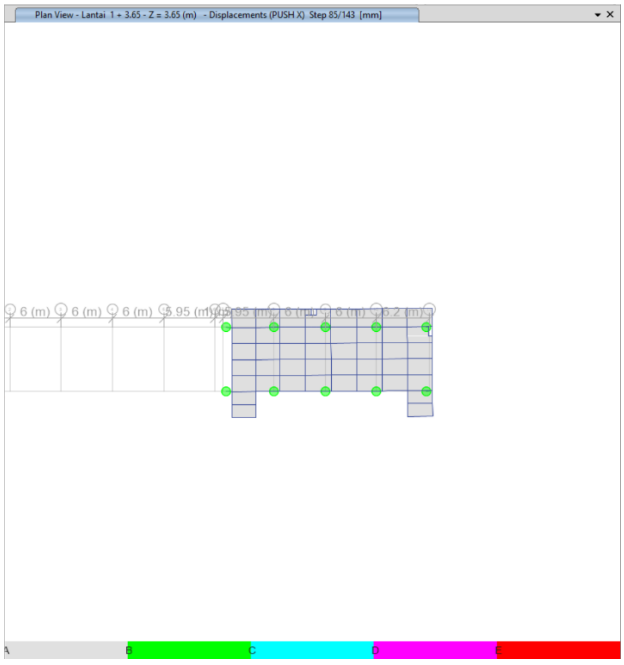
Gambar 5. 105 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

b. Sendi plastis terjadi di titik *performance point* bangunan sisi kanan

Struktur mencapai pada titik *performance point* yaitu pada saat berada di antara step 84 sampai 85, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 191,263 mm dan *base shear* sebesar 6.360,92 kN. Pada saat *step* di titik performance ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 10-11 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik *performance point* dapat dilihat pada **Gambar 5.106** berikut dan **Gambar 5.107** halaman berikutnya.



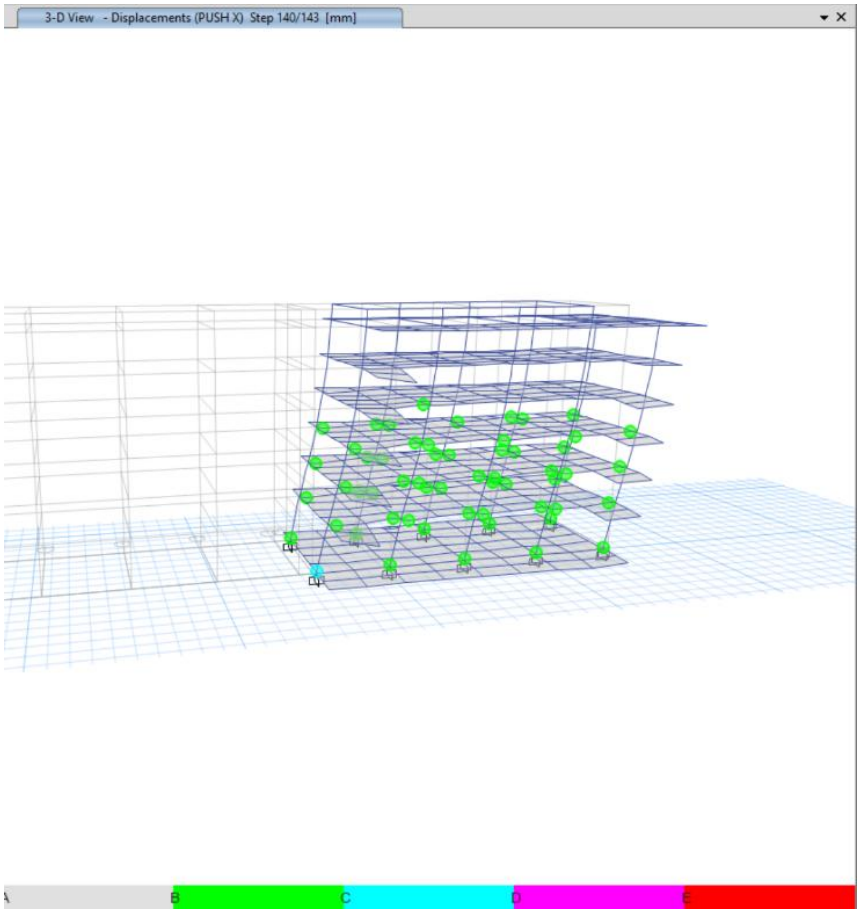
Gambar 5. 106 Sendi Plastis Titik Performnace Point pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi Kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 107 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi Kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

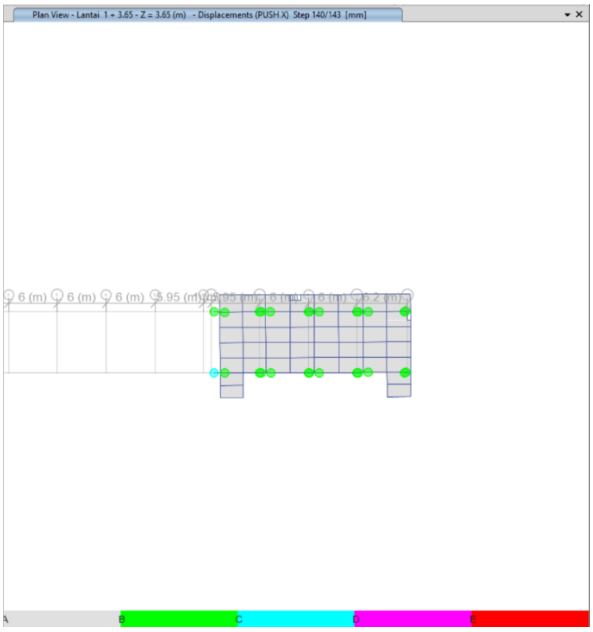
c. Sendi plastis terjadi di titik kapasitas maksimum

Struktur mencapai pada titik kapasitas maksimum yaitu pada saat step ke-140, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 316,96 mm dan *base shear* sebesar 7.933,41 kN. Pada saat *step* di titik kapasitas ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 55 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Serta 1 sendi plastis baru mengalami kapasitas maksimumnya yaitu pada kondisi C-D. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik kapasitas dapat dilihat pada **Gambar 5.108** berikut dan **Gambar 5.109** halaman berikutnya.



Gambar 5. 108 Sendi Plastis Titik Kapasitas Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

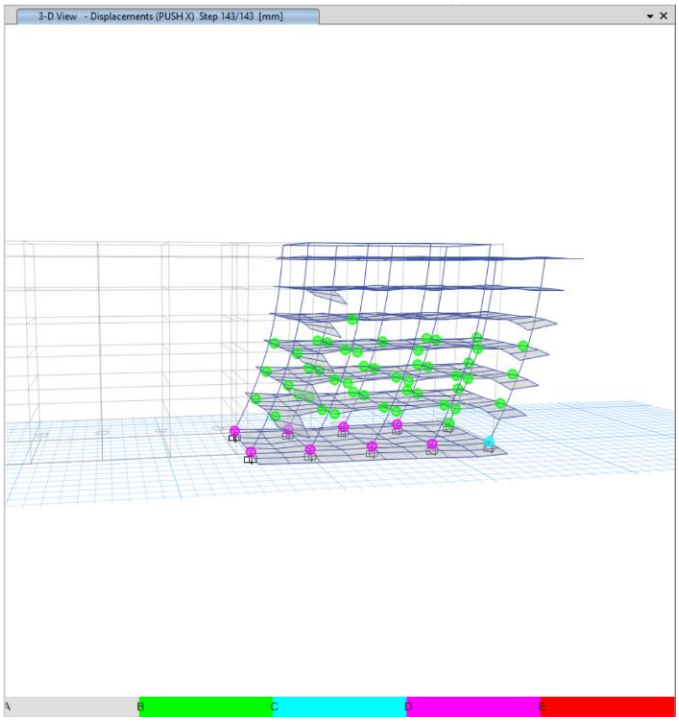


Gambar 5. 109 Sendi Plastis Titik Kapasitas pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

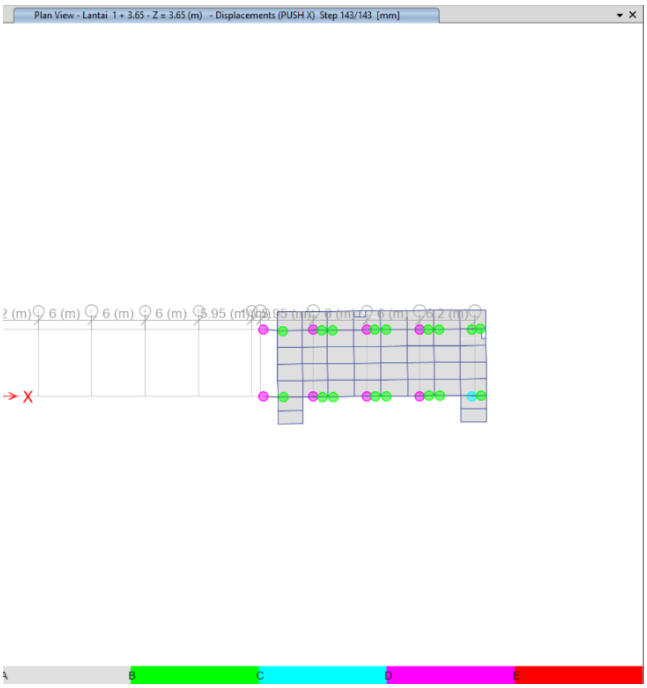
d. Sendi plastis berada di batas akhir analisis arah X

Pada titik akhir arah X yang berada pada step 143, beberapa komponen sendi telah melewati batas elastisnya yaitu dari 318 buah sendi plastis sebanyak 56 sendi plastis sudah melewati batas elastisnya. Pada step 143, sebanyak 47 sendi berada pada kondisi plastis B-C. Kerusakan struktural yang lebih serius terdapat pada beberapa elemen lantai 1, di mana terdapat 1 sendi plastis yang telah memasuki rentang C-D yang ditandai bulatan warna biru muda dan sebanyak 8 sendi plastis telah berada pada rentang D-E yang ditandai bulatan warna ungu yang menggambarkan kondisi sendi berada pada kekuatan sisa. Masuknya 8 sendi plastis ke rentang D-E ini menggambarkan terjadinya penurunan kekuatan secara signifikan pada elemen kolom dasar bangunan akibat gaya lateral maksimum gempa arah X. Adapun untuk sendi plastis batas akhir analisis arah X dapat dilihat pada **Gambar 5.110** dan **Gambar 5.111** halaman berikutnya.



Gambar 5. 110 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



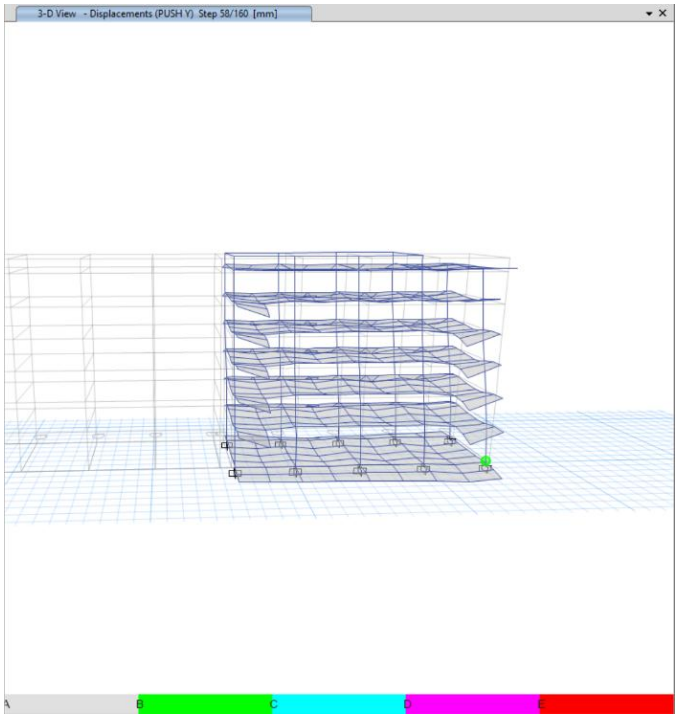
Gambar 5. 111 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah X Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

2. Mekanisme sendi plastis arah Y bangunan sisi kanan

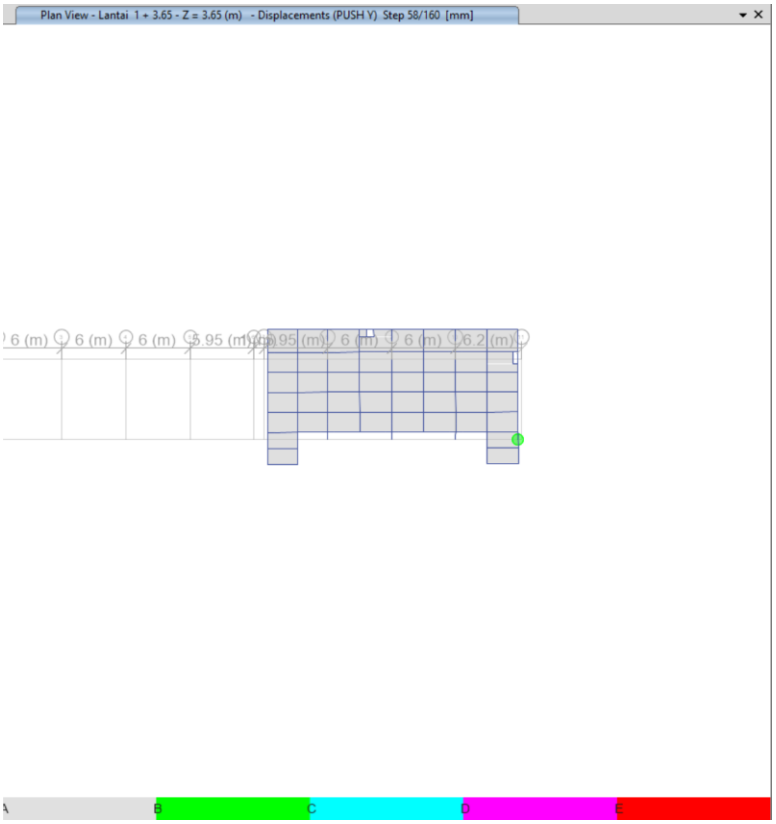
a. Sendi plastis leleh pertama kali pada arah Y bangunan sisi kanan

Pertama kali sendi plastis arah Y terjadi pada step ke-58. Pada step tersebut gedung baru mulai memasuki perilaku nonlinear saat mengalami simpangan *base shear* sebesar 6.051,45 kN pada saat bangunan mengalami displacement sejauh 130,23 mm. Sendi yang mengalami plastis pertama kali terjadi pada 1 kolom yaitu kolom C22 yang berada di As 1B lantai 1 pada saat fase B-C yang ditandai bulatan berwarna hijau, di mana sendi mulai mengalami pelelehan pertama kali. Pembentukan satu sendi plastis tersebut penanda awal bahwa struktur bawah mulai menyerap dan meredam energi gempa secara daktil sebelum kerusakan merambat ke kolom-kolom utama lainnya di step-step berikutnya. Adapun untuk sendi plastis leleh pertama kali pada arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.112** berikut dan **Gambar 5.113** halaman berikutnya.



Gambar 5. 112 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

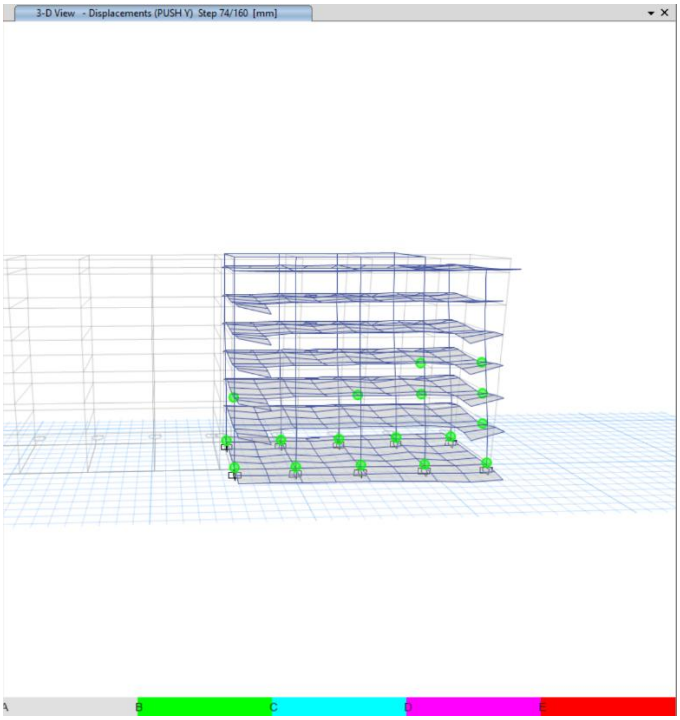


Gambar 5. 113 Sendi Plastis Pertama Kali pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan

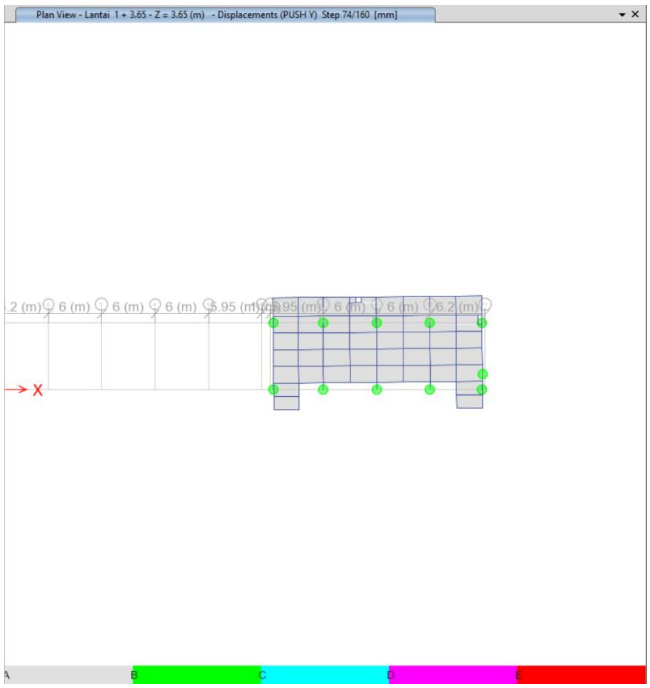
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

b. Sendi plastis terjadi di titik *performance point* bangunan sisi kanan

Struktur mencapai pada titik *performance point* yaitu pada saat berada di antara step 73 sampai 74, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 169,315 mm dan *base shear* sebesar 7.194,68 kN. Pada saat *step* di titik performance ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 15-17 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik *performance point* dapat dilihat pada **Gambar 5.114** dan **Gambar 5.115** halaman berikutnya.



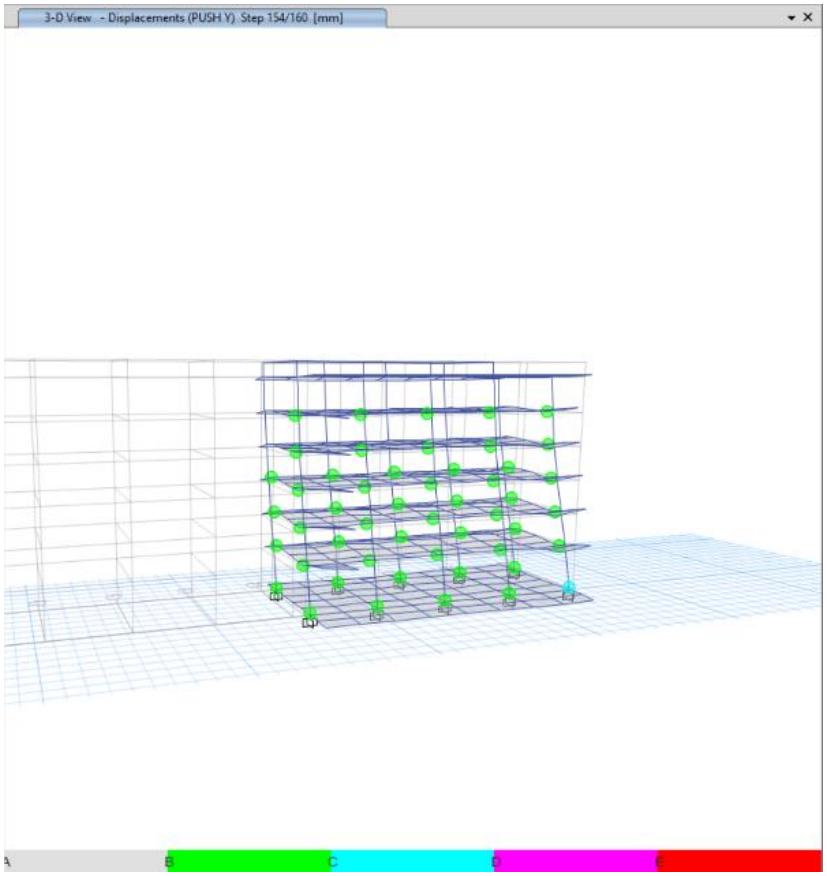
Gambar 5. 114 Sendi Plastis Titik *Performance point* Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 115 Sendi Plastis Titik *Performance point* pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

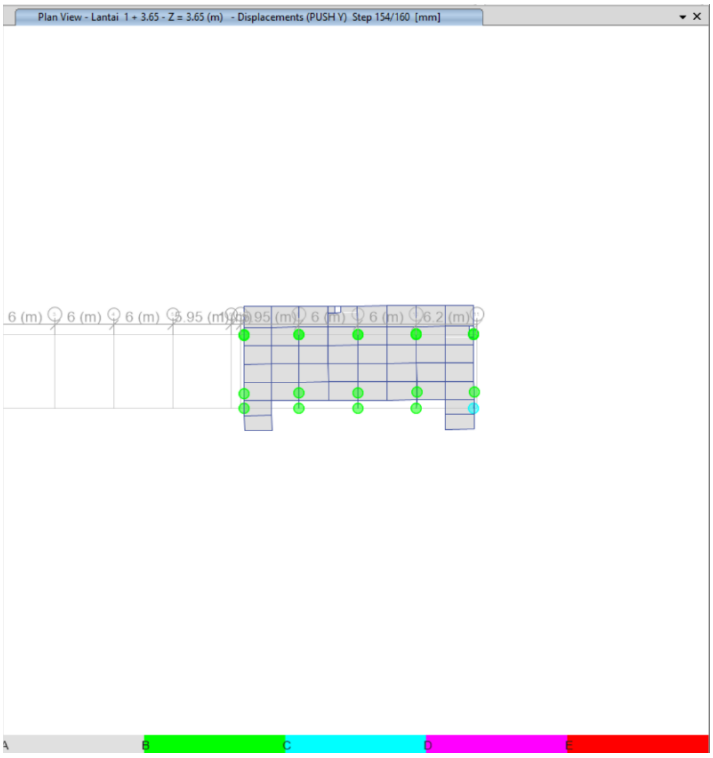
c. Sendi plastis terjadi di titik kapasitas maksimum bangunan sisi kanan

Struktur mencapai pada titik kapasitas maksimum yaitu pada saat step ke-154, yang mana terjadi ketika struktur berada pada simpangan sejauh 349,11 mm dan *base shear* sebesar 9.055,34 kN. Pada saat *step* di titik kapasitas ini, perilaku komponen struktur menunjukkan penyebaran sendi plastis sebanyak 55 buah pada kondisi B-C yaitu telah melewati batas elastisnya. Serta 1 sendi plastis baru mengalami kapasitas maksimumnya yaitu pada kondisi C-D. Adapun untuk sendi plastis terjadi di titik kapasitas dapat dilihat pada **Gambar 5.116** berikut dan **Gambar 5.117** halaman berikutnya.



Gambar 5. 116 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan

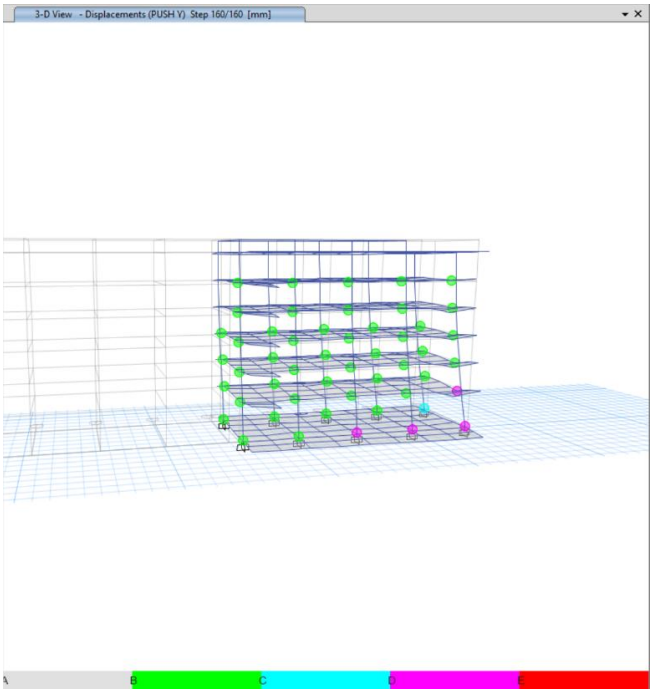
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 117 Sendi Plastis Titik Kapasitas Maksimum pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan
(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

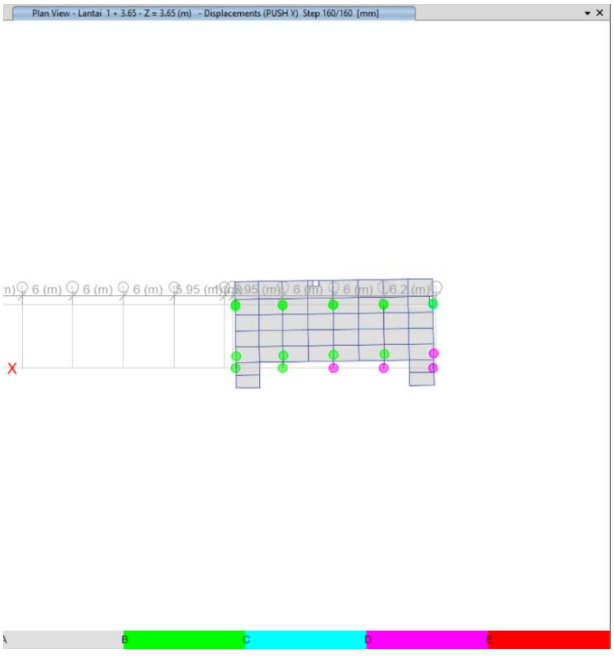
d. Sendi plastis berada di batas akhir analisis arah Y bangunan sisi kanan

Pada titik akhir arah Y yang berada pada step 160, beberapa komponen sendi telah melewati batas elastisnya yaitu dari 318 buah sendi plastis sebanyak 50 sendi plastis sudah melewati batas elastisnya. Pada step 160, sebanyak 45 sendi berada pada kondisi plastis B-C yang ditandai bulatan warna hijau dan sebanyak 1 sendi plastis pada kondisi C-D yang ditandai bulatan warna biru, serta 4 sendi plastis telah berada pada rentang D-E yang ditandai dengan berwarna ungu. Masuknya 4 sendi plastis ke rentang D-E ini menggambarkan terjadinya penurunan kekuatan secara signifikan pada elemen kolom dasar bangunan akibat gaya lateral maksimum gempa arah Y. Adapun untuk sendi plastis batas akhir analisis arah Y dapat dilihat pada **Gambar 5.118** dan **Gambar 5.119** halaman berikutnya.



Gambar 5. 118 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Z Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)



Gambar 5. 119 Sendi Plastis Batas Akhir pada Arah Y Tampak X-Y Bangunan Sisi kanan

(Sumber: Pemodelan Gedung Parkir Bertingkat RSUP Dr. Sardjito pada ETABS v22)

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang sudah dilakukan terhadap Gedung Parkir Sepeda Motor RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta, maka dapat disimpulkan ialah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil kurva kapasitas

   Berdasarkan hasil kurva kapasitas, baik struktur sisi kiri maupun sisi kanan menunjukkan bahwa arah Y memiliki tingkat kekakuan lateral dan kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan arah X akibat geometri bangunan yang memanjang ke sumbu X. Pada struktur sisi kiri, arah Y mampu memikul gaya geser dasar (*base shear*) maksimum sebesar 11.698,07 kN dengan perpindahan (*displacement*) 300,70 mm, sedangkan arah X lebih fleksibel mencapai kapasitas maksimum 11.474,62 kN pada perpindahan 311,84 mm (pada beban setara ~11.474 kN, simpangan arah Y hanya mengalami perpindahan sebesar 282,70 mm). Pola serupa terjadi pada struktur sisi kanan, di mana arah Y mampu menahan base shear maksimum hingga 9.055,34 kN, jauh melampaui arah X yang hanya mencapai 7.933,41 kN dengan perpindahan 316,96 mm, saat menerima beban lateral sebesar kapasitas maksimum arah X tersebut, arah Y hanya mengalami perpindahan sebesar 222,54 mm.

2. Tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria ATC-40 Vol 1 pada saat terjadi *performance point*

   Berdasarkan hasil evaluasi *performance point* yang mengacu pada batas deformasi ATC-40 Vol. 1 (Tabel 11-2) mengenai *deformation limits*, baik tinjauan makro maupun mikro pada arah X dan arah Y menunjukkan bahwa struktur bangunan sisi kiri dan sisi kanan berada pada tingkat kinerja kritis yang sama, yaitu *Damage Control* (DC). Dengan level kinerja tersebut, keseluruhan struktur gedung parkir dinyatakan aman terhadap risiko

keruntuhan (*structural collapse*) akibat beban gempa rencana, dengan tingkat kerusakan struktural tergolong ringan hingga sedang sehingga keselamatan jiwa penghuni (*life safety*) tetap terjamin dan aman.

3. Berdasarkan mekanisme sendi plastis

   Berdasarkan tinjauan mekanisme sendi plastis saat kondisi *performance point*, pelelehan pertama kali teridentifikasi terjadi pada elemen kolom (kolom C3 arah X dan C15 arah Y pada sisi kiri, serta kolom C20 arah X dan C22 arah Y pada sisi kanan) sebelum pelelehan selanjutnya disusul oleh balok utama, yang mana dengan terjadinya pelelehan tersebut mengindikasikan struktur mengalami mekanisme weak column - strong beam. Meskipun demikian, merujuk pada kriteria ATC-40 Tabel 11-1 yang terdapat pada chapter 11 yang mana menjelaskan mengenai acuan visual dan fisik untuk mendeskripsikan kondisi kerusakan elemen struktur pada setiap tingkatan level kinerja gempa, untuk level kinerja *Damage Control* (DC), kerusakan struktural masih dalam batas aman dan terkendali, kolom hanya mengalami retak lentur atau geser terbatas dengan sedikit pengelupasan selimut beton tanpa simpangan horizontal permanen, sedangkan balok hanya mengalami pengelupasan terbatas di dekat sambungan balok-kolom serta retak lentur lokal tanpa lendutan vertikal permanen, sehingga kapasitas penahan beban gravitasi dan stabilitas struktur pascagempa tetap terjaga dan aman.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran untuk mengembangkan penelitian analisis *pushover* yang mana merupakan cara untuk mengetahui dan mengevaluasi suatu kinerja struktur, ialah sebagai berikut.

1. Mengintegrasikan evaluasi analisis *pushover* secara bersamaan ke dalam proses detailing desain, perhitungan, dan penulangan elemen dinding geser (*shear wall*).
2. Melakukan evaluasi kinerja seismik dengan membandingkan metode ATC-40 terhadap standar evaluasi lain, seperti FEMA 356, FEMA 440, maupun

ASCE 41-17, guna meninjau variasi target perpindahan dan tingkat kinerja struktur yang dihasilkan.

3. Menggunakan peraturan atau pedoman terbaru mengenai analisis evaluasi kinerja bangunan tahan gempa, seperti pedoman SNI 9273:2025.
4. Pada saat melakukan running analisis push over, disarankan menggunakan perangkat komputasi dengan spesifikasi pemrosesan tinggi yang bertujuan untuk mempercepat waktu analisis non-linear yang memerlukan iterasi berulang serta mencegah kendala kegagalan konvergensi selama proses simulasi berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

ATC-40. (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Redwood City, CA: Applied Technology Council. In *Seismic safety commisionsion* (Vol. 1, Issue November 1996, p. 334).

Bima Setyadi M. (2023). EVALUASI SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN ANALISIS STATIK NONLINIER (*PUSHOVER*)MENGGUNAKAN PROGRAM ETABS (Studi Kasus : Gedung Multazam Asrama Haji, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung). *Universitas Islam Indonesia*.

Cahyani, D. I., Budiman, E., Haryanto, B., Abdi, F. N., & Widiastuti, M. (2022). ANALISIS *PUSHOVER* UNTUK *PERFORMANCE-BASED DESIGN* PADA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETABS (Studi Kasus : Proyek Hotel Fox Harris Lite di Jln. S.Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur). *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, *6*(1), 30. https://doi.org/10.30872/ts.v6i1.7721

Dewobroto, W. (2006). Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*, *3*(1), 17–18.

H.Manalip, Reky s, Windah, Servie O, D. (2019). *Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat*. *2*(4), 201–213.

Handayani, E. E., Ramdaniati, S. N., Himmawan, L. S., & Adnan, A. (2024). *MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI DALAM MENINGKATKAN KESIAPSIAGAAN SISWA SD NEGERI GOMBONG 4 DESA TANJUNG JAYA , KECAMATAN PANIMBANG KABUPATEN PANDEGLANG EARTHQUAKE DISASTER MITIGATION IN IMPROVING THE PREPAREDNESS OF STUDENTS OF GOMBONG 4 ELEMENTARY SCHOOL , TANJUNG JAYA VILLAGE , PANIMBANG SUB-DISTRICT ,*. *1*, 30–36.

Hudoyo, B. (2017). Bab III Landasan Teori (SPT). *Universitas Islam Indonesia*,

1, 1–15.

Kasus, S., & Rumah, G. (2010). *Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program Sap 2000 Nur Rachmad Afandi I 0104118*.

KPU (Ministry of Public Works). (1989). *Loading Design Guide for Homes and Buildings*.

Malikussaleh, U., Batu, K. M., Utara, A., Function, A. R., & Bumi, G. (2011). *Kaitan antara teori gelombang dan jalur rekahan gempa bumi melalui*.

Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis *Pushover* pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, *2*(4), 214–224.

Mauliddiyah, N. L. (2021). *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title*. 6.

Muntafi, Y. (2012). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Dpu Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis *Pushover*. *Simposium Nasional Rapi XI FT UMS 2012*, 69–70.

Nugraha, H. (2021). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APSLC UGM dengan Metode Analisis *Pushover* sesuai Peraturan SNI-1726-2019. *Tugas Akhir*.

Pendahuluan, B. A. B. (2016). *Bab 1. pendahuluan 1.1. 28*, 1–8.

Prawirodikromo, W. (2012). *F;If: 0.1 1 10*.

Sipil, F. T. (n.d.). *PERBANDINGAN PENGGUNAAN METODE FORCE BASED DESIGN (FBD) DENGAN METODE PERFORMANCE-BASED DESIGN (PBD) DALAM PERANCANGAN HOTEL*.

Sistem, D., & Standar, P. (2020). *Penerapan Standar Nasional Indonesia*. *8*.

Suwandi, H. P. (2019). Analisis Gempa Non-Linear Static *Pushover* Dengan Metode Atc-40 Untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, *1*(1), 35. https://doi.org/10.32585/modulus.v1i1.379

Syahira, M. S. (2020). Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis *Pushover* Berdasarkan Atc-40. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201*, *2*(1), 41–49.

Thoriq Maulana, M., Hilmi Habibullah, M., Sunandar, Sholihah, N., Ainul Rifqi L. P., M., & Fahrudin, F. (2015). Laporan Akhir Laporan Akhir. *Laporan*

Akhir, *1*(201310200311137), 78–79.

Ummah, M. S. (2019). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
1	2.25	115.52	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
2	4.50	231.04	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
3	6.75	346.58	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
4	9.00	462.10	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
5	11.25	577.62	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
6	13.50	693.17	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
7	15.75	808.69	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
8	18.00	924.23	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
9	20.25	1039.75	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
10	22.50	1155.29	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
11	24.75	1270.81	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
12	27.00	1386.35	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
13	29.25	1501.87	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
14	31.50	1617.41	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
15	33.75	1732.93	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
16	36.00	1848.48	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
17	38.25	1964.00	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
18	40.50	2079.54	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
19	42.75	2195.07	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
20	45.00	2310.61	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
21	47.25	2426.14	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
22	49.50	2541.68	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
23	51.75	2657.21	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
24	54.00	2772.75	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
25	56.25	2888.29	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388

Lanjutan Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
26	58.50	3003.83	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
27	60.75	3119.36	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
28	63.00	3234.90	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
29	65.25	3350.44	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
30	67.50	3465.98	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
31	69.75	3581.52	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
32	72.00	3697.06	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
33	74.25	3812.60	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
34	76.50	3928.14	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
35	78.75	4043.68	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
36	81.00	4159.22	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
37	83.25	4274.76	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
38	85.50	4390.30	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
39	87.75	4505.84	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
40	90.00	4621.39	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
41	92.25	4736.93	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
42	94.50	4852.47	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
43	96.75	4968.02	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
44	99.00	5083.56	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
45	101.25	5199.11	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
46	103.50	5314.65	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
47	105.75	5430.20	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
48	108.00	5545.74	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
49	110.25	5661.29	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
50	112.50	5776.83	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
51	114.75	5892.38	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388

Lanjutan Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
52	117.00	6007.93	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
53	119.25	6123.48	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
54	121.50	6239.03	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
55	123.75	6354.57	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
56	126.00	6470.12	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
57	128.25	6585.67	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
58	130.50	6701.22	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
59	132.75	6816.77	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
60	135.00	6932.32	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
61	137.25	7047.88	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
62	139.50	7163.43	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
63	141.28	7253.70	386	2	0	0	0	388	0	0	0	388
64	144.86	7428.70	381	7	0	0	0	388	0	0	0	388
65	148.65	7588.77	378	10	0	0	0	388	0	0	0	388
66	150.90	7676.08	377	11	0	0	0	388	0	0	0	388
67	154.34	7784.55	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
68	156.59	7852.74	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
69	158.84	7920.81	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
70	161.09	7986.25	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
71	163.34	8052.95	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
72	165.59	8117.88	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
73	167.84	8183.89	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
74	170.09	8248.96	376	12	0	0	0	388	0	0	0	388
75	172.34	8313.82	376	12	0	0	0	387	1	0	0	388
76	174.59	8378.53	376	12	0	0	0	384	4	0	0	388
77	176.84	8445.57	376	12	0	0	0	381	7	0	0	388

Lanjutan Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
78	179.09	8511.81	376	12	0	0	0	379	9	0	0	388
79	181.34	8576.20	376	12	0	0	0	379	9	0	0	388
80	183.59	8640.50	376	12	0	0	0	377	11	0	0	388
81	185.84	8704.84	376	12	0	0	0	377	11	0	0	388
82	188.09	8769.16	376	12	0	0	0	377	11	0	0	388
83	190.34	8833.50	376	12	0	0	0	376	12	0	0	388
84	192.59	8897.84	376	12	0	0	0	376	12	0	0	388
85	194.84	8962.18	376	12	0	0	0	376	12	0	0	388
86	197.09	9026.42	376	12	0	0	0	376	12	0	0	388
87	199.34	9090.77	375	13	0	0	0	376	12	0	0	388
88	201.59	9154.64	375	13	0	0	0	376	12	0	0	388
89	203.84	9218.36	375	13	0	0	0	376	12	0	0	388
90	206.09	9282.10	375	13	0	0	0	376	12	0	0	388
91	208.34	9348.84	375	13	0	0	0	376	12	0	0	388
92	210.59	9414.48	371	17	0	0	0	376	12	0	0	388
93	212.84	9476.88	369	19	0	0	0	376	12	0	0	388
94	215.09	9537.22	367	21	0	0	0	376	12	0	0	388
95	217.34	9596.14	365	23	0	0	0	376	12	0	0	388
96	219.59	9654.85	365	23	0	0	0	376	12	0	0	388
97	221.84	9715.93	360	28	0	0	0	376	12	0	0	388
98	224.09	9771.83	358	30	0	0	0	376	12	0	0	388
99	226.34	9824.69	358	30	0	0	0	376	12	0	0	388
100	228.59	9874.48	355	33	0	0	0	376	12	0	0	388
101	230.84	9928.32	355	33	0	0	0	376	12	0	0	388
102	233.09	9978.68	355	33	0	0	0	376	12	0	0	388
103	235.34	10031.19	353	35	0	0	0	376	12	0	0	388

Lanjutan Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
104	237.59	10079.00	352	36	0	0	0	376	12	0	0	388
105	239.84	10131.03	352	36	0	0	0	376	12	0	0	388
106	242.09	10179.81	352	36	0	0	0	376	12	0	0	388
107	244.34	10224.43	351	37	0	0	0	376	12	0	0	388
108	246.59	10276.07	351	37	0	0	0	376	12	0	0	388
109	248.84	10324.27	350	38	0	0	0	376	12	0	0	388
110	251.09	10373.75	347	41	0	0	0	376	12	0	0	388
111	253.34	10418.28	346	42	0	0	0	376	12	0	0	388
112	255.59	10467.26	344	44	0	0	0	376	12	0	0	388
113	257.84	10512.84	342	46	0	0	0	376	12	0	0	388
114	260.09	10557.62	342	46	0	0	0	376	12	0	0	388
115	262.34	10603.73	341	47	0	0	0	376	12	0	0	388
116	264.59	10649.50	341	47	0	0	0	376	12	0	0	388
117	266.84	10693.82	337	51	0	0	0	376	12	0	0	388
118	269.09	10736.36	337	51	0	0	0	376	12	0	0	388
119	271.34	10779.36	337	51	0	0	0	376	12	0	0	388
120	273.59	10824.00	336	52	0	0	0	376	12	0	0	388
121	275.84	10866.12	333	55	0	0	0	375	13	0	0	388
122	278.09	10907.26	331	57	0	0	0	375	13	0	0	388
123	280.34	10947.13	327	61	0	0	0	374	14	0	0	388
124	282.59	10985.41	326	62	0	0	0	374	14	0	0	388
125	284.84	11024.64	325	63	0	0	0	374	14	0	0	388
126	287.09	11062.58	325	63	0	0	0	373	15	0	0	388
127	289.34	11099.99	325	63	0	0	0	373	15	0	0	388
128	291.59	11137.39	325	63	0	0	0	373	15	0	0	388
129	293.84	11175.00	325	63	0	0	0	372	16	0	0	388

Lanjutan Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
130	296.09	11212.76	325	63	0	0	0	371	17	0	0	388
131	298.34	11250.26	325	63	0	0	0	371	17	0	0	388
132	300.59	11288.14	324	64	0	0	0	371	17	0	0	388
133	302.84	11325.39	324	64	0	0	0	369	19	0	0	388
134	305.09	11363.06	324	64	0	0	0	368	20	0	0	388
135	307.34	11400.13	324	64	0	0	0	365	23	0	0	388
136	309.59	11437.75	323	65	0	0	0	362	26	0	0	388
137	311.84	11474.62	323	64	1	0	0	362	26	0	0	388
138	311.84	11229.57	323	64	0	1	0	360	28	0	0	388
139	314.09	11276.55	323	64	0	1	0	358	30	0	0	388
140	314.63	11287.26	323	63	1	1	0	358	30	0	0	388
141	249.07	7445.62	323	60	1	4	0	358	30	0	0	388
130	296.09	11212.76	325	63	0	0	0	371	17	0	0	388
131	298.34	11250.26	325	63	0	0	0	371	17	0	0	388
132	300.59	11288.14	324	64	0	0	0	371	17	0	0	388
133	302.84	11325.39	324	64	0	0	0	369	19	0	0	388
134	305.09	11363.06	324	64	0	0	0	368	20	0	0	388
135	307.34	11400.13	324	64	0	0	0	365	23	0	0	388
136	309.59	11437.75	323	65	0	0	0	362	26	0	0	388
137	311.84	11474.62	323	64	1	0	0	362	26	0	0	388
138	311.84	11229.57	323	64	0	1	0	360	28	0	0	388
139	314.09	11276.55	323	64	0	1	0	358	30	0	0	388
140	314.63	11287.26	323	63	1	1	0	358	30	0	0	388
141	249.07	7445.62	323	60	1	4	0	358	30	0	0	388

Lampiran 2 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
1	2.25	140.01	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
2	4.50	280.03	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
3	6.75	420.04	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
4	9.00	560.05	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
5	11.25	700.07	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
6	13.50	840.08	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
7	15.75	980.09	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
8	18.00	1120.10	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
9	20.25	1260.12	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
10	22.50	1400.13	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
11	24.75	1540.14	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
12	27.00	1680.15	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
13	29.25	1820.15	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
14	31.50	1960.16	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
15	33.75	2100.17	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
16	36.00	2240.17	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
17	38.25	2380.18	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
18	40.50	2520.18	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
19	42.75	2660.18	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
20	45.00	2800.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
21	47.25	2940.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
22	49.50	3080.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
23	51.75	3220.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
24	54.00	3360.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
25	56.25	3500.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
26	58.50	3640.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
27	60.75	3780.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
28	63.00	3920.19	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
29	65.25	4060.18	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
30	67.50	4200.18	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
31	69.75	4340.18	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
32	72.00	4480.17	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
33	74.25	4620.17	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
34	76.50	4760.16	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
35	78.75	4900.15	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
36	81.00	5040.14	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
37	83.25	5180.14	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
38	85.50	5320.13	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
39	87.75	5460.12	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
40	90.00	5600.11	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
41	92.25	5740.09	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
42	94.50	5880.08	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
43	96.75	6020.07	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
44	99.00	6160.06	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
45	101.25	6300.04	388	0	0	0	0	388	0	0	0	388
46	103.50	6440.03	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
47	105.75	6577.17	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
48	108.00	6713.78	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
49	110.25	6850.06	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
50	112.50	6986.40	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
51	114.75	7122.74	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
52	117.00	7259.12	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
53	119.25	7395.37	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
54	121.50	7531.70	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
55	123.75	7668.04	387	1	0	0	0	388	0	0	0	388
56	126.00	7804.37	385	3	0	0	0	388	0	0	0	388
57	128.12	7927.96	384	4	0	0	0	388	0	0	0	388
58	131.89	8123.96	381	7	0	0	0	388	0	0	0	388
59	134.14	8231.55	381	7	0	0	0	388	0	0	0	388
60	137.56	8381.97	379	9	0	0	0	388	0	0	0	388
61	141.63	8554.67	377	11	0	0	0	387	1	0	0	388
62	143.88	8640.96	375	13	0	0	0	387	1	0	0	388
63	147.70	8777.14	374	14	0	0	0	387	1	0	0	388
64	149.95	8856.30	373	15	0	0	0	387	1	0	0	388
65	152.20	8929.84	373	15	0	0	0	387	1	0	0	388
66	154.45	9000.13	373	15	0	0	0	387	1	0	0	388
67	156.70	9074.68	372	16	0	0	0	387	1	0	0	388
68	158.95	9137.23	371	17	0	0	0	387	1	0	0	388
69	161.20	9205.29	371	17	0	0	0	386	2	0	0	388
70	163.45	9265.02	371	17	0	0	0	386	2	0	0	388
71	165.70	9330.65	369	19	0	0	0	385	3	0	0	388
72	167.95	9387.90	367	21	0	0	0	385	3	0	0	388
73	170.20	9448.51	366	22	0	0	0	382	6	0	0	388
74	172.45	9499.12	366	22	0	0	0	382	6	0	0	388
75	174.70	9565.18	365	23	0	0	0	381	7	0	0	388
76	176.95	9611.32	365	23	0	0	0	381	7	0	0	388
77	179.20	9673.10	363	25	0	0	0	379	9	0	0	388

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
78	181.45	9726.49	361	27	0	0	0	379	9	0	0	388
79	183.70	9774.73	360	28	0	0	0	378	10	0	0	388
80	185.95	9826.53	359	29	0	0	0	377	11	0	0	388
81	188.20	9868.23	358	30	0	0	0	376	12	0	0	388
82	190.45	9919.15	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
83	192.70	9953.30	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
84	194.95	10008.85	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
85	197.20	10051.31	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
86	199.45	10086.92	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
87	201.70	10136.70	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
88	203.95	10175.00	357	31	0	0	0	376	12	0	0	388
89	206.20	10227.33	356	32	0	0	0	376	12	0	0	388
90	208.45	10269.94	356	32	0	0	0	376	12	0	0	388
91	210.70	10313.36	356	32	0	0	0	376	12	0	0	388
92	212.95	10352.21	356	32	0	0	0	376	12	0	0	388
93	215.20	10403.20	356	32	0	0	0	376	12	0	0	388
94	217.45	10439.08	356	32	0	0	0	376	12	0	0	388
95	219.70	10484.57	354	34	0	0	0	376	12	0	0	388
96	221.95	10530.04	354	34	0	0	0	376	12	0	0	388
97	224.20	10561.29	354	34	0	0	0	376	12	0	0	388
98	226.45	10614.33	354	34	0	0	0	375	13	0	0	388
99	228.70	10653.57	354	34	0	0	0	375	13	0	0	388
100	230.95	10692.64	354	34	0	0	0	375	13	0	0	388
101	233.20	10741.68	354	34	0	0	0	375	13	0	0	388
102	235.45	10771.73	353	35	0	0	0	375	13	0	0	388
103	237.70	10827.07	353	35	0	0	0	374	14	0	0	388

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
104	239.95	10853.08	353	35	0	0	0	374	14	0	0	388
105	242.20	10905.08	352	36	0	0	0	372	16	0	0	388
106	244.45	10941.51	351	37	0	0	0	372	16	0	0	388
107	246.70	10985.31	351	37	0	0	0	372	16	0	0	388
108	248.95	11021.62	350	38	0	0	0	370	18	0	0	388
109	251.20	11066.16	349	39	0	0	0	369	19	0	0	388
110	253.45	11100.80	348	40	0	0	0	369	19	0	0	388
111	255.70	11138.38	348	40	0	0	0	366	22	0	0	388
112	257.95	11174.69	347	41	0	0	0	366	22	0	0	388
113	260.20	11204.42	345	43	0	0	0	365	23	0	0	388
114	262.45	11241.00	343	45	0	0	0	364	24	0	0	388
115	264.70	11267.74	340	48	0	0	0	364	24	0	0	388
116	266.95	11298.96	339	49	0	0	0	364	24	0	0	388
117	269.20	11331.04	339	49	0	0	0	364	24	0	0	388
118	271.45	11352.37	339	49	0	0	0	363	25	0	0	388
119	273.70	11387.81	338	50	0	0	0	362	26	0	0	388
120	275.95	11410.56	336	52	0	0	0	361	27	0	0	388
121	278.20	11439.44	336	52	0	0	0	361	27	0	0	388
122	280.45	11463.56	335	53	0	0	0	361	27	0	0	388
123	282.70	11493.04	335	53	0	0	0	361	27	0	0	388
124	284.95	11511.38	335	53	0	0	0	361	27	0	0	388
125	287.20	11544.82	335	53	0	0	0	361	27	0	0	388
126	289.45	11568.07	335	53	0	0	0	361	27	0	0	388
127	291.70	11590.73	335	53	0	0	0	361	27	0	0	388
128	293.95	11622.48	334	54	0	0	0	360	28	0	0	388
129	296.20	11645.18	333	55	0	0	0	359	29	0	0	388

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kiri

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
130	298.45	11671.23	333	55	0	0	0	359	29	0	0	388
131	300.70	11698.07	332	55	1	0	0	359	29	0	0	388
132	283.35	10545.03	332	55	0	1	0	359	29	0	0	388

Lampiran 3 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
1	2.25	82.44	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
2	4.50	164.88	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
3	6.75	247.32	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
4	9.00	329.76	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
5	11.25	412.20	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
6	13.50	494.64	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
7	15.75	577.09	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
8	18.00	659.53	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
9	20.25	741.97	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
10	22.50	824.41	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
11	24.75	906.85	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
12	27.00	989.29	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
13	29.25	1071.73	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
14	31.50	1154.17	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
15	33.75	1236.61	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
16	36.00	1319.05	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
17	38.25	1401.49	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
18	40.50	1483.93	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
19	42.75	1566.37	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
20	45.00	1648.82	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
21	47.25	1731.26	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
22	49.50	1813.70	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
23	51.75	1896.14	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
24	54.00	1978.58	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
25	56.25	2061.02	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
26	58.50	2143.46	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
27	60.75	2225.90	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
28	63.00	2308.34	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
29	65.25	2390.78	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
30	67.50	2473.22	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
31	69.75	2555.66	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
32	72.00	2638.10	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
33	74.25	2720.55	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
34	76.50	2802.99	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
35	78.75	2885.43	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
36	81.00	2967.87	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
37	83.25	3050.31	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
38	85.50	3132.75	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
39	87.75	3215.19	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
40	90.00	3297.63	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
41	92.25	3380.07	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
42	94.50	3462.51	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
43	96.75	3544.95	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
44	99.00	3627.39	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
45	101.25	3709.83	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
46	103.50	3792.28	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
47	105.75	3874.72	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
48	108.00	3957.16	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
49	110.25	4039.60	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
50	112.50	4122.04	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
51	114.75	4204.48	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
52	117.00	4286.92	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
53	119.25	4369.36	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
54	121.50	4451.80	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
55	123.75	4534.24	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
56	126.00	4616.68	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
57	128.25	4699.12	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
58	130.50	4781.56	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
59	132.75	4864.01	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
60	135.00	4946.45	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
61	137.25	5028.89	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
62	139.50	5109.99	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
63	141.75	5191.10	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
64	144.00	5272.20	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
65	146.25	5353.30	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
66	148.50	5434.41	316	2	0	0	0	318	0	0	0	318
67	150.75	5513.78	315	3	0	0	0	318	0	0	0	318
68	152.89	5586.85	313	5	0	0	0	318	0	0	0	318
69	155.91	5677.19	309	9	0	0	0	318	0	0	0	318
70	159.46	5751.53	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
71	161.71	5795.58	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
72	163.96	5839.81	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
73	166.21	5883.36	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
74	168.46	5926.89	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
75	170.71	5970.66	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
76	172.96	6014.25	308	10	0	0	0	318	0	0	0	318
77	175.21	6056.93	308	10	0	0	0	317	1	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
78	177.46	6099.97	308	10	0	0	0	316	2	0	0	318
79	179.71	6142.45	308	10	0	0	0	316	2	0	0	318
80	181.96	6184.84	308	10	0	0	0	315	3	0	0	318
81	184.21	6227.45	308	10	0	0	0	314	4	0	0	318
82	186.46	6269.71	308	10	0	0	0	313	5	0	0	318
83	188.71	6312.17	308	10	0	0	0	310	8	0	0	318
84	190.96	6355.24	308	10	0	0	0	309	9	0	0	318
85	193.21	6396.89	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
86	195.46	6438.60	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
87	197.71	6479.23	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
88	199.96	6520.77	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
89	202.21	6563.05	307	11	0	0	0	308	10	0	0	318
90	204.46	6604.30	306	12	0	0	0	308	10	0	0	318
91	206.71	6644.34	305	13	0	0	0	308	10	0	0	318
92	208.96	6684.72	304	14	0	0	0	308	10	0	0	318
93	211.21	6724.07	302	16	0	0	0	308	10	0	0	318
94	213.46	6762.18	302	16	0	0	0	308	10	0	0	318
95	215.71	6800.26	302	16	0	0	0	308	10	0	0	318
96	217.96	6837.96	302	16	0	0	0	308	10	0	0	318
97	220.21	6875.53	302	16	0	0	0	308	10	0	0	318
98	222.46	6913.40	299	19	0	0	0	308	10	0	0	318
99	224.71	6949.24	299	19	0	0	0	308	10	0	0	318
100	226.96	6984.63	294	24	0	0	0	308	10	0	0	318
101	229.21	7016.98	294	24	0	0	0	308	10	0	0	318
102	231.46	7049.80	294	24	0	0	0	308	10	0	0	318
103	233.71	7082.14	294	24	0	0	0	308	10	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
104	235.96	7114.25	293	25	0	0	0	308	10	0	0	318
105	238.21	7146.40	289	29	0	0	0	308	10	0	0	318
106	240.46	7175.64	289	29	0	0	0	308	10	0	0	318
107	242.71	7204.69	289	29	0	0	0	308	10	0	0	318
108	244.96	7234.15	289	29	0	0	0	308	10	0	0	318
109	247.21	7263.53	288	30	0	0	0	308	10	0	0	318
110	249.46	7292.27	287	31	0	0	0	308	10	0	0	318
111	251.71	7320.16	286	32	0	0	0	308	10	0	0	318
112	253.96	7347.82	284	34	0	0	0	308	10	0	0	318
113	256.21	7374.72	283	35	0	0	0	308	10	0	0	318
114	258.46	7400.82	280	38	0	0	0	308	10	0	0	318
115	260.71	7425.81	280	38	0	0	0	307	11	0	0	318
116	262.96	7450.64	280	38	0	0	0	307	11	0	0	318
117	265.21	7475.56	279	39	0	0	0	307	11	0	0	318
118	267.46	7500.24	276	42	0	0	0	306	12	0	0	318
119	269.71	7523.20	276	42	0	0	0	306	12	0	0	318
120	271.96	7546.27	275	43	0	0	0	306	12	0	0	318
121	274.21	7569.10	274	44	0	0	0	306	12	0	0	318
122	276.46	7591.24	273	45	0	0	0	306	12	0	0	318
123	278.71	7613.03	271	47	0	0	0	306	12	0	0	318
124	280.96	7633.94	271	47	0	0	0	306	12	0	0	318
125	283.21	7654.85	269	49	0	0	0	306	12	0	0	318
126	285.46	7674.73	268	50	0	0	0	306	12	0	0	318
127	287.71	7694.09	268	50	0	0	0	306	12	0	0	318
128	289.96	7713.44	267	51	0	0	0	306	12	0	0	318
129	292.21	7732.49	267	51	0	0	0	306	12	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah X Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
130	294.46	7751.54	265	53	0	0	0	306	12	0	0	318
131	296.71	7770.01	265	53	0	0	0	305	13	0	0	318
132	298.96	7788.38	265	53	0	0	0	305	13	0	0	318
133	301.21	7807.10	265	53	0	0	0	305	13	0	0	318
134	303.46	7825.65	263	55	0	0	0	302	16	0	0	318
135	305.71	7843.79	263	55	0	0	0	302	16	0	0	318
136	307.96	7861.92	262	56	0	0	0	301	17	0	0	318
137	310.21	7879.79	262	56	0	0	0	299	19	0	0	318
138	312.46	7897.67	262	56	0	0	0	299	19	0	0	318
139	314.71	7915.54	262	56	0	0	0	298	20	0	0	318
140	316.96	7933.41	262	55	1	0	0	297	21	0	0	318
141	316.96	7434.28	262	54	0	2	0	297	21	0	0	318
142	319.21	7460.86	262	53	1	2	0	295	23	0	0	318
143	238.89	3313.16	262	47	1	8	0	295	20	3	0	318

Lampiran 4 Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0.00	0.00	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
1	2.25	104.55	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
2	4.50	209.10	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
3	6.75	313.65	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
4	9.00	418.20	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
5	11.25	522.76	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
6	13.50	627.31	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
7	15.75	731.86	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
8	18.00	836.41	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
9	20.25	940.96	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
10	22.50	1045.51	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
11	24.75	1150.06	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
12	27.00	1254.61	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
13	29.25	1359.16	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
14	31.50	1463.71	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
15	33.75	1568.27	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
16	36.00	1672.82	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
17	38.25	1777.37	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
18	40.50	1881.92	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
19	42.75	1986.47	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
20	45.00	2091.02	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
21	47.25	2195.57	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
22	49.50	2300.12	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
23	51.75	2404.67	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
24	54.00	2509.22	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
25	56.25	2613.78	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
26	58.50	2718.33	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
27	60.75	2822.88	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
28	63.00	2927.43	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
29	65.25	3031.98	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
30	67.50	3136.53	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
31	69.75	3241.08	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
32	72.00	3345.63	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
33	74.25	3450.18	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
34	76.50	3554.74	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
35	78.75	3659.29	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
36	81.00	3763.84	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
37	83.25	3868.39	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
38	85.50	3972.94	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
39	87.75	4077.49	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
40	90.00	4182.04	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
41	92.25	4286.59	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
42	94.50	4391.14	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
43	96.75	4495.69	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
44	99.00	4600.25	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
45	101.25	4704.80	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
46	103.50	4809.35	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
47	105.75	4913.90	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
48	108.00	5018.45	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
49	110.25	5123.00	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
50	112.50	5227.55	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
51	114.75	5332.10	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
52	117.00	5436.65	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
53	119.25	5541.21	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
54	121.50	5645.76	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
55	123.75	5750.31	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
56	126.00	5854.86	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
57	128.25	5959.41	318	0	0	0	0	318	0	0	0	318
58	130.23	6051.45	317	1	0	0	0	318	0	0	0	318
59	132.48	6153.85	316	2	0	0	0	318	0	0	0	318
60	134.73	6254.09	315	3	0	0	0	318	0	0	0	318
61	136.98	6350.89	315	3	0	0	0	318	0	0	0	318
62	140.42	6489.75	313	5	0	0	0	318	0	0	0	318
63	144.27	6627.41	310	8	0	0	0	318	0	0	0	318
64	146.52	6692.04	310	8	0	0	0	318	0	0	0	318
65	150.54	6801.61	307	11	0	0	0	318	0	0	0	318
66	152.79	6852.11	307	11	0	0	0	318	0	0	0	318
67	155.04	6905.70	306	12	0	0	0	318	0	0	0	318
68	157.29	6955.31	306	12	0	0	0	318	0	0	0	318
69	159.54	7001.53	306	12	0	0	0	318	0	0	0	318
70	161.79	7045.45	305	13	0	0	0	318	0	0	0	318
71	164.04	7092.27	305	13	0	0	0	317	1	0	0	318
72	166.29	7136.13	304	14	0	0	0	317	1	0	0	318
73	168.54	7182.19	303	15	0	0	0	317	1	0	0	318
74	170.79	7218.62	301	17	0	0	0	316	2	0	0	318
75	173.04	7261.82	299	19	0	0	0	315	3	0	0	318
76	175.29	7293.83	299	19	0	0	0	314	4	0	0	318
77	177.54	7336.40	298	20	0	0	0	314	4	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
78	179.79	7370.51	297	21	0	0	0	314	4	0	0	318
79	182.04	7405.86	296	22	0	0	0	312	6	0	0	318
80	184.29	7438.84	296	22	0	0	0	312	6	0	0	318
81	186.54	7471.05	295	23	0	0	0	312	6	0	0	318
82	188.79	7503.88	295	23	0	0	0	310	8	0	0	318
83	191.04	7539.99	295	23	0	0	0	310	8	0	0	318
84	193.29	7565.52	294	24	0	0	0	310	8	0	0	318
85	195.54	7603.28	292	26	0	0	0	309	9	0	0	318
86	197.79	7629.07	292	26	0	0	0	309	9	0	0	318
87	200.04	7656.74	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
88	202.29	7683.79	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
89	204.54	7713.67	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
90	206.79	7738.28	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
91	209.04	7769.74	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
92	211.29	7795.53	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
93	213.54	7822.85	292	26	0	0	0	308	10	0	0	318
94	215.79	7850.97	291	27	0	0	0	308	10	0	0	318
95	218.04	7876.58	291	27	0	0	0	308	10	0	0	318
96	220.29	7907.68	291	27	0	0	0	308	10	0	0	318
97	222.54	7933.17	291	27	0	0	0	308	10	0	0	318
98	224.79	7965.35	290	28	0	0	0	308	10	0	0	318
99	227.04	7986.50	290	28	0	0	0	308	10	0	0	318
100	229.29	8020.21	289	29	0	0	0	308	10	0	0	318
101	231.54	8040.70	288	30	0	0	0	308	10	0	0	318
102	233.79	8069.06	288	30	0	0	0	307	11	0	0	318
103	236.04	8094.10	288	30	0	0	0	307	11	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
104	238.29	8122.02	288	30	0	0	0	307	11	0	0	318
105	240.54	8145.13	288	30	0	0	0	307	11	0	0	318
106	242.79	8173.25	288	30	0	0	0	307	11	0	0	318
107	245.04	8195.01	288	30	0	0	0	307	11	0	0	318
108	247.29	8224.55	288	30	0	0	0	306	12	0	0	318
109	249.54	8246.87	288	30	0	0	0	305	13	0	0	318
110	251.79	8275.51	288	30	0	0	0	305	13	0	0	318
111	254.04	8298.47	287	31	0	0	0	305	13	0	0	318
112	256.29	8326.64	287	31	0	0	0	304	14	0	0	318
113	258.54	8349.08	287	31	0	0	0	304	14	0	0	318
114	260.79	8376.62	287	31	0	0	0	304	14	0	0	318
115	263.04	8398.54	284	34	0	0	0	302	16	0	0	318
116	265.29	8424.03	284	34	0	0	0	300	18	0	0	318
117	267.54	8446.83	284	34	0	0	0	300	18	0	0	318
118	269.79	8467.56	283	35	0	0	0	299	19	0	0	318
119	272.04	8492.85	281	37	0	0	0	299	19	0	0	318
120	274.29	8509.60	281	37	0	0	0	299	19	0	0	318
121	276.54	8534.57	280	38	0	0	0	299	19	0	0	318
122	278.79	8547.56	279	39	0	0	0	297	21	0	0	318
123	281.04	8572.83	279	39	0	0	0	296	22	0	0	318
124	283.29	8586.18	278	40	0	0	0	296	22	0	0	318
125	285.54	8610.91	278	40	0	0	0	296	22	0	0	318
126	287.79	8625.54	278	40	0	0	0	295	23	0	0	318
127	290.04	8649.00	277	41	0	0	0	295	23	0	0	318
128	292.29	8661.13	276	42	0	0	0	295	23	0	0	318
129	294.54	8682.04	276	42	0	0	0	295	23	0	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
130	296.79	8700.10	276	42	0	0	0	294	24	0	0	318
131	299.04	8715.09	276	42	0	0	0	293	25	0	0	318
132	301.29	8735.64	275	43	0	0	0	293	25	0	0	318
133	303.54	8753.48	274	44	0	0	0	293	25	0	0	318
134	305.79	8763.75	273	45	0	0	0	293	25	0	0	318
135	308.04	8785.55	273	45	0	0	0	293	25	0	0	318
136	310.29	8796.35	273	45	0	0	0	293	25	0	0	318
137	312.54	8820.16	272	46	0	0	0	293	25	0	0	318
138	314.79	8827.32	272	46	0	0	0	293	25	0	0	318
139	317.04	8844.64	272	46	0	0	0	293	25	0	0	318
140	319.29	8861.86	272	46	0	0	0	293	25	0	0	318
141	321.54	8878.21	271	47	0	0	0	293	25	0	0	318
142	323.79	8887.14	271	47	0	0	0	293	25	0	0	318
143	326.04	8907.63	271	47	0	0	0	293	25	0	0	318
144	328.29	8916.62	271	47	0	0	0	293	25	0	0	318
145	330.54	8938.45	271	47	0	0	0	293	25	0	0	318
146	332.79	8945.23	269	49	0	0	0	293	25	0	0	318
147	335.04	8966.32	269	49	0	0	0	292	26	0	0	318
148	337.29	8975.58	269	49	0	0	0	291	27	0	0	318
149	339.54	8993.54	268	50	0	0	0	290	28	0	0	318
150	341.79	9005.43	268	50	0	0	0	290	28	0	0	318
151	344.04	9022.53	268	50	0	0	0	289	29	0	0	318
152	346.29	9036.65	268	50	0	0	0	287	31	0	0	318
153	346.86	9042.01	268	50	0	0	0	287	31	0	0	318
154	349.11	9055.34	268	49	1	0	0	286	32	0	0	318
155	349.11	8242.91	268	48	0	2	0	286	31	1	0	318

Lanjutan Tabel Nilai Kurva Kapasitas Arah Y Bangunan Sisi Kanan

Step	Displ.	Base Shear	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
156	351.64	8281.28	268	48	0	2	0	286	30	2	0	318
157	352.20	8293.17	268	48	0	2	0	286	30	2	0	318
158	354.45	8316.25	268	48	0	2	0	286	30	2	0	318
159	356.70	8360.35	268	45	3	2	0	286	30	2	0	318
160	286.71	4930.55	268	45	1	4	0	286	29	3	0	318

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Tanah (SPT)

RANGKUMAN HASIL UJI LAPANGAN
(S P T)

No. Titik	Kedalaman (m)	S P T			
		N1	N2	N3	N/30 cm
BM 01 SJT	2.00	6	6	4	10
	4.00	6	10	>50	>50
	6.00	2	9	14	23
	8.00	7	8	6	14
	10.00	>50	-	-	>50
	12.00	16	>50	-	>50
	14.00	3	8	16	24
	16.00	>50	-	-	>50
	18.00	>50	-	-	>50
	20.00	9	16	28	44
	22.00	7	19	35	54
	24.00	4	13	26	39
	26.00	11	14	27	41
	28.00	8	12	29	41
	30.00	4	24	26	50
BM 02 SJT	2.00	10	14	15	29
	4.00	2	2	14	16
	6.00	4	5	5	10
	8.00	7	12	17	27
	10.00	5	8	11	19
	12.00	11	17	18	35
	14.00	5	8	12	10
	16.00	14	>50	-	>50
	18.00	9	>50	-	>50
	20.00	2	2	3	5
	22.00	4	6	13	19
	24.00	>50	>50	-	>50
	26.00	13	>50	-	>50
	28.00	6	31	>50	>50
	30.00	4	>50	-	>50

Lampiran 6 Eksisting Gedung Parkir Motor RSUP Dr. Sardjito

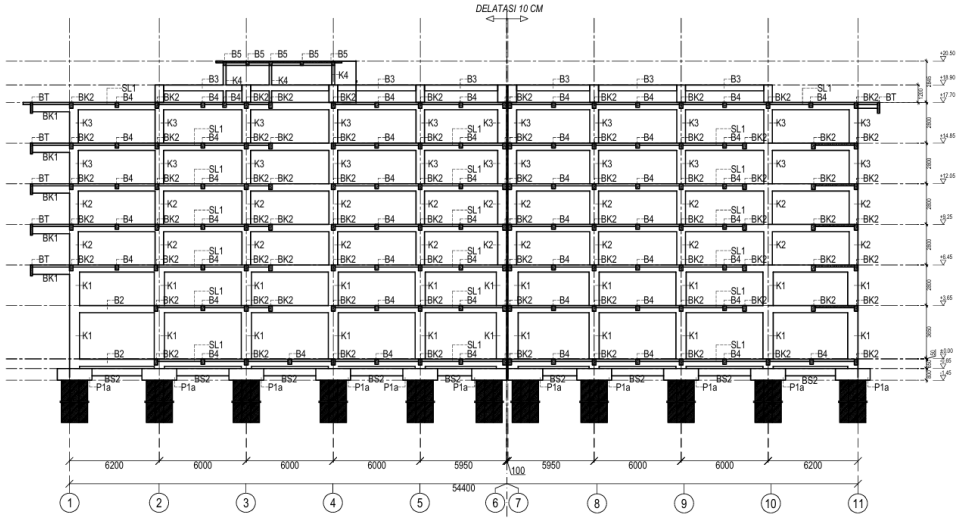


Gambar L-1.1 Eksisting Gedung Parkir Motor RSUP Dr. Sardjito Tampak Depan



Gambar L-1.2 Eksisting Gedung Parkir Motor RSUP Dr. Sardjito Tampak Samping

Lampiran 7 Detail Engineering Design (DED) Pembangunan Gedung Parkir Motor RSUP Dr. Sardjito



Notasi	Keterangan
P1a	Pondasi Pilecap ukuran 240x240x80 cm dengan 8 borepile Ø40 cm, panjang 15 m
P1b	Pondasi Pilecap ukuran 240x240x80 cm dengan 8 borepile Ø40 cm, panjang 11 m
P2	Pondasi Pilecap ukuran lihat detail dengan 14 borepile Ø40 cm, panjang 11 m
BS1	Balok Sloof uk 30x60 cm
∠BS1	Balok Sloof miring uk 30x60 cm
BS2	Balok Sloof uk 30x50 cm
K1	Kolom uk 70x90 cm
K2	Kolom uk 60x80 cm
K3	Kolom uk 60x80 cm
K4	Kolom uk 20x20 cm
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis
SL2	Pelat dag tebal 13 cm, tulangan P10-150 2 lapis
SL3	Pelat dag tebal 15 cm, tulangan P10-150 2 lapis

POTONGAN PORTAL AS B
Skala 1 : 250

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

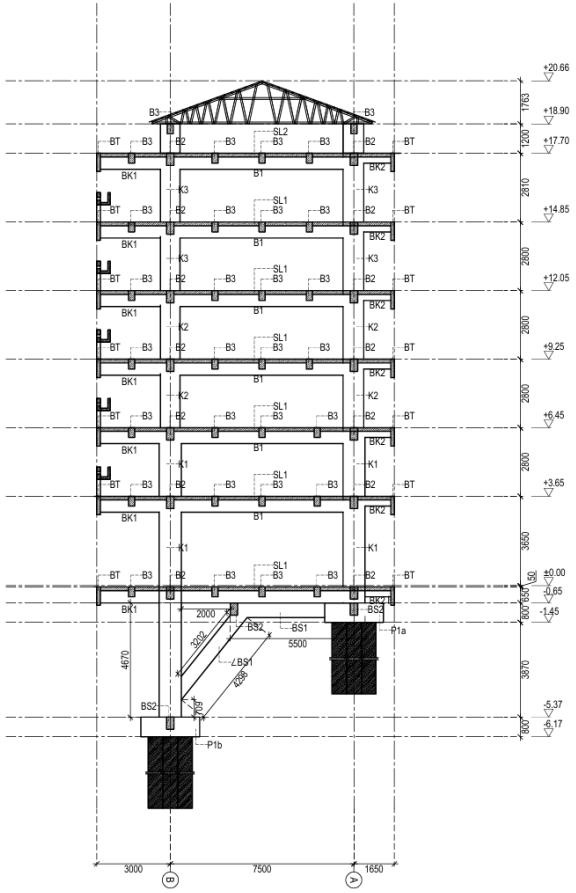
HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

JUDUL GAMBAR

POTONGAN PORTAL AS B

SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 250	29	-



Notasi	Keterangan
P1a	Pondasi Pilecap ukuran 240x240x80 cm dengan 5 borepile Ø60 cm, panjang 15 m
P1b	Pondasi Pilecap ukuran 240x240x80 cm dengan 5 borepile Ø60 cm, panjang 11 m
P2	Pondasi Pilecap ukuran lihat detail dengan 7 borepile Ø60 cm, panjang 11 m
BS1	Balok Sloof uk 30x60 cm
∠BS1	Balok Sloof miring uk 30x60 cm
BS2	Balok Sloof uk 30x50 cm
K1	Kolom uk 70x90 cm
K2	Kolom uk 60x80 cm
K3	Kolom uk 60x80 cm
K4	Kolom uk 20x20 cm
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis
SL2	Pelat dag tebal 13 cm, tulangan P10-150 2 lapis
SL3	Pelat dag tebal 15 cm, tulangan P10-150 2 lapis

POTONGAN PORTAL AS 6

Skala 1 : 150

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJUNIRING, KSO

DIBUAT OLEH

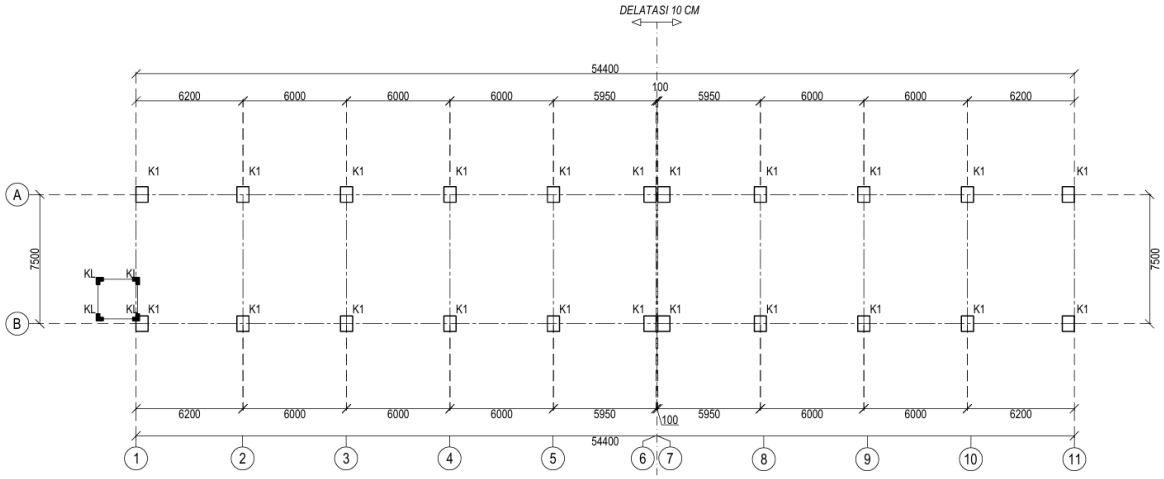
HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

JUDUL GAMBAR

POTONGAN PORTAL AS 6

SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 150	30	-



Notasi	Keterangan
K1	Kolom uk 70x90 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM BASEMENT
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

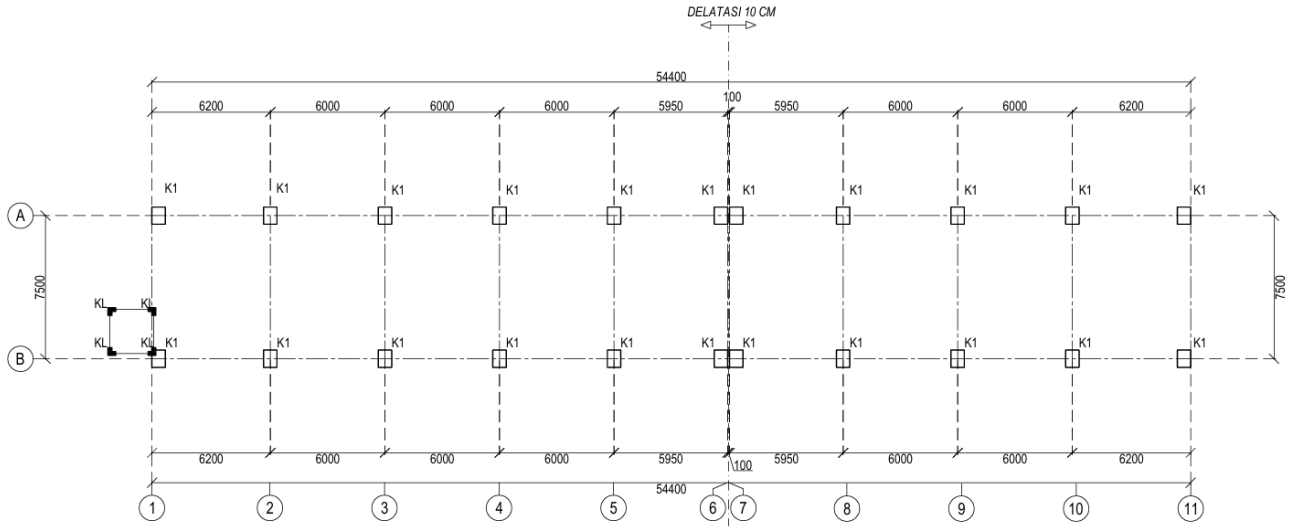
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM BASEMENT

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	10	-



Notasi	Keterangan
K1	Kolom uk 70x90 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM GROUNDFLOOR
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

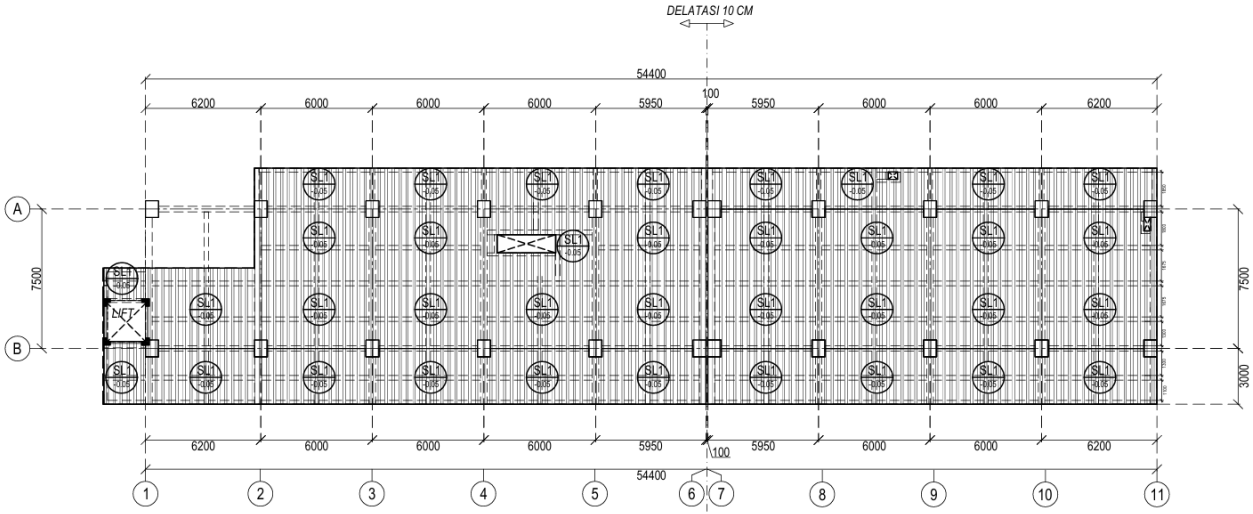
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM GROUNDFLOOR

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

DENAH PLAT GROUNDFLOOR
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

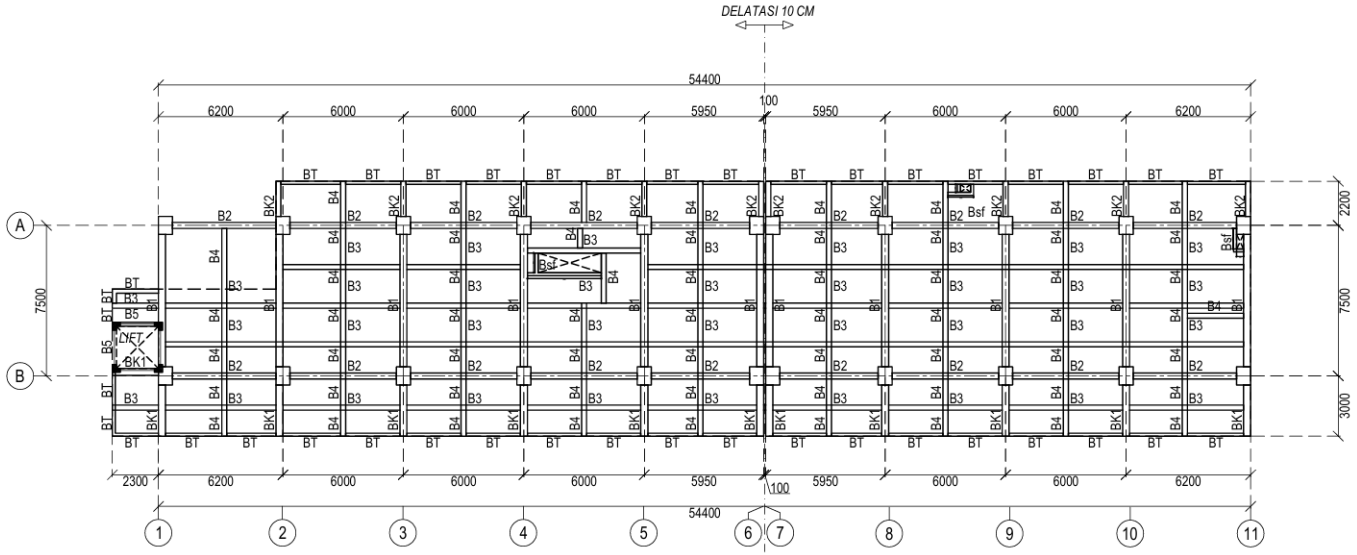
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT GROUNDFLOOR

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK GROUNDFLOOR

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

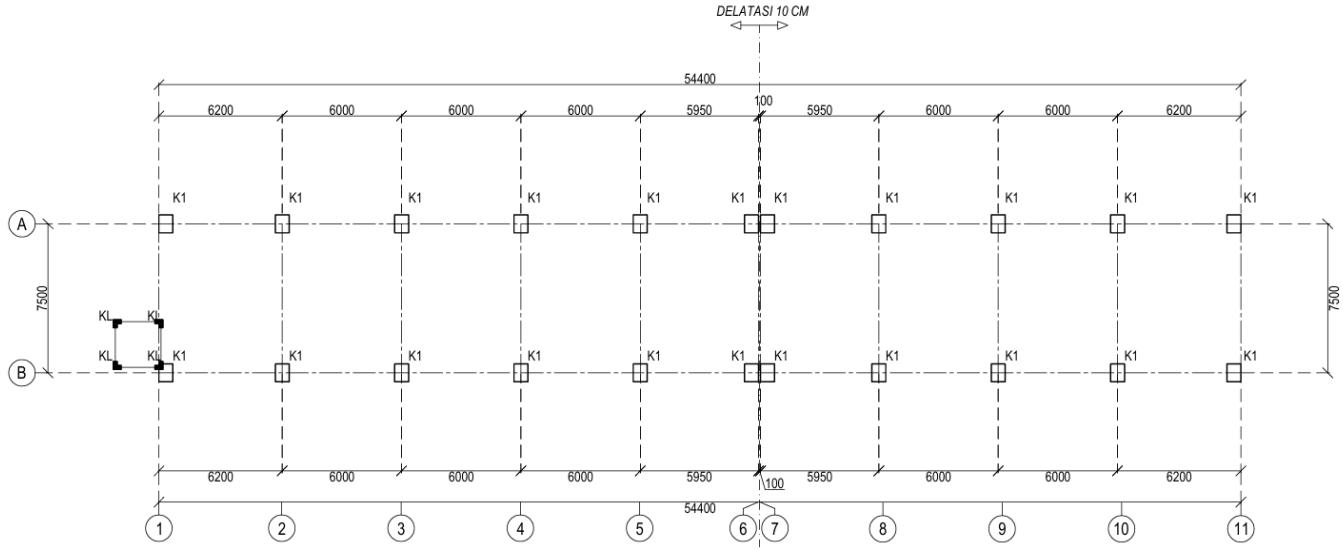
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK GROUNDFLOOR

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	04	-



Notasi	Keterangan
K1	Kolom uk 70x90 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM LT. 1
Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL SDM LAYANAN KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

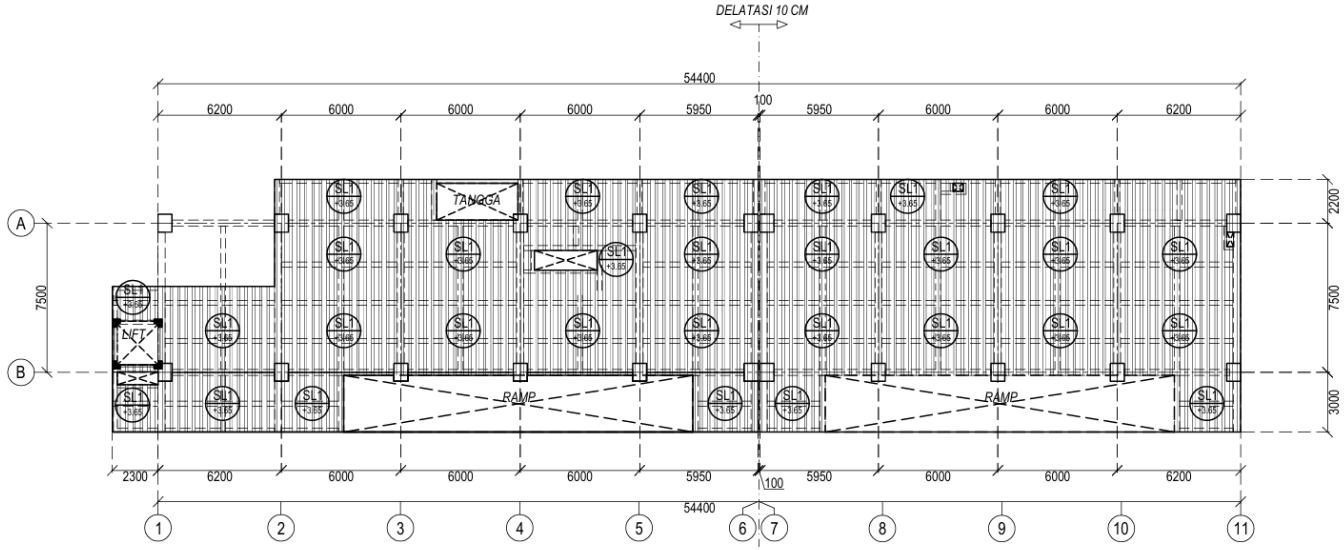
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 1

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

DENAH PLAT LT. 1

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

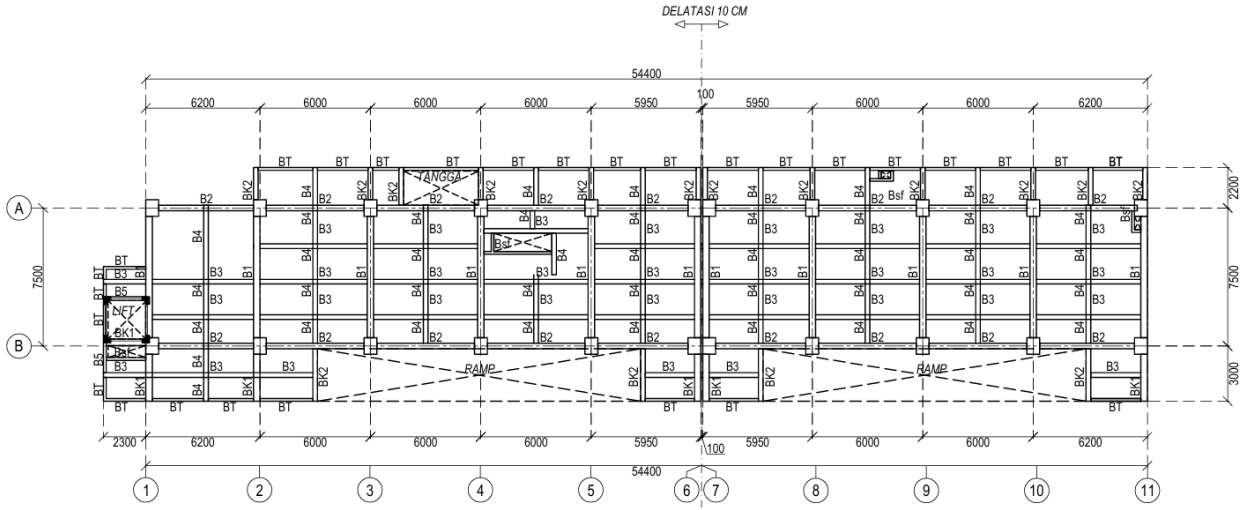
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LT. 1

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK LT. 1

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

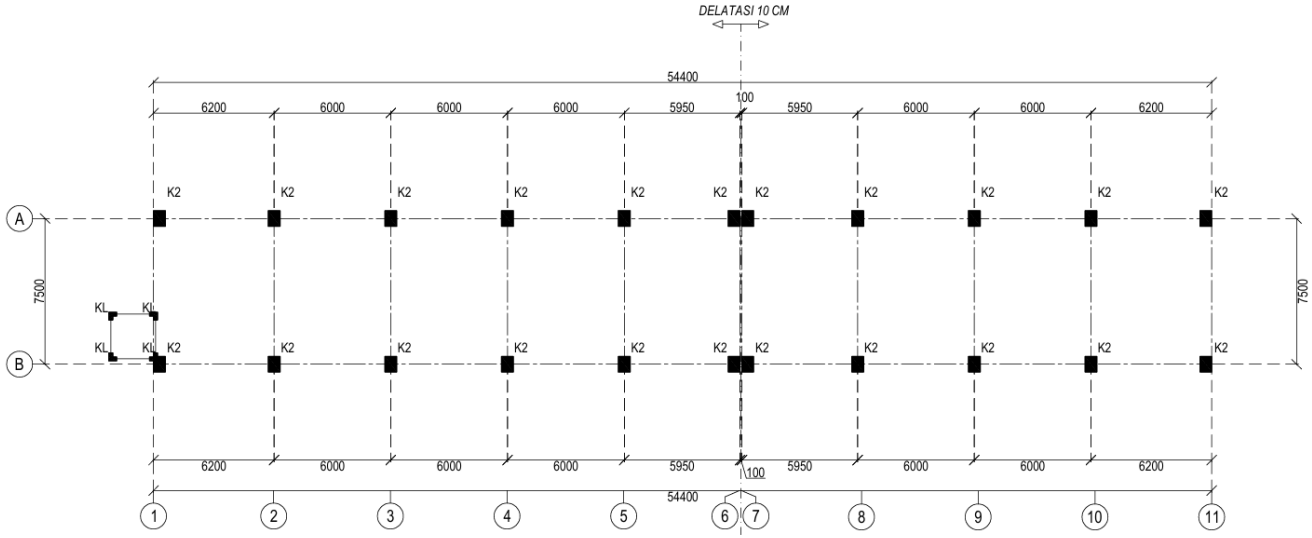
DIBUAT OLEH

HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT. 1

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
K2	Kolom uk 60x80 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM LT.2
Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK)
KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

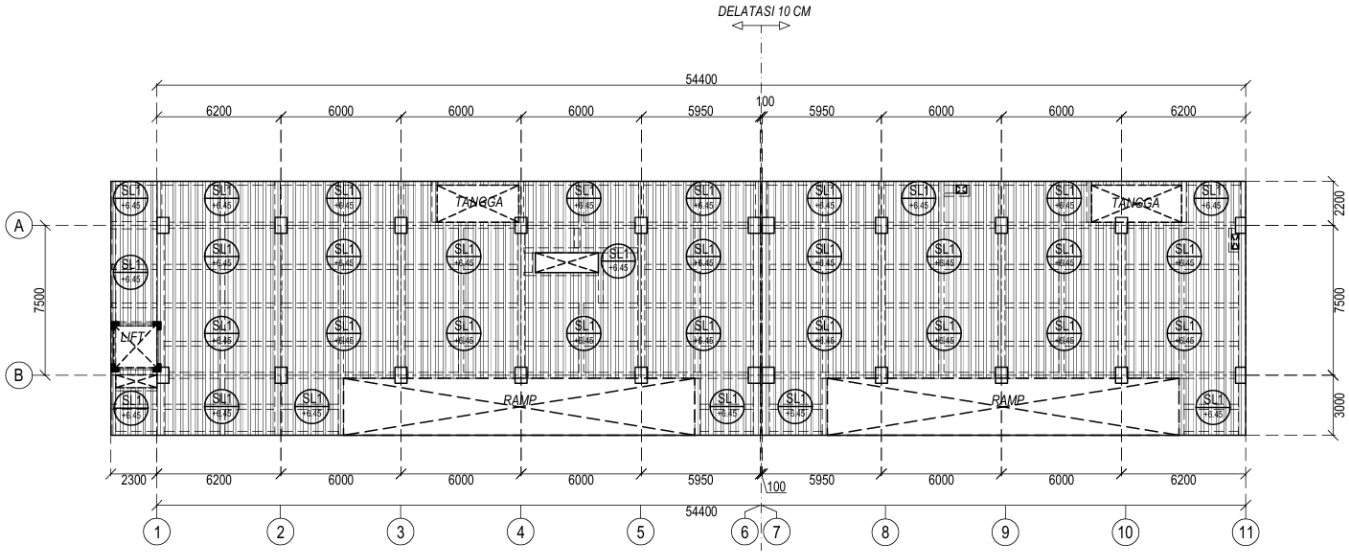
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 2

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

DENAH PLAT LT. 2

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO
Jl. Kesehatan Sekip, Yogyakarta 55284 Tlp. 550333 (10 Saluran)

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK)
KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

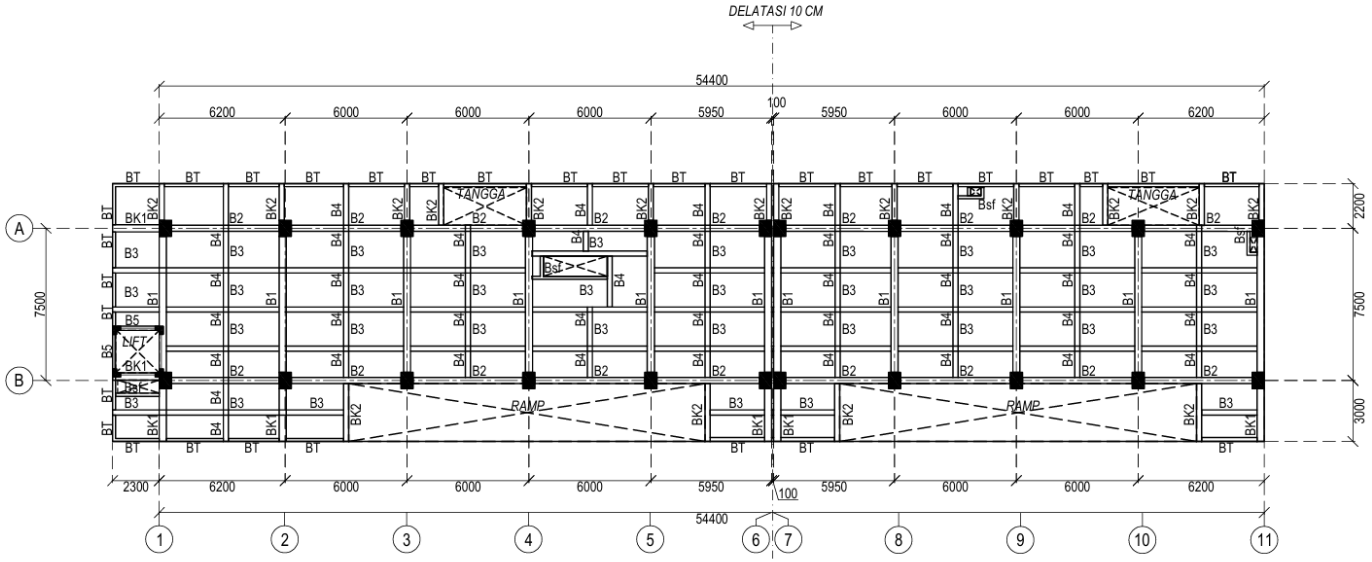
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LT. 2

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK LT. 2

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

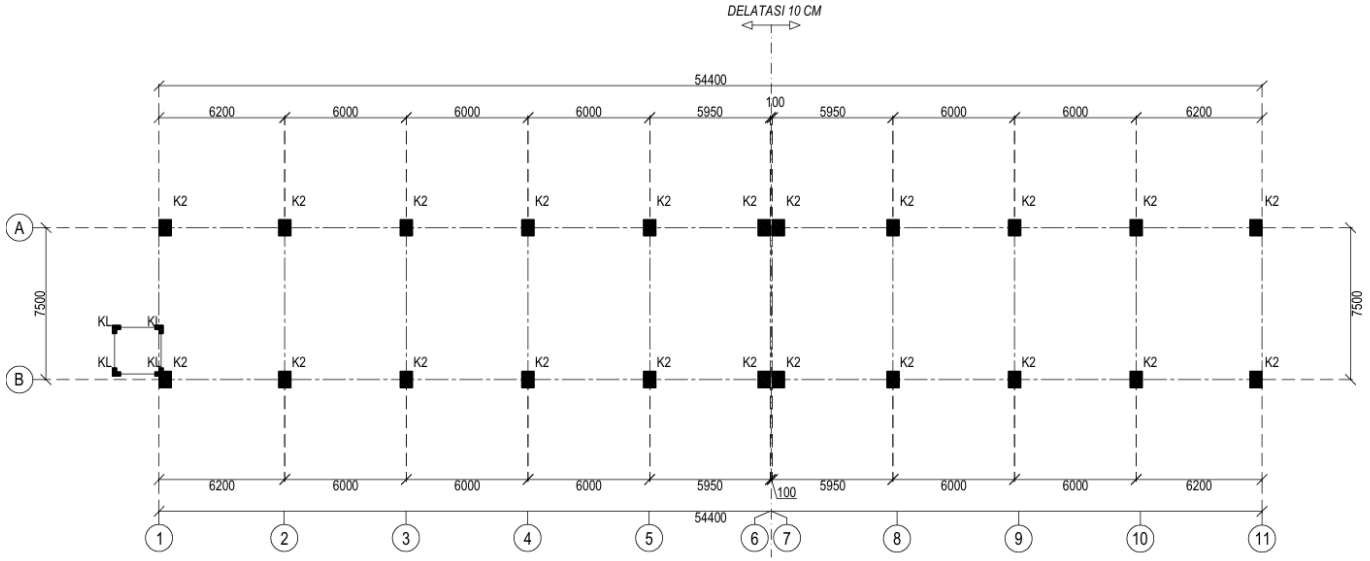
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT. 2

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
K2	Kolom uk 60x80 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM LT.3
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

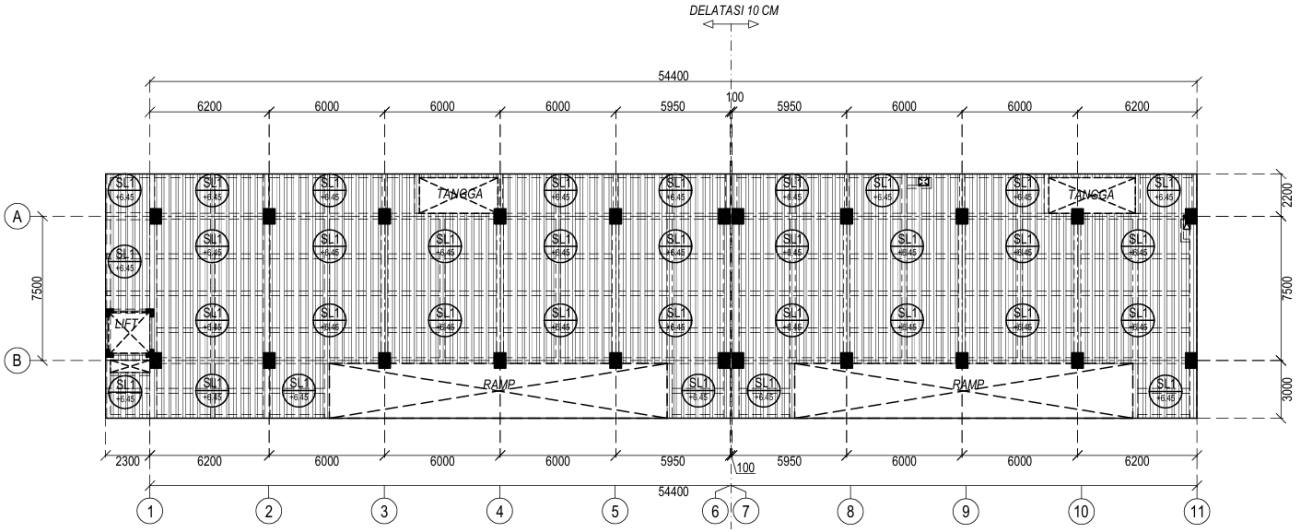
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 3

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

DENAH PLAT LT. 3
Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

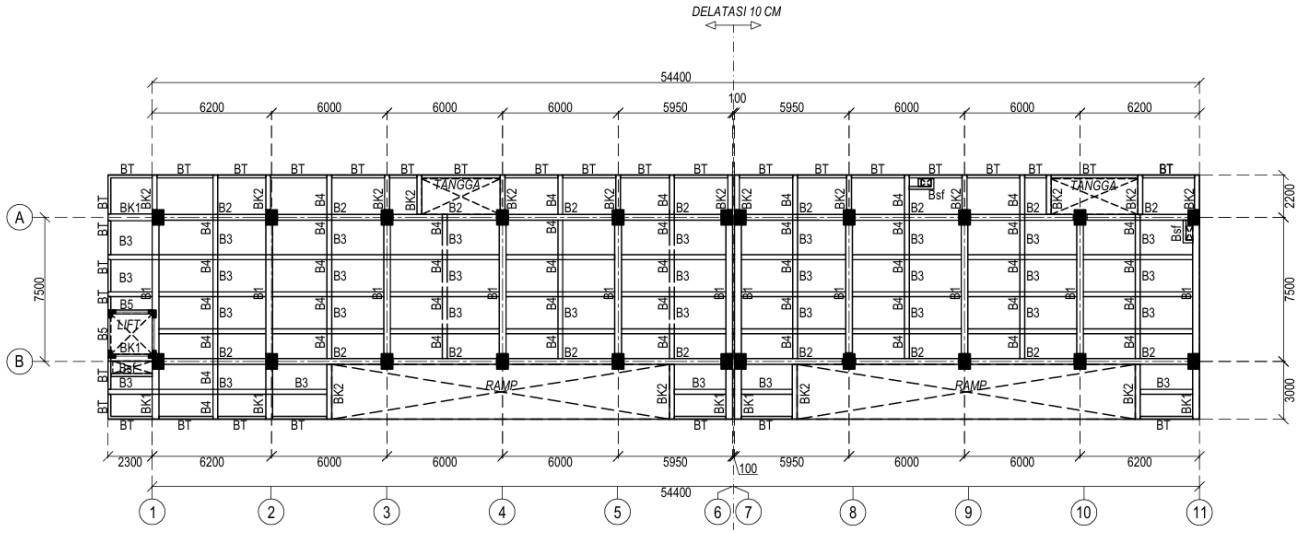
DIBUAT OLEH

HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LT. 3

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK LT. 3

Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SURVEY/GEDS

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

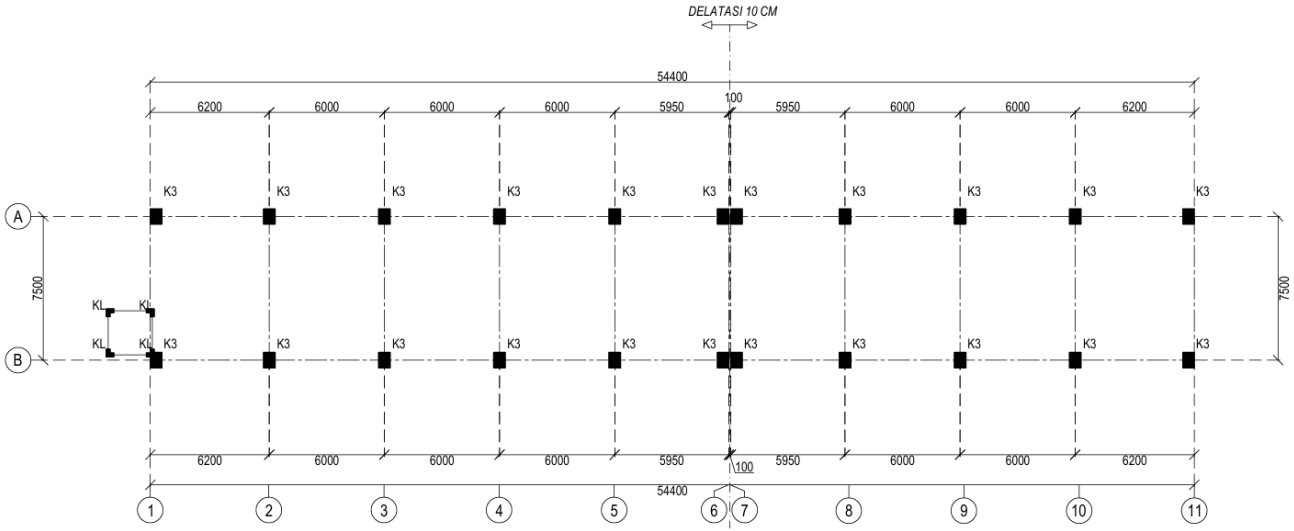
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT. 3

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
K3	Kolom uk 60x80 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM LT.4
Skala 1 : 200

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

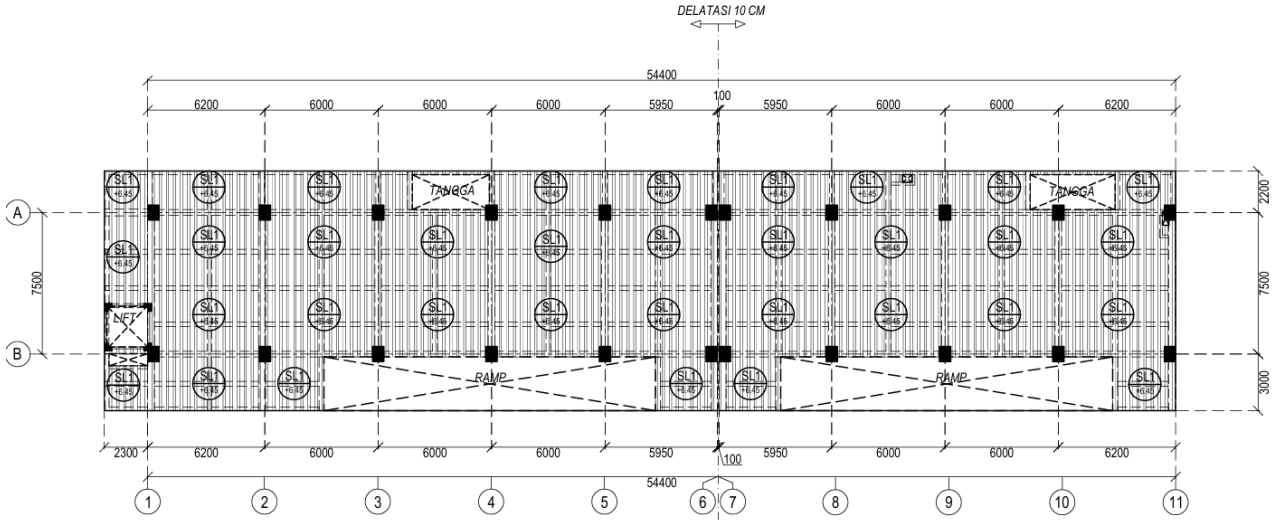
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 4

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

DENAH PLAT LT. 4

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

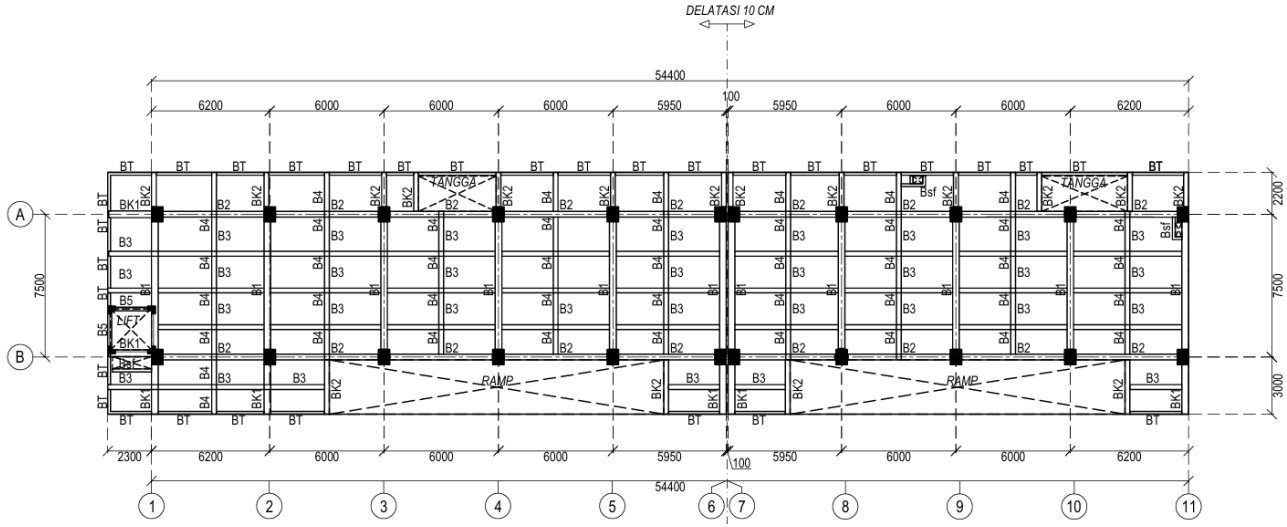
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LT. 4

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK LT. 4
Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

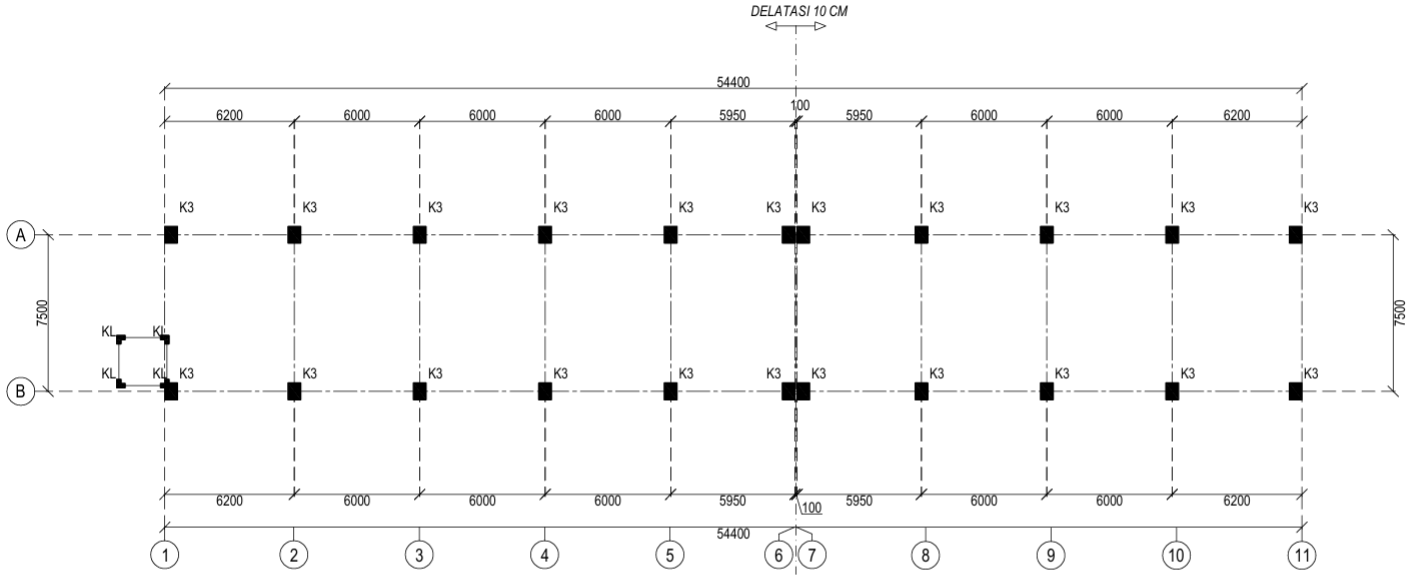
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT.4

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
K3	Kolom uk 60x80 cm
KL	Kolom Lift Lihat Detail

DENAH KOLOM LT.5
Skala 1 : 200

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

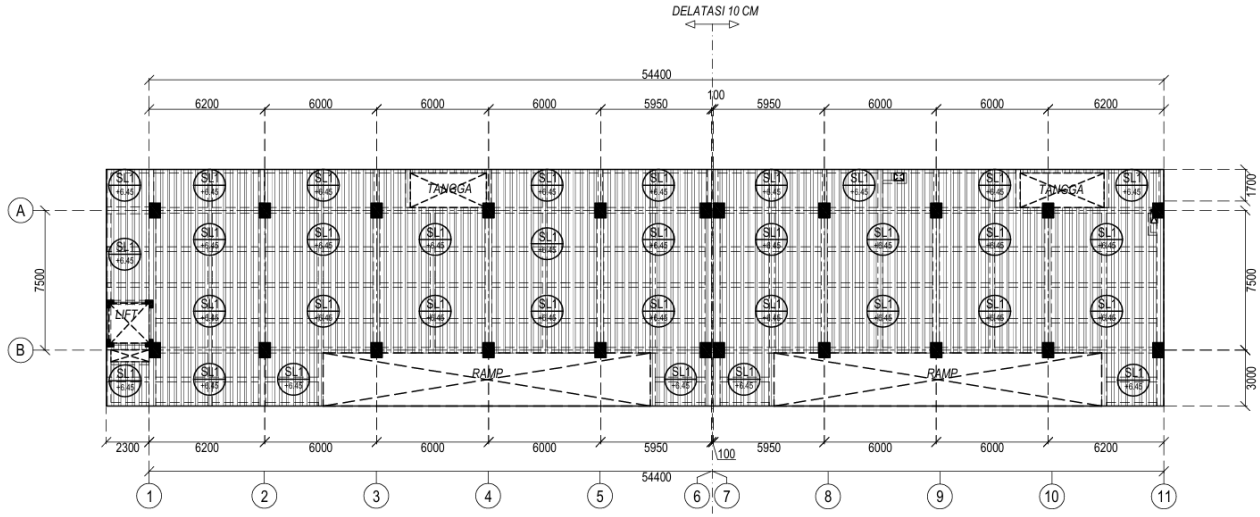
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 5

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

DENAH PLAT LT. 5
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

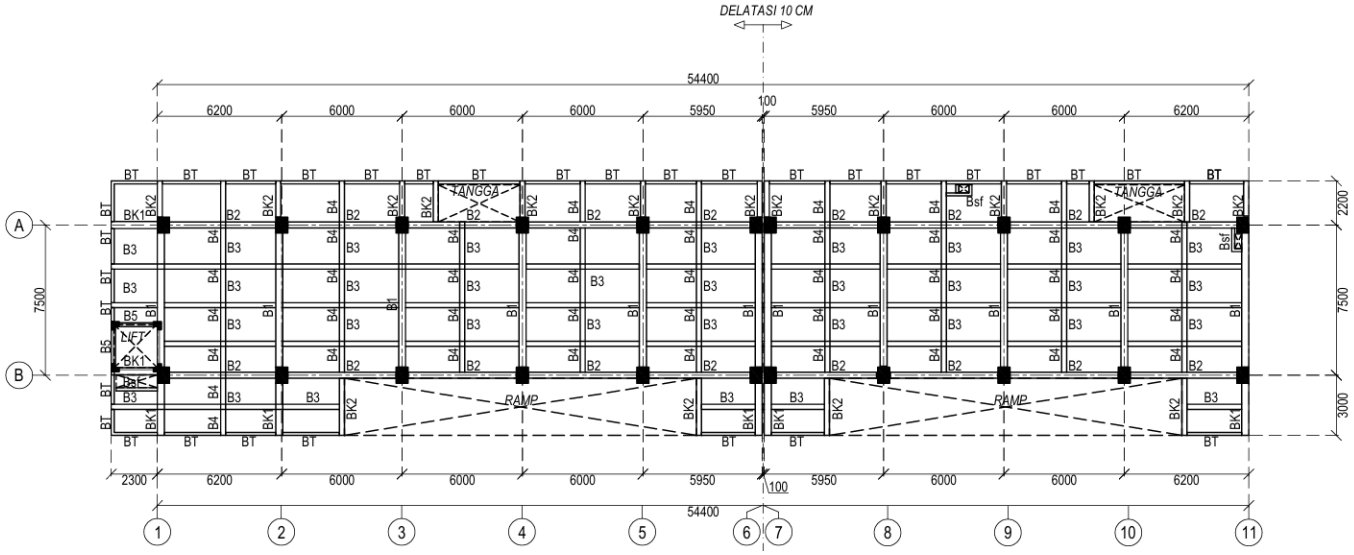
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LT. 5

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK LT. 5

Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO
Jl. Kesehatan Sekip, Yogyakarta 55284 Tlp. (0274) 587333 (50 Saluran)

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

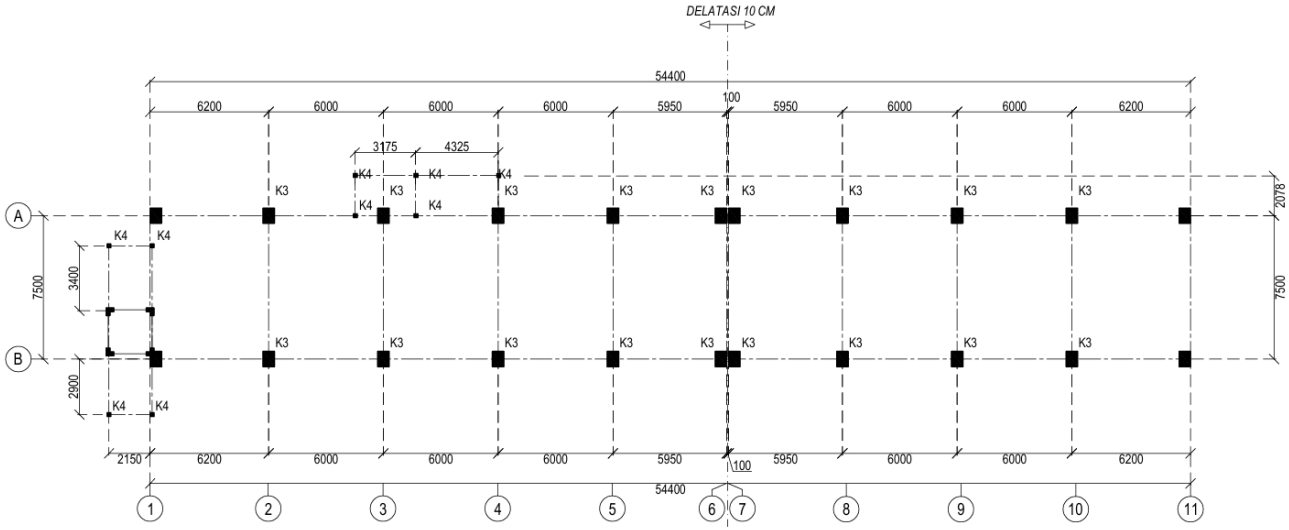
DIBUAT OLEH

HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT.5

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
K3	Kolom uk 60x80 cm
K4	Kolom uk 20x20 cm

DENAH KOLOM LT.Atap
Skala 1 : 200

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

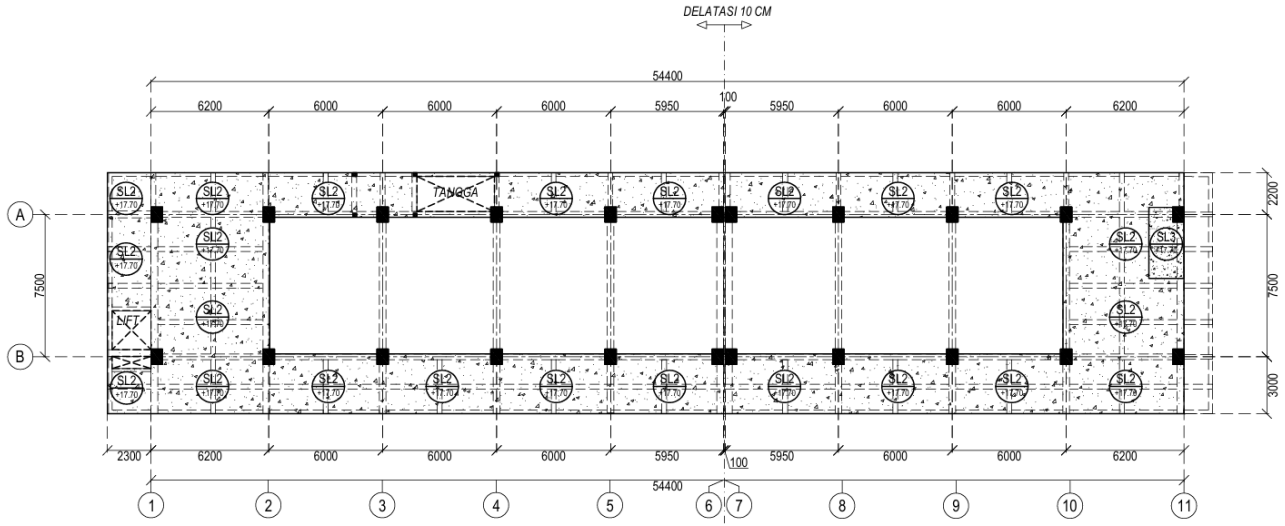
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 6

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-



Notasi	Keterangan
SL2	Pelat tebal 13 cm tul. P10-150 2 lapis
SL3	Pelat tebal 15 cm tul. P10-150 2 lapis

DENAH PLAT LT. Atap
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

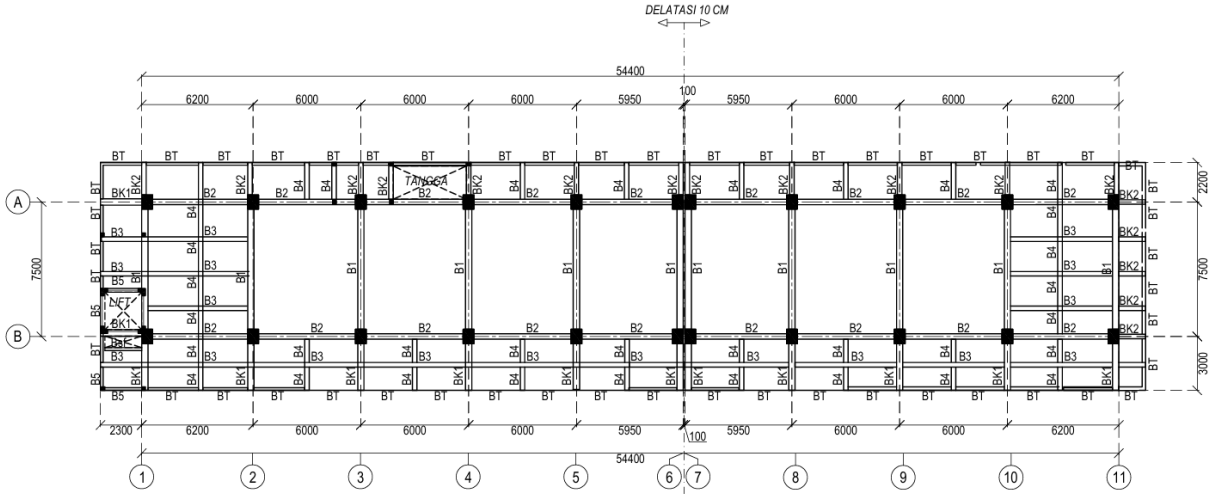
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LT. 6

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
B1	Balok uk 35x65 cm
B2	Balok uk 30x50 cm
B3	Balok uk 25x40 cm
B4	Balok uk 25x35 cm
B5	Balok uk 20x30 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
Bsf	Balok Shaft uk 15x30 cm

DENAH BALOK LT. Atap
Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

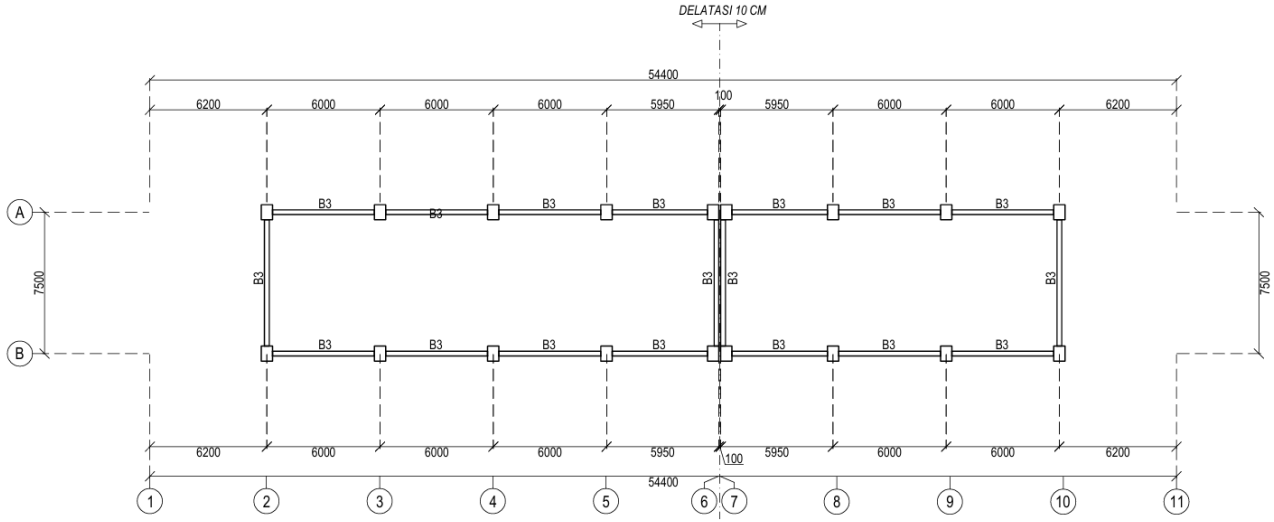
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT.6

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
B3	Balok uk 25x40 cm

DENAH BALOK LT. Penahan
Rangka atap
Skala 1 : 200

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA
ARCHITECTURE - STRUCTURE - MEP - INTERIOR
LANDSCAPE - MASTERPLAN - SUPERVISION

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BEMGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

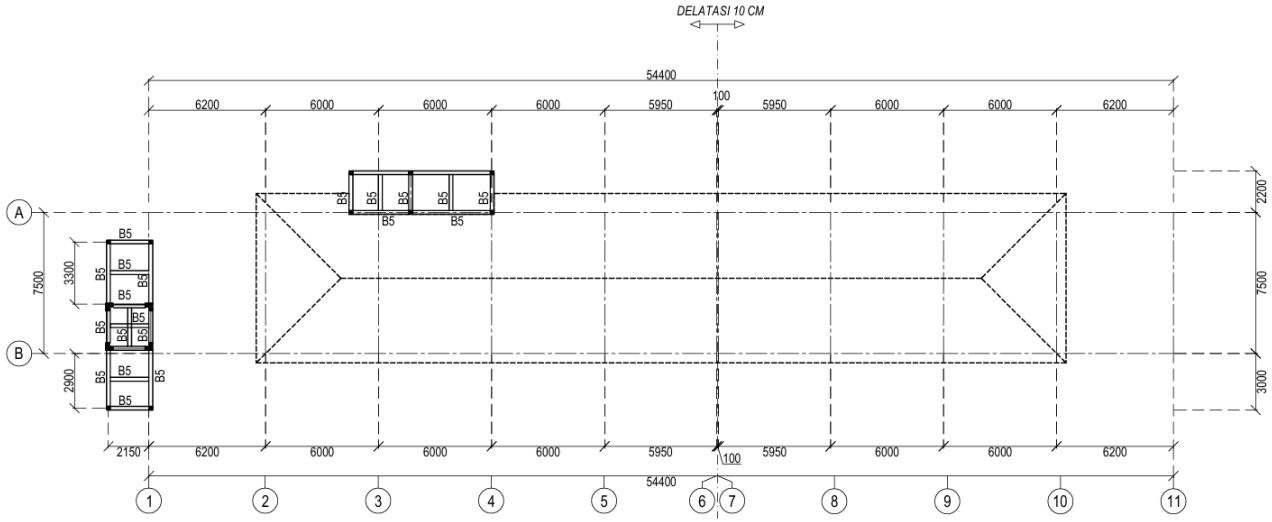
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT.6

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	07	-



Notasi	Keterangan
B5	Balok uk 20x30 cm

DENAH BALOK LT. Dak Lift dan Tangga
Skala 1 : 200

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

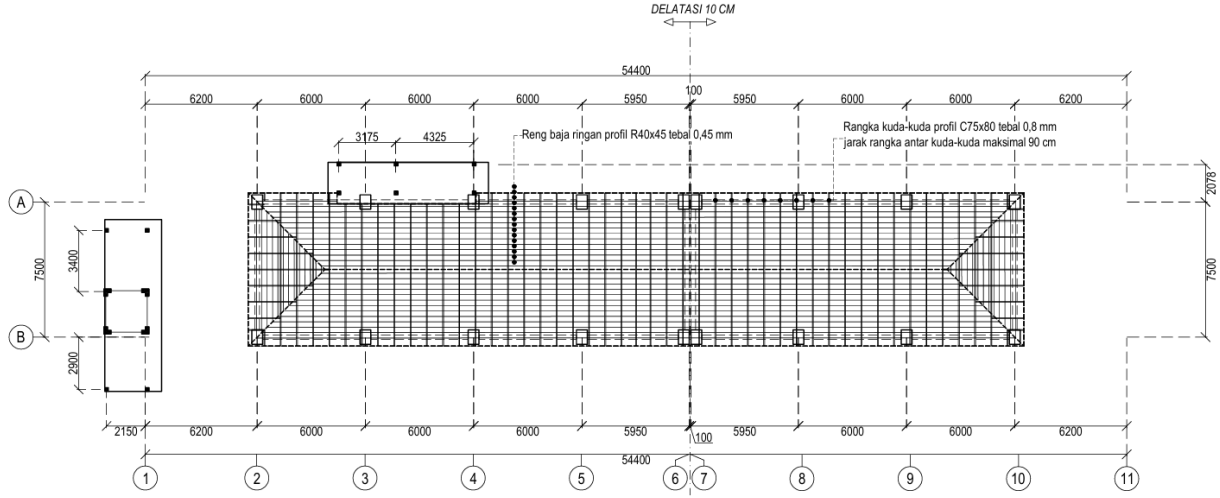
DIBUAT OLEH

HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LT. ATAP

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	05	-



Notasi	Keterangan
K3	Kolom uk 60x80 cm
K4	Kolom uk 20x20 cm

DENAH RANGKA ATAP BAJA RINGAN

Skala 1 : 200

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO YOGYAKARTA

MENYETUJUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK) KONSTRUKSI

KHADIRIN, SIP, MARS, MH
NIP : 19691120 198803 1 001

CV. SKALA ABADI JAYA

KONSULTAN PERENCANA
CV. SKALA ABADI JAYA

MENYETUJUI

VALIKA CRISTALIA
DIREKTUR UTAMA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

DIBUAT OLEH

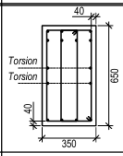
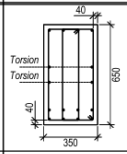
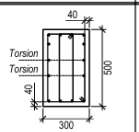
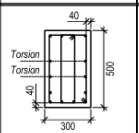
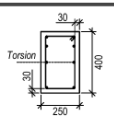
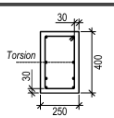
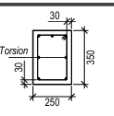
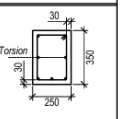
HERI PARYONO, ST.
PROJECT MANAGER

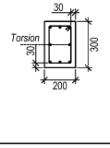
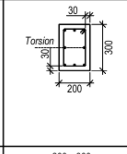
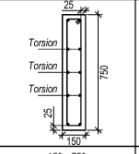
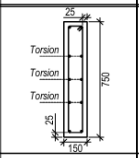
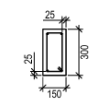
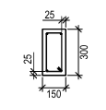
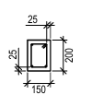
JUDUL GAMBAR

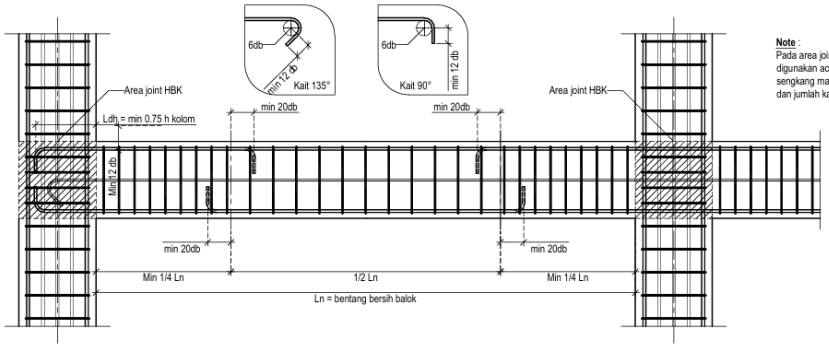
DENAH RANGKA ATAP BAJA RINGAN

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
1 : 200	06	-

Bars Schedule of Beam

NOTATION	Beam B1		Beam B2		Beam B3		Beam B4	
	1/4 L	1/2 L	1/4 L	1/2 L	1/4 L	1/2 L	1/4 L	1/2 L
Section								
Dimension	350 x 650	350 x 650	300 x 500	300 x 500	250 x 400	250 x 400	250 x 350	250 x 350
Top Bars	8 D 22	4 D 22	6 D 22	4 D 22	4 D 22	2 D 22	3 D 19	2 D 19
Torsion	4 D 13	4 D 13	4 D 13	4 D 13	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2 D 13
Bottom Bars	4 D 22	8 D 22	4 D 22	6 D 22	2 D 22	2 D 22	2 D 19	3 D 19
Stirrup	4 D10 - 100 mm c/c	4 D10 - 100 mm c/c	4 D10 - 100 mm c/c	4 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c
Concrete cover	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm

NOTATION	Beam B5		Beam BT (Balok Tepi)		Beam Bsf (Balok Shaft)		Balok Bp (praktis)
	1/4 L	1/2 L	1/4 L	1/2 L	1/4 L	1/2 L	Balok Latai
Section							
Dimension	200 x 300	200 x 300	150 x 750	150 x 750	150 x 300	150 x 300	150 x 200
Top Bars	3 D 16	3 D 16	2 D 16	2 D 16	2 S 13	2 S 13	2 P 10
Torsion	2 D 13	2 D 13	6 D 13	6 D 13	---	---	- - - -
Bottom Bars	3 D 16	3 D 16	2 D 16	2 D 16	2 S 13	2 S 13	2 P 10
Stirrup	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c	2 P 8 - 100 mm c/c	2 P 8 - 100 mm c/c	2 P 8 - 200 mm c/c
Concrete cover	30 mm	30 mm	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm



Note :
Pada area joint HBK (Hubungan Balok Kolom) digunakan acuan H balok terbesar dengan jarak sengkang maksimal 100 mm, dengan diameter dan jumlah kaki sama dengan sengkang pada kolom

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

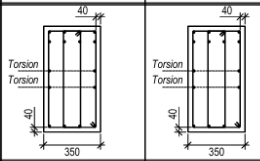
CATATAN

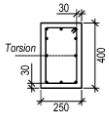
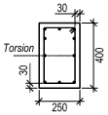
JUDUL GAMBAR

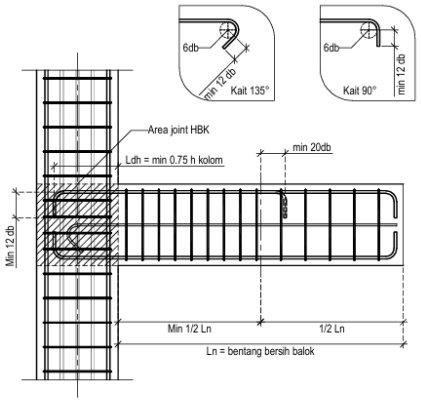
DETAIL BALOK

SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 25	37	-

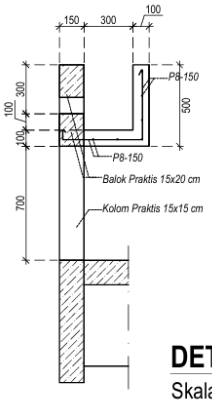
Bars Schedule of Beam Kantilever

NOTATION	Beam BK1	
	Pangkal (½ L)	Ujung (½ L)
Section		
Dimension	350 x 650	350 x 650
Top Bars	8 D 22	8 D 22
Torsion	4 D 13	4 D 13
Bottom Bars	4 D 22	4 D 22
Stirrup	4 D10 - 100 mm c/c	4 D10 - 100 mm c/c
Concrete cover	40 mm	40 mm

NOTATION	Beam BK2	
	Pangkal (½ L)	Ujung (½ L)
Section		
Dimension	250 x 400	250 x 400
Top Bars	5 D 19	5 D 19
Torsion	2 D 13	2 D 13
Bottom Bars	3 D 19	3 D 19
Stirrup	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c
Concrete cover	30 mm	30 mm



Note :
Pada area joint HBK (Hubungan Balok Kolom) digunakan acuan H balok terbesar dengan jarak sengkang maksimal 100 mm, dengan diameter dan jumlah kaki sama dengan sengkang pada kolom



DETAIL POT TANAMAN

Skala 1 : 25

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO
Jl. Kesehatan No.1, Yogyakarta 55281 Tlp. (0274) (KHunting)

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR
SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA

DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO

DIBUAT OLEH

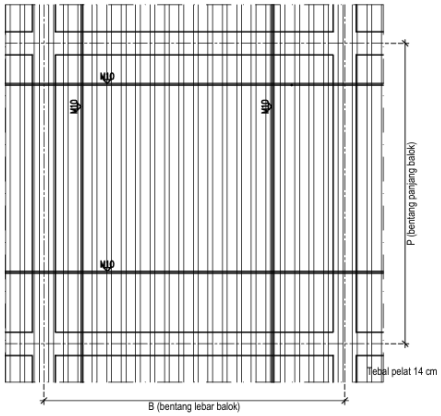
HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

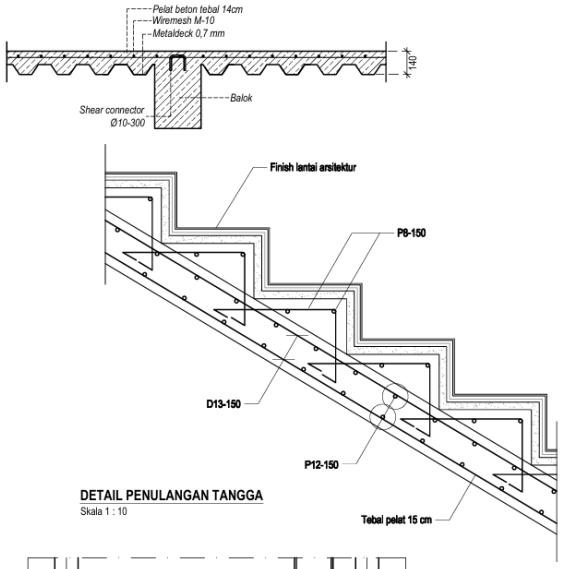
JUDUL GAMBAR

DETAIL BALOK KANTILEVER
DETAIL POT TANAMAN

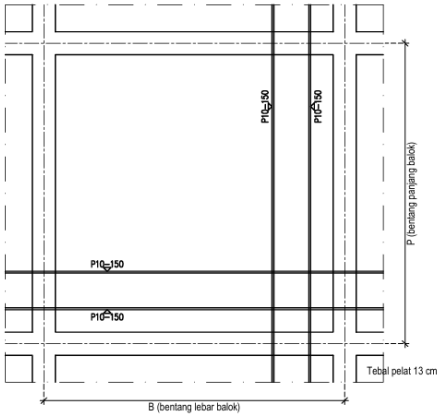
SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 25	38	-



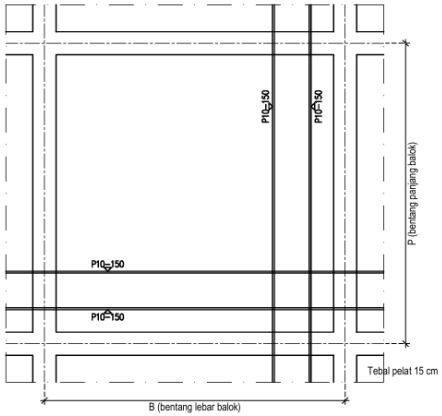
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE SL1 (METAL DECK)
Skala 1 : 25



DETAIL PENULANGAN TANGGA
Skala 1 : 10



DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE SL2 (DAG)
Skala 1 : 25



DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE SL3 (ROOF TANK)
Skala 1 : 25

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR
SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

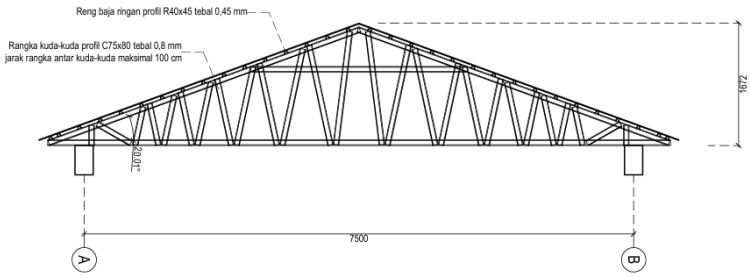
HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

JUDUL GAMBAR

DETAIL PELAT

SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 25	39	-



KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO
Jl. Kesehatan Sekip, Yogyakarta 55284 Tp. (0274) (0 Hunting)

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR
SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

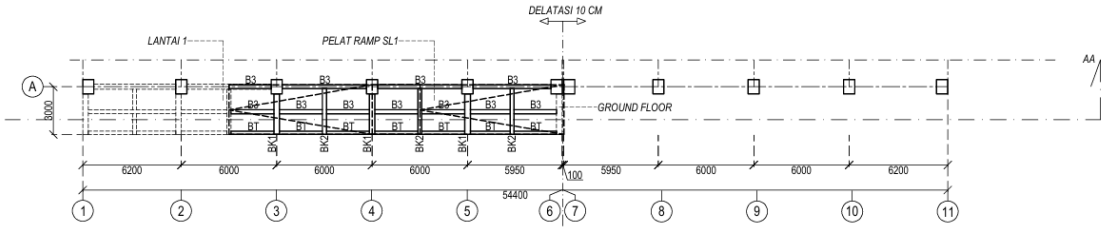
HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

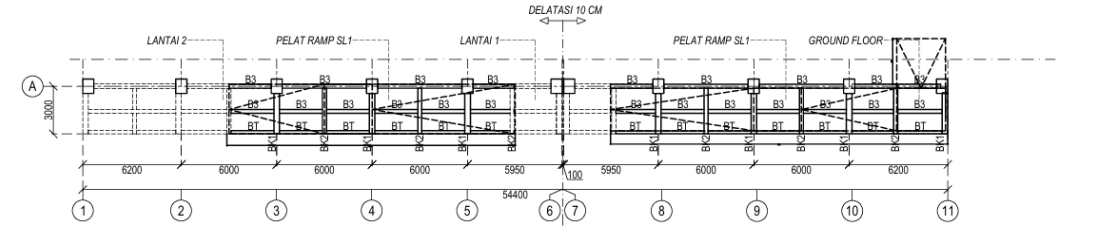
JUDUL GAMBAR

DETAIL KUDA-KUDA BAJA RINGAN

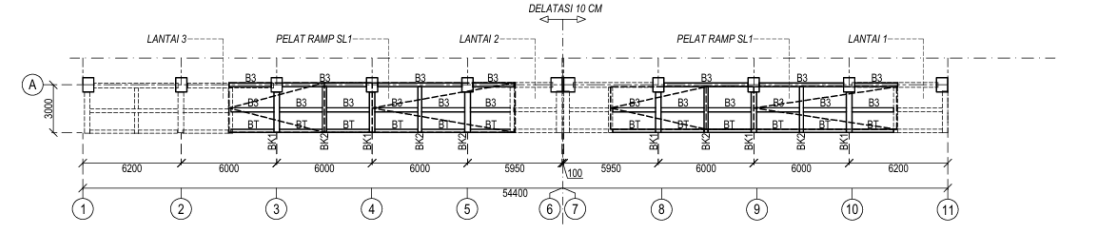
SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 50	40	-



DENAH RAMP GF - LT. 1
Skala 1 : 250



DENAH RAMP GF - LT. 1 - LT. 2
Skala 1 : 250



DENAH RAMP LT. 1 - LT. 2 - LT. 3
Skala 1 : 250

Notasi	Keterangan
B3	Balok uk 25x40 cm
BK1	Balok Kantilever uk 35x65 cm
BK2	Balok Kantilever uk 25x40 cm
BT	Balok Tepi uk 15x75 cm
SL1	Pelat tebal 14 cm metal deck 0,7 mm dengan wiremesh M10 1 lapis

Keterangan
Balok dan Pelat mengikuti kemiringan ramp

Mutu Beton Struktur, F'c = 31,2 MPa ; Setara K350
Mutu Beton Praktis, F'c = 14,5 MPa ; Setara K175
Mutu Baja Tulangan, Sirip BJTS 420
Polos BJTP 280

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

HERJ PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

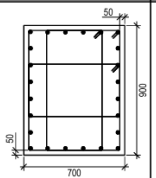
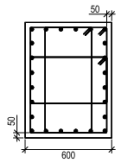
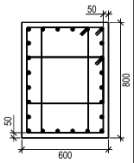
JUDUL GAMBAR

DENAH RAMP 1 (1)

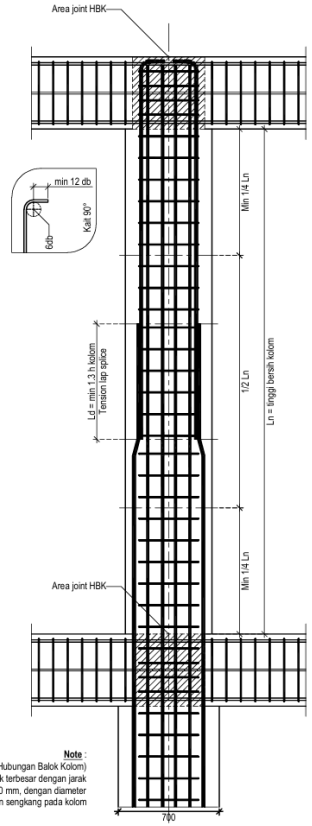
SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 250	41	-

REVISI

Bars Schedule of Column

NOTATION	Column K1 (Lt. Basement - LT-1)	Column K2 (Lt. 2 - Lt. 4)	Column K3 (Lt. 5 - Lt. 6)
Section			
Dimension	700 x 900	600 x 800	600 x 800
Axial Bars	24 D 25	24 D 25	24 D 22
Stirrup	4 D 10 - 100 mm c/c	4 D 10 - 100 mm c/c	4 D 10 - 100 mm c/c
Concrete cover	50 mm	50 mm	50 mm

NOTATION	Column K4 (Lt. Atap)	Column praktis
Section		
Dimension	200 x 200	150 x 150
Axial Bars	4 D 13	4 P 10
Stirrup	2 D 10 - 100 mm c/c	2 P 8 - 150 mm c/c
Concrete cover	30 mm	25 mm



Note :
Pada area joint HBK (Hubungan Balok Kolom) digunakan acuan H balok terbesar dengan jarak sengkang maksimal 100 mm, dengan diameter dan jumlah kaki sama dengan sengkang pada kolom

DETAIL KOLOM

Skala : NTS

KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL BINA UPAYA KESEHATAN
RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

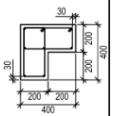
HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

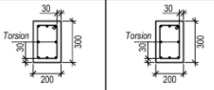
JUDUL GAMBAR

SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
		-

Bars Schedule of Column Lift

NOTATION	Column KL
Section	
Dimension	L 200 x 400
Axial Bars	8 D 13
Stirrup	D10 - 100/150 mm c/c
Concrete cover	30 mm

Bars Schedule of Beam

NOTATION	Beam B5	
	1/4 L	1/2 L
Section		
Dimension	200 x 300	200 x 300
Top Bars	3 D 16	3 D 16
Torsion	2 D 13	2 D 13
Bottom Bars	3 D 16	3 D 16
Stirrup	2 D10 - 100 mm c/c	2 D10 - 100 mm c/c
Concrete cover	30 mm	30 mm

RSUP DR. SARDJITO

SHOP DRAWING

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG PARKIR SEPEDA MOTOR BERTINGKAT

TAHUN ANGGARAN

2023

LOKASI

RSUP DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

KONSULTAN PENGAWAS KONSTRUKSI
PT. WASTU ANOPAMA
DIPERIKSA OLEH

Ir. WENDARWOTO BUDI TIAS SUNGKOWO
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA
PT. IYHAMULIK BENGKANG TURAN
PT. MONODON PILAR NUSANTARA
CV. MUSTIKA JAYA ENJINIRING, KSO
DIBUAT OLEH

HERI PARTONO, ST.
PROJECT MANAGER

CATATAN

JUDUL GAMBAR

BAR SCHEDULE LIFT

SKALA	NO. GAMBAR	JML. LEMBAR
1 : 25	47	-