

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIK
GEDUNG RUSUNAWA JONGKE
DENGAN ANALISIS *PUSHOVER*
MENGUNAKAN PROGRAM SAP2000**

*Performance Seismic Evaluation Of The Building
Rusunawa Jongke Within Analysis Pushover
Using SAP2000 Progame*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Ayu Nur Kusuma Dewi
12511379**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIK
GEDUNG RUSUNAWA JONGKE
DENGAN ANALISIS *PUSHOVER*
MENGUNAKAN PROGRAM SAP2000**

*Performance Seismic Evaluation Of The Building
Rusunawa Jongke Within Analysis Pushover
Using SAP2000 Programe*

disusun oleh

**Ayu Nur Kusuma Dewi
12511379**

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

diuji pada tanggal 16 Januari 2017

oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Atika Ulfah Jamal, S.T., M.Eng., MT

Penguji I

Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D

Penguji II

Yunalia Muntafi, ST., MT

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T.M.T., Ph.D

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, 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 dalam 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 hasil karya saya sendiri atau adanya plagiarisme dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 16 Januari 2017
Yang membuat pernyataan,


Ayu Nur Kusuma Dewi
(12511379)

MOTTO

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (٦)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Alam Nasyrah:6)

لِّلْبَيِّنِينَ مَعَ جَزَاءٍ أَوْ يُعْطَىٰ م سَلَّ إِلَٰهِي نُرُ: لِمِمْ أَلْبَطَا، حَمَّةَ الْبَطَالِبُ: لَعْلَمَ الْبَطَا

“Orang yang menuntut ilmu bearti menuntut rahmat ; orang yang menuntut ilmu bearti menjalankan rukun Islam dan Pahala yang diberikan kepada sama dengan para Nabi”.

(HR. Dailani dari Anas r.a)

UNIVERSITAS
ISLAM
Man Jadda Wa Jadda
INDONESIA

“Barang siapa yang bersungguh-sungguh akan mendapatkannya”

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Kinerja Seismik Gedung “Rusunawa Jongke” Yogyakarta Dengan Analisa Pushover Menggunakan Program SAP2000. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata 1 di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat bantuan baik berupa doa, saran, dukungan, bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuan yang telah diberikan selama penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Orang tua yang selalu mendoakan saya dan mendukung saya untuk selalu maju sehingga terselesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Ir.Harsoyo,M.Sc, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia
3. Ibu Atika Ulfah Jamal, ST,. M.Eng., MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Ibu Miftahul Fauziah, ST, MT, Ph.D, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D, selaku dosen penguji Tugas Akhir.
6. Ibu Yunalia Muntafi, ST,.MT, selaku dosen penguji Tugas Akhir dan kepala laboratorium komputer teknik sipil, Universitas Islam Indonesia.

7. Kakak adikku tercinta Ririn Rachmawati, Fajar Pramono, Oky Fajar Mahendra dan Nabila Qodry Astadewi yang telah membantu dan memberikan motivasi.
8. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
9. Ibu Wiwik, selaku staff tata usaha teknik sipil UII yang banyak membantu dalam proses pendaftaran tugas akhir,
10. Mas Faiz, selaku pengurus laboratorium komputer teknik sipil.
11. Titi Sapwati dan Astrid Devany yang telah memberikan memotivasi agar cepat menyusul kelulusan.
12. Teman-teman Teknik Sipil 2012 (CIVILROLLAS) yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan, perhatian, doa dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
13. Semua pihak yang terlibat dan tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang senantiasa berkontribusi dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Kritik dan saran dapat dikirim melalui alamat email ayunurkusumadewi@gmail.com

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan berbagai pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 16 Januari 2017

Penulis

Ayu Nur Kusuma Dewi

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Subhanallah walhamdulillah walaa ilaa ha illallah wallahu akbar,

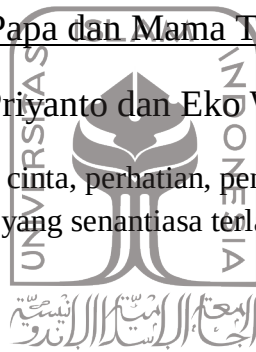
Syukur, alhamdulillah kehadiran Allah Subhanallah Wa Ta'ala atas rahmatnya sehingga karya sederhana ini dapat terselesaikan.

Karya sederhana ini saya persembahkan untuk :

Papa dan Mama Tercinta

Nur Priyanto dan Eko Wahyu Dati

Terima kasih untuk segala cinta, perhatian, pengorbanan, kesabaran, serta sujud panjang dan untaian doa yang senantiasa terlantun dengan penuh keikhlasan.



Kakak dan Adikku Tersayang

Ririn Rachmawati, Fajar Pramono,
Okky Fajar Mahendra dan Nabila Qodry Astadewi

Terima kasih atas perhatian dan motivasi yang diberikan selama ini, tidak ada kesuksesan tanpa perjuangan terima kasih atas segala arahannya yang mendewasakan.

DAFTAR ISI

LEMBAH PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN PENELITIAN	4
1.5 MANFAAT PENELITIAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>PERFORMANCE BASED DESIGN</i>	6
2.2 <i>PERFORMANCE LEVEL</i> MENURUT ATC-40	6
2.3 TINGKAT KINERJA BANGUNAN BERDASARKAN KATEGORI RISIKO BANGUNAN (SNI 03-1726-2012) DAN KELOMPOK KEGUNAAN BANGUNAN (FEMA 302, 1997)	9
2.4 <i>PUSHOVER ANALYSIS</i>	10
2.5 PENGGUNAAN <i>PUSHOVER ANALYSIS</i> UNTUK EVALUASI KINERJA STRUKTUR	10
2.6 KEASLIAN PENELITIAN	11
BAB III LANDASAN TEORI	16

3.1	BANGUNAN TAHAN GEMPA	16
3.2	PEMBEBANAN	16
3.2.1	Beban Hidup	16
3.2.2	Beban Mati	17
3.2.3	Beban Angin	18
3.2.4	Beban Gempa	19
3.3	KEUTAMAAN UMUM BANGUNAN DALAM PENGARUH GEMPA	19
3.3.1	Faktor Keutamaan	19
3.3.2	Respon Spektrum Desain	21
3.3.3	Kategori Desain Seismik	26
3.3.4	Perioda Fundamental Struktur	26
3.3.5	Koefisien Respon Seismik	27
3.3.6	Gaya Geser Dasar Seismik	28
3.3.7	Distribusi Vertikal Gaya Gempa	28
3.3.8	Distribusi Horizontal Gaya Gempa	29
3.4	ANALISIS STATIK BEBAN DORONG (<i>STATIC PUSHOVER ANALYSIS</i>)	29
3.4.1	Pola Beban Dorong	30
3.5	METODE SPEKTRUM KAPASITAS (ATC-40)	30
3.5.1	Kurva Kapasitas	31
3.5.2	Spektrum <i>Demand</i>	31
3.5.3	Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	32
3.5.4	Redaman Viskous Efektif (β_{eff})	32
3.5.5	Batasan <i>Drift Ratio</i>	33
3.6	DAKTILITAS STRUKTUR	34
3.7	SENDI PLASTIS	35
3.8	MODIFIKASI KURVA KAPASITAS MENJADI KURVA BILINIER	37
BAB IV METODELOGI PENELITIAN		38
4.1	LOKASI PENELITIAN	38

4.2 DATA STRUKTUR GEDUNG	38
4.3 TAHAPAN PENELITIAN	41
4.3.1 Pengumpulan Data	41
4.3.2 Perhitungan Beban Gempa	41
4.3.3 Tahapan Pemodelan Struktur	41
4.3.4 Tahapan Analisis <i>Pushover</i>	42
4.4 BAGAN ALIR PENELITIAN	42
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	44
5.1 PEMBEBANAN STRUKTUR	44
5.1.1 Beban Mati	44
5.1.2 Beban Hidup	48
5.1.3 Beban Gempa Ekuivalen Statik	49
5.1.3.1 Berat Total Bangunan	49
5.1.3.2 Respon Spektrum Desain	49
5.1.3.3 Periode Fundamental Pendekatan	52
5.1.3.4 Perhitungan Koefisien Respon Seismik	52
5.1.3.5 Gaya Geser Dasar Seismik	53
5.1.3.6 Gaya Horizontal Gempa	54
5.2 PEMODELAN	54
5.2.1 Pemodelan Kuda-Kuda	54
5.2.2 Pemodelan Struktur	60
5.3 ANALISIS BEBAN GEMPA	61
5.3.1 Analisis Beban Gempa Statik (Gaya Geser Dasar)	61
5.3.2 Pendefisian Massa (<i>Mass Source</i>)	62
5.3.3 Analisis Beban Gempa Dinamik (Gaya Geser Dasar)	62
5.4 <i>PUSHOVER ANALYSIS</i>	64
5.4.1 Pendefisian Sendi Plastis	64
5.4.1.1 Pendefisian Sendi Plastis Pada Balok	64
5.4.1.2 Pendefisian Sendi Plastis Pada Kolom	66
5.4.2 Gaya Lateral <i>Pushover Analysis</i>	68
5.4.3 Pembebanan Analisis <i>Pushover</i> di SAP2000 V14	71

5.4.3.1	Pembebanan Gravitasi	71
5.4.3.2	Pembebanan Lateral	73
5.5	BEBAN RESPON SPEKTRUM	75
5.6	HASIL ANALISIS STATIK NONLINIER (<i>PUSHOVER</i>)	76
5.6.1	Kurva Kapasitas	76
5.6.2	Titik Kinerja Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)	79
5.6.3	Daktilitas Aktual	82
5.6.4	Penentuan Tingkat Kinerja	85
5.6.5	Mekanisme Sendi Palstis	85
5.6.5.1	Sendi Plastis Arah X	86
5.6.5.2	Sendi Plastis Arah Y	91
5.7	PERHITUNGAN PENGECEKAN <i>STRONG COLUMN</i> <i>WEAK BEAM</i> PADA KOLOM YANG <i>COLLAPSE</i>	94
BAB VI	SIMPULAN DAN SARAN	107
6.1	SIMPULAN	107
6.2	SARAN	108
	DAFTAR PUSTAKA	109
	LAMPIRAN	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tingkat kinerja struktur	7
Tabel 2.2	Tingkat kinerja bangunan berdasarkan kategori risiko	

bangunan (SNI 03-1726-2012) dan kelompok bangunan (FEMA 302, 1997)	9
Tabel 2.3 Penelitian sebelumnya pada gedung rusunawa Jongke	12
Tabel 2.4 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan	13
Tabel 3.1 Beban hidup pada lantai gedung	17
Tabel 3.2 Beban sendiri bahan bangunan dan komponen gedung	17
Tabel 3.3 Koefisien angin	18
Tabel 3.4 Kategori risiko	19
Tabel 3.5 Faktor keutamaan gempa	21
Tabel 3.6 Koefisien situs, F_a	23
Tabel 3.7 Koefisien situs, F_v	24
Tabel 3.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek	26
Tabel 3.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1,0 detik	26
Tabel 3.10 Nilai parameter pendekatan C_t dan α	27
Tabel 3.11 Koefisien untuk batas pada periode yang dihitung	27
Tabel 3.12 Batasan <i>drift ratio</i> untuk level kinerja menurut ATC-40	33
Tabel 3.13 Batasan tipe bangunan pada <i>capacity spectrum method</i>	34
Tabel 4.1 Tinggi bangunan	39
Tabel 4.2 Tipe balok	39
Tabel 4.3 Tipe kolom	40
Tabel 4.4 Tipe pelat	40
Tabel 5.1 Beban mati pelat lantai	44
Tabel 5.2 Beban mati pelat atap	45
Tabel 5.3 Beban mati pelat tangga	45
Tabel 5.4 Beban mati pelat bordes	45
Tabel 5.5 Beban dinding	46
Tabel 5.6 Berat bangunan	49
Tabel 5.7 Hasil perhitungan distribusi horizontal gaya gempa	54

Tabel 5.8 Reaksi perletakan <i>joint</i> untuk berat sendiri kuda-kuda	59
Tabel 5.9 Gaya geser dasar	63
Tabel 5.10 Gaya lateral <i>pushover</i> arah x dan arah y	68
Tabel 5.11 Data <i>pushover curve</i> arah x	77
Tabel 5.12 Data <i>pushover curve</i> arah y	77
Tabel 5.13 <i>Performance point</i> metode ATC-40	81
Tabel 5.14 Daktilitas struktur aktual	84
Tabel 5.15 Nilai <i>drift ratio</i>	85
Tabel 5.16 Penjelasan warna sendi plastis	86
Tabel 5.17 Nilai Pu dan Mu pada portal 0A dan portal 5	100
Tabel 5.18 Nilai Pn dan Mn portal 0A dan portal 5	101
Tabel 5.19 Nilai ϕM_n portal 0A dan portal 5	102
Tabel 5.20 Nilai Pu dan Mu portal 12 dan portal 13	103
Tabel 5.21 Nilai Pn dan Mn portal 12 dan portal 13	104
Tabel 5.22 Nilai ϕM_n portal 12 dan portal 13	105

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektra kapasitas	6
Gambar 2.2 Kurva kriteria tingkat kinerja	8

Gambar 3.1 Koefisien angin	18
Gambar 3.2 S_s – Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCE_R), kelas SB	21
Gambar 3.3 S_I – Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCE_R), kelas SB	22
Gambar 3.4 C_{RS} , Koefisien risiko terpetakan, periode respon spektral 0,2 detik	22
Gambar 3.5 C_{RI} , Koefisien risiko terpetakan, periode respon spektral 0,2 detik	23
Gambar 3.6 Spektrum respon desain	25
Gambar 3.7 Pola distribusi pembebanan lateral	30
Gambar 3.8 Kurva kapasitas	31
Gambar 3.9 <i>Determination of Performance Point</i>	32
Gambar 3.10 Simpangan dan rasio simpangan pada atap	34
Gambar 3.11 Hubungan gaya dan simpangan	35
Gambar 3.12 Pola terbentuk sendi plastis	36
Gambar 3.13 Posisi sumbu lokal	37
Gambar 3.14 Kemiringan pasca leleh	37
Gambar 4.1 Lokasi rusunawa Jongke	38
Gambar 4.2 Denah bangunan lantai 1	40
Gambar 4.3 Denah bangunan tampak samping	41
Gambar 4.4 Bagan alir penelitian	43
Gambar 5.1 Potongan kuda-kuda	46
Gambar 5.2 Grafik respon spektrum	52
Gambar 5.3 Pemodelan struktur kuda-kuda	54
Gambar 5.4 Material	55
Gambar 5.5 Profil	55
Gambar 5.6 <i>Load Pattern</i>	56
Gambar 5.7 <i>Joint forces</i>	56
Gambar 5.8 Beban mati pada <i>joint</i>	57
Gambar 5.9 Beban hidup pada <i>joint</i>	57

Gambar 5.10 Beban angin pada <i>joint</i>	58
Gambar 5.11 <i>Frame</i> setelah di <i>release</i>	58
Gambar 5.12 <i>Set analyze</i>	59
Gambar 5.13 <i>Run analysis</i>	59
Gambar 5.14 Pemodelan struktur 3D	60
Gambar 5.15 Pemodelan struktur 3D tampak samping	61
Gambar 5.16 <i>Base reaction</i> akibat beban gempa statik ekivalen	61
Gambar 5.17 <i>Mass source</i>	62
Gambar 5.18 <i>Base reaction</i> akibat beban gempa dinamik	68
Gambar 5.19 <i>Hinges</i> pada balok	64
Gambar 5.20 Pendefisian <i>hinges</i>	65
Gambar 5.21 Hasil pendefisian <i>hinge</i> balok	65
Gambar 5.22 <i>Hinges</i> pada kolom	66
Gambar 5.23 <i>Moment rotation</i> data kolom	67
Gambar 5.24 <i>Interaction</i> pada kolom	67
Gambar 5.25 Pola beban respon spektrum	68
Gambar 5.26 Titik penempatan gaya lateral lantai 2 arah x dan y (+3.2)	69
Gambar 5.27 Titik penempatan gaya lateral lantai 3 arah x dan y (+6)	69
Gambar 5.28 Titik penempatan gaya lateral lantai 4 arah x dan y (+8.8)	69
Gambar 5.29 Titik penempatan gaya lateral lantai 5 arah x dan y (+11.6)	70
Gambar 5.30 Titik penempatan gaya lateral lantai 6 arah x dan y (+14.6)	70
Gambar 5.31 Titik penempatan gaya lateral ring balok arah x dan y (+15.27) dan tandon air (+16.07)	70
Gambar 5.32 Pengaturan <i>analysis case</i> beban gravitasi	71
Gambar 5.33 <i>Load application control for nonlinear static analysis</i>	72
Gambar 5.34 <i>Load case data – nonlinier ststic gravitasi</i>	72
Gambar 5.35 Pengaturan <i>analysis case</i> beban lateral <i>pushover</i> arah x	73
Gambar 5.36 Pengaturan <i>analysis case</i> beban lateral <i>pushover</i> arah y	73
Gambar 5.37 <i>Load application control</i>	74
Gambar 5.38 <i>Result saved</i> pada arah x dan arah y	75
Gambar 5.39 <i>Nonlinier parameters</i> pada arah x dan arah y	75

Gambar 5.40 <i>Curve resultan base shear vs monitored displacement</i> arah x	76
Gambar 5.41 <i>Curve resultan base shear vs monitored displacement</i> arah y	77
Gambar 5.42 Perbandingan kurva kapasitas arah x dan y	78
Gambar 5.43 Pendefisian parameter metode ATC-40 pada arah x	79
Gambar 5.44 Pendefisian parameter metode ATC-40 pada arah y	80
Gambar 5.45 <i>Performance point</i> arah x	80
Gambar 5.46 <i>Performance point</i> arah y	81
Gambar 5.47 Penentuan daktilitas aktual untuk pembebanan arah x	83
Gambar 5.48 Penentuan daktilitas aktual untuk pembebanan arah y	83
Gambar 5.49 Posisi sendi plastis pada TB elev -0,7 step 1	87
Gambar 5.50 Posisi sendi plastis pada portal 5 step 5	88
Gambar 5.51 Posisi sendi plastis pada portal 0A step 5	88
Gambar 5.52 Posisi sendi plastis pada portal 5 step 6	89
Gambar 5.53 Posisi sendi plastis pada portal 0A step 6	89
Gambar 5.54 Posisi sendi plastis pada portal 1 step 6	90
Gambar 5.55 Posisi sendi plastis pada portal 12 step 6	90
Gambar 5.56 Posisi sendi plastis pada TB elev -0,7 step 1	91
Gambar 5.57 Posisi sendi plastis pada portal B step 2	92
Gambar 5.58 Posisi sendi plastis pada portal 13 step 4	92
Gambar 5.59 Posisi sendi plastis pada portal 12 step 5	93
Gambar 5.60 Posisi sendi plastis pada portal 1 step 5	93
Gambar 5.61 Posisi sendi plastis pada portal 12 step 5	94
Gambar 5.62 Gaya yang bekerja pada <i>joint</i> balok kolom	96
Gambar 5.63 Portal 0A	96
Gambar 5.64 Portal 5	97
Gambar 5.65 Portal 12	97
Gambar 5.66 Portal 13	98
Gambar 5.67 Gaya momen nominal negatif	98
Gambar 5.68 Gaya momen nominal positif	100
Gambar 5.69 Diagram interaksi kolom k1 portal 0A	101
Gambar 5.70 Diagram Pn Mn pada portal 0A dan portal 5	102

Gambar 5.71 Diagram interaksi kolom k1 portal 12	104
Gambar 5.72 diagram Pn Mn portal 12 dan portal 13	105



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Denah pile cap dan tie beam	99
Lampiran 2	Potongan tie beam dan detail pondasi	100
Lampiran 3	Denah kolom lantai 1 s/d lantai 4	101
Lampiran 4	Denah kolom lantai 5, lantai atap dan <i>roof tank</i>	102
Lampiran 5	Tabel penulangan kolom dan denah <i>shear wall</i>	103
Lampiran 6	Denah balok lantai 2 s/d lantai 5	104
Lampiran 7	Denah ring balok lantai atap elv (+14,55 m, +15,27 m dan +16,07 m)	105
Lampiran 8	Tabel penulangan balok	106
Lampiran 9	Portal AS-3 dan Portal AS-5	107
Lampiran 10	Denah pelat lantai 1	108
Lampiran 11	Denah pelat lantai 1 dan lantai 2	109
Lampiran 12	Denah pelat lantai 3 s/d lantai 5 dan pelat atap elv +14,55 m	110
Lampiran 13	Denah pelat atap elv +16,07 m	111
Lampiran 14	Potongan kuda-kuda	112
Lampiran 15	Denah tangga utama lantai 1 s/d lantai 5	113
Lampiran 16	Denah tangga darurat lantai 1 s/d lantai 5	114

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

C_{RS}	: Koefisien risiko terpetakan periode 0,2 detik
C_{RS1}	: Koefisien risiko terpetakan periode 1 detik
C_s	: Koefisien respon seismic
C_t	: Faktor modifikasi berdasarkan rekaman gempa yang sesuai dengan tipe-tipe bangunan
C_u	: Koefisien batas perioda
C_{vx}	: Faktor distribusi vertical
F	: Gaya gempa lateral
F_a	: Faktor amplifikasi seismic periode 0,2 detik
F_i	: Beban-beban gempa nominal statik ekuivalen
f_u	: Tegangan leleh
F_v	: Faktor amplifikasi seismic periode 1,0 detik
F_x	: Gaya lateral arah x
F_y	: Gaya lateral arah y
f_y	: Mutu baja
g	Percepatan gravitasi
h_n	: Tinggi total bangunan
h_i	: Tinggi dari dasar sampai tingkat i
h_x	: Tinggi dari dasar sampai tingkat x
I_e	: Faktor keutamaan gempa
k	: Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
P_i	: Gaya gravitasi total lantai i
R	: Faktor modifikasi respon
S_a	: <i>Spectral acceleration</i>
S_{ai}	: <i>Spectral acceleration</i> pada perioda i
S_d	: <i>Spectral displacement</i>
S_{di}	: <i>Spectral displacement</i> pada perioda i
$SD1$	: Parameter percepatan spektral desain periode 1,0 detik
SDS	: Parameter percepatan spektral desain periode 0,2 detik
SMS	: Parameter spektrum repon percepatan periode 0,2 detik

$SM1$	: Parameter spektrum respon percepatan periode 1,0 detik
S_s	: Respon spektrum percepatan untuk periode 0,2 detik
S_1	: Respon spektrum percepatan untuk periode 1,0 detik
T	: Periode getar fundamental struktur
T_a	: Periode fundamental pendekatan
T_s	: Jumlah gaya total dari tulangan tarik
T_0	: Periode getar awal
V	: Gaya geser dasar seismic
V_i	: Gaya geser total lantai i
V_t	: Gaya geser dasar pada <i>performance point</i>
V_x	: Gaya geser dasar desain semua tingkat
V_{y1}	: Gaya geser dasar leleh pertama
V_{y2}	: Gaya geser dasar runtuh
w_i	: Bagian berat seismik efektif total struktur (W_T) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i
W	: Berat seismik efektif
W_T	: Berat total bangunan
w_x	: Bagian berat seismik efektif total struktur (W_T) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat x
x	: Parameter pendekatan
β_{eff}	: Redaman viskous efektif
μ	: <i>Displacement</i>
Δ_u	: <i>Displacement lateral ultimit</i>
Δ_y	: <i>Displacement</i> pada saat leleh
δ_t	: <i>Displacement</i> yang didapat pada <i>performance point</i>

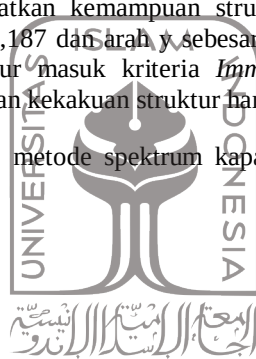
ABSTRAK

Pada saat ini metode perencanaan bangunan tahan gempa telah beralih dari berdasarkan kekuatan (*performance based*) menuju berdasarkan kinerja (*performance based*), salah satunya dengan metode analisis *pushover*. Analisis *pushover* mampu memberikan informasi pola keruntuhan bangunan ketika terbebani gaya gempa melebihi kapasitas bangunan. Tujuan penelitian ini adalah evaluasi kinerja pada gedung Rusunawa Jongke untuk mengetahui kurva kapasitas, mekanisme terjadinya sendi plastis, mengetahui tingkat kinerja, dan nilai daktilitas aktual struktur.

Dalam penelitian ini analisis *pushover* dilakukan dengan metode spektrum kapasitas berdasarkan ATC40 yang sudah ada didalam program SAP2000 V14. Analisis *pushover* menghasilkan mekanisme sendi plastis dan kurva kapasitas, dari kurva kapasitas dapat terlihat letak *performance point*, selanjutnya dapat ditentukan tingkat kinerja struktur dan daktilitas aktual.

Hasil penelitian ini, didapatkan kurva kapasitas pada pembebanan arah y memiliki kemiringan kurva yang lebih tegak membentuk sudut kemiringan yang lebih besar dibanding kurva kapasitas arah x, dimana gaya geser yang terjadi lebih besar dengan simpangan lebih kecil sebaliknya untuk pembebanan arah x, hal ini dikarenakan pada arah y terdapat dinding geser dimana dinding geser meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya geser. Nilai daktilitas untuk arah x sebesar 4,187 dan arah y sebesar 3,079 termasuk dalam tingkat daktilitas terbatas. Tingkat kinerja struktur masuk kriteria *Immediate Occupancy* yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadi gempa.

Kata kunci : Analisis *pushover*, metode spektrum kapasitas, sendi platis, kurva kapsitas, nilai daktilitas, tingkat kinerja.



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

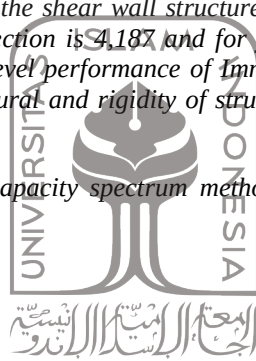
ABSTACT

At this time the design method of earthquake resistant buildings switched from performance-force approach towards performance-based, one of them using pushover analysis. The pushover analysis is able to provide the information of collapse patterns buildings when it burdened earthquake forces exceed the capacity of the building. The purpose of this research is to evaluate the earthquake resistance performance of the building's Rusunawa Jongke to determine the capacity curve, the plastic joints mechanism, determine the performance level, and actual ductility structure.

The pushover analysis has been done using the capacity spectrum method based on ATC-40 that existed in SAP2000 V14 program. Pushover analysis produces plastic joints mechanism and the capacity curve, of the capacity curve can see the position of point performance, then performance levels can be determined and actual ductility structure.

From the research, we gained the capacity curve on load y-direction has a slope of more upright from a tilt angle is greater than the capacity curve on load x-direction, which has shear force greater with a deviation smaller opposite the load x-direction, this is because the load y-direction has shear wall where the shear wall structure increases the ability to withstand shear forces. Ductility value for x-direction is 4,187 and for y-direction is 3,079 included in the rate limited ductility. The structure level performance of Immediate Occupancy criteria which means there is minor damage on structural and rigidity of structure almost the same at the time before the earthquake.

Keywords: Pushover analysis, capacity spectrum method, plastic joints, curve capacity, actual ductility, performance level.



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara dengan letak geografis yang berada diantara 4 lempeng, yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, Indo-Australia dan Filipina, kondisi ini mengakibatkan Indonesia rawan akan bencana gempa sebagai akibat dari pergeseran ke-4 lempeng tersebut.

Beberapa peristiwa gempa telah terjadi di Indonesia salah satunya di Yogyakarta pada 27 Mei tahun 2006 lalu, menurut informasi BMKG gempa tersebut memiliki kekuatan 5,9 SR. Peristiwa ini mengakibatkan kerusakan bangunan dengan berbagai macam pola keruntuhan, menimbulkan korban jiwa serta kerugian materi yang tidak sedikit. Bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempa ini antara lain, Mall Shapir Square mengalami kerusakan parah di lantai 4 dan 5, serta kanopi teras Mall ambruk sehingga menimpa teras Mall. GOR Among Rogo mengalami kerusakan parah, atap GOR roboh dan hanya tersisa tembok di sisi-sisinya, selain itu masih banyak bangunan yang mengalami kerusakan. (Sumber:wikipedia.org)

Berkaitan dengan kerusakan bangunan akibat gempa maka diperlukan evaluasi kekuatan struktur bangunan pada bangunan yang sudah ada. Evaluasi bangunan tidak hanya dilakukan pasca gempa, namun perlu juga upaya mitigasi untuk meminimalisir dampak dari bencana gempa. Sehingga dilakukan evaluasi kinerja seismik pada bangunan *existing*, hal ini merupakan langkah yang tepat dalam penanggulangan dampak bencana gempa.

Pada saat ini metode perencanaan bangunan tahan gempa telah beralih dari berdasarkan kekuatan (*force based*) menuju berdasarkan kinerja (*performance based*). Perencanaan berbasis kinerja sangat penting karena sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan dengan jelas. Sasaran kinerja gempa antara lain ditentukan dari tingkat kinerja. Tingkat kinerja merupakan batasan kerusakan

yang ditentukan dari kerusakan fisik struktur dan elemen struktur, sehingga dengan adanya tingkat kinerja dapat diketahui keadaan struktur bangunan.

Pada penelitian ini difokuskan untuk melakukan evaluasi kinerja struktur pada struktur yang sudah berdiri (kondisi *existing*) yaitu Rumah Susun Sewa (RUSUNAWA) Jongke berlokasi di Jl. Jongke, Sendangadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sebelumnya Firdanisa (2016) telah melakukan penelitian pada gedung ini yaitu mencari perbandingan respon struktur dan kinerja struktur bangunan akibat beban statik menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. Hasil penelitian Firdanisa (2016) menunjukkan respon spektrum mengalami peningkatan pada SNI 03-1726-2012 serta memenuhi persyaratan kinerja batas layan dan batas ultimit sesuai yang didefinisikan pada SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012, dimana penelitian ini termasuk dalam evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*) menurut FEMA 310 (1998).

Berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan, rusunawa ini termasuk dalam kegunaan kelompok II menurut FEMA 302 (1997) dan dalam kategori risiko II menurut SNI 03-1726-2012. Rusunawa merupakan bangunan dengan penghuni yang tidak sedikit dan terdiri dari berbagai macam usia oleh karena itu bangunan tersebut tidak boleh langsung runtuh apabila terjadi gempa, setidaknya masih ada waktu untuk penghuni mengevakuasi diri sehingga bangunan tersebut tidak seketika menimbulkan korban jiwa, dan meskipun dapat terjadi kerusakan namun masih dapat diperbaiki, sehingga diharapkan ketika terjadi gempa bangunan memiliki tingkat kinerja *immediate occupancy*.

Pada gempa besar struktur akan terjadi plastisifikasi di beberapa tempat sehingga bangunan sudah tidak berperilaku linier namun nonlinier, maka untuk melanjutkan penelitian sebelumnya dilakukan evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) menurut FEMA 310 (1998) menggunakan analisis *pushover* dalam evaluasi kinerja struktur tersebut. Analisis *pushover* ini sangat sederhana, yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu.

Dalam analisis *pushover* akan didapatkan kurva kapasitas, kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang diberikan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu sampai kondisi ultimit. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Sendi plastis akibat momen lentur terjadi pada struktur jika beban yang bekerja melebihi kapasitas momen lentur yang ditinjau (Pranata, 2006).

Selanjutnya dari kurva kapasitas akan didapatkan tingkat kinerja struktur berdasarkan kriteria *drift ratio* yang didapat saat titik kinerja tercapai. Menurut ATC-40 batasan *drift ratio* ditentukan dari perbandingan *roof drift* dengan tinggi total bangunan. Kemampuan struktur dalam berdeformasi inelastis akibat beban siklik tanpa kehilangan kekuatan yang berarti disebut dengan daktilitas struktur, pada gedung yang akan diteliti ini tingkat daktilitas tidak diketahui, maka perlu dicari daktilitas aktual guna mengetahui tingkat daktilitas struktur pada bangunan ini.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Sesuai dengan latar belakang yang telah disebutkan di atas, maka didapat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana dan seperti apa kurva kapasitas bangunan yang ditinjau?
2. Berapa nilai daktilitas aktual bangunan yang ditinjau?
3. Bagaimana tingkat kinerja bangunan yang ditinjau terhadap beban gempa?
4. Bagaimana mekanisme terjadinya sendi plastis pada bangunan yang ditinjau?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kurva kapasitas pada bangunan yang ditinjau.
2. Mengetahui nilai daktilitas aktual bangunan yang ditinjau.

3. Mengetahui tingkat kinerja bangunan yang ditinjau terhadap beban gempa.
4. Mengetahui mekanisme terjadinya sendi plastis yang terjadi pada bangunan yang ditinjau.

1.4 BATAS PENELITIAN

1. Bangunan yang diteliti adalah Gedung Rumah Susun Sewa (RUSUNAWA) Jongke, Jl. Jongke, Sendangadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Penelitian fokus pada evaluasi kinerja struktur pada kondisi *existing* terhadap bahaya bencana gempa.
3. Komponen yang dievaluasi hanya komponen struktur.
4. Pondasi dan kondisi tanah tidak dievaluasi.
5. Denah bangunan (d disesuaikan dengan *structural drawing* Gedung Rusunawa Jongke).
6. Mutu bahan pada struktur sebagai berikut.
 - a. Mutu beton pada balok, kolom dan pelat $f'_c = 28,498 \text{ MPa}$
 - b. Mutu baja tulangan, $f_y = 390 \text{ MPa}$
 $f_{ys} = 240 \text{ MPa}$
7. Analisis penelitian sebagai berikut ini.
 - a. Gedung dianalisis secara 3 dimensi, menggunakan program SAP2000 V14.
 - b. Tumpuan yang digunakan dalam pemodelan numerik adalah jepit.
 - c. Pemodelan numerik sebagai *open frame*.
 - d. *Shear wall* dimodelkan sebagai *shell-thick*.
 - e. Dinding bata tidak dimodelkan.
 - f. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*.
 - g. Plat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin*.
 - h. Dilakukan *Auto mesh* pada pelat.
 - i. Kondisi tanah diasumsikan jenis tanah sedang.
 - j. Jumlah tingkat yang dianalisis adalah 5 tingkat, dengan tinggi total 16,07 m.
 - k. Gaya lateral yang ditinjau adalah beban gempa horisontal.

- l. Beban atap sebagai beban titik pada struktur gedung.
 - m. T tidak dihitung menggunakan *T crack*.
 - n. Analisis nonlinier yang dilakukan dalam evaluasi adalah analisis nonlinier statik (*pushover analysis*)
8. Peraturan
- a. Perhitungan dan analisis beban gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012).
 - b. Perhitungan pembebanan mengacu pada Perancangan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987).
 - c. Peraturan untuk evaluasi kinerja bangunan mengacu pada metode ATC-40.
 - d. Peraturan untuk Input sendi plastis dilakukan dengan *automatic hinges* yang sudah ada pada SAP2000 sesuai peraturan FEMA 356, 2000

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini diharapkan :

- 1. Dapat dijadikan masukan dalam evaluasi bangunan dalam mitigasi bencana gempa yang memperhatikan tingkat kinerja struktur.
- 2. Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan struktur sehingga mampu bertahan pada saat terjadi gempa.

BAB II

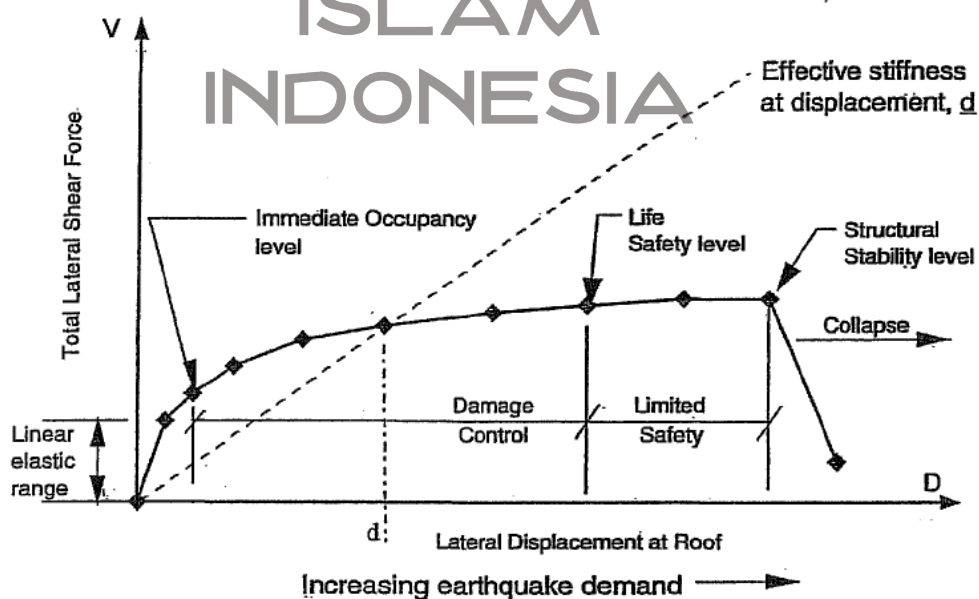
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PERFORMANCE BASED DESIGN

Performance based design merupakan perencanaan bangunan tahan gempa dengan pendekatan tingkat kinerja. Perencanaan ini dilakukan menggunakan metode analisis non linier berbasis komputer untuk menganalisis perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa) sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis. Selanjutnya dapat dilakukan tindakan bilamana tidak memenuhi persyaratan yang diperlukan

2.2 PERFORMANCE LEVEL MENURUT ATC-40

Performance level (tingkat kinerja) merupakan kondisi atau batasan kerusakan pada bangunan yang dijelaskan oleh kerusakan fisik bangunan saat menerima beban gempa. Tingkat kinerja menurut ATC-40 akan disajikan dalam Gambar 2.1 dan Tabel 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Spektra kapasitas
(ATC-40, 1996)

Tabel 2.1 Tingkat kinerja struktur

Tingkat Kinerja	Uraian
SP-1	<i>Immediate Occupancy</i> (Penggunaan sedang)
SP-2	<i>Damage control</i> (kontrol kerusakan)
SP-3	<i>Life Safety</i> (Aman untuk dihuni)
SP-4	<i>Limited Safety</i> (Stabilitas struktural)
SP-5	<i>Struktural Stability</i> (Stabilitas struktural)
SP-6	<i>Not Considered</i> (Tidak diperhitungkan)

(ATC-40, 1996)

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. *Immediate Occupancy*

Kerusakan struktur sangat terbatas. Sistem penahan beban vertikal dan lateral bangunan hampir sama dengan kondisi sebelum terjadi gempa. Resiko korban jiwa akibat keruntuhan struktur dapat diabaikan.

2. *Damage control*

Kondisi ini bukan merupakan level kinerja dari struktur, namun kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadi gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam range antara IO dan LS.

3. *Life Safety*

Struktur mampu menahan gempa dengan sedikit kerusakan struktural, resiko korban jiwa terhadap kerusakan struktur sangat rendah.

4. *Limited Safety*

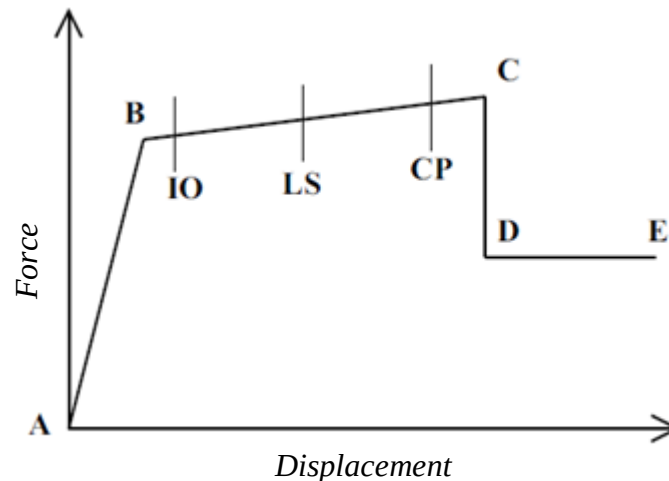
Kondisi ini bukan level kinerja dari struktur, namun kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadi gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam range antara LS dan CP.

5. *Structural Stabillity*

Setelah terjadi gempa, struktur bangunan mengalami keruntuhan sebagian maupun total. Meskipun struktur bersifat stabil, ada kemungkinan korban jiwa akibat kerusakan struktur.

6. *Not Considered*

Kondisi ini bukan level kinerja, namun kondisi yang menjelaskan dimana sudah tidak mampu menahan gempa dan bangunan sudah runtuh.



Gambar 2.2 Kurva kriteria tingkat kinerja
(ATC-40,1996)

Dari Gambar 2.2 dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a. Bila struktur mengalami gempa atau gaya geser dasar (V_b) dengan kondisi gempa tersebut kurang dari gempa rencana (V_n), maka komponen masih dalam keadaan elastis (titik A-B).
- b. Titik B menunjukkan keadaan leleh pertama.
- c. Bila $V_b > V_y$, struktur dalam keadaan plastis (titik B-C).
- d. Titik C menunjukkan batasan maksimum struktur dalam menahan gempa (V_b).
- e. V terus meningkat maka akan terjadi degradasi pada struktur (titik C-D).
- f. Titik D menunjukkan bahwa struktur tidak mampu menahan gempa (V_b), tetapi masih mampu menahan beban gravitasi, bila beban ditingkatkan struktur akan runtuh.

2.3 TINGKAT KINERJA BANGUNAN BERDASARKAN KATEGORI RISIKO BANGUNAN (SNI 03-1726-2012) DAN KELOMPOK KEGUNAAN BANGUNAN (FEMA 302, 1997)

Berdasarkan fungsi bangunan kategori risiko menurut SNI 03-1726-2012 similiar dengan kegunaan kelompok bangunan menurut FEMA 302 (1997), disajikan dalam Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Tingkat kinerja bangunan berdasarkan kategori risiko bangunan (SNI 03-1726-2012) dan kelompok kegunaan bangunan (FEMA 302, 1997)

SNI 03-1726-2012	FEMA 302 (1997)			
Risiko	Kelompok kegunaan	Tingkat kinerja	Penjelasan	Contoh
IV	III	<i>Full Operational</i>	Bangunan harus bisa tetap beroperasi secara penuh pasca gempa.	<ul style="list-style-type: none"> - Rumah sakit dengan pelayanan darurat, - Pemadam kebakaran, - Tempat perlindungan darurat, - Bangunan dengan bahan peledak dan berisi cukup banyak bahan beracun.
III dan II	II	<i>Immediate Occupancy</i>	Bangunan harus tetap bisa beroperasi walaupun tidak secara penuh, terjadi kerusakan struktural ringan sehingga aman untuk langsung dihuni kembali.	<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan dengan jumlah penghuni lebih dari 300 orang, - Bangunan pendidikan, - Pusat perawatan kapasitas lebih dari 150 orang.
I	I	<i>Life Safety dan Collapse Prevention</i>	<p><i>Life safety</i> : kondisi struktur bisa mengalami kerusakan sedang sampai berat namun beberapa bagian tertentu tetap tidak rusak, keamanan penghuni masih tetap terjaga dan setelah gempa masih dapat diperbaiki walaupun tidak ekonomis.</p> <p><i>Collapse Prevention</i> : kondisi struktur mengalami kerusakan berat sehingga keamanan penghuni tidak terjamin namun struktur secara keseluruhan tetap dirancang tidak runtuh, perbaikan bangunan pada kondisi ini tidak ekonomis sehingga lebih baik di runtuhkan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, - perkebunan, - Peternakan, - Gudang penyimpanan - Struktur kecil lainnya.

Berdasarkan Tabel 2.2, maka jenis pemanfaatan bangunan rusunawa Jongke termasuk dalam kategori risiko II menurut SNI 03-1726-2012 dan dalam kegunaan kelompok II menurut FEMA 302 (1997) dengan tingkat kinerja *Immediate Occupancy* yaitu bangunan terjadi kerusakan struktur ringan, hal ini similiar dengan level kinerja *Immediate Occupancy* menurut ATC-40 yaitu kerusakan struktur sangat terbatas.

2.4 PUSHOVER ANALYSIS

Analisis *pushover* merupakan analisis yang digunakan dalam perencanaan struktur tahan gempa berbasis kinerja (*performance based design*) untuk mengetahui kapasitas suatu struktur. Metode analisis ini sangat sederhana yaitu memberikan pola beban statis tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap sampai struktur tersebut mencapai target perpindahan tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari hasil analisis, dapat digambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan simpangan atap, hubungan tersebut kemudian dipetakan sebagai kurva kapasitas struktur. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastik, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya. (Dewobroto, 2004).

2.5 PENGGUNAAN PUSHOVER ANALYSIS UNTUK EVALUASI KINERJA STRUKTUR

Evaluasi kinerja terhadap tiga gedung beton bertulang dengan sistem Struktur Rangka Khusus (SPRMK) dan Menengah Pemikul Momen (SPRM) bertingkat sepuluh dan beraturan telah diteliti oleh Pranata (2006). Gedung yang dievaluasi didesain sesuai SNI 1726 (2002) dan SNI 03-2874 (2002). Evaluasi perilaku seismik dilakukan menggunakan evaluasi kinerja *pushover* analisis dan inelastik dinamik riwayat waktu. Evaluasi kinerja dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan target peralihan. Parameter ini yang akan digunakan dalam menentukan kriteria kinerja struktur. Penelitian ini menghasilkan bahwa analisis menggunakan *capacity spectrum method* dapat menunjukkan kinerja bangunan yang telah direncanakan terhadap gempa dengan berbagai perioda ulang.

Nissa Zahra dkk (2014) telah melakukan penelitian tentang analisis kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis pushover menggunakan software ETABS. Metode yang digunakan adalah analisis statik *nonlinier pushover* yang mengacu pada ATC-40, dengan menggunakan program ETABS. Hasil dari penelitian ini *displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* yang diijinkan, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana, gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat *pushover* menggunakan ETABS telah diteliti oleh Ibnu dkk (2014). Metode yang digunakan dalam evaluasi ini mengacu pada ATC-40 dan FEMA. Tujuan dalam penelitian ini yaitu mengetahui kinerja gedung berdasarkan mekanisme terbentuk sendi plastis dan hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Hasil dari penelitian ini *displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* maksimal, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana, gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

2.6 KEASLIAN PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada gedung Rusunawa Jongke berlokasi di Jl. Jongke, Sendangadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sebelumnya Firdanisa (2016) telah melakukan penelitian pada gedung ini telah dijelaskan pada subab 2.5, dimana penelitian tersebut termasuk dalam evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*) maka untuk melanjutkan penelitian sebelumnya dilakukan evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) menggunakan analisis *pushover*, ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian sebelumnya pada gedung rusunawa Jongke

	Penelitian Terdahulu
Peneliti	Firdanisa (2016)
Judul Penelitian	Perbandingan Respons Struktur Akibat Beban Gempa Statik Pada Gedung Bertingkat Menurut SNI 03-1726-2002 Dan SNI 03-1726-2012
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan respons struktur dan kinerja struktur bangunan akibat beban gempa statik SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.
Metode	1. Perhitungan pembebanan, beban hidup, beban mati, beban gempa (SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012) 2. Pemodelan 3D dan analisis dengan SAP2000 V14.
Hasil Penelitian	1. Nilai respons struktur pada SNI 03-1726-2012 mengalami peningkatan dibandingkan dengan SNI 03-1726-2002 baik arah X maupun arah Y. 2. Kinerja struktur gedung akibat pembebanan lateral akibat beban gempa berdasarkan defleksi dan simpangan antar tingkat memenuhi persyaratan kinerja batas layan dan batas ultimit.

Berdasarkan referensi yang ada, penelitian untuk evaluasi kinerja gedung dengan analisis *pushover* sudah banyak dilakukan. Pada umumnya pemodelan, analisis dan desain dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 dan ETABS. Sepengetahuan penulis, penelitian serupa pada gedung tersebut belum pernah dilakukan, sehingga dapat dijaga keaslian penelitian ini. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian terdahulu yang telah dipaparkan pada sub bab 2.5 dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan

	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Pranata Aji Yosafat (2006)	Nissa Zahra dkk (2014)	Ibnu dkk (2014)	Ayu Nur Kusuma Dewi
Judul Penelitian	Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis	Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS. Studi Kasus : Hotel di Semarang	Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS. Studi Kasus : Hotel di wilayah Karanganyar	Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Rusunawa Jongke Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000.
Tujuan Penelitian	1. Melakukan evaluasi perilaku seismic dengan analisis beban dorong dan analisis riwayat waktu. 2. Melakukan evaluasi kinerja struktur.	1. Menentukan level kinerja seismik struktur dari hasil nilai <i>performance point</i> menggunakan code ATC-40.	1. Menentukan level kinerja seismik struktur dari hasil nilai <i>performance point</i> menggunakan code ATC-40 dan FEMA.	1. Mengetahui kurva kapasitas pada bangunan yang ditinjau. 2. Mengetahui tingkat kinerja bangunan yang ditinjau. 3. Mengetahui nilai daktilitas pada bangunan yang ditinjau. 4. Mengetahui mekanisme sendi plastis yang terjadi pada bangunan yang ditinjau.

Lanjutan 2.4 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan

	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Pranata Aji Yosafat (2006)	Nissa Zahra dkk (2014)	Ibnu dkk (2014)	Ayu Nur Kusuma Dewi
Metode	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan 3D dan analisis dengan SAP 2000. 2. Pedoman perhitungan pembebanan gempa menggunakan SNI 1726-2002. 3. Metoda <i>capacity spectrum</i> ATC-40. 4. Kriteria kinerja FEMA 356, FEMA 440. 5. Analisis riwayat waktu DRAIN-2D 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan 3D dan analisis dengan ETABS. 2. Pedoman perhitungan pembebanan gempa menggunakan SNI 1726-2002. 3. Kriteria kinerja ATC-40. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan 3D dan analisis dengan ETABS. 2. Pedoman perhitungan pembebanan gempa menggunakan SNI 1726-2012. 3. Kriteria kinerja ATC-40 dan FEMA. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan 3D dan analisis dengan SAP 2000. 2. Perhitungan dan analisis beban gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). 3. Peraturan untuk evaluasi kinerja bangunan mengacu pada metode ATC-40.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan

	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Pranata Aji Yosafat (2006)	Nissa Zahra dkk (2014)	Ibnu dkk (2014)	Ayu Nur Kusuma Dewi
Hasil Penelitian	<p>1. Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan sendi plastis hanya terbentuk pada elemen balok dan kolom lantai dasar, sehingga mekanisme tingkat tidak terjadi.</p> <p>2. Peralihan tidak bergantung pada nilai percepatan puncak muka tanah, tapi dipengaruhi faktor karakteristik gempa</p>	<p>1. Gedung termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i>.</p> <p>2. Displacement gedung tidak melampaui displacement yang diijinkan.</p> <p>3. Konsep desain <i>strong column weak beam</i> telah terpenuhi.</p>	<p>1. Gedung termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i>.</p> <p>2. Displacement gedung tidak melampaui displacement yang diijinkan.</p> <p>3. Konsep desain <i>strong column weak beam</i> telah terpenuhi.</p>	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 BANGUNAN TAHAN GEMPA

Bangunan tahan gempa, yaitu pada umumnya boleh terjadi kerusakan pada bangunan tetapi tidak pada elemen struktur, atau apabila struktur mengalami kerusakan (disebabkan beban gempa melebihi beban gempa rencana), paling tidak kerusakan bangunan tersebut diperlambat agar penghuni didalamnya dapat mengevakuasi diri.

Menurut Widodo (2012) adapun desain filosofi (*Earthquake Design Philosophy*) suatu bangunan akibat beban gempa adalah sebagai berikut ini.

1. Pada gempa kecil (*light, atau minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih dibolehkan.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

3.2 PEMBEBANAN

3.2.1 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk barang-barang yang dapat berpindah. Berdasarkan PPPURG 1987 beban hidup terbagi atas beban hidup pada lantai

gedung dan pada atap gedung. Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut Tabel 2 PPPURG 1987. Beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruang yang bersangkutan. Berikut beban hidup yang diberkaitan pada gedung dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Beban hidup pada lantai gedung

Keterangan	Beban
Lantai asrama (rumah susun)	250 kg/m ²
Tangga dan bordes	300 kg/m ²
Atap	100 kg/m ²

(PPPURG, 1987)

3.2.2 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung itu. Beban mati tetap berada di gedung dan tidak berubah ubah, sesuai dengan sistem struktur dan material yang digunakan. Beban mati pada gedung diambil menurut Tabel 1 PPPURG 1987. Berikut beban mati yang diberkaitan pada gedung dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

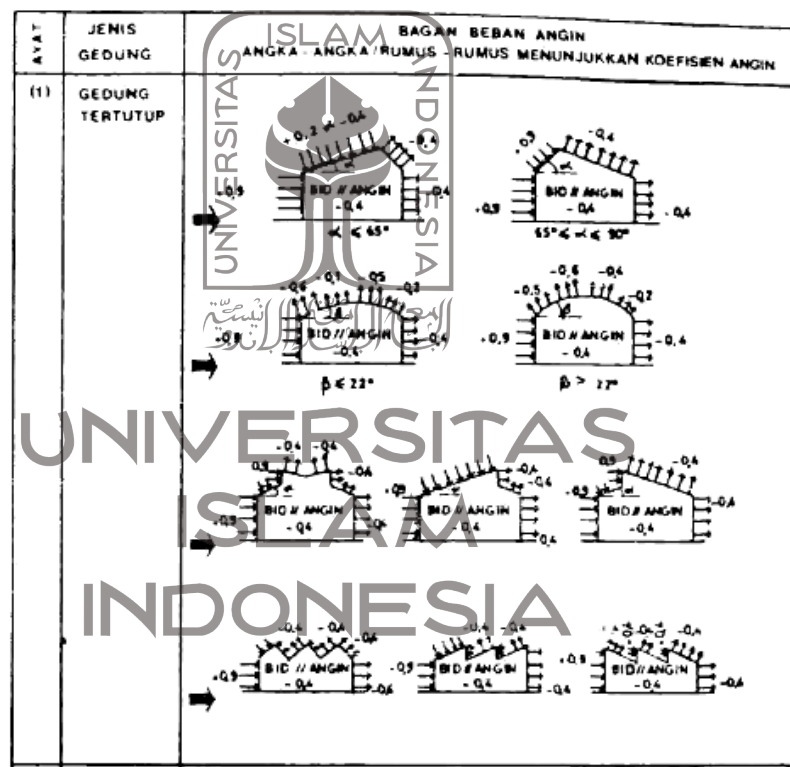
Tabel 3.2 Beban sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

Bahan bangunan	Beban
Keramik	17,5 kg/m ²
Pasir	1800 kg/m ³
Spesi	1950 kg/m ³
Pasangan bata	1700 kg/m ³
Beton	2400 kg/m ³
Ducting AC	20 kg/m ²
Plafond asbes	11 kg/m ²
Penggantung langit-langit	7 kg/m ²
Lapisan kedap air	1900 kg/m ³
Penutup atap	10 kg/m ²

(PPPURG, 1987)

3.2.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara, ditentukan dengan menganggap tekanan positif (angin hisap) dan tekanan negatif (angin tiup) dalam kg/m^2 . Faktor-faktor yang mempengaruhi daya tekan dan hisap angin terhadap gedung adalah kecepatan angin, kepadatan udara, permukaan bidang, dan bentuk dari gedung. Beban angin pada gedung diambil menurut PPPURG 1987, tekan tiup angin 25 kg/m^2 . Berikut koefisien angin menurut PPPURG pasal 2.1.3.3 dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Koefisien angin
(PPPURG, 1987)

Berdasarkan gambar koefisien angin untuk lebih jelasnya disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Koefisien angin

Nama	Koefisien
Angin hisap	$(0,02\alpha)-0,4$
Angin tiup	-0,4

(PPPURG, 1987)

3.2.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut, yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Perhitungan dan analisis beban gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012).

3.3 KEUTAMAAN UMUM BANGUNAN DALAM PENGARUH GEMPA

3.3.1 Faktor Keutamaan

Berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan suatu faktor keutamaan I_e . Kategori resiko dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan faktor keutamaan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Kategori risiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion 	III

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori risiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung 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 dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - 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, 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 <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(SNI 03-1726-2012, Tabel-1)

Tabel 3.5 Faktor keutamaan gempa

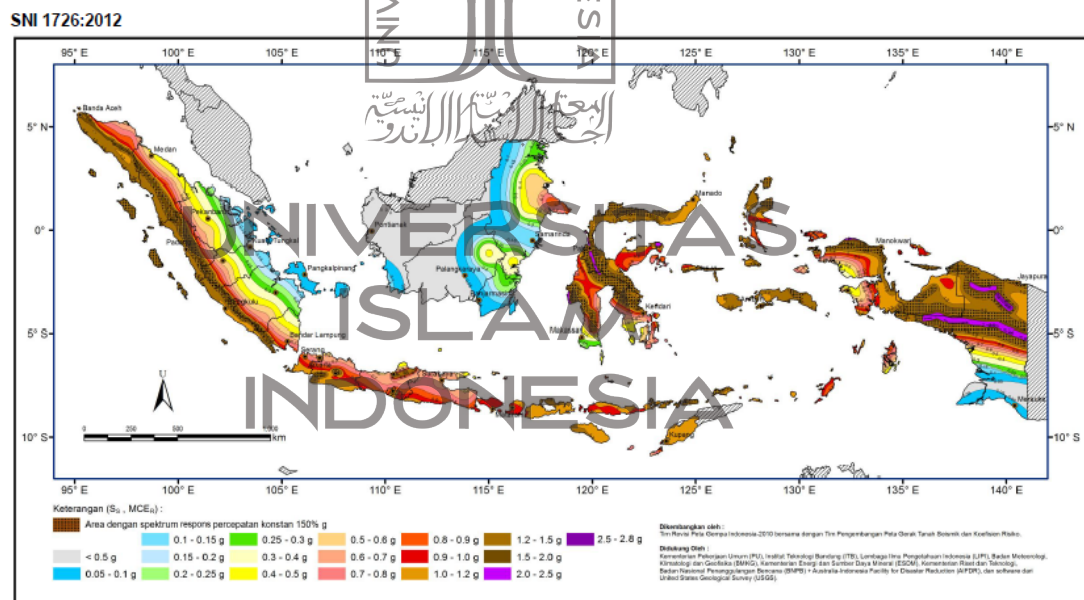
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(SNI 03-1726-2012, Tabel-2)

3.3.2 Respon Spektrum Desain

Respon spektrum merupakan nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) pada berbagai periode alami terendam akibat suatu goyangan tanah. Mengacu pada SNI 03-1726-2012 dalam membuat respon spektrum adalah sebagai berikut ini.

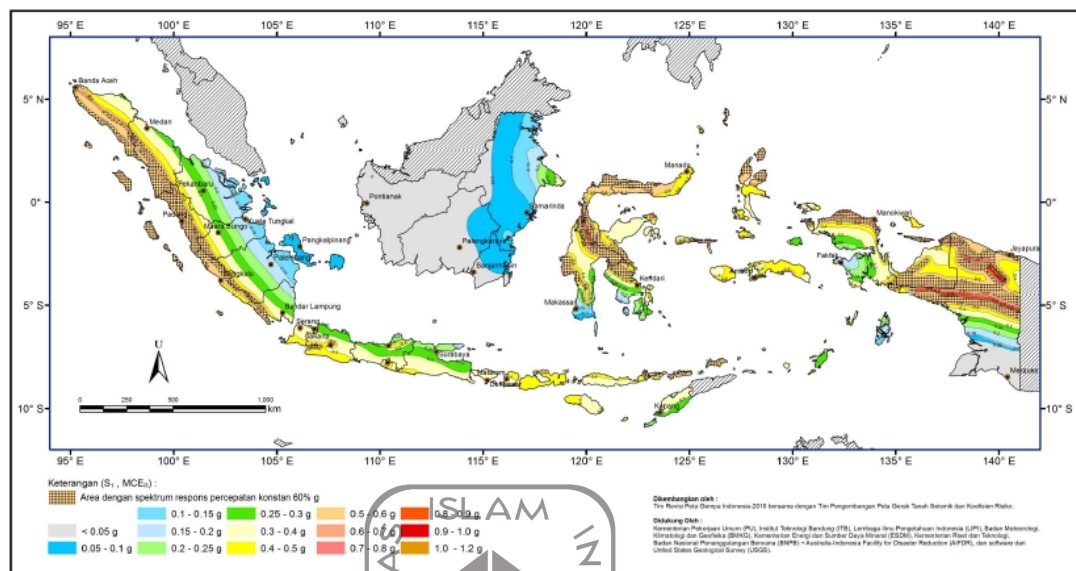
1. Menentukan parameter percepatan batuan dasar, yaitu S_s (pada periode pendek, 0,2 detik), S_1 (pada periode 1 detik),



Gambar 3.2 S_s – Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCE_R), kelas SB

(SNI 03-1726-2012, Gambar-9)

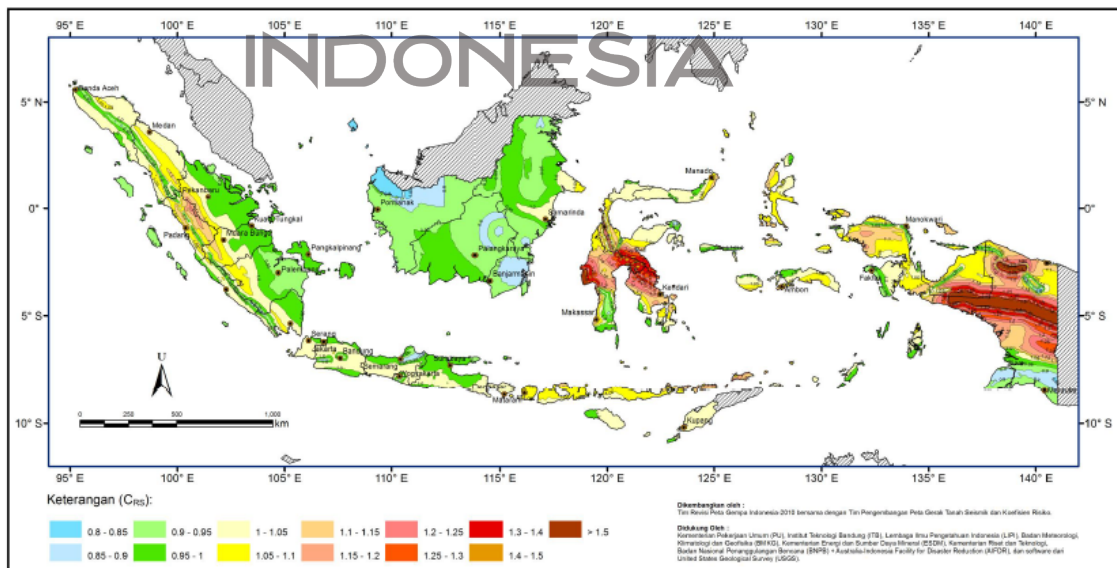
SNI 1726:2012



Gambar 3.3 S_I – Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCE_R), kelas SB (SNI 03-1726-2012, Gambar-10)

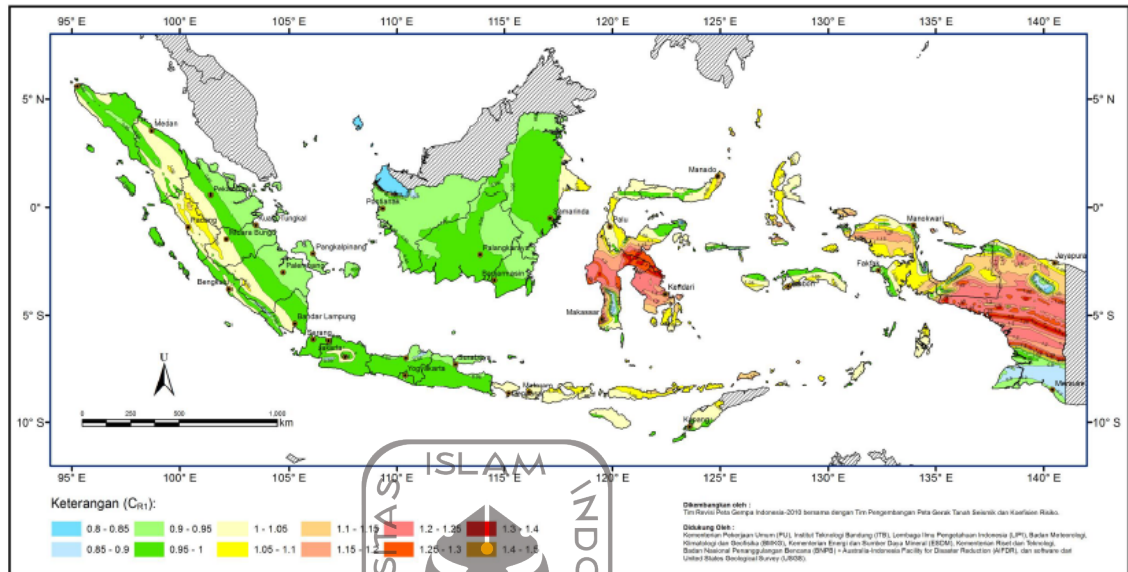
- Menentukan koefisien risiko terpetakan C_{RS} (periode pendek, 0,2 detik) dan koefisien C_{RS1} (periode pendek 1 detik), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.4 sampai Gambar 3.5.

SNI 1726:2012



Gambar 3.4 C_{RS} , Koefisien risiko terpetakan, periode respon spektral 0,2 detik (SNI 03-1726-2012, Gambar-12)

SNI 1726:2012



Gambar 3.5 C_{RL} , Koefisien risiko terpetakan, periode respon spektral 0,2 detik (SNI 03-1726-2012, Gambar-13)

3. Menentukan faktor koefisien situs (*Site coefficient*), F_a dan F_v untuk wilayah yang ditinjau. Untuk penentuan respon spektra percepatan gempa dipermukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik F_a pada periode 0,2 detik dan F_v periode 1 detik, sesuai dengan jenis tanah bangunan yang ditinjau, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis repon situs-spesifik.

(SNI 03-1726-2012, Tabel-4)

Tabel 3.7 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

(c) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(d) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis repon situs-spesifik.

(SNI 03-1726-2012, Tabel-5)

4. Menentukan parameter respon spektrum percepatan

Hubungan koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3.2)$$

Keterangan:

 S_{MS} = parameter spektrum respon percepatan perioda pendek 0,2 detik S_{M1} = parameter spektrum respon percepatan perioda 1 detik

5. Menentukan percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \cdot C_{RS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \cdot C_{R1} \quad (3.4)$$

Keterangan:

 S_{DS} = Parameter percepatan spektral desain perioda pendek 0,2 detik S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain perioda 1 detik

6. Ketentuan penggambaran kurva spektrum respon desain adalah sebagai berikut:

- a. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut.

$$S_a = S_D \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

- b. Untuk perioda $T_0 \leq T \leq T_s$, spektrum respons percepatan desain, S_s , sama dengan S_{DS} .

- c. Untuk perioda T_s , spektrum respons percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

$$d. \quad T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

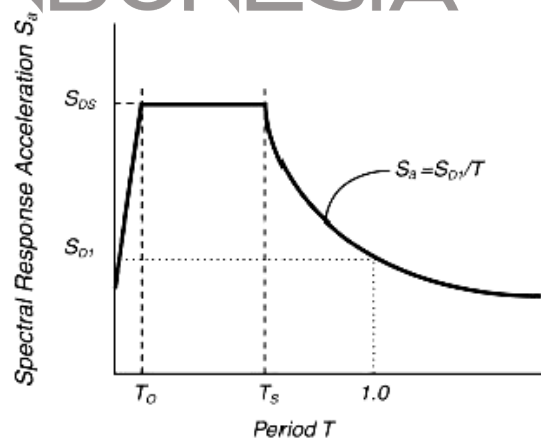
$$e. \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

Keterangan:

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

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 3.6 Spektrum Respon Desain
(SNI 1726-2012, Gambar-1)

3.3.3 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Untuk menentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek dan perioda 1 dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,5 < S_{DS}$	D	D

(SNI 03-1726-2012, Tabel-6)

Tabel 3.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda 1,0 detik

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,5 < S_{DS}$	D	D

(SNI 03-1726-2012, Tabel-7)

3.3.4 Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung (C_u) lihat Tabel 3.11. Pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental (T) diijinkan secara langsung menggunakan periode fundamental pendekatan (T_a). Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.9)$$

Dimana h_n adalah tinggi puncak bagian utama struktur (m) dan koefisien C_t dan x ditentukan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Nilai parameter pendekatan C_t dan α

Tipe struktur	C_t	α
Sistem rangkat pemikul momen rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(SNI 03-1726-2012, Tabel-15)

Batasan nilai T_a adalah $T_{a\text{ maks}}$ yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$T_{a\text{ maks}} = C_u \times T_a \quad (3.10)$$

Dimana C_u adalah nilai yang sesuai pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Koefisien untuk batas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(SNI 03-1726-2012, Tabel 14)

3.3.5 Koefisien Respon Seismik

Perhitungan koefisien respons seismik (C_s) sesuai dengan Persamaan 3.11.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.11)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain perioda pendek

R = faktor modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 3.11 tidak perlu melebihi C_s berikut.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.12)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} . I_e \geq 0,01 \quad (3.13)$$

3.3.6 Gaya Geser Dasar Seismik

Struktur harus dirancang mampu menahan gaya geser dasar akibat gempa, dengan rumus berikut.

$$V = C_s \times W_t \quad (3.14)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W_t = berat sesimik efektif

3.3.7 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) kN yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (3.15)$$

dan,

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3.16)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

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

- h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
- k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur.
- Untuk struktur perioda 0,5 detik atau kurang, $k=1$;
- Untuk struktur perioda 2,5 detik atau lebih, $k = 2$;
- Untuk struktur perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

3.3.8 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (3.17)$$

3.4 ANALISIS STATIK BEBAN DORONG (STATIC PUSHOVER ANALYSIS)

Analisis *pushover* merupakan analisis yang digunakan dalam perencanaan struktur tahan gempa berbasis kinerja (*performance based design*) untuk mengetahui kapasitas suatu struktur. Menurut Dewobroto (2005) tahapan melakukan analisis *pushover* adalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan titik kontrol untuk monitoring besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*. Titik kontrol (*control node*) ini diletakkan pada pusat massa atap dari model struktur.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang

mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan: merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan.

3.4.1 Pola Beban Dorong

Distribusi gaya inersia yang berpengaruh saat gempa, akan bervariasi secara kompleks sepanjang tinggi bangunan. Oleh karena itu, analisa beban dorong statik memerlukan berbagai kombinasi pola distribusi yang berbeda untuk menangkap kondisi yang paling ekstrem untuk perencanaan. Bentuk distribusi yang relatif sederhana dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pola distribusi pembebanan lateral

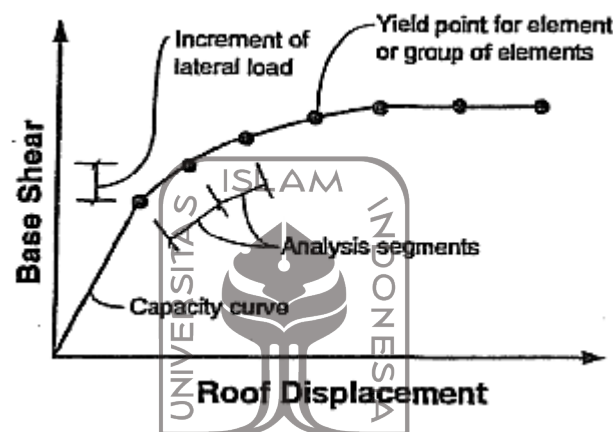
Beban lateral harus diberikan pada model struktur dalam proporsi yang sama dengan distribusi gaya inersia sebidang dengan diaphragm lantai.

3.5 METODE SPEKTRUM KAPASITAS (ATC-40)

Metode spektrum kapasitas ATC-40 merupakan salah satu cara untuk menentukan target perpindahan dan titik kinerja. Metode ini menggabungkan *capacity spectrum* dan *demand spectrum* yang mana disajikan dalam satu kurva, titik perpotongan antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum* disebut *performance point* (titik kinerja) akan dijelaskan pada subab 3.5.3.

3.5.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan hasil dari analisis *pushover*, berupa hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*) akibat beban lateral. Beban lateral yang diberikan pada struktur yaitu dengan pola pembebanan tertentu sampai pada kondisi ultimit atau target peralihan yang diharapkan. Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Kurva Kapasitas
(ATC-40, 1996)

Kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (*Multi Degree Of Freedom System, MDOF*) terhadap perpindahan, sedangkan spektrum *demand* dibuat untuk struktur dengan kebebasan tunggal (*Single Degree Of Freedom System, SDOF*), maka kurva kapasitas harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan satuan yang sama dengan spektrum *demand*.

Dalam kurva kapasitas V_i, Δ_{roof} dikonversi ke spektrum kapasitas dengan diubah menjadi S_{ai}, S_{di} . Pada penelitian ini tidak akan dibahas konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas, metode untuk konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas secara umum telah *buit-in* dalam SAP2000.

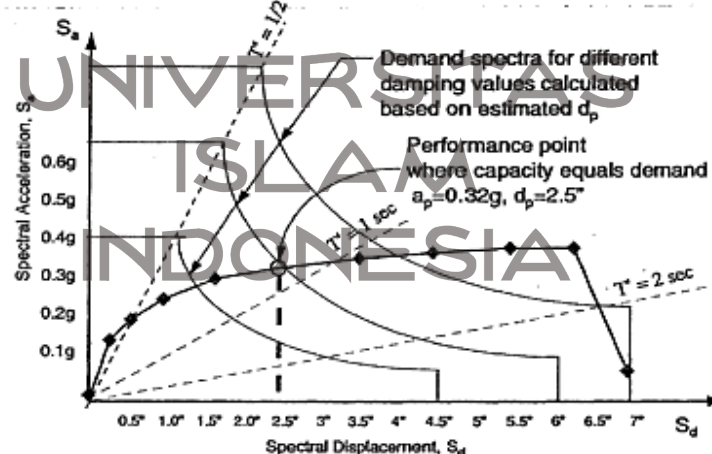
3.5.2 Spektrum Demand

Spektrum *demand* merupakan representasi dari gerakan tanah akibat gempa bumi, digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon umumnya dalam satuan percepatan S_a (m/detik²) dan perioda T (detik) diubah ke format ADRS

menjadi spektrum *demand* yaitu dalam percepatan S_a (m/detik²) dan S_d perpindahan (m) maka perlu ditentukan nilai S_{di} untuk setiap titik kurva, yaitu S_{ai} dan T_i . Metode untuk konversi spektrum respon ke spektrum *demand* secara umum telah *buit-in* dalam SAP2000.

3.5.3 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Performance point merupakan titik perpotongan antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum*. Titik kinerja ini merupakan suatu kondisi dimana *seismic capacity* struktur sama dengan *seismic demand* yang ditentukan pada struktur akibat gerakan tanah dasar. Titik kinerja merupakan representasi dari dua kondisi, yaitu representasi dari kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu dan menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi *demand* beban yang diberikan. Secara otomatis program SAP2000 menentukan titik kinerja dari struktur yang ditinjau. Penentuan titik kinerja berdasarkan metode spektrum kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 *Determination of Performance Point*
(ATC-40, 1996)

3.5.4 Redaman Viskous Effektif (β_{eff})

Redaman yang terjadi saat struktur dalam batas inelastis dapat dianggap sebagai kombinasi redaman viskous yang terdapat pada struktur dan redaman histeretik (*hysteretic damping*). Redaman histeretik ini berhubungan dengan area

didalam *loops* yang terbentuk pada saat gaya geser dasar diplot terhadap perpindahan struktur. Program SAP2000 dengan metode spektrum kapasitas secara otomatis akan menentukan nilai β_{eff} dari struktur yang ditinjau.

3.5.5 Batasan *Drift Ratio*

Batasan *drift ratio* menurut ATC-40 (1996) ditunjukkan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Batasan *drift ratio* untuk tingkat kinerja menurut ATC-40

Batasan simpangan antar tingkat	Tingkat kinerja struktur			
	<i>Immediate occupancy</i>	<i>Damage control</i>	<i>Life safety</i>	<i>Structural stability</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

(ATC-40. Tabel 11-12)

Nilai *drift ratio* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{drift ratio} = \frac{\delta_t}{H} \quad (3.18)$$

$$\text{inelastis drift ratio} = \frac{\delta_t - \delta_1}{H} \quad (3.19)$$

Keterangan :

δ_t = displacement yang didapat pada *performance point*

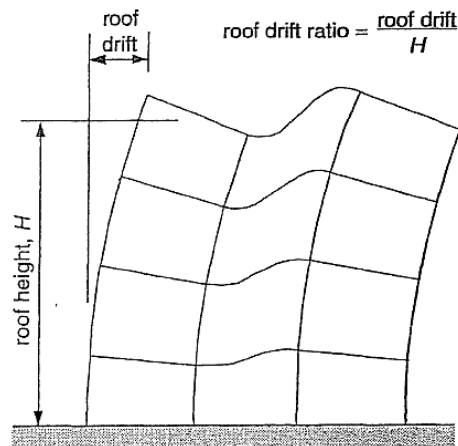
δ_1 = displacement pelepasan pertama

H = tinggi total bangunan

V_i = gaya geser total lantai i

P_i = gaya gravitasi total lantai i

Simpangan total maksimum yaitu simpangan antar tingkat pada perpindahan titik kinerja. Simpangan inelastis maksimum yaitu bagian simpangan total maksimum di bawah titik leleh. Berikut simpangan dan rasio ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Simpangan dan rasio simpangan pada atap
(ATC-40,1996)

Tabel 3.13 Batasan tipe bangunan pada *capacity spectrum method*

Shaking duration	Essentially new building	Average exiting building	Poor exiting building
Short	A	B	C
Long	B	C	C

(ATC-40,1996)

3.6 DAKTILITAS STRUKTUR

Daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum gedung akibat pengaruh gempa rencana saat mencapai ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama. Semakin tinggi tingkat daktilitas, maka akan semakin baik dalam keberlanjutannya menahan beban maupun keberlanjutannya dalam disipasi energi.

Nilai daktilitas struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut:

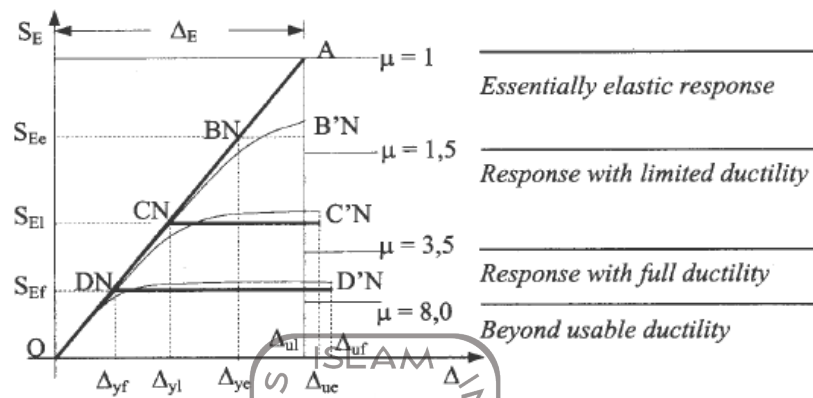
$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3.16)$$

Dimana:

Δ_u = perpindahan (*displacement*) lateral ultimit

Δ_y = perpindahan (*displacement*) pada saat leleh

Menurut Widodo (2012) hubungan antara gaya dan simpangan secara umum pada struktur bangunan pada level-level daktilitas seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.11 Hubungan gaya dan simpangan
(Park dan Paulay, 1975 dalam Widodo, 2012)

3.7 SENDI PLASTIS

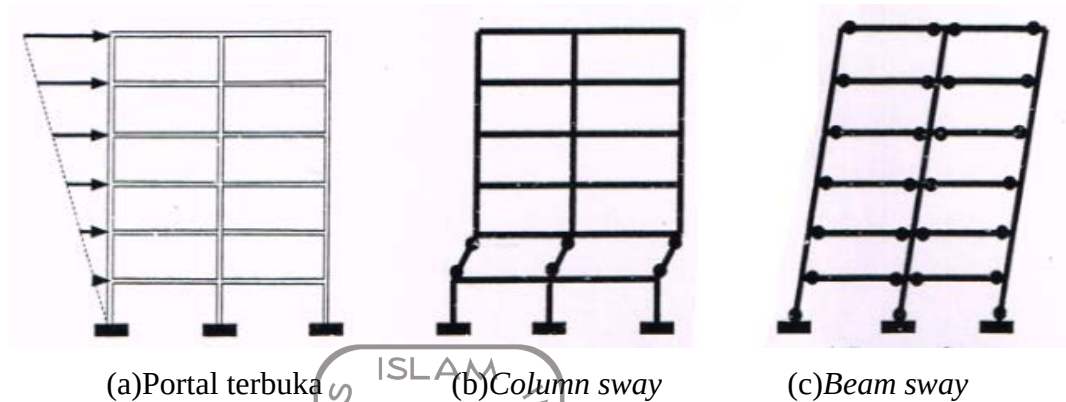
Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur khususnya balok menahan gaya dalam. Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku non-linier *force-displacement* dan/ atau momen rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat berbeda disepanjang bentang balok atau kolom. Pemodelan sendi tidak memiliki efek pada perilaku linier struktur (Pranata, 2006).

Sendi plastis dapat terjadi pada suatu struktur portal berderajat kebebasan banyak *MDOF* (*Multi Degree of Freedom*). Ketika suatu gedung dilanda gempa yang cukup besar, akan timbul momen-momen pada balok atau kolomnya. Apabila besar dari momen-momen tersebut melampaui besar momen kapasitas balok atau kolom portal maka terjadi sendi plastis pada balok atau kolom ditandai dengan melelehnya tulangan baja. Sendi plastis terjadi secara bertahap sampai bangunan gedung runtuh (Jamal, Atika Ulfah, 2011).

Menurut Widodo (2012) kemungkinan pola terbentuk sendi plastis sebagai berikut.

1. Sendi plastis terjadi di ujung balok atau di dasar kolom/ dinding bawah (*beam sway*). Pola ini tidak begitu bahaya karena tidak ada efek p -delta (sangat kecil), sehingga diperlukan banyak sendi plastis untuk mencapai keruntuhan.

2. Sendi plastis pada kolom (*column sway*). Pola ini terjadi maka keadaan bahaya karena p-delta akan memicu terjadi keruntuhan bangunan.



Gambar 3.12 Pola terbentuk sendi plastis
(Widodo, 2012)

Pada penelitian ini analisis momen plastis tampang sebagai input data *hinge properties* dilakukan secara *auto* atau *default* pada SAP 2000.

Model sendi yang digunakan telah disediakan dalam program SAP 2000.

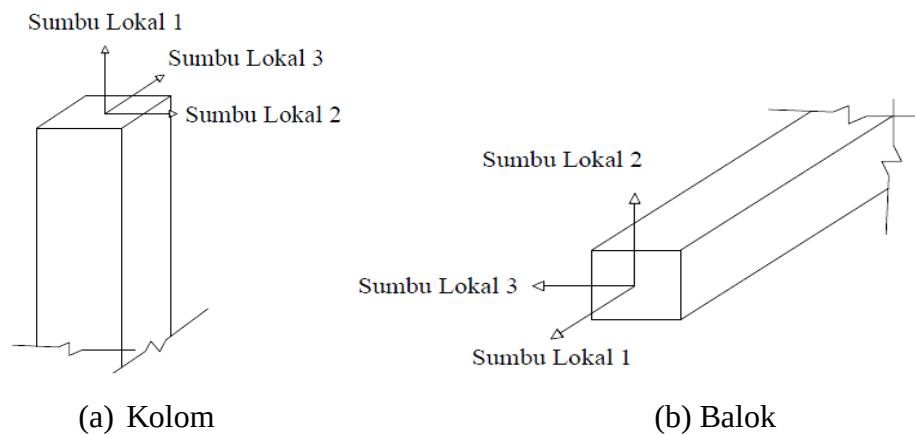
1. *Hinge properties* kolom

Elemen kolom menggunakan tipe sendi *default-PMM*, mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang tersebar pada keempat sisinya secara merata.

2. *Hinge Properties* Balok

Elemen balok menggunakan tipe sendi *default-M3*, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3.

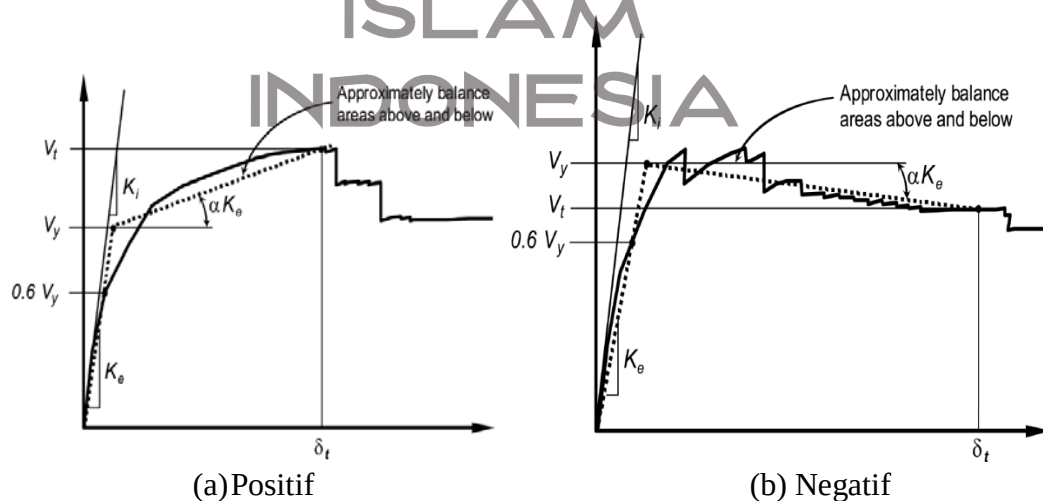
Posisi sumbu lokal kolom dan balok dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Posisi Sumbu Lokal
(Dewobroto, 2007)

3.8 MODIFIKASI KURVA KAPASITAS MENJADI KURVA BILINIER

Menurut FEMA 356 (2000) hasil dari kurva kapasitas perlu diketahui gaya geser pada saat kondisi leleh dan kondisi runtuh, untuk mengetahui kondisi tersebut maka perlu memodifikasi kurva kapasitas menjadi kurva bilinear. Modifikasi kurva untuk menentukan gaya geser kondisi leleh dilakukan dengan cara *trial error* dari luasan kurva kapasitas, lihat Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Kemiringan pasca leleh
(FEMA 356, 2000)

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 LOKASI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada gedung Rusunawa Jongke yang berlokasi di Jl. Jongke, Sendangadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Rusunawa Jongke

4.2 DATA STRUKTUR GEDUNG

Data yang didapat adalah *shop drawing* Rusunawa Jongke. Data tanah tidak didapatkan, untuk itu jenis tanah di asumsikan jenis tanah sedang. Adapun data-data teknis yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

1. Diskripsi Bangunan
 - a. Fungsi bangunan : Rumah susun

- b. Lokasi bangunan : Yogyakarta
- c. Jenis tanah : Tanah sedang
- d. Jumlah lantai : 5 lantai
- e. Konstruksi bangunan : Struktur beton bertulang
- f. Tinggi total bangunan : 16,07 m

2. Spesifikasi material

- a. Mutu beton (f'_c) = K-350 = 28,4 MPa
- b. Mutu tulangan pokok (f_y) = 3900 kg/cm²
- c. Mutu tulangan geser (f_{ys}) = 2400 kg/cm²

3. Konfigurasi bangunan

- a. Lantai

Tabel 4.1 Tinggi bangunan

Lantai	Tinggi lantai (m)	Tinggi bangunan (m)
Lantai 2	3,2	3,2
Lantai 3	2,8	6
Lantai 4	2,8	8,8
Lantai 5	2,8	11,6
Ring balok	2,8	14,6
Dak atap	0,67	15,27
Tandon	0,8	16,07

- b. Balok

Tabel 4.2 Tipe balok

Tipe	Dimensi (cm)	Tulangan	
		Atas	Bawah
B1	25/45	5D19	3D19
B2	25/45	4D19	2D19
B3	25/45	3D19	2D19
B4	25/45	5D19	3D19
B5	25/45	5D19	3D19
B5'	25/45	6D19	4D19
B6	30/60	6D19	4D19
CG	20/45	3D19	3D19
RB1	25/40	3D16	2D16
RB2	25/40	2D16	2D16
RB3	15/25	2D13	2D13
TB	25/45	4D19	4D19

c. Kolom

Tabel 4.3 Tipe kolom

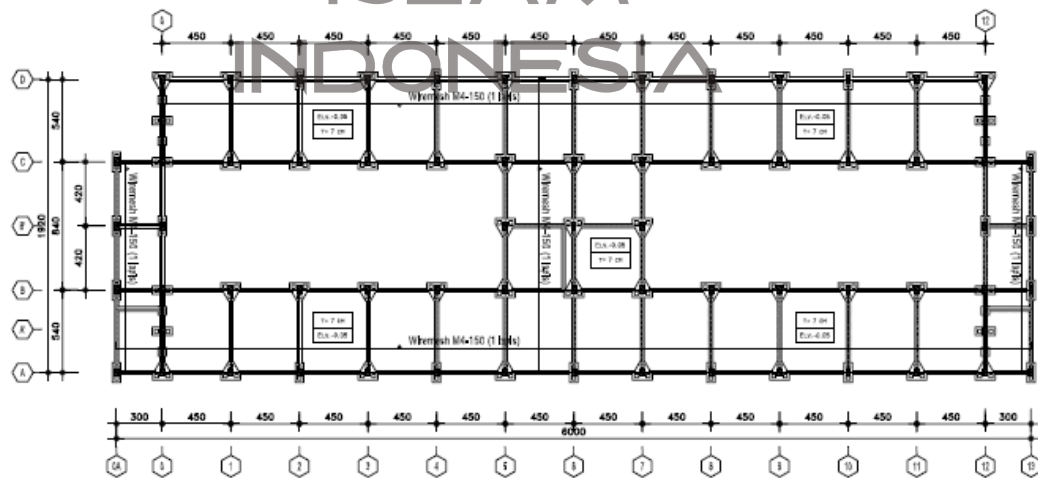
Tipe	Dimensi (cm)	Tulangan Utama
K1 lt 1-2	30/50	12D25
K1 lt 3-4	30/50	10D25
K2 lt 1-2	25/50	12D19
K2 lt 3-4	25/50	10D19
K3 lt 1-2	30/50	8D19
K3 lt 3-4	30/50	8D16
K3 lt 5	30/50	8D16
K4	25/35	8D16
KP1	15/20	4D13
KP2	15/15	4D10

d. Pelat

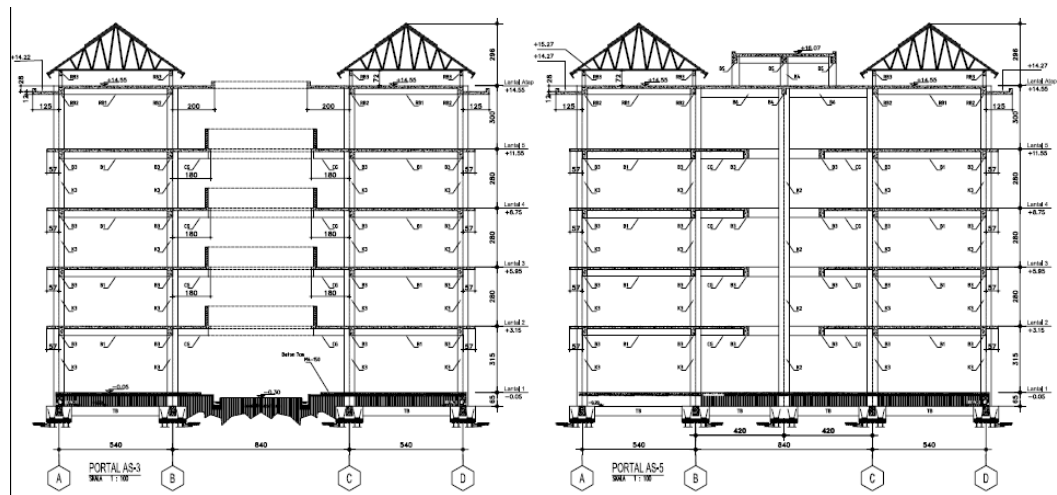
Tabel 4.4 Tipe Pelat

Tipe	Tebal (cm)
Pelat lantai	12
Pelat atap	10
Pelat tangga	15
Pelat bordes	15

4. Denah bangunan



Gambar 4.2 Denah bangunan lantai 1



Gambar 4.3 Denah bangunan tampak samping

4.3 TAHAPAN PENELITIAN

4.3.1 Pengumpulan data

Data yang didapat adalah *shop drawing* rusunawa Jongke. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D selanjutnya dianalisis dengan program SAP2000 V14.

4.3.2 Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen pada tiap lantainya. Prosedur mengenai perhitungan beban gempa telah diuraikan pada BAB III.

4.3.3 Tahapan Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur 3D sesuai dengan *shop drawing* rusunawa Jongke. Berikut asumsi yang digunakan dalam pemodelan struktur.

1. Tumpuan yang digunakan dalam pemodelan adalah jepit.
2. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*.
3. Plat lantai dimodelkan sebagai *shell thin*.
4. *Shear wall* dimodelkan sebagai *shell thick*.
5. Rangka atap tidak dimodelkan, beban mati, beban hidup dan beban angin pada atap diteruskan sebagai beban terpusat pada tumpuan kuda-kuda.

4.3.4 Tahap Analisis *Pushover*

Tahapan analisis *pushover* adalah sebagai berikut.

1. Analisis *momen curvature* elemen balok dan kolom sebagai input *hinge properties* dilakukan secara *auto* program SAP2000 V14.
2. Input data untuk kurva kapasitas pada program SAP2000 V14 sesuai ATC-40 (1996), sebagai berikut.
 - a. *Demand spectrum definition* digunakan respon spektrum untuk jenis tanah sedang. Koefisien koreksi spektrum respon yang digunakan sebesar $\frac{I}{R} \cdot g = \frac{1}{1} \cdot 9,81 = 9,81$.
 - b. Tipe perilaku struktur ditentukan Tipe B, sesuai ATC-40, bangunan yang digunakan dalam penelitian merupakan struktur dengan kondisi eksisting sedang (*average*) dan mempunyai durasi goyangan struktur (*shaking duration*) yang pendek (*short*).
3. Memberi beban gravitasi dan beban lateral.
4. Menentukan gravitasi dan *pushover load cases*.
5. Pendefinisian sendi plastis (*hinge*) balok dan kolom.
6. Pendefinisian *analysis case* data pada tahap pembebanan.
7. *Setting* parameter *pushover*.
8. *Running* program untuk menganalisa model struktur.
9. Menampilkan kurva *pushover*, *performance point* dan level kinerja.

4.4 BAGAN ALIR PENELITIAN

Adapun tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Bagan alir penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 PEMBEBANAN STRUKTUR

Pembebanan struktur meliputi beban mati, beban hidup dan beban angin berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987, serta beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012.

5.1.1 Beban Mati

Beban mati pada gedung diambil menurut Tabel 1 PPPURG 1987. Pada beban mati sendiri seperti balok, kolom, dan pelat lantai tidak dimasukkan karena sudah dimodelkan langsung dan dihitung otomatis oleh SAP2000 V14. Elemen yang perlu ditambahkan dalam pembebanan struktur adalah beban mati tambahan. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung sesuai dengan PPPURG 1987 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

1. Pelat

Perhitungan beban pada pelat disajikan dalam Tabel 5.1 sampai Tabel 5.4.

a) Pelat Lantai

Tabel 5.1 Beban mati pelat lantai

Unit	Tebal	Berat Jenis	Berat (Tebal x Berat Jenis)
Pasir	0,03 m	17,658 kN/m ³	0,5297 kN/m ²
Spesi	0,02 m	19,130 kN/m ³	0,3826 kN/m ²
Keramik		0,1717 kN/m ²	0,1717 kN/m ²
Plafon Asbes		0,1079 kN/m ²	0,1079 kN/m ²
Penggantung		0,0687 kN/m ²	0,0687 kN/m ²
Ducting AC		0,1962 kN/m ²	0,1962 kN/m ²
Qd Lantai			1,2851 kN/m ²

b) Pelat Atap

Tabel 5.2 Beban mati pelat atap

Unit	Tebal	Berat Jenis	Berat (Tebal x Berat Jenis)
Lapisan kedap air	0,03 m	18,6390 kN/m ³	0,5591 kN/m ²
Plafon asbes		0,17091 kN/m ²	0,1079 kN/m ²
Qd Atap			0,6670 kN/m ²

c) Pelat Tangga

Tabel 5.3 Beban mati pelat tangga

Unit	Tebal	Berat Jenis	Berat (Tebal x Berat Jenis)
Spesi	0,00054 m ²	19,1296 kN/m ³	0,01033 kN/m ²
Keramik		0,17167 kN/m ²	0,17167 kN/m ²
Anak tangga	0,243	23,544 kN/m ²	5,72119 kN/m ²
Qd Tangga			5,90319 kN/m ²

d) Pelat Bordes

Tabel 5.4 Beban pelat bordes

Unit	Tebal	Berat Jenis	Berat (Tebal x Berat Jenis)
Spesi	0,02 m ²	19,1296 kN/m ³	0,38259 kN/m ²
Keramik		0,17167 kN/m ²	0,17167 kN/m ²
Qd Bordes			0,55426 kN/m ²

2. Dinding

Dinding menggunakan pasangan batu bata, berikut contoh perhitungan dinding pada lantai 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi tembok} &= \text{Tinggi lantai} - \text{Tinggi balok} \\
 &= 2,8 \text{ m} - 0,45 \text{ m} \\
 &= 2,35 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding}} &= \text{BJ Psgn bata} \times \text{Tinggi tembok} \times \text{Tebal dinding} \\
 &= 16,667 \text{ kN/m}^2 \times 0,235 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\
 &= 5,879 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

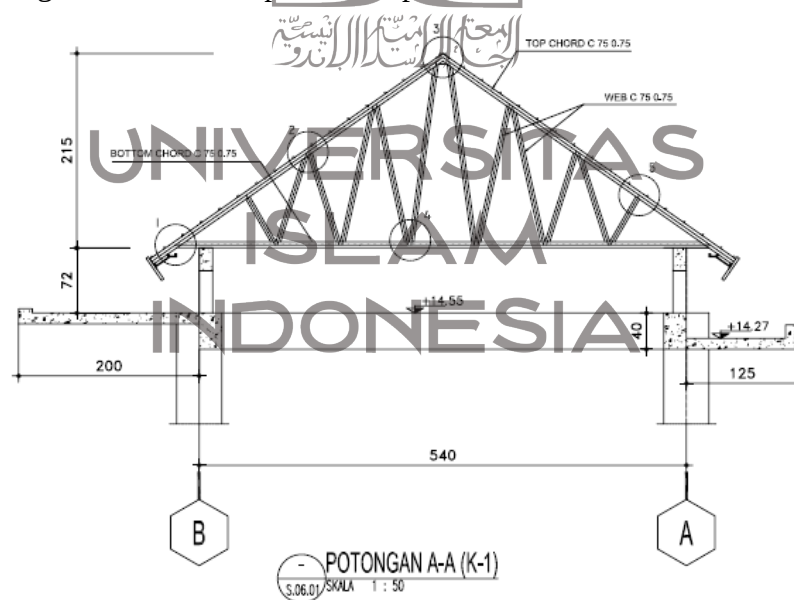
Perhitungan beban dinding pada lantai 1 sampai lantai 5 disajikan dalam Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Beban dinding

Lantai	Berat Volume (kN/m ³)	H dinding (m)	Tebal dinding (m)	Qdinding (kN/m)
Dak Atap (+15,27 m)	16,677	0,27	0,15	0,675
5	16,677	2,55	0,15	6,379
4	16,677	2,35	0,15	5,879
3	16,677	2,35	0,15	5,879
2	16,677	2,35	0,15	5,879
1	16,677	2,95	0,15	7,380
Total Beban Dinding (Q _{dinding})				32,070

3. Berat Sendiri Kuda-Kuda

Potongan kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Potongan kuda-kuda

Profil gording : C75.0.75 mm $Q_{d\text{gording}} : 0,00559 \text{ kN/m}$
 Berat penutup atap gelombang : $0,0981 \text{ kN/m}^2$ (PPPURG 1987 hal 6)

Beban plafon : 0,000755 kN/m²

Jarak antar gording : 0,8629 m

Jarak antar kuda-kuda : 1,25 m

a) Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned} \text{Penutup atap} &= L_{\text{antar gording}} \times L_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Berat penutup} \\ &= 0,8629 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,0981 \text{ kN/m}^2 \\ &= 1,0581 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gording} &= L_{\text{antar gording}} \times Q_{d_{\text{gording}}} \\ &= 0,8629 \text{ m} \times 0,00559 \text{ kN/m} \\ &= 0,00483 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Plafon} &= L_{\text{antar gording}} \times \text{Beban plafon} \\ &= 0,8629 \text{ m} \times 0,000755 \text{ kN/m} \\ &= 0,66443 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati atap} = 1,72734 \text{ kN}$$

b) Perhitungan beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup} &= L_{\text{antar gording}} \times L_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Berat penutup} \\ &= 0,8629 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,0981 \text{ kN/m}^2 \\ &= 1,0581 \text{ kN} \end{aligned}$$

c) Beban Angin

Pada kuda-kuda perhitungan beban angin terdiri angin hisap dan angin tekan. Koefisien angin hisap dan angin tekan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

$$\text{Sudut kuda-kuda } (\alpha) = 38,53^\circ$$

$$\text{Tekan tiup angin} = 25 \text{ kg/m}^2 = 0,24525 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Koefisien angin tekan} = (0,02 \times 38,53^\circ) - 0,4 = 0,3706$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = - (0,4)$$

1) Angin Tekan

$$\begin{aligned} W_1 &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Koef}_{\text{tekan}} \times q_w \\ &= 0,8629 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,3706 \times 0,24525 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,09803 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W_v = W_1 \times \cos 38,53 = 0,7523 \text{ kN}$$

$$W_h = W_1 \times \sin 38,53 = 0,59908 \text{ kN}$$

2) Angin Hisap

$$\begin{aligned} W_2 &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Koef}_{\text{hisap}} \times q_w \\ &= 0,8629 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,4 \times 0,24525 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,10581 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W_v = W_2 \times \cos 38,53 = 0,81203 \text{ kN}$$

$$W_h = W_2 \times \sin 38,53 = 0,64662 \text{ kN}$$

Dimana:

W_1 = Beban angin tekan

W_2 = Beban angin hisap

W_v = Beban vertikal

W_h = Beban horisontal



5.1.2 Beban Hidup

Menurut PPPURG 1987 beban hidup dibedakan atas fungsi bangunan. Fungsi bangunan pada penelitian ini adalah rumah susun, sehingga didapat beban hidup sebagai berikut.

a. Beban hidup pada lantai.

$$Q_{L_{\text{lantai}}} = 250 \text{ kg/m}^2 = 2,4525 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban hidup pada pelat tangga dan bordes

$$Q_{L_{\text{tangga, bordes}}} = 300 \text{ kg/m}^2 = 2,943 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban hidup pada atap

$$Q_{L_{\text{atap}}} = 100 \text{ kg/m}^2 = 0,981 \text{ kN/m}^2$$

5.1.3 Beban Gempa Ekuivalen Statik

5.1.3.1 Berat Total Bangunan

Besar beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat struktur bangunan. Hasil perhitungan berat bangunan dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Berat Bangunan

Lantai	Tinggi (H) m	Berat (W) kN
Tandon air	16,07	386,498
Ring balok (+ 15,27 m)	15,27	324,582
Dak atap (+ 14,55 m)	14,6	3467,728
5	11,6	8126,857
4	8,8	8056,225
3	6	8056,225
2	3,2	8056,225
1	0	9173,640
Total Berat Bangunan (W_t)		45647,980

5.1.3.2 Respon Spektrum Desain

Data yang diperlukan dalam mendesain respon spektrum adalah sebagai berikut.

1. Lokasi bangunan : Yogyakarta
2. Fungsi bangunan : Rumah susun
3. Jenis tanah : Tanah sedang
4. Berdasarkan Tabel 3.4 dan Tabel 3.5, gedung rusunawa termasuk kategori risiko II, dengan faktor keutamaan $I_e = 1$.
5. Parameter Percepatan Gempa

Percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Nilai S_s dan S_1 , ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berdasarkan SNI 03-1726-2012.

$$S_s = 1 g.$$

$$S_1 = 0,4 g.$$

6. Koefisien Resiko Terpetakan

Perioda respon spektral 0,2 dt (C_{RS}) dan perioda respon spektral 1,0 dt (C_{RI}). Nilai C_{RS} , ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berdasarkan SNI 03-1726-2012.

$$C_{RS} = 1$$

$$C_{RI} = 1$$

7. Koefisien Situs (*Site Coefficient*)

Penentuan respon spektral percepatan gempa dipermukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik (F_a dan F_v) dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

$$F_a = 1,1$$

$$F_v = 1,6$$

8. Parameter respon spektrum

Hubungan koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra sebagai berikut.

a) Percepatan pada perioda pendek (S_{MS}), lihat Persamaan (3.1)

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1 \times 1 \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

b) Percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}), lihat Persamaan (3.2)

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,6 \times 0,4 \\ &= 0,64 \end{aligned}$$

c) Parameter Percepatan Spektral Desain

1) Spektral Desain Untuk Perioda Pendek (S_{DS}), lihat Persamaan (3.3)

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \times C_{RS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,1 \times 1 \\ &= 0,733 \end{aligned}$$

2) Spektral Desain Untuk Periode 1 detik, lihat Persamaan (3.4)

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \times C_{RS1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,64 \times 1 \\ &= 0,427 \end{aligned}$$

d) Spektrum respon percepatan desain

1) Jika $T < T_o$, lihat Persamaan (3.5), maka

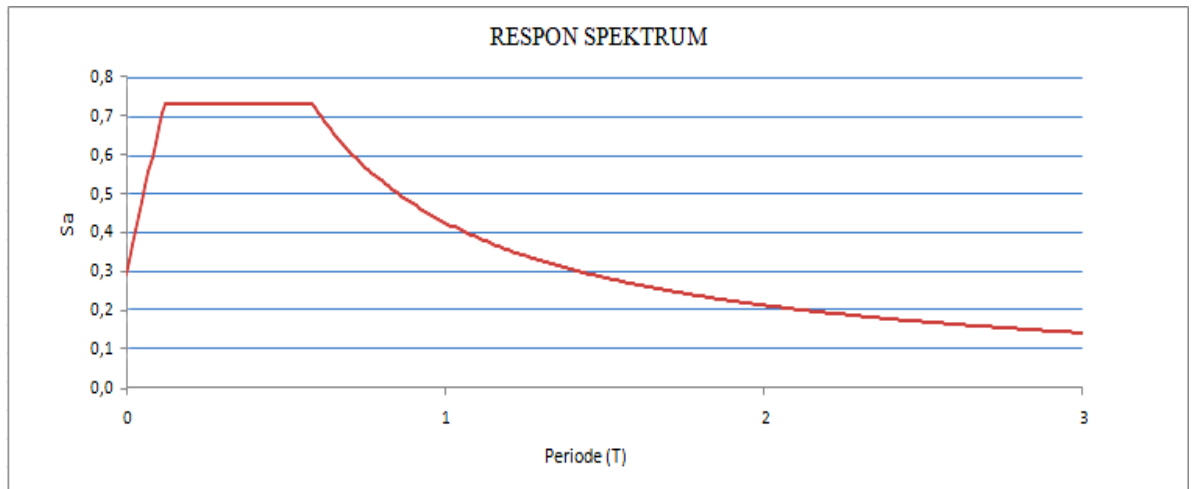
$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \times (0,4 + 0,6) \times \frac{T}{T_o} \\ &= 0,733 \times (0,4 + 0,6) \times \frac{0,116}{0,116} \\ &= 0,293 \end{aligned}$$

2) Jika $T_o < T < T_s$, maka $S_a = S_{DS} = 0,733$

3) Jika $T > T_o$, lihat Persamaan (3.6), maka

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\ &= \frac{0,427}{T} \\ &= 0,723 \\ T_o &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,427}{0,733} \\ &= 0,08 \\ T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,427}{0,733} \\ &= 0,582 \end{aligned}$$

Berdasarkan parameter yang ada didapatkan grafik respon spektrum menurut SNI 03-1726-2012, ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik respon spektrum

5.1.3.3 Periode Fundamental Pendekatan

1. Menentukan waktu getar struktur, lihat Persamaan (3.9)

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 16,07^{0,9} \\
 &= 0,5673 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Menentukan nilai T_a maksimum, lihat Persamaan (3.10)

$$\begin{aligned}
 T_{a \text{ maks}} &= C_u \times T_a \\
 &= 1,4 \times 0,5673 \\
 &= 0,7942 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

5.1.3.4 Perhitungan Koefisien Respon Seismik

1. Nilai C_s , lihat Persamaan (3.11)

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \\
 &= \frac{0,733}{\left(\frac{1}{1} \right)} \\
 &= 0,733
 \end{aligned}$$

2. Nilai C_s diatas tidak perlu melebihi $C_{s maks}$ berikut, lihat Persamaan (3.12)

$$\begin{aligned} C_{smaks} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \\ &= \frac{0,427}{0,5673 \left(\frac{1}{1} \right)} \\ &= 0,752 \end{aligned}$$

3. Nilai C_s tidak kurang dari $C_{s min}$ berikut, lihat Persamaan (3.13)

$$\begin{aligned} C_{smin} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,733 \times 1 \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

Maka, dipakai nilai $C_s = 0,7333$

5.1.3.5 Gaya Geser Dasar Seismik

1. Perhitungan gaya geser dasar seismik (V)

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0,7333 \times 45647,980 \\ &= 33475,185 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai k .

- untuk struktur perioda 0,5 detik atau kurang, nilai $k = 1$
- untuk struktur perioda 2,5 detik atau lebih, nilai $k = 2$
- untuk struktur perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, nilai k harus sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Maka nilai k yang digunakan untuk $T = 0,5673$ detik dicari menggunakan interpolasi, sebagai berikut.

$$\frac{x}{0,5673 - 0,5} = \frac{1}{2,5 - 0,5}$$

$$\frac{x}{0,0673} = \frac{1}{2}$$

$$x = 0,0336$$

$$k = 1 + 0,0102 = 1,034$$

5.1.3.6 Gaya Horizontal Gempa

Gaya gempa horizontal (F) kN tiap lantai sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil perhitungan distribusi horizontal gaya gempa

Lantai	W_i (kN)	h (m)	h^k	$W_i \cdot h^k$	C_{vx}	F_i (kN)
Tandon air	386,498	16,07	17,637	6816,556	0,021	703,502
Ring balok	324,582	15,27	16,730	5430,283	0,0167	560,432
Dak atap	3467,728	14,6	15,972	55386,478	0,170	5716,158
5	8126,857	11,6	12,593	102338,707	0,315	10561,859
4	8056,225	8,8	9,465	76252,556	0,235	7869,640
3	8056,225	6	6,371	51327,591	0,158	5297,261
2	8056,225	3,2	3,327	26804,275	0,08	2766,333
1	9173,640					
Jumlah	45647,980			324356,445		33475,185

Kontrol:

$$V = \sum Fi = 33475,185 \text{ kN}$$

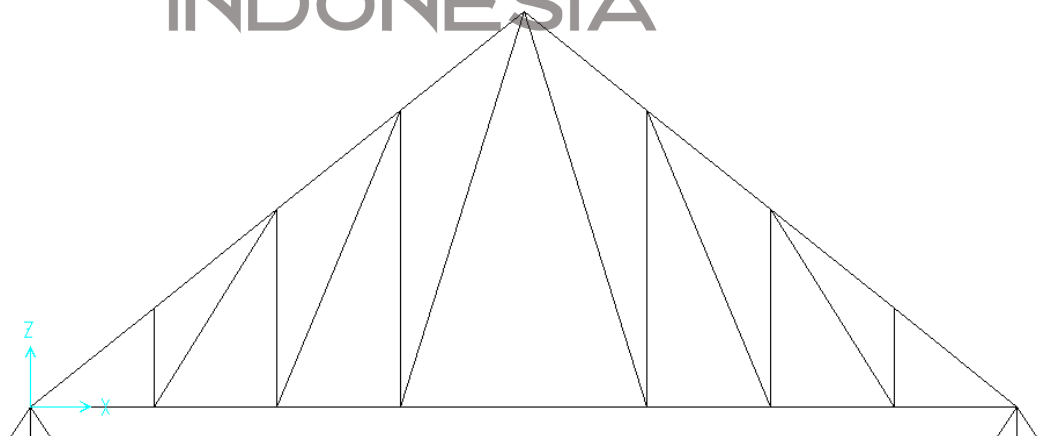
5.2 PEMODELAN

Pemodelan dilakukan menggunakan program SAP2000 V14 dan sesuai dengan *shop drawing* rusunawa Jongke.

5.2.1 Pemodelan Kuda-Kuda

Pada kuda-kuda dilakukan pemodelan secara 2D, ditunjukkan pada Gambar

5.3. Selanjutnya mencari reaksi perletakan *joint* berat sendiri kuda-kuda



Gambar 5.3 Pemodelan struktur kuda-kuda

Reaksi perletakan *joint* berat sendiri kuda-kuda dilakukan dengan cara sebagai berikut ini.

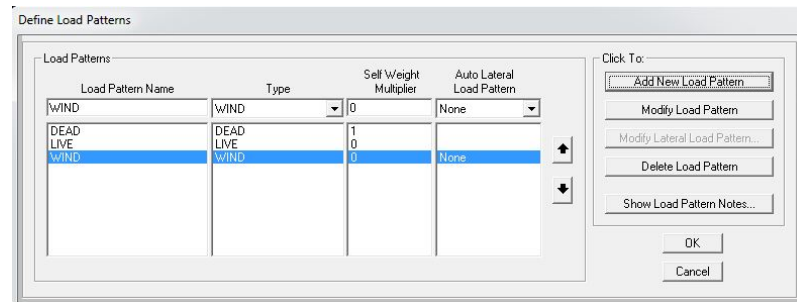
1. Menentukan spesifikasi material digunakan yaitu baja B37 dengan $f_u = 550$ MPa dan $f_y = 550$ MPa, melalui *Define – Material – Add New Material*, lihat Gambar 5.4.

Gambar 5.4 Material

2. Menggunakan profil *steel C* ukuran profil 75, menentukan profil melalui *Define - Section Properties - Frame Section - Add New Propert*, lihat Gambar 5.5.

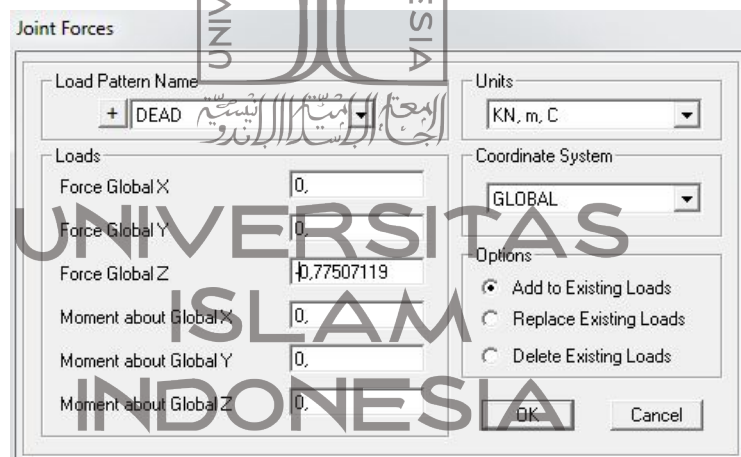
Gambar 5.5 Profil

3. Menentukan jenis beban (mati, hidup, angin) melalui menu *Define - Load Pattern*, lihat Gambar 5.6.



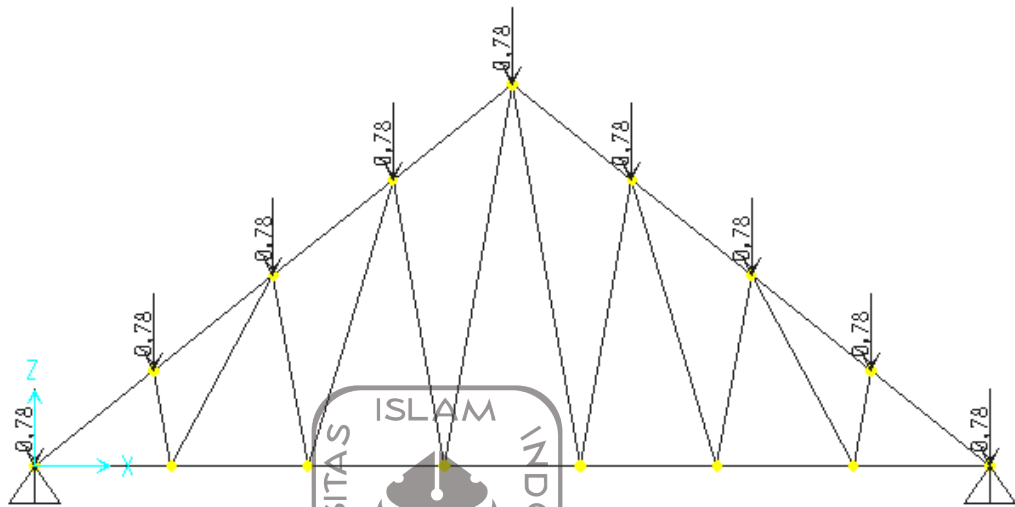
Gambar 5.6 Load Pattern

4. Memasukkan hasil perhitungan beban (mati, hidup, angin) pada *joint*, melalui menu *Assign – Joint Load – Forces*, letakkan beban pada arah Z, contoh pada beban mati (dead) lihat Gambar 5.7.

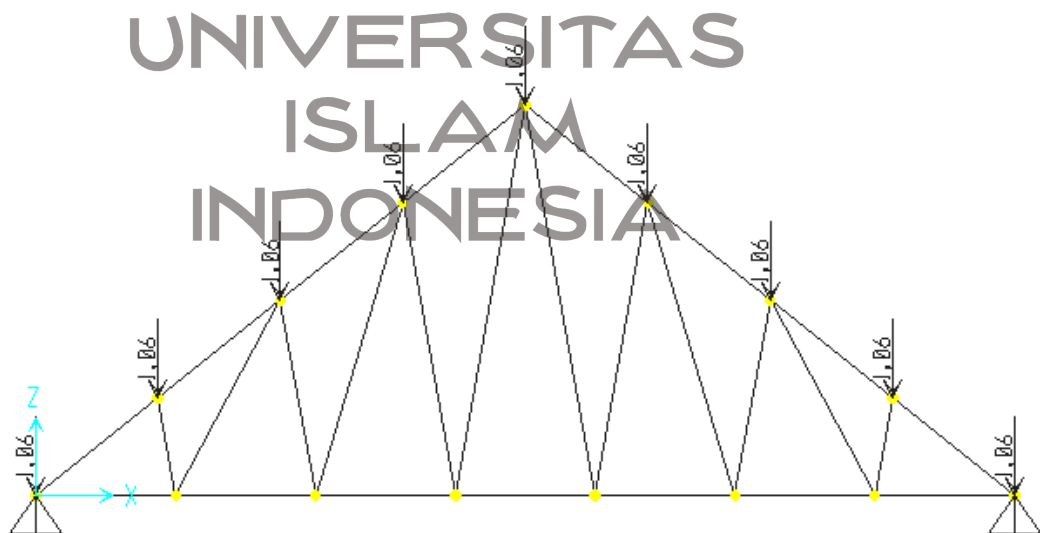


Gambar 5.7 Joint forces

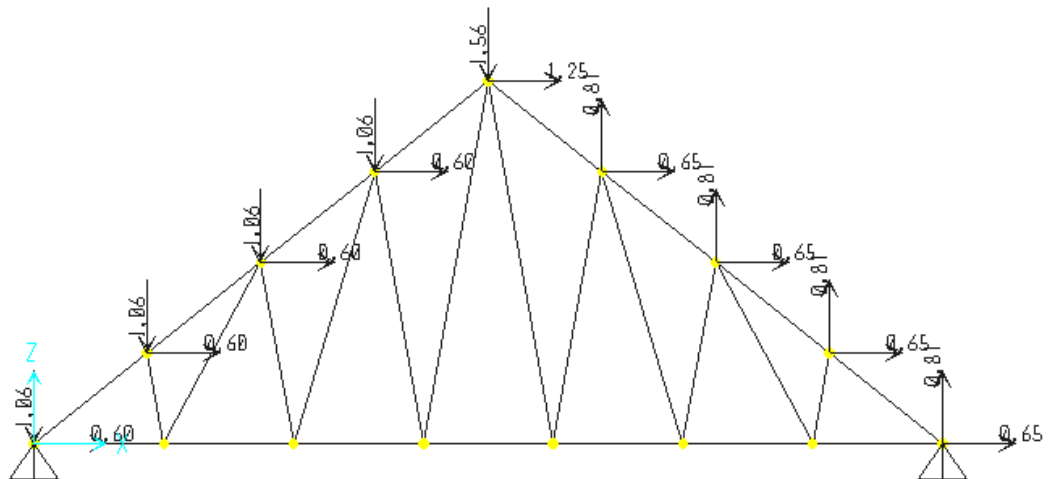
5. Nilai beban yang telah dimasukkan pada joint ditunjukkan pada Gambar 5.8 sampai dengan Gambar 5.10.



Gambar 5.8 Beban mati pada joint



Gambar 5.9 Beban hidup pada joint



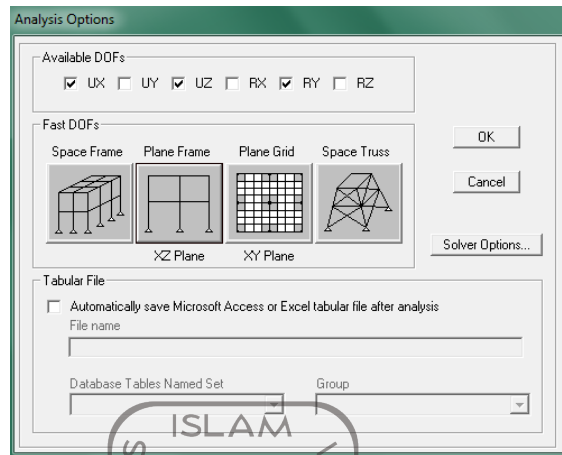
Gambar 5.10 Beban angin pada *joint*

6. Menganalisis model struktur, pilih semua *frame*, Assign – *Frame – Release/Partial Fixity*, pilih momen 33, model struktur yang telah di *release* ditunjukkan pada Gambar 5.11.



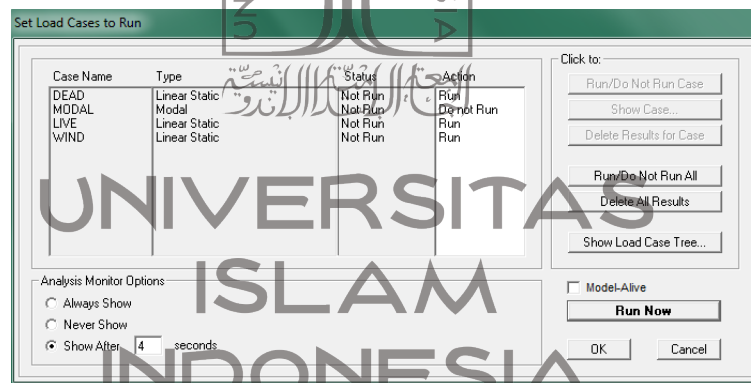
Gambar 5.11 *Frame* setelah di *release*

7. Struktur dianalisis secara 2D, maka pilih *Analyze – Set Analysis Options* – pilih *XZ Plane*, ditunjukkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Set analyze

8. Melakukan analisis melalui *Analyze – Run Analysis*, lihat Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Run analysis

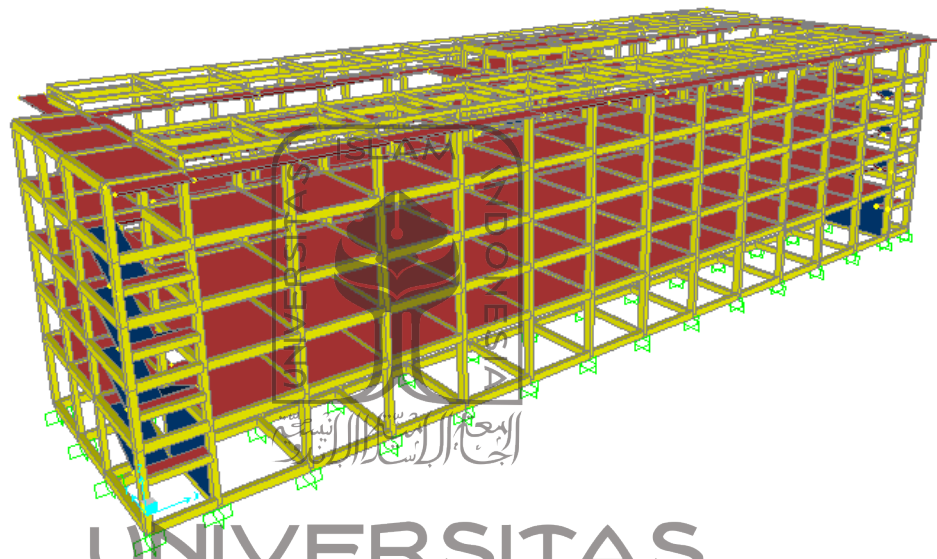
9. Mendapatkan reaksi tumpuan sebagai berikut

Tabel 5.8 Reaksi perletakan *joint* untuk berat sendiri kuda-kuda

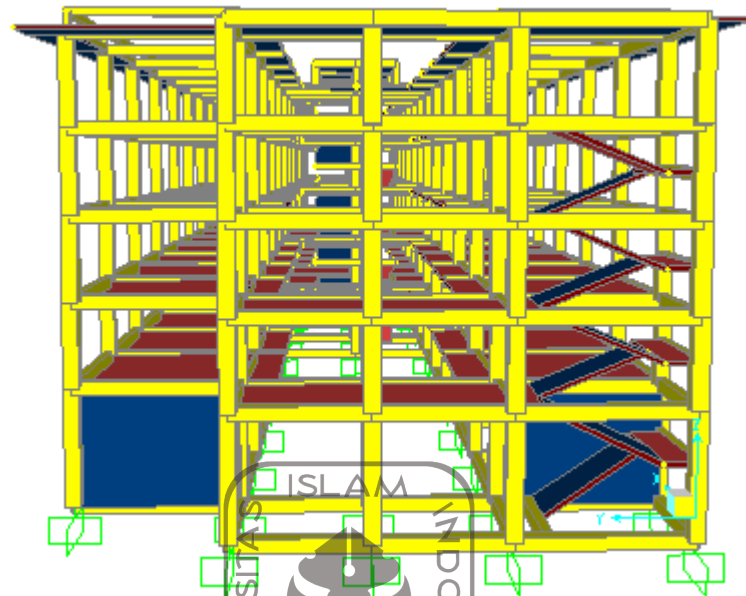
Beban	Joint	V (kN)	H (kN)
Dead	1	3,621	2,916
	3	3,621	2,916
Live	1	4,762	3,797
	3	4,762	3,797

5.2.2 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dibuat berupa *open frame* 3D, dinding pasangan bata tidak dimodelkan tetapi dinding dianggap sebagai beban pada bangunan, dinding yang dimodelkan hanya *shearwall*. Hasil pemodelan menggunakan SAP2000 V14 ditunjukkan pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15.



Gambar 5.14 Pemodelan struktur 3D



Gambar 5.15 Pemodelan struktur 3D tampak samping

5.3 ANALISIS BEBAN GEMPA

5.3.1 Analisis Beban Statik (Gaya geser dasar)

Gaya geser dasar (*base reaction*) akibat pembebanan gempa statik, ditunjukkan pada Gambar 5.16 dapat dilihat melalui menu *Display - Show Tables*, pada kotak dialog *Choose Tables for Display* pilih *Analysis Result - Struktur Output - Base Reactions*.

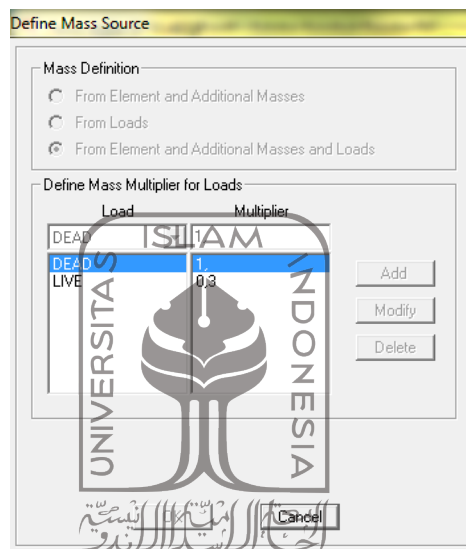
	OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m
▶	EQx 2012	LinStatic	-33475,185	-0,000000129	000000005206	0,000001363	-335725,21	341379,465	0
	EQy 2012	LinStatic	0,00000006011	-33475,185	000000002394	335725,2083	-0,0000005029	-1089985,46	0

Gambar 5.16 *Base reaction* akibat beban gempa statik ekuivalen

Berdasarkan Gambar 5.16, gaya geser dasar (V) akibat beban gempa untuk arah x (V_x) dan arah y (V_y) adalah sebesar $V_x = V_y = 33475,185$ kN.

5.3.2 Pendefisian Massa (*Mass Source*)

Pendefisian massa struktur pada SAP2000 dilakukan melalui menu *Define-Mass Source*, dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 *Mass source*

Pada penelitian ini *mass source* dipilih opsi *From Element and Additional Masses and Load*, dimaksudkan elemen struktur ditambah massa tambahan dan massa dari pembebanan yang diberikan.

5.3.3 Analisis Beban Gempa Dinamik (Gaya Geser Dasar)

Gaya geser dasar (*base reaction*) akibat pembebanan gempa respon spektrum (RSP) dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Tabel 5.9.

Base Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Base Reactions

	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	StepNum Unitless	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	MODAL	LinModal	Mode	1	8440,621	-112,279	12,088	1248,134	79101,2856	-8
	MODAL	LinModal	Mode	2	375,033	18173,209	98,852	-194799,841	-355,4747	53
	MODAL	LinModal	Mode	3	616,049	63,8	-9,207	-1017,7758	472,1571	4
	MODAL	LinModal	Mode	4	-20655,404	988,458	96,081	-8957,6023	116481,5291	24
	MODAL	LinModal	Mode	5	-1612,358	-59921,115	-47,532	56053,707	-2924,0523	1
	MODAL	LinModal	Mode	6	24723,416	-5110,452	830,672	18900,4907	36264,1815	-2
	MODAL	LinModal	Mode	7	-1300,595	772,846	-0,078	-2076,5863	-602,5325	14
	MODAL	LinModal	Mode	8	26589,321	3499,553	-2611,303	-54831,2836	-68511,8754	-1
	MODAL	LinModal	Mode	9	919,377	-31808,269	147635,857	1668793,493	-3922499	1
	MODAL	LinModal	Mode	10	7136,082	-7855,657	-20042,894	-153807,218	444967,1565	-2
	MODAL	LinModal	Mode	11	56,154	125595,674	29421,3	-325898,14	-701118,54	3
	MODAL	LinModal	Mode	12	-3774,621	26350,272	-19403,46	-353753,86	551914,3452	82
	RSP-X	LinRespSpec	Max		21713,208	649,673	50,746	6794,19	202374,1811	21
	RSP-Y	LinRespSpec	Max		649,673	26849,53	900,149	283635,8793	23088,3897	79

Record: 1 of 14

Add Tables... Done

Gambar 5.18 Base reaction akibat beban gempa dinamik

Tabel 5.9 Gaya geser dasar

Output case Text	Case type Text	Step type Text	Global FX KN	Global FY KN
RSP	LineRespSpec	Max	21713,208	26849,53

Evaluasi gempa arah x

$$F_x \text{ statik} = 33475,185 \text{ kN}$$

$$F_x \text{ RSP} = 21713,208 \text{ kN} < 85\% F_x \text{ statik} = 28453,907 \text{ kN}$$

Maka *spectrum respon* pada arah y dalam analisis ragam *spectrum* perlu

$$\text{diperbesar} = \frac{28453,907}{21713,208} = 1,310$$

Evaluasi gempa arah y

$$F_y \text{ statik} = 33475,185 \text{ kN}$$

$$F_y \text{ RSP} = 24792,191 \text{ kN} < 85\% F_y \text{ statik} = 28453,907 \text{ kN}$$

Maka *spectrum respon* pada arah y dalam analisis ragam *spectrum* perlu

$$\text{diperbesar} = \frac{28453,907}{24792,191} = 1,148$$

5.4 PUSHOVER ANALYSIS

5.4.1 Pendefisian Sendi Plastis

Pendefisian sendi plastis elemen struktur diperoleh dari grafik *momen-curvature* (momen rotasi) yang menggambarkan kemampuan deformasi dari elemen struktur. *Momen-curvature* pada elemen struktur didapat secara *auto* pada program SAP2000 V14 berdasarkan ketentuan FEMA 356 (2000).

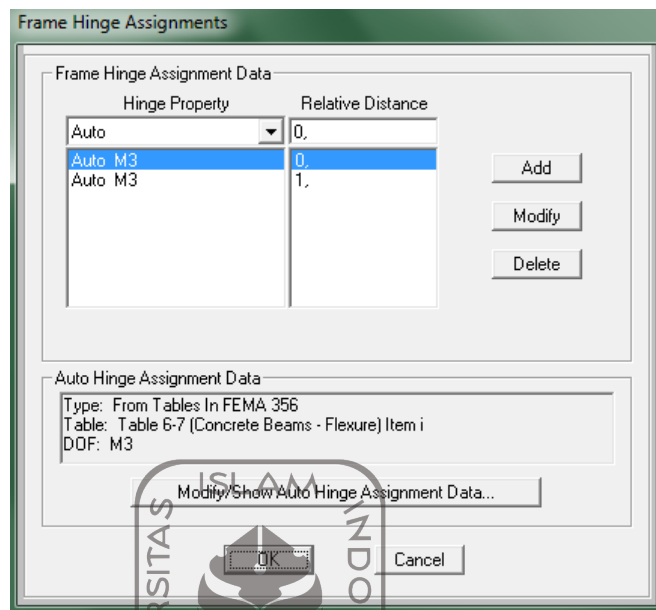
5.4.1.1 Pendefisian Sendi Plastis Pada Balok

Penempatan sendi plastis pada balok dilakukan dengan cara sebagai berikut.

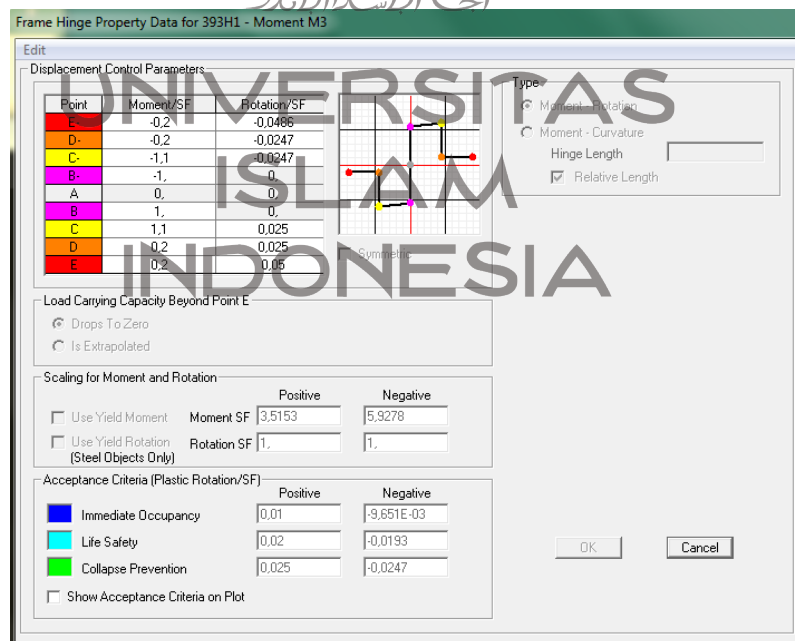
1. Memilih balok pada bangunan yang sudah dimodelkan.
2. Melakukan pendefisian dengan melalui menu *Assign-Frame-Hinges*, ditunjukkan pada Gambar 5.19.
3. Membuat 2 sendi plastis yaitu *Relative Distance 0* dan *Relative Distance 1* pada kotak dialog *Frame Hinges Assignment*, yang berarti sendi plastis pada balok diletakkan pada ujung elemen struktur, ditunjukkan pada Gambar 5.20.
4. Properti sendi plastis dapat dilihat dan diedit melalui menu *Define – Sections Properties – Hinge Properties – Show Hinges Detail*. Pilih sendi plastis yang akan dilihat propertinya, klik *Modify/Show Property – Modify/Show Hinge Property*, ditunjukkan pada Gambar 5.21.



Gambar 5.19 Hinges pada balok



Gambar 5.20 Pendefisian hinges

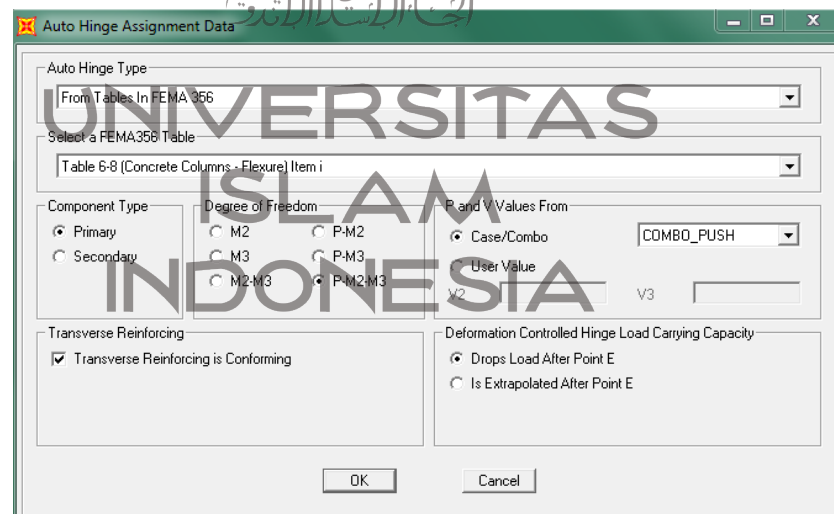


Gambar 5.21 Hasil pendefisian hinge balok

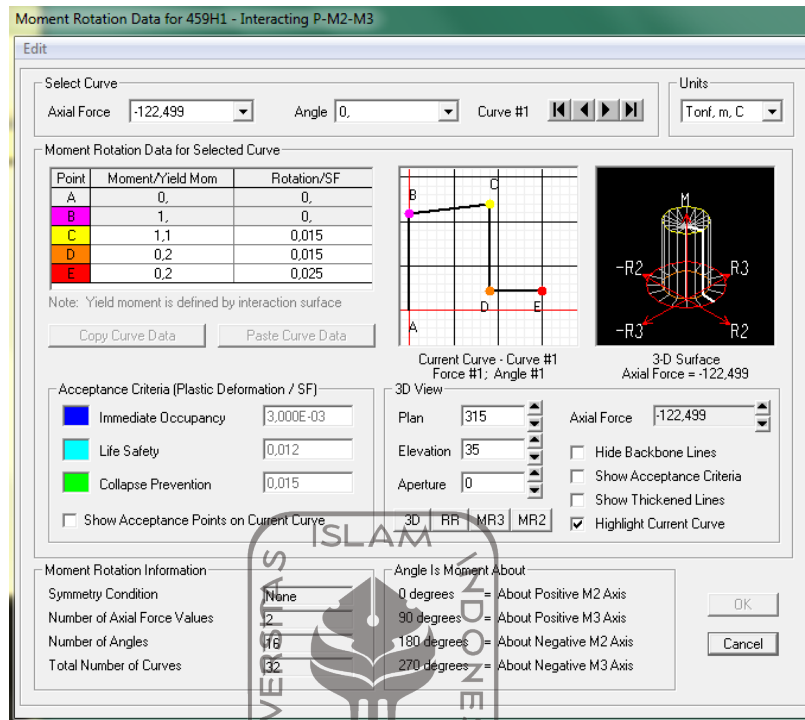
5.4.1.2 Pendefisian Sendi Plastis Pada Kolom

Penempatan sendi plastis pada kolom sama dengan cara pada balok sebagai berikut.

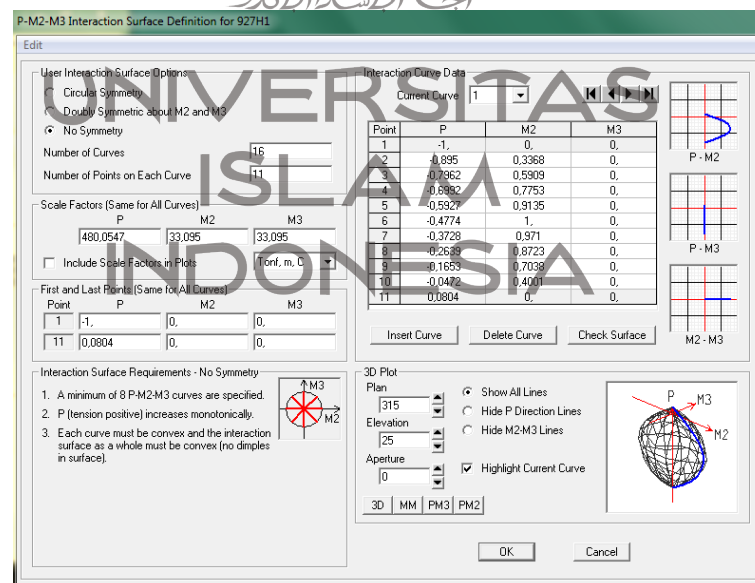
1. Melakukan pendefisian melalui menu *Assign-Frame-Hinges*, *Degree of Freedom* dipilih P-M2-M3 yang artinya kolom menerima gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Lihat Gambar 5.22.
2. Properti sendi plastis dapat dilihat melalui menu *Define – Section Properties – Hinge Properties*. Pilih sendi plastis yang akan dilihat propertinya, klik *Modify/Show Property – Modify/Show Hinge Property*. Klik opsi *Modify/Show Moment Rotation Curve Data* untuk melihat data momen rotasi, ditunjukkan pada Gambar 5.23.
3. Melihat kurva interaksi pada kolom melalui menu *Define – Section Properties – Hinge Properties* dan klik opsi *Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data*, ditunjukkan pada Gambar 5.24.



Gambar 5.22 *Hinges* pada kolom



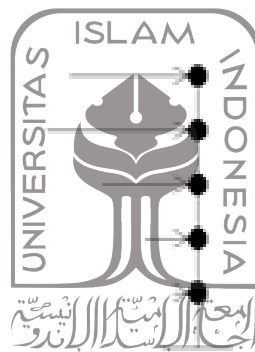
Gambar 5.23 Moment rotation data kolom



Gambar 5.24 Interaction pada kolom

5.4.2 Gaya Lateral *Pushover Analysis*

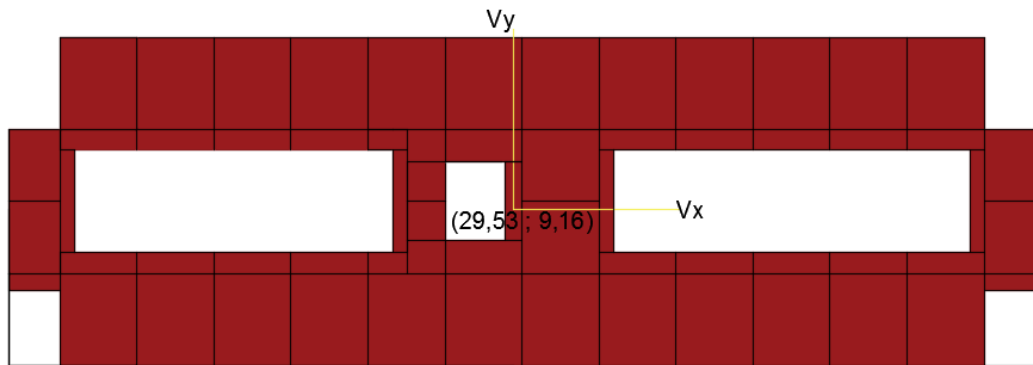
Pushover analysis dilakukan dengan memberikan gaya lateral horisontal statik berupa beban titik yang diletakkan di setiap lantai pada kolom bangunan arah x dan y. Gaya lateral yang dimasukkan adalah gaya gempa yang telah dihitung pada subab 5.1. Gaya geser dasar gempa $V_x = V_y = 33475,185$ kN yang kemudian didistribusikan pada setiap kolom arah x dan y setiap lantai. Pada penelitian ini menggunakan pola beban respon spektrum, dapat dilihat pada Gambar 5.25. Gaya lateral dapat dilihat pada Tabel 5.10. Letak penempatan gaya statik lateral dapat dilihat pada Gambar 5.26 sampai dengan Gambar 5.31.



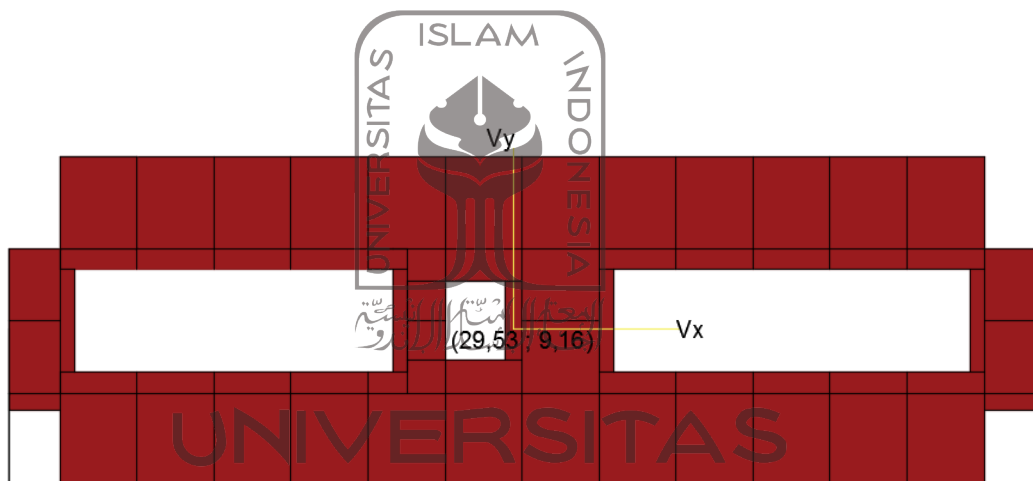
Gambar 5.25 Pola beban respon spektrum

Tabel 5.10 Gaya lateral *pushover* arah x dan arah y

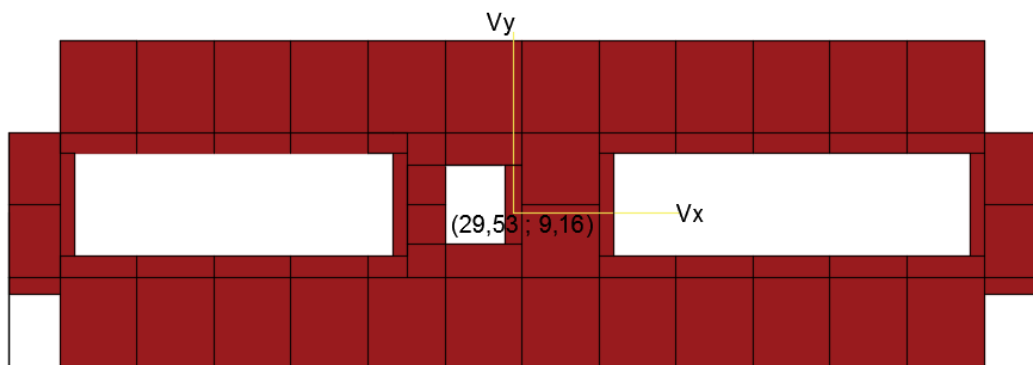
Lantai	Fx dan Fy (kN)
Tandon air	703,5022
Ring balok	560,4320
Dak atap	5716,1577
5	10561,8593
4	7869,6399
3	5297,2605
2	2766,3334
Total	33475,1850



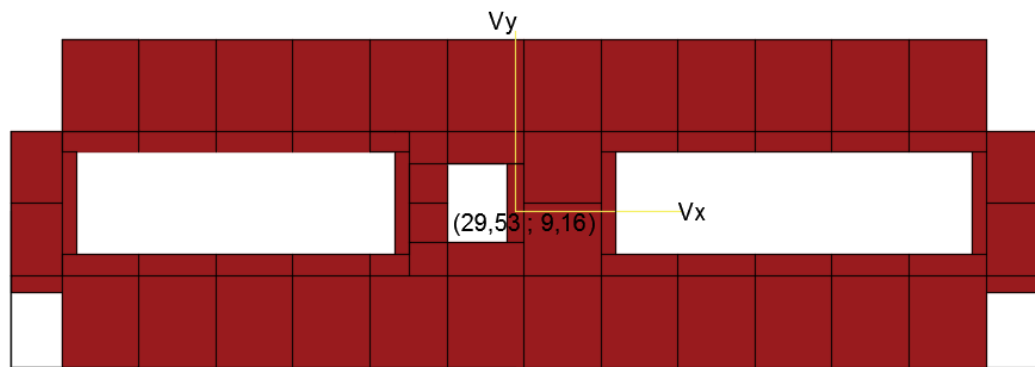
Gambar 5.26 Titik penempatan gaya lateral lantai 2 (+3.2) arah x dan y



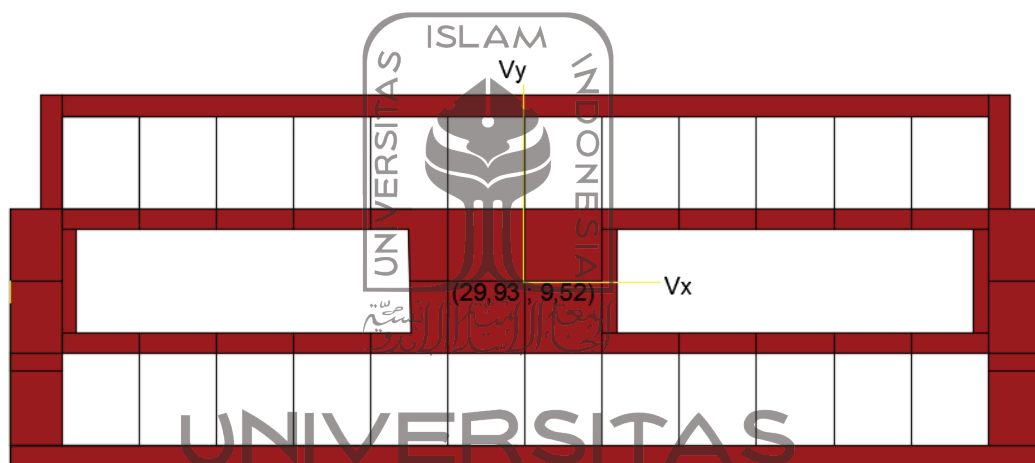
Gambar 5.27 Titik penempatan gaya lateral lantai 3 (+6) arah x dan y



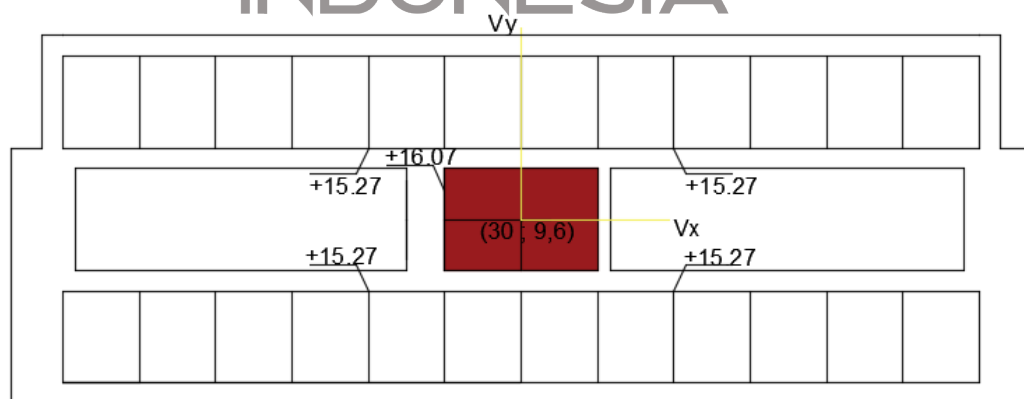
Gambar 5.28 Titik penempatan gaya lateral lantai 4 (+8.8) arah x dan y



Gambar 5.29 Titik penempatan gaya lateral lantai 5 (+11.6) arah x dan y



Gambar 5.30 Titik penempatan gaya lateral lantai 6 arah x dan y (+14.6)



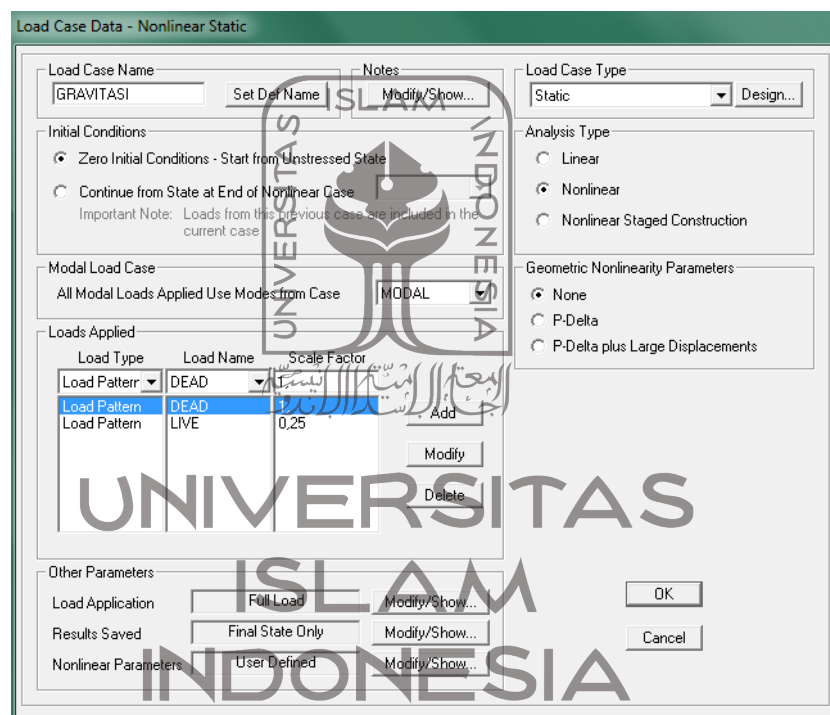
Gambar 5.31 Titik penempatan gaya lateral arah x dan y ring balok (+15.27) dan tandon air (+16.07)

5.4.3 Pembebanan Analisis *Pushover* di SAP2000 V14

Pembebanan analisis *pushover* dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama analisis belum mempertimbangkan kondisi nonlinier dimana struktur diberi beban mati dan beban hidup (gravitasi). Tahap kedua analisis dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral diberikan secara bertahap.

5.4.3.1 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi dilakukan melalui menu *Define – Load Case – Add New*, ditampilkan dalam Gambar 5.32.

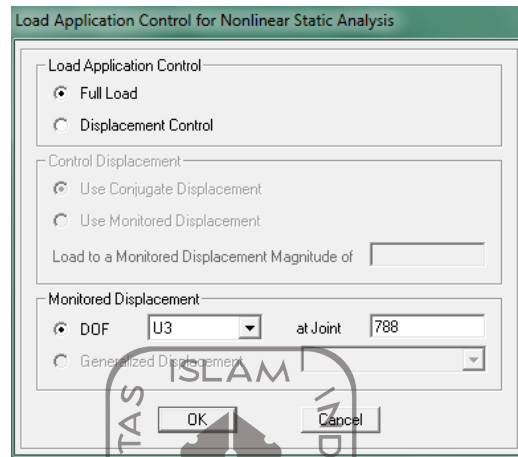


Gambar 5.32 Pengaturan *analysis case* beban gravitasi

Berdasarkan Gambar 5.32 modifikasi pada *Load case data* sebagai berikut.

- Initial conditions* dipilih *Zero initial conditional*, yang dimaksudkan pembebanan dilakukan pada kondisi awal sebelum menerima beban.
- Beban yang bekerja pada *Load applied* yaitu beban mati (*dead*) dengan faktor pengali 1, dan beban hidup (*live*) dengan faktor pengali 0,25.
- Analisis type* dipilih *nonlinier*
- Pada kotak dialog *Other parameter*, *Load application – Modify/Show*, nilai *DOF = U3*, ditampilkan dalam Gambar 5.33.

- e. Pada kotak dialog *Other parameter*, *Result saved* dibiarkan *default*
- f. Pada kotak dialog *Other parameter*, *Nonlinear parameters – Modify/Show* ditampilkan dalam Gambar 5.34.



Gambar 5.33 Load application control for nonlinear static analysis



Gambar 5.34 Load case data – nonlinear static gravity

5.4.3.2 Pembebanan Lateral

Pada analisis ini dibuat 2 pembebanan arah lateral yaitu arah x dan arah y. Pembebanan dilakukan melalui menu *Define - Load Case – Add New Case*.

The screenshot shows the 'Load Case Data - Nonlinear Static' dialog box. The 'Load Case Name' is 'PUSH X'. The 'Load Case Type' is 'Static'. Under 'Initial Conditions', 'Continue from State at End of Nonlinear Case' is selected, and 'GRAVITASI' is chosen for the gravity direction. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear'. Under 'Geometric Nonlinearity Parameters', 'None' is selected. The 'Modal Load Case' section shows 'All Modal Loads Applied Use Modes from Case' set to 'MODAL'. The 'Loads Applied' table has one entry: 'EQx 2012' with a scale factor of 1.0. The 'Other Parameters' section shows 'Load Application' as 'Displ Control', 'Results Saved' as 'Multiple States', and 'Nonlinear Parameters' as 'User Defined'. The dialog box has 'OK' and 'Cancel' buttons.

Load Type	Load Name	Scale Factor
EQx 2012	EQx 2012	1.0

Gambar 5.35 Pengaturan *analysis case* beban lateral *pushover* arah x

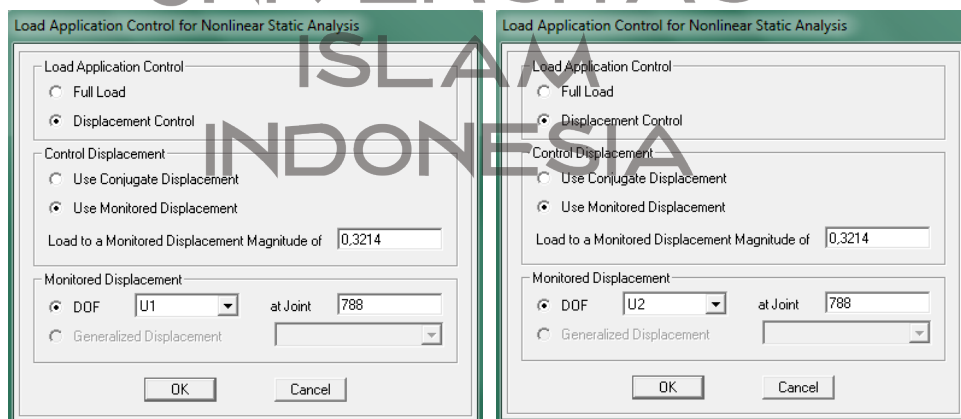
The screenshot shows the 'Load Case Data - Nonlinear Static' dialog box for a lateral pushover analysis in the Y direction. The 'Load Case Name' is 'PUSH Y'. The 'Load Case Type' is 'Static'. Under 'Initial Conditions', 'Continue from State at End of Nonlinear Case' is selected, and 'GRAVITASI' is chosen for the gravity direction. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear'. Under 'Geometric Nonlinearity Parameters', 'None' is selected. The 'Modal Load Case' section shows 'All Modal Loads Applied Use Modes from Case' set to 'MODAL'. The 'Loads Applied' table has one entry: 'EQy 2012' with a scale factor of 1.0. The 'Other Parameters' section shows 'Load Application' as 'Displ Control', 'Results Saved' as 'Multiple States', and 'Nonlinear Parameters' as 'User Defined'. The dialog box has 'OK' and 'Cancel' buttons.

Load Type	Load Name	Scale Factor
EQy 2012	EQy 2012	1.0

Gambar 5.36 Pengaturan *analysis case* beban lateral *pushover* arah y

Berdasarkan Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 modifikasi pada *Load case data* sebagai berikut.

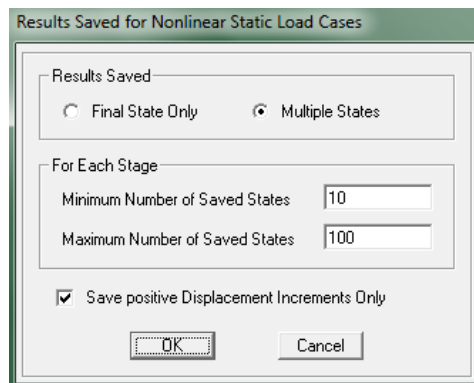
- Initial conditions* dipilih *Continue from state at end of nonlinear case* = GRAVITASI.
- Beban yang bekerja pada *Load applied* adalah beban gempa statik dengan faktor pengali 1, untuk arah x beban gempa statik x dan arah y beban gempa statik y.
- Analisis type* dipilih *nonlinier*.
- Pada kotak dialog *Other parameter, Load application–Modify/Show*. Pada *Control displacement* pilih *Use Monitored Displacement* (0,3214) yang berarti 2% dari tinggi bangunan (16,07 m). *Monitored Displacement* dipilih U1 arah x dan U2 pada arah y pada *joint* 788 yaitu pada *joint* atap, lihat Gambar 5.37.
- Pada kotak dialog *Other parameter, Result Saved – Modify/Show* - klik *Multi States* untuk lebih jelasnya dapat lihat Gambar 5.38.
- Pada dialog *Other Parameters, Nonlinear parameters* – klik *Modify/Show*. Nilai parameter pada *Solution control* diubah seperti pada Gambar 5.39.



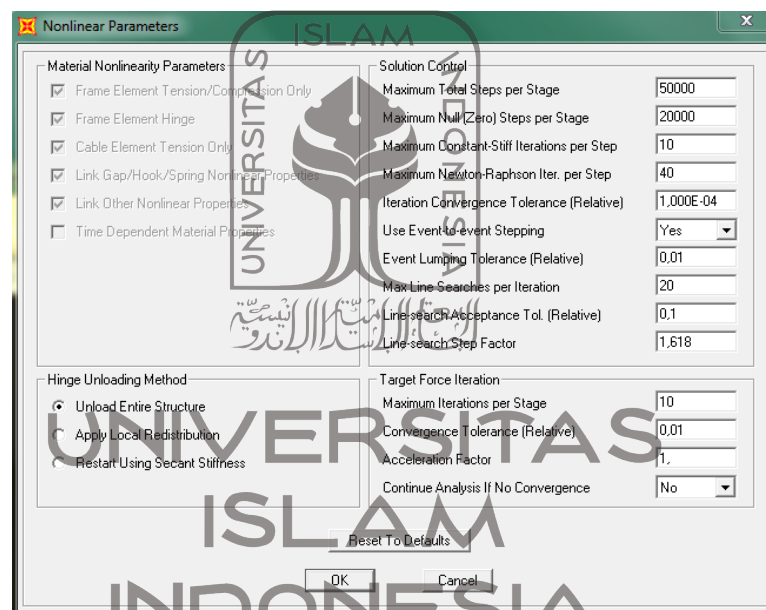
(a) Arah x

(b) Arah y

Gambar 5.37 *Load application control*



Gambar 5.38 Result saved pada arah x dan arah y



Gambar 5.39 Nonlinier parameters pada arah x dan arah y

5.5 BEBAN RESPON SPEKTRUM

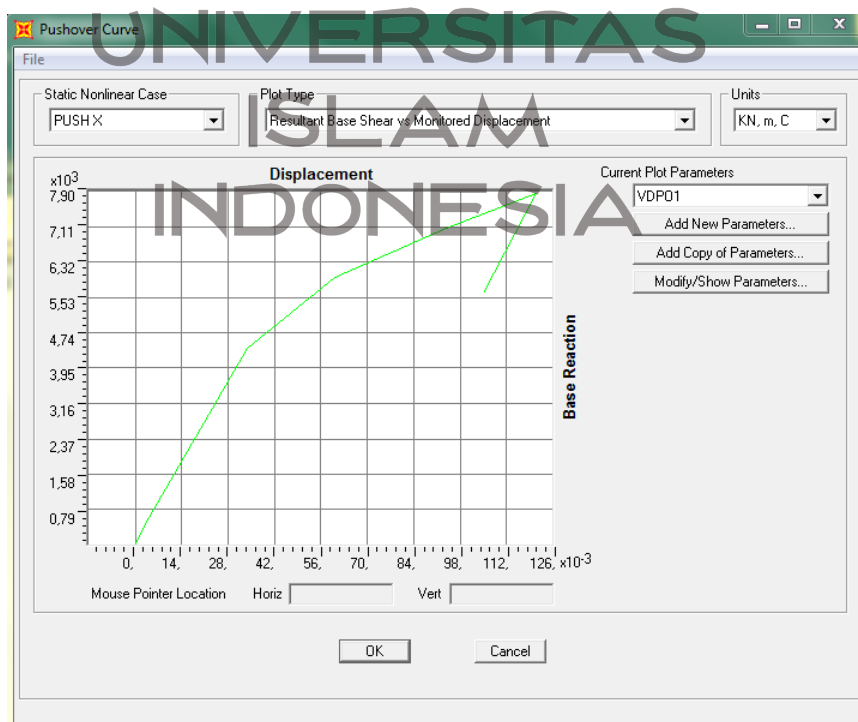
Pada analisis *pushover seismic demand* menggunakan beban dari respon spektrum gempa SNI 03-1726-2012 untuk menentukan titik kinerja (*Performance Point*). Kondisi bangunan dianggap elastik dengan nilai reduksi beban gempa, $R=1$ dan faktor keutamaan bangunan, $I_e=1$, nilai *Scale Factor* yang harus dimasukkan pada *Demand Spectrum Defenition* sebesar $= \frac{I}{R} \times g = \frac{1}{1} \times 9,81 = 9,81$.

5.6 HASIL ANALISIS STATIK NONLINIER (*PUSHOVER*)

Hasil analisis *pushover* yaitu berupa kurva kapasitas dan titik kinerja sesuai dengan metode ATC-40 kemudian akan didapat hasil akhir berupa level kinerja struktur.

5.6.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara perpindahan yang tertangkap (*Monitored Displacement*) dan gaya geser resultan (*Resultan Base Shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sebagai beban dorong tiap lantai sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah ditentukan. Kurva kapasitas dapat dilihat dengan klik menu *Display – Show Static Pushover Curve*. Kurva kapasitas berbentuk nonlinier akibat peningkatan beban yang mengakibatkan elemen struktur bangunan berubah dari kondisi elastik menjadi kondisi inelastik selanjutnya mengalami keruntuhan struktur. Kurva kapasitas arah x dan y berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 5.40 dan Gambar 5.41. Nilai perpindahan dan gaya geser dasar dapat diketahui dari data kurva kapasitas, disajikan pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.



Gambar 5.40 Curve Resultan base shear vs monitored displacement arah x

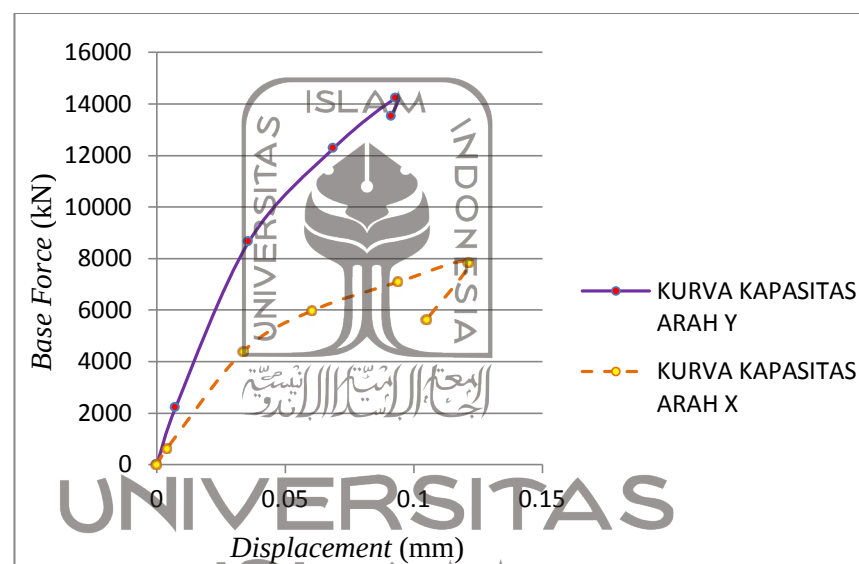
Tabel 5.11 Data *pushover curve* arah x

Step	Displacement (m)	Based Force (kN)
0	0	0
1	0,003947	617,598
2	0,033572	4382113
3	0,060308	5967,812
4	0,093736	7080,033
5	0,121067	7849,045
6	0,104997	5620,454

Gambar 5.41 *Curve Resultan base shear vs monitored displacement* arah yTabel 5.12 Data *pushover curve* arah y

Step	Displacement (m)	Based Force (kN)
0	0	0
1	0,007274	2214,016
2	0,035748	8649,68
3	0,068726	12278,658
4	0,093012	14222,579
5	0,09129	13529,109

Pada pembebanan arah x dan y, step-0 menunjukkan keadaan struktur belum diberikan beban lateral. Step 1 menunjukkan keadaan struktur mengalami perubahan kondisi elastik menjadi inelastik (leleh pertama). Analisis *purhover* arah x berhenti pada step 5 yaitu menunjukkan struktur telah mencapai kondisi ultimit dan arah y berhenti pada step 4. Analisis berhenti sebelum mencapai titik kontrol yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,3214 m, dikarenakan kapasitas deformasi di setiap elemen struktur telah terlampaui.



Gambar 5.42 Perbandingan kurva kapasitas arah x dan y

Berdasarkan Gambar 5.42 terlihat bahwa kemiringan kurva kapasitas arah x lebih condong ke bawah membentuk sudut kemiringan yang lebih kecil dibandingkan kurva kapasitas arah y. Menurut FEMA 356 (2000) kemiringan kurva dapat memberikan gambaran terhadap kekakuan bangunan. Kurva kapasitas yang memiliki kemiringan cenderung tegak menunjukkan bahwa bangunan memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan kurva kapasitas condong kebawah.

Pada kurva kapasitas arah y dimana gaya geser yang terjadi lebih besar dengan simpangan lebih kecil sebaliknya untuk pembebanan arah x. Hal ini dikarenakan pada arah y terdapat dinding geser, dimana dinding geser

meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya geser, dengan adanya dinding geser menghasilkan struktur lebih kaku.

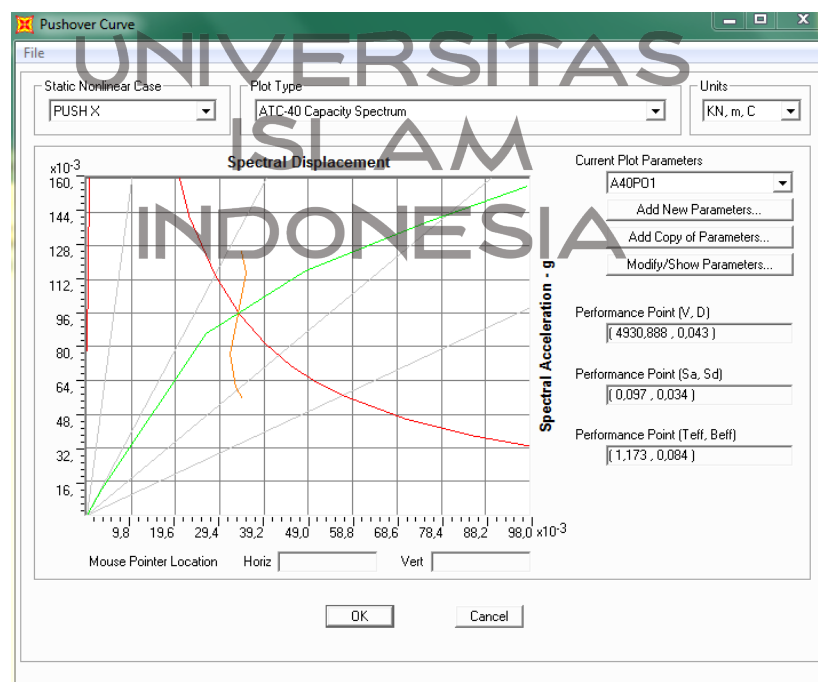
5.6.2 Titik Kinerja Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode spektrum kapasitas ATC-40 merupakan salah satu metode untuk menentukan titik kinerja bangunan. Metode ini menggabungkan kurva spektrum kapasitas dan *demand spectrum*. Untuk mendefinisikan beban gempa dan faktor skala melalui *Display – Show Static Pushover Curve* – pada *Plot type* pilih *Sa-Sd*. *Structural behavior type* dipilih tipe B karena merupakan struktur dengan kondisi eksisting sedang (*average*) dan durasi goyangan struktur (*shaking duration*) yang pendek (*short*) sesuai pada ATC-40 Tabel 8-4, lebih jelasnya akan ditunjukkan pada Gambar 5.43 dan Gambar 5.44. Kurva spektrum kapasitas dan *spectrum demand* disajikan pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46.

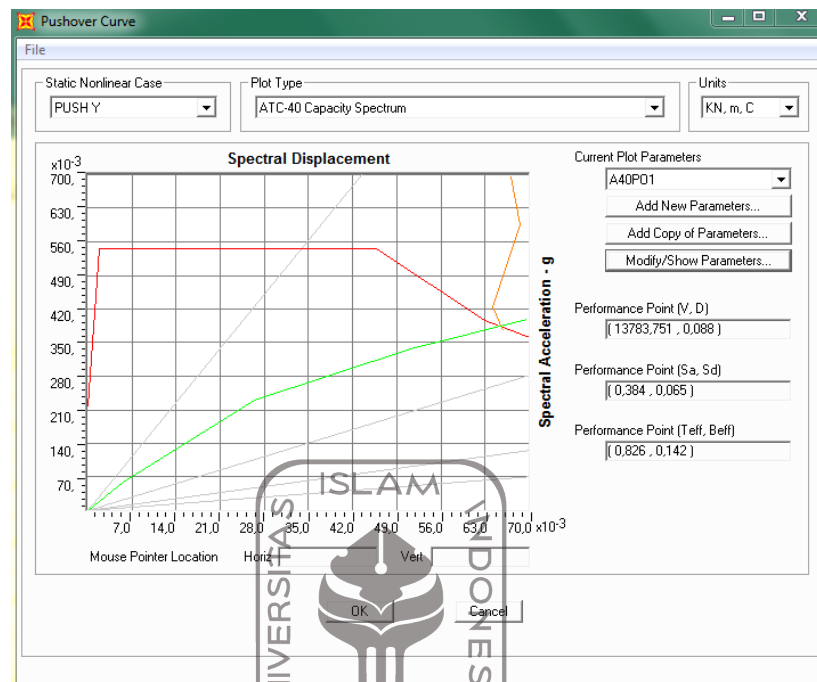


Gambar 5.43 Pendefinisian parameter metode ATC-40 pada arah x

Gambar 5.44 Pendefisian parameter metode ATC-40 pada arah y



Gambar 5.45 Performance point arah x



Gambar 5.46 *Performance point* arah y

Pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46 terlihat titik perpotongan kurva kapasitas (garis hijau) dengan *spectrum demand* (garis merah) titik perpotongan ini disebut titik kinerja (*performance point*). Titik kinerja menunjukkan besar kapasitas struktur dapat memenuhi *demand* berupa beban gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2012.

Nilai *performance point*, waktu getar alami efektif dan redaman viskous efektif berdasarkan metode ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 *Performance point* metode ATC-40

Arah Beban <i>Pushover</i>	<i>Base Shear</i> (kN)	<i>Performance Point</i>					
		Vt (kN)	δ (m)	Sa	Sd	T eff	B eff
Arah X	33475,185	4930,888	0,043	0,097	0,034	1,173	0,084
Arah Y	33475,185	13783,751	0,088	0,384	0,065	0,826	0,142

Berdasarkan Tabel 5.13 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Kinerja *displacement* gedung memenuhi syarat keamanan, karena *displacement limit* menurut SNI 1726-2002 ditentukan $2\%H = 0,02 \times 16,07 \text{ m} = 0,3214 \text{ m} > \delta = 0,043 \text{ m}$ dan $0,088 \text{ m}$ berturut untuk arah x dan arah y.
2. Nilai gaya geser dasar pada titik kinerja lebih kecil dari nilai gaya geser dasar rencana, pada arah x ($V = 4930,888 \text{ kN} < V_{\text{rencana}} = 33475,185 \text{ kN}$) dan pada arah y ($V = 13783,751 \text{ kN} < V_{\text{rencana}} = 33475,185 \text{ kN}$). Hal ini menunjukkan perilaku struktur gedung rusunawa Jongke dalam kondisi elastik saat diberi beban gempa rencana.

5.6.3 Daktilitas Aktual

Langkah awal dalam perhitungan nilai daktilitas aktual adalah dengan melakukan modifikasi kurva kapasitas yang diperoleh dari hasil analisis *pushover* menjadi kurva bilinear.

Modifikasi kurva kapasitas menjadi kurva bilinear dapat dilakukan dengan cara *trial error* luasan kurva. Hasil *trial error* luasa pada kurva kapasitas arah x dan y adalah sebagai berikut.

1. Pada kurva kapasitas arah x

$$\text{Luasan} + = 137,336$$

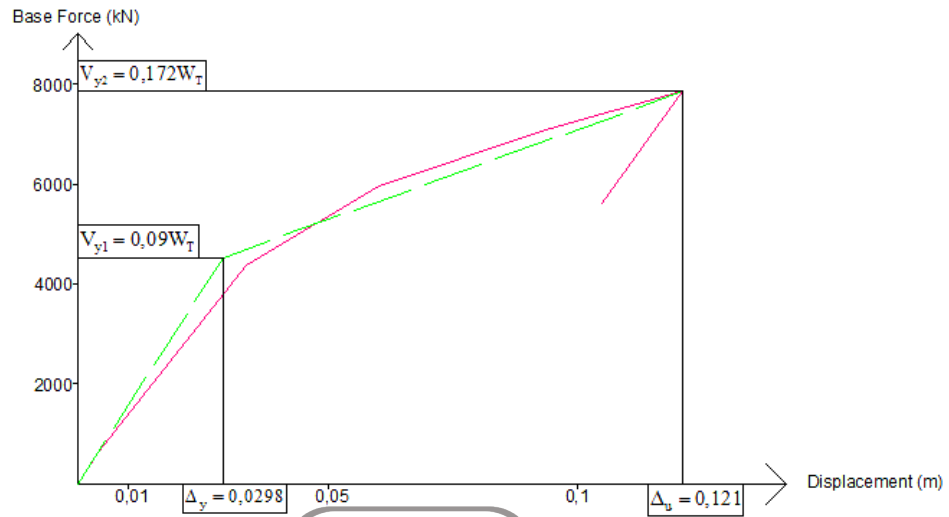
$$\text{Luasan} - = 137,378$$

2. Pada kurva kapasitas arah y

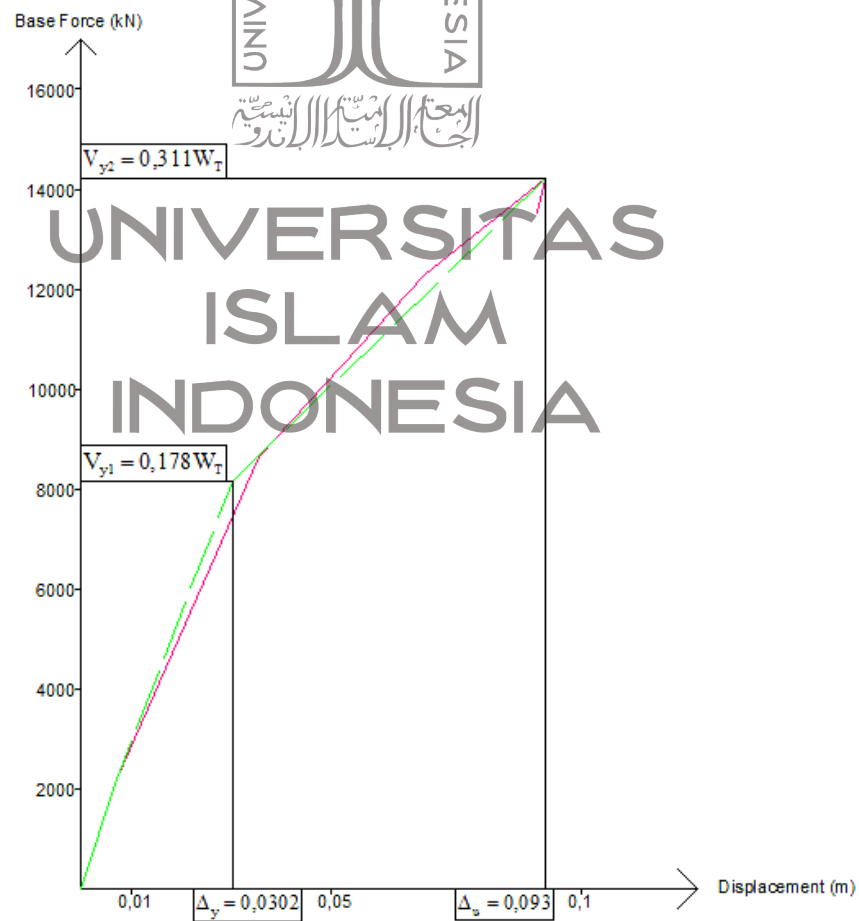
$$\text{Luasan} + = 109,336$$

$$\text{Luasan} - = 109,339$$

Ilustrasi modifikasi kurva kapasitas ditunjukkan pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48.



Gambar 5.47 Penentuan daktilitas aktual untuk pembebanan arah x



Gambar 5.48 Penentuan daktilitas aktual untuk pembebanan arah y

Berdasarkan Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 kemiringan pasca leleh adalah positif, selain itu dapat dicari perhitungan daktilitas aktual, disajikan dalam Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Daktilitas struktur aktual

	Arah Pembebanan	
	x	y
W_T (kN)	45647,98	45647,98
V (kN)	33475,185	33475,185
V_{y1} (kN)	4529,89	8158,35
V_{y2} (kN)	7849,045	14222,597
Δ_y (m)	0,0289	0,0302
Δ_u (m)	0,121	0,093
%W1	9	17,8
%W2	17,2	31,1
μ (m)	4,187	3,079

Berdasarkan Tabel 5.14 dapat diketahui untuk pembebanan arah x kondisi leleh tercapai pada saat $V_{y1} = 4529,89$ kN dan untuk arah y pada $V_{y1} = 8158,35$ kN dengan berat total bangunan sama yaitu $W_T = 45647,98$ kN. Maka, untuk arah pembebanan x, V_{y1} dan V_{y2} berturut tercapai pada saat $0,09 W_T$ dan $0,172 W_T$, pembebanan arah y, V_{y1} dan V_{y2} berturut tercapai pada saat $0,178 W_T$ dan $0,31 W_T$.

Daktilitas aktual struktur pada pembebanan arah x yaitu sebesar 4,187 dan pada arah y sebesar 3,709. Berdasarkan hubungan dan gaya simpangan menurut Widodo (2012) dapat dilihat pada Gambar 3.10 maka dari nilai daktilitas aktual struktur tersebut termasuk dalam *response with full ductility*, yang berarti struktur dalam taraf kinerja daktilitas penuh. Pada daktilitas penuh, desain beban/kebutuhan kekuatannya relatif lebih kecil tetapi elemennya harus didesain lebih daktil.

Pada penelitian ini tidak diketahui daktilitas yang digunakan saat bangunan didesain sehingga dengan hasil analisis yang didapat tersebut bisa dimungkinkan terjadi perubahan tingkat daktilitas.

5.6.4 Penentuan Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift ratio* yang didapat saat titik kinerja tercapai. Menurut ATC-40 batasan *drift ratio* ditentukan dari perbandingan *roof drift* dengan tinggi total bangunan. Nilai *drift ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Nilai *drift ratio*

Arah pembebanan <i>pushover</i>	Elevasi titik kontrol (m)	ATC-40	
		δ_t (m)	<i>Drift ratio</i> (%)
Arah x	16,07	0,043	0,267
Arah y	16,07	0,088	0,548

Kinerja gedung menurut ATC-40 (Tabel 11-12) telah ditunjukkan pada Tabel 3.8, berikut perhitungan untuk mendapatkan nilai *drift ratio*.

a. *drift ratio* :

$$\text{arah x} = \frac{\delta_t}{H} = \frac{0,043}{16,07} = 0,00267 < 0,01$$

$$\text{arah y} = \frac{\delta_t}{H} = \frac{0,088}{16,07} = 0,00548 < 0,01$$

maka tingkat kinerja gedung *Immediate Occupancy*

b. *in-elastic drift ratio*:

$$\text{arah x} = \frac{\delta_t - \delta_1}{H} = \frac{0,043 - 0,003947}{16,07} = 0,00243 < 0,005$$

$$\text{arah y} = \frac{\delta_t - \delta_1}{H} = \frac{0,088 - 0,007274}{16,07} = 0,005 = 0,005$$

maka tingkat kinerja gedung *Immediate Occupancy*

Struktur dalam kriteria tingkat kinerja *Immediate Occupancy*, yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadi gempa.

5.6.5 Mekanisme Sendi Plastis

Elemen struktur yang dibebani beban statik tersebut secara bertahap akan mengalami pelelehan (sendi plastis) hingga dapat menyebabkan ketidakmampuan elemen menerima gaya dalam tersebut sehingga struktur dapat mengalami

keruntuhan. Perilaku struktur saat beban yang bekerja relatif kecil maka momen yang bekerja disetiap penampangnya masih dalam keadaan elastis, namun setelah beban ditingkatkan secara bertahap akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang mencapai keadaan plastis.

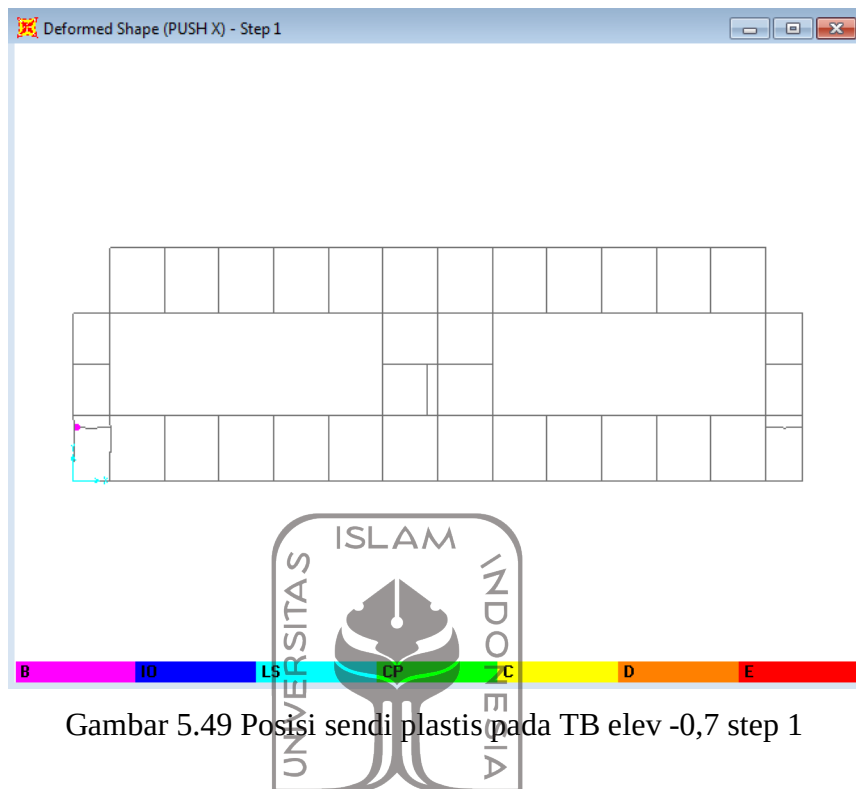
Perilaku pelelehan pada elemen ditunjukkan dengan warna pada sendi plastis, berikut ini penjelasan mengenai warna sendi plastis pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Penjelasan warna sendi plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadi pelelehan pertama pada struktur
IO		Kerusakan kecil pada struktur (tidak berarti), kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadi gempa
LS		Kerusakan mulai dari kecil hingga sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Kerusakan parah pada struktur, kekuatan dan kekakuan berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser masih mampu ditahan gedung
D		Degradasi kekuatan struktur besar, kondisi struktur tidak stabil hampir runtuh
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan runtuh.

5.6.5.1 Sendi Plastis Arah x

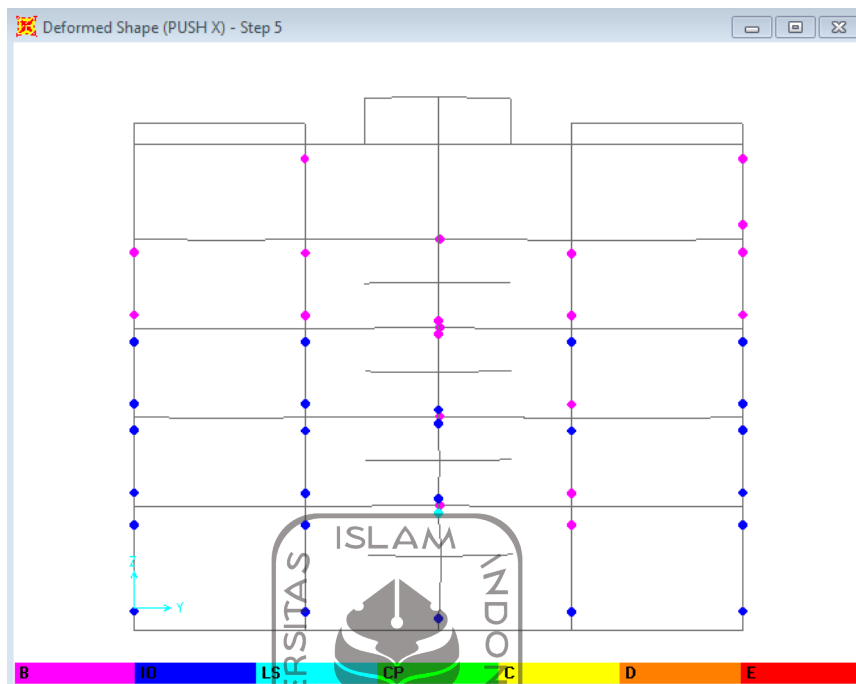
Sendi plastis dapat dilihat melalui *Display>Show Deformed Shape*. Pilih pembebanan push x. Warna sendi plastis menunjukkan tingkat kekuatan elemen. Posisi sendi plastis pada step 1 terdapat di TB, ditunjukkan pada Gambar 5.49.



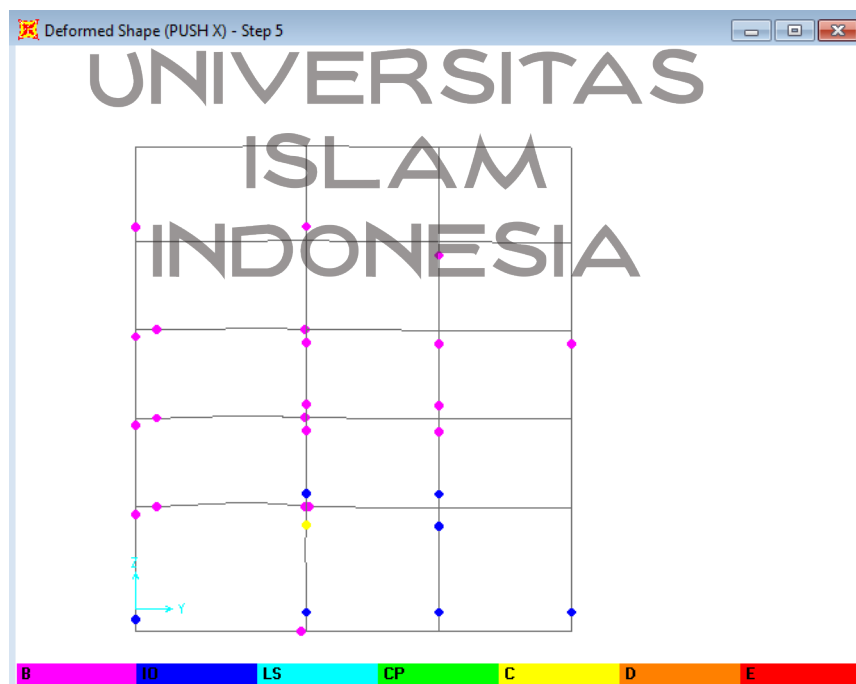
Gambar 5.49 Posisi sendi plastis pada TB elev -0,7 step 1

Pada step 2 sampai 6 sendi plastis pada balok dalam posisi yang sama dan masih warna merah muda, sedangkan di step 2 pada kolom sendi plastis terdapat di kolom lantai 1 sampai lantai 3 dengan warna merah muda, kemudian bertambah hingga lantai 4 pada step 3.

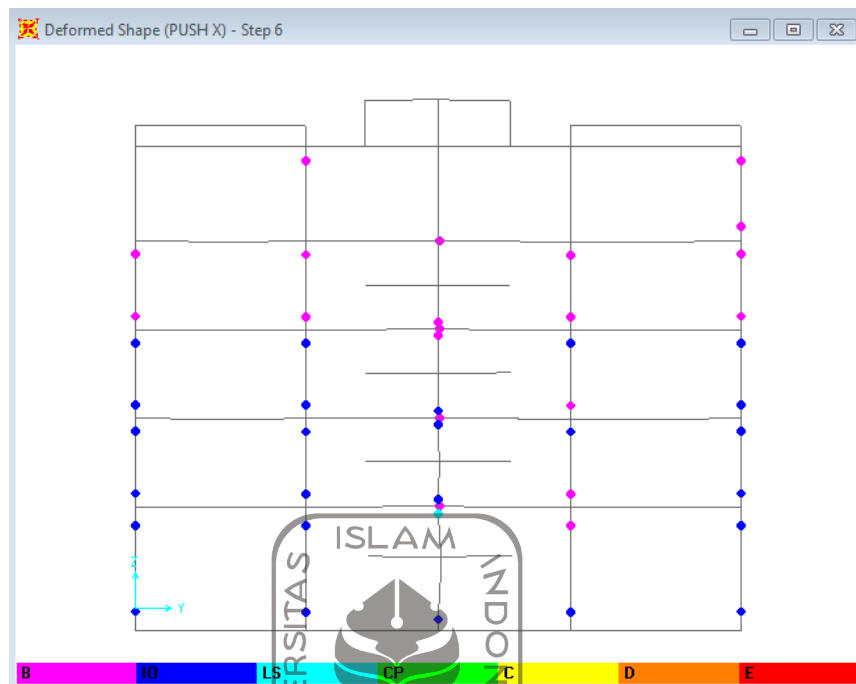
Pada step 4 sendi plastis pada ujung kolom bawah berubah menjadi biru (IO). Pada step 5 sampai step 6 terdapat kolom dengan sendi plastis warna biru terang (LS) di ujung atas kolom lantai 1 portal 5 (satu sisi), dan sendi plastis warna kuning (C) di ujung atas kolom lantai 1 portal 0A (satu sisi). Pada step 6 sendi plastis warna kuning (C) terdapat di kedua sisi ujung kolom lantai 1 portal 0A, ditunjukkan pada Gambar 5.50 sampai dengan Gambar 5.53.



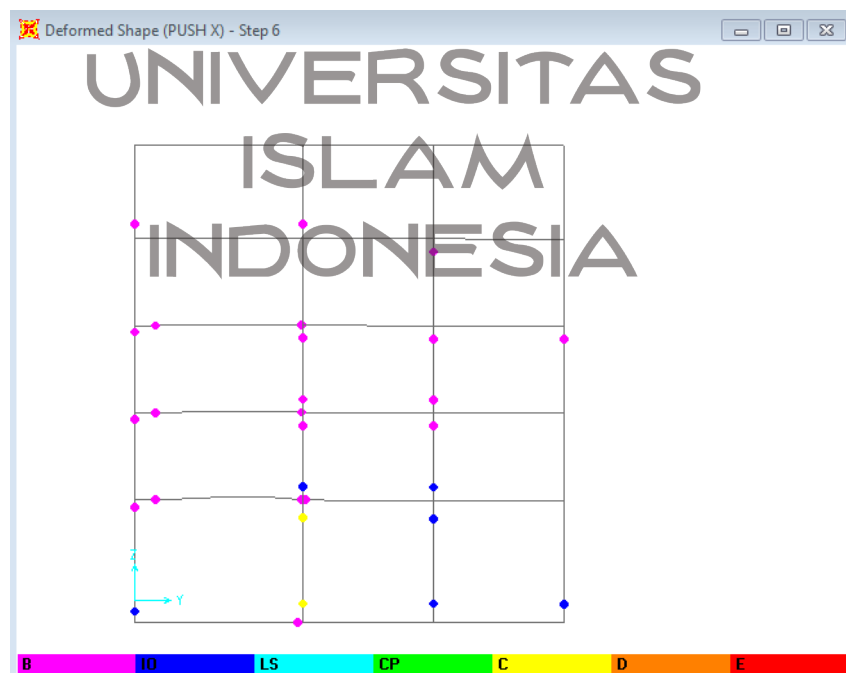
Gambar 5.50 Posisi sendi plastis pada portal 5 step 5



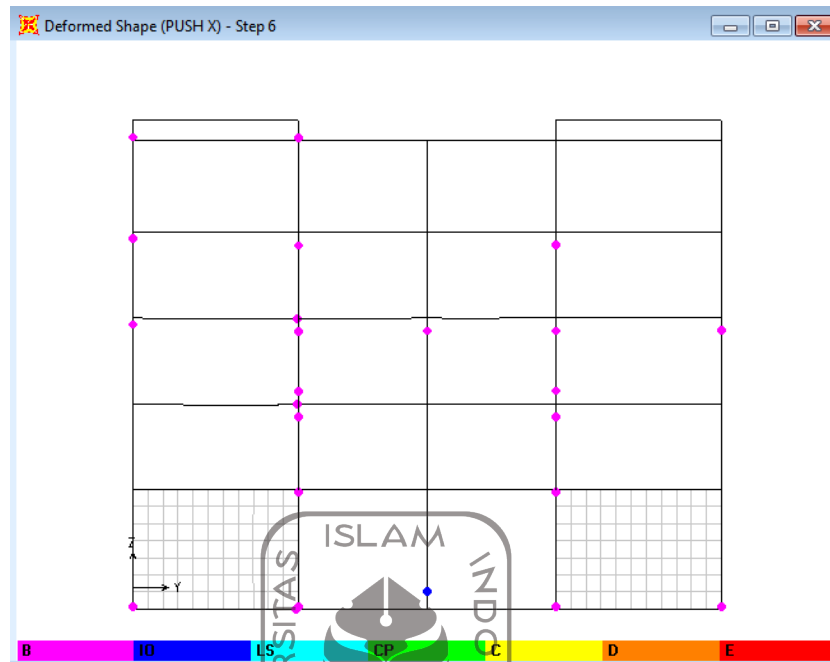
Gambar 5.51 Posisi sendi plastis pada portal 0A step 5



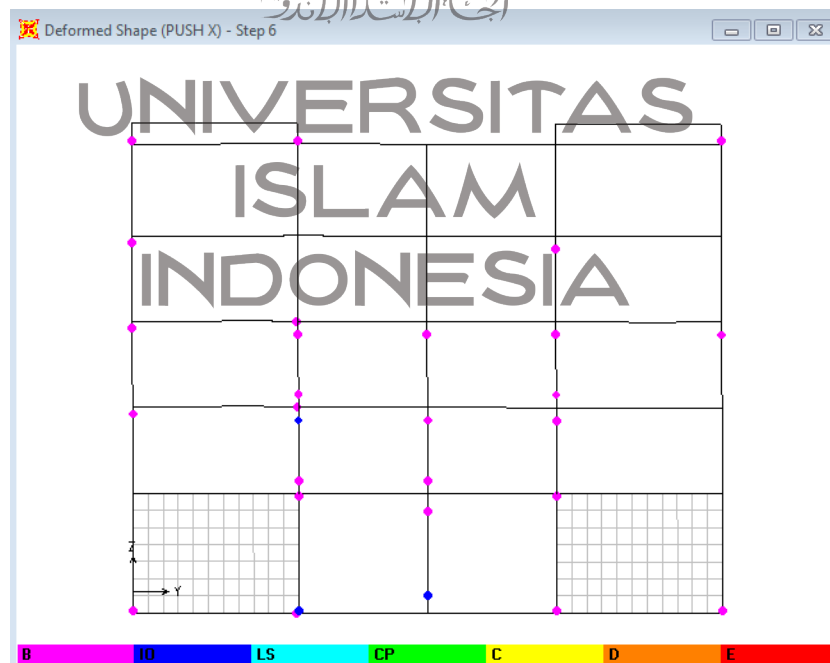
Gambar 5.52 Posisi sendi plastis pada portal 5 step 6



Gambar 5.53 Posisi sendi plastis pada portal 0A step 6



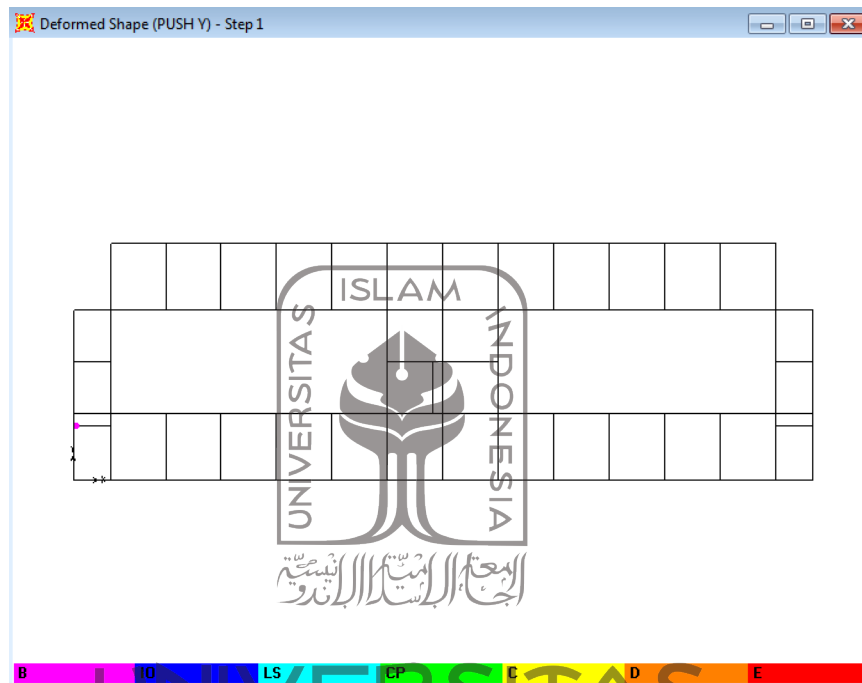
Gambar 5.54 Posisi sendi plastis pada portal 1 step 6



Gambar 5.55 Posisi sendi plastis pada portal 12 step 6

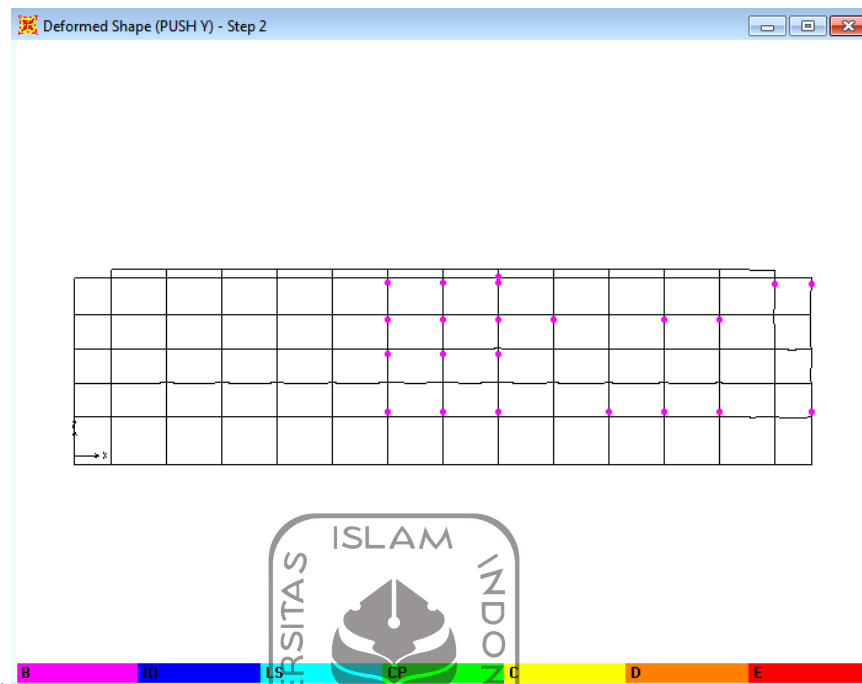
5.6.5.2 Sendi Plastis Arah y

Sendi plastis dapat dilihat melalui *Display-Show Deformed Shape*. Pilih pembebanan push y. Warna sendi plastis menunjukkan tingkat kekuatan elemen. Posisi sendi plastis pada step-1 terdapat di TB, ditunjukkan pada Gambar 5.56.



Gambar 5.56 Posisi sendi plastis pada TB elev -0,7 step 1

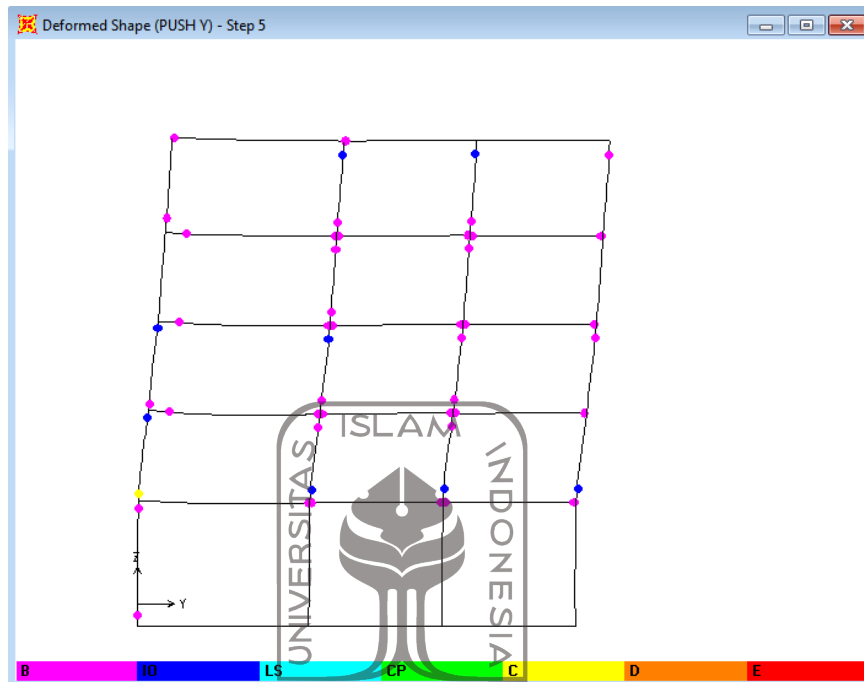
Pada step 2 sendi plastis pada kolom dimulai di beberapa daerah kolom lantai 2 sampai kolom lantai 5 dengan sendi plastis warna merah muda. Pada Step 4 ujung bawah kolom lantai 2 sebagian warna biru (LS) dan terdapat satu sisi sendi plastis warna kuning (C) di kolom portal 13 lantai 2. Pada step 5 bertambah satu sisi sendi plastis warna kuning (C) di kolom portal 12 lantai 2, ditunjukkan pada Gambar 5.57 sampai Gambar 5.61.



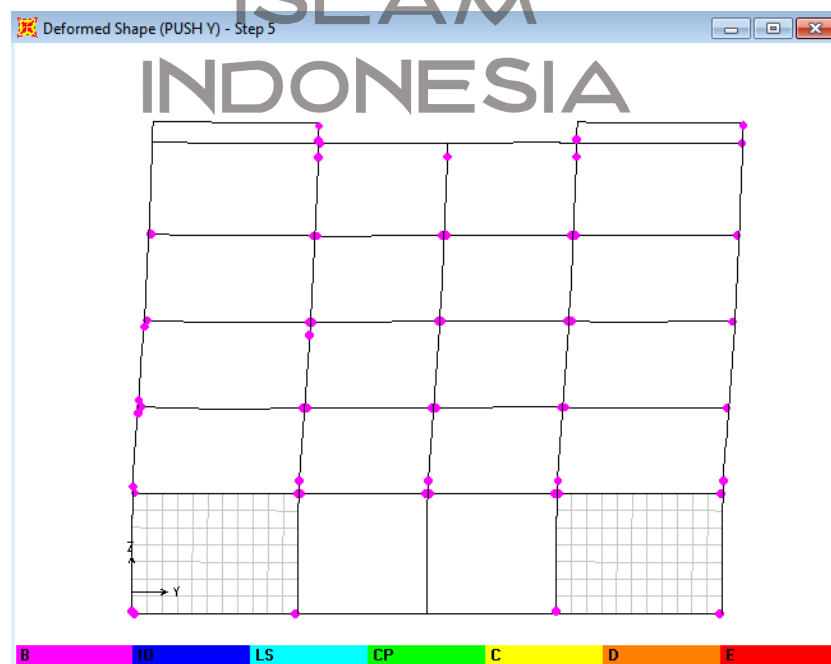
Gambar 5.57 Posisi sendi plastis pada portal B step 2



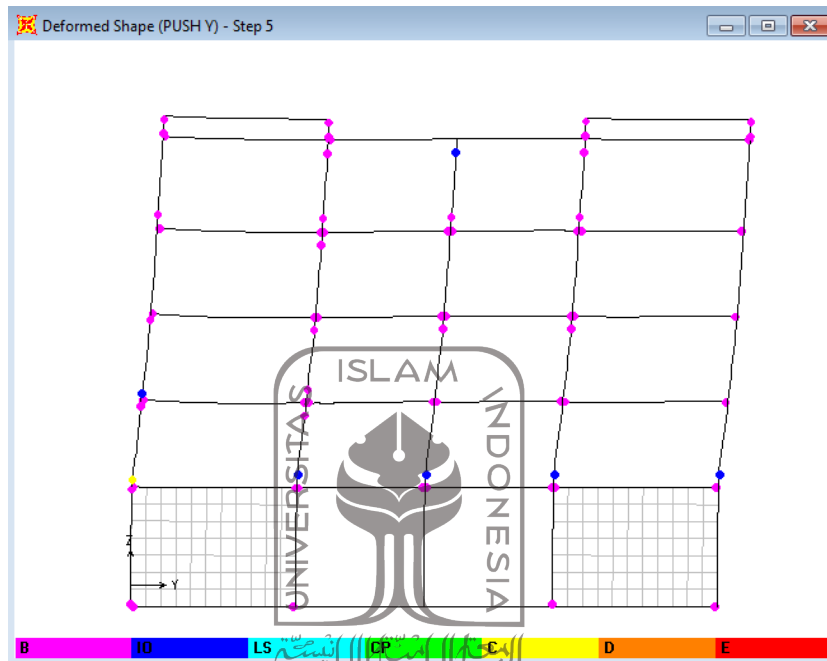
Gambar 5.58 Posisi sendi plastis pada portal 13 step 4



Gambar 5.59 Posisi sendi plastis pada portal 12 step 5



Gambar 5.60 Posisi sendi plastis pada portal 1 step 5



Gambar 5.61 Posisi sendi plastis pada portal 12 step 5

Gambar 5.60 dan Gambar 5.61 dapat dilihat pada kolom dasar sendi plastis masih berwarna merah muda hal ini dikarenakan adanya dinding geser. Dinding geser membantu tingkat kekakuan struktur di bawahnya, namun sebaliknya mempunyai pengaruh kurang baik untuk struktur di atasnya.

Berdasarkan skema kelelahan sendi plastis dari arah x dan y leleh pertama terjadi pada ujung-ujung balok, namun yang mengalami *collapse* terlebih dahulu pada ujung kolom.

5.7 PERHITUNGAN PENGECEKAN *STRONG COLUMN WEAK BEAM* PADA KOLOM YANG *COLLAPSE*

Pada penelitian ini nilai daktilitas didapat berada dalam kategori *full response ductility* yang berarti struktur didesain dengan konsep *strong column weak beam* dimana kolom lebih kuat dari balok, hal ini tidak sesuai dengan hasil analisis

pushover dimana kolom mengalami *collapse* terlebih dahulu, untuk itu diperlukan perhitungan analisis struktur untuk mengecek apakah struktur memenuhi kriteria *strong column weak beam*.

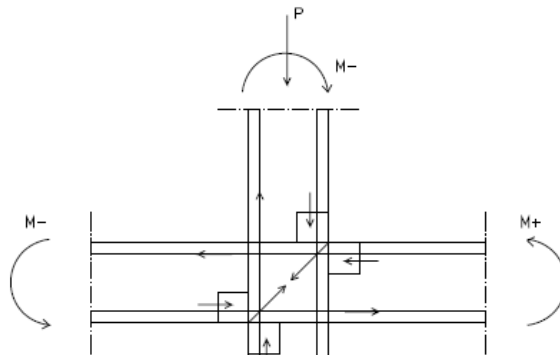
Strong column weak beam atau kolom kuat balok lemah merupakan prinsip dasar dalam mendesain bangunan terhadap gempa. Dengan memakai pendekatan “*strong column weak beam*” maka kolom harus mempunyai kekuatan yang lebih besar dari balok. Pada kondisi seperti itu maka balok akan mengalami kerusakan (terbentuknya sendi plastis) terlebih dahulu sebelum sendi plastis pada ujung dasar kolom terbentuk. Proses disipasi energi dengan terbentuknya sendi-sendi plastis balok merupakan mekanisme disipasi energi yang dikehendaki pada struktur daktail (Widodo, 2002).

Menurut SNI 03-2847-2013, Pasal 21.6.2.2 , kekuatan lentur minimum kolom harus memenuhi persamaan berikut:

$$\sum M_{nc} \geq (6/5) \sum M_{nb} \quad (5.1)$$

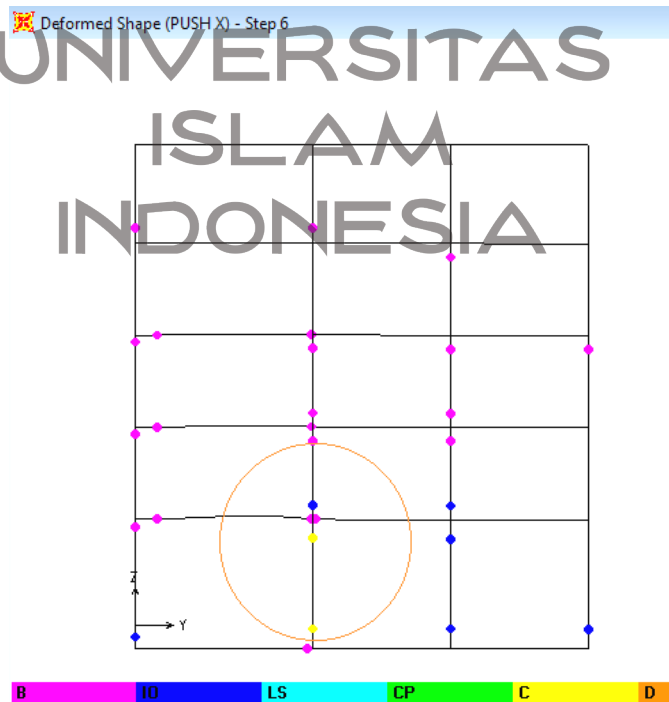
dengan:

- $\sum M_{nc}$: jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah, dan
- $\sum M_{nb}$: jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen-momen di muka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif harus diasumsikan menyumbang kepada M_{nb} jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

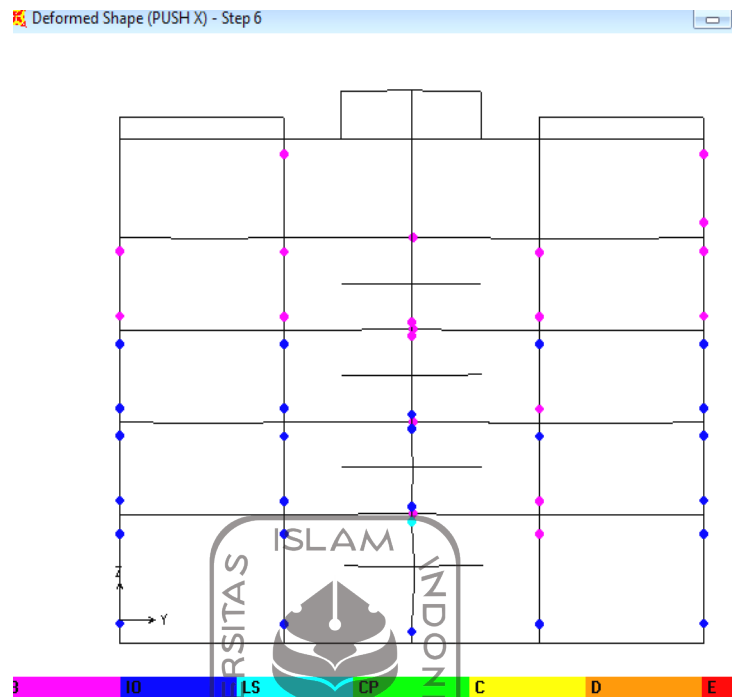


Gambar 5.62 Gaya yang bekerja pada *joint* balok kolom

Dilakukan pengecekan *strong column weak beam* hanya pada portal 0A, portal 5, portal 12 dan portal 13 yang ditunjukkan pada Gambar 5.63 sampai dengan Gambar 5.66.



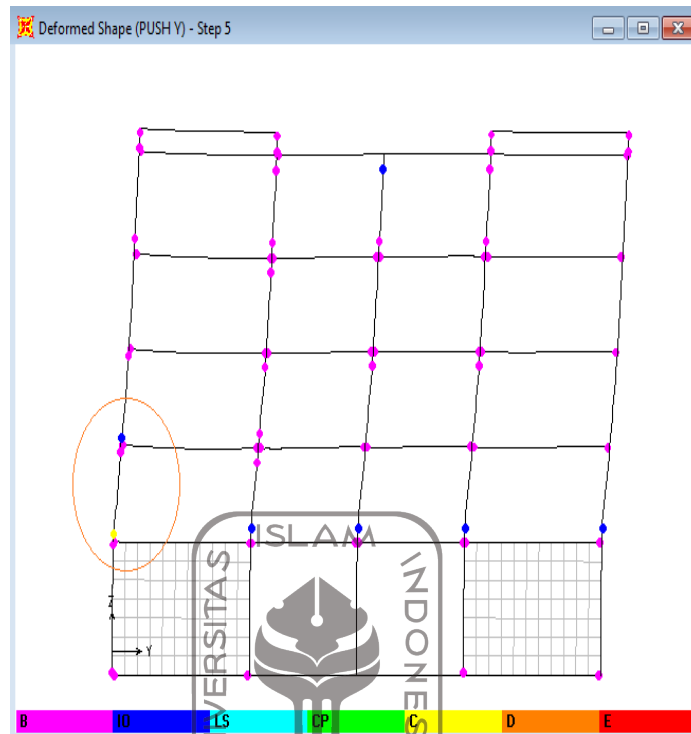
Gambar 5.63 Portal 0A



Gambar 5.64 Portal 5



Gambar 5.65 Portal 12

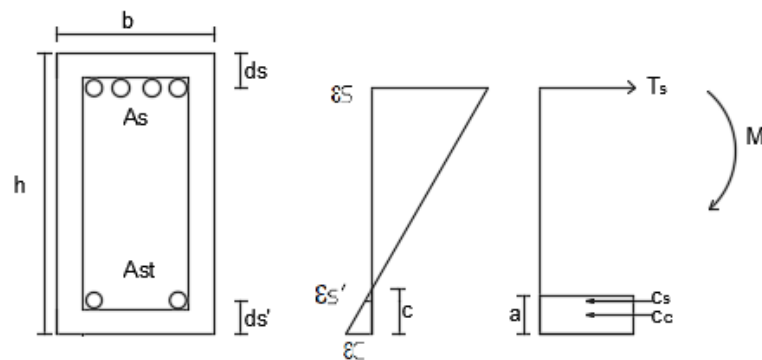


Gambar 5.66 Portal 13

Pada Gambar 5.62 dan Gambar 5.63, kolom yang mengalami *collapse* menumpu 2 balok (B2) dan 1 kolom (K1).

- a. Perhitungan Momen Nominal Negatif pada Balok B2

Dimensi balok 25/45, Tulangan atas 4D19, Tulangan bawah 2D19



Gambar 5.67 Gaya momen nominal negatif

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 290,5 \text{ kg/cm}^2 \\
 f_y &= 3900 \text{ kg/cm}^2 \\
 b &= 25 \text{ cm} \\
 h &= 45 \text{ cm} \\
 E_s &= 2100000 \text{ kg/cm}^2 \\
 \varepsilon_c &= 0,003 \\
 \beta &= 0,85
 \end{aligned}$$

$$A_d = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi 19^2 = 2,835 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 ds=ds' &= P_b + \phi \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan pokok} \\
 &= 4 + 1 + \frac{1}{2} \cdot 19 = 5,95 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Keseimbangan gaya-gaya horizontal

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot \frac{a \cdot \beta \cdot d'}{a} \cdot \varepsilon_c \cdot E_s$$

$$(4,2835)3900 = 0,85 \cdot 290,5 \cdot a \cdot 25 + \left(\frac{2,2835 \cdot (a \cdot 0,85 \cdot 5,95)}{a} \right) \cdot 0,003 \cdot 2100000$$

$$44226 = 6173,125 a + \left(\frac{\left(\left(2,2835 \cdot 0,003 \cdot 21 \times 10^5 \right) \cdot a - \left(2,2835 \cdot 0,85 \cdot 5,95 \cdot 0,003 \cdot 21 \times 10^5 \right) \right)}{a} \right)$$

didapat,

$$a = 6,142 \text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{6,142}{0,85} = 7,226 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \cdot \varepsilon_c = 0,000529 < \varepsilon_y \text{ belum leleh}$$

$$f_s = \varepsilon_s' \cdot E_s = 1110,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(h - \frac{a}{2} \right)$$

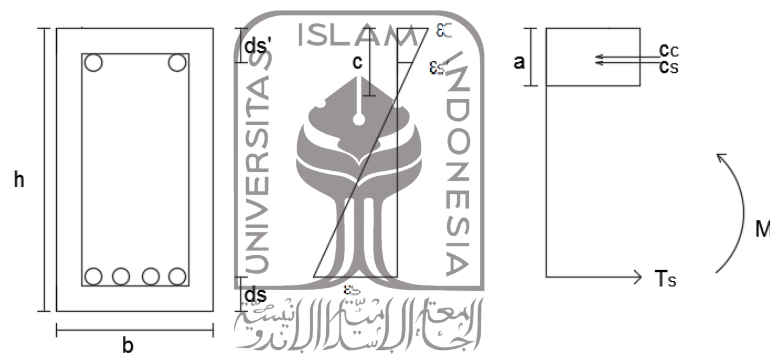
$$= 0,85 \cdot 290,5 \cdot 6,142 \cdot 25 \cdot \left(39,05 - \frac{6,142}{2} \right)$$

$$= 1364155,793 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= A_s' \cdot f_s \cdot h-d \\
 &= (2.2,835)1110,9 \cdot (39,5-5,95) \\
 &= 208490,379 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_1 + M_2 \\
 &= 1572646,172 \text{ kgcm} \\
 &= 154,27 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Momen Nominal Positif pada Balok B2



Gambar 5.68 Gaya momen nominal positif

Keseimbangan gaya-gaya horizontal

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s' \cdot f_y = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \left(\frac{a \cdot \beta \cdot d' \cdot \epsilon_c}{a} \right) \cdot E_s$$

$$(2.2,835)3900 = 0,85 \cdot 290,5 \cdot a \cdot 25 + \left(4.2,835 \cdot \left(\frac{a \cdot 0,85 \cdot 5,95}{a} \right) \cdot 0,003 \cdot 2100000 \right)$$

didapat

$$a = 9,074 \text{ cm}$$

$$c = 10,675$$

$$\epsilon_s' = 0,00132 < \epsilon_y \text{ belum leleh}$$

$$f_s = 2772 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_1 = 1933243,495 \text{ kgcm}$$

$$M_2 = 1040481,288 \text{ kgcm}$$

$$M_n = 2973724,783 \text{ kgcm} = 291,722 \text{ kNm}$$

$$\sum M_n = M_n^- + M_n^+ \text{ (pada balok B2)}$$

$$= 445,992 \text{ kNm}$$

- c. Perhitungan Momen Nominal pada Kolom K1 lantai 1 dan 2 (portal 0A dan portal 5).

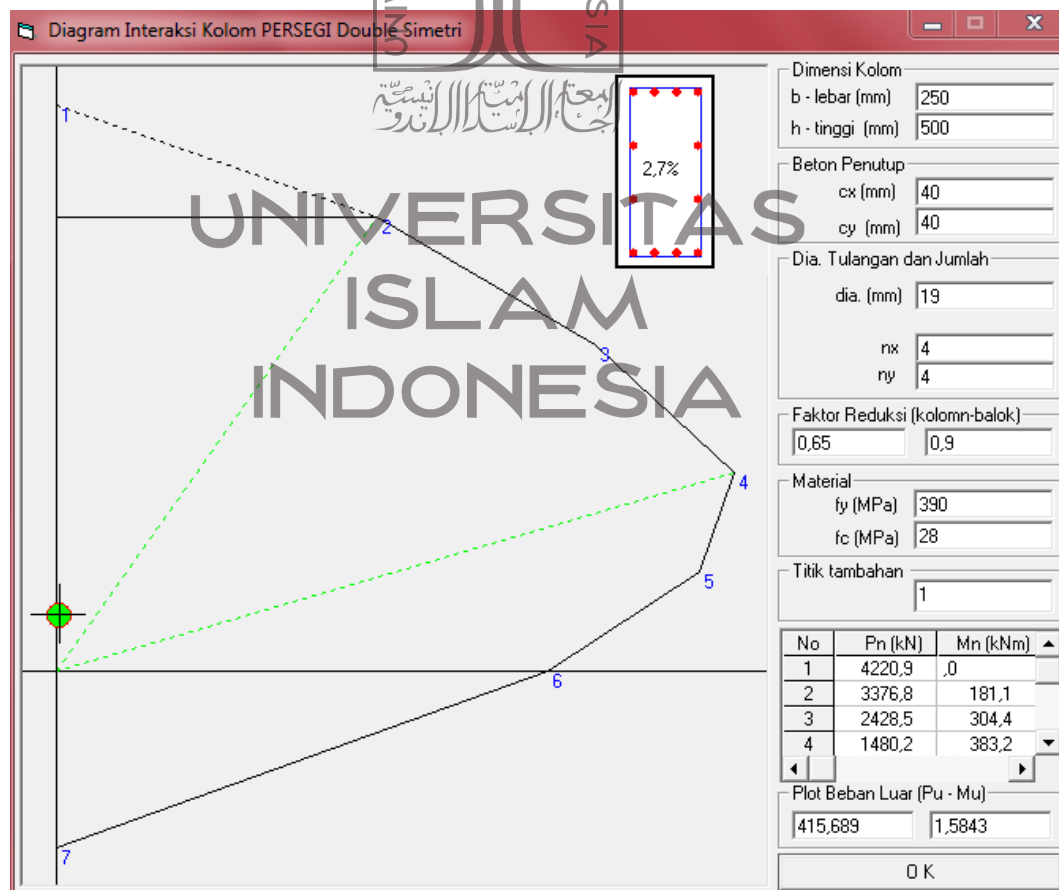
Dimensi kolom 25/50 , tulangan 12D19

Didapatkan nilai P_u dan M_u dari SAP ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Nilai P_u dan M_u

Kolom	P_u (kN)	M_u (kNm)
	(dari SAP)	(dari SAP)
Portal 0A lantai 1	415,689	1,5843
Portal 0A lantai 2	330,140	3,094
Portal 5 lantai 1	813,140	17,715
Portal 5 lantai 2	663,183	6,773

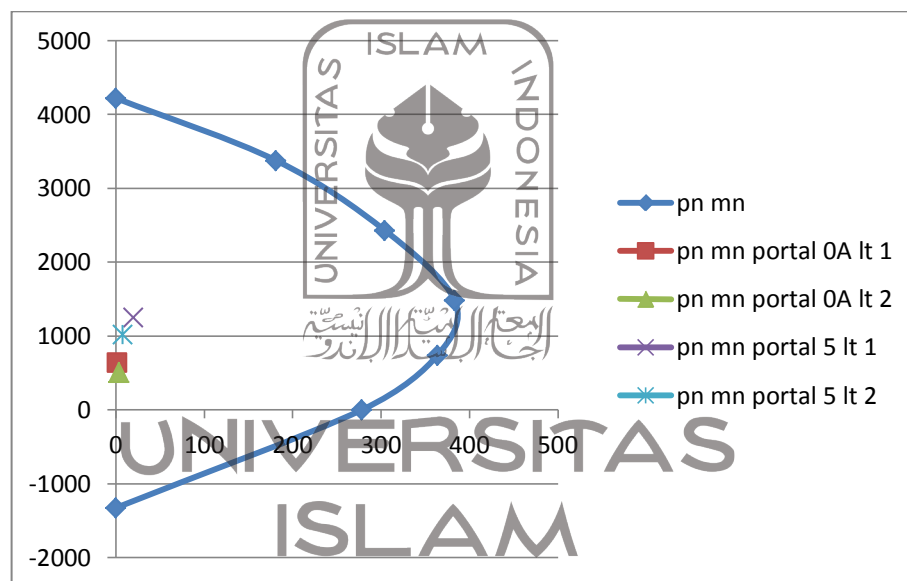
Diagram P_n dan M_n dicari menggunakan aplikasi diagram interaksi kolom persegi *double* simetri dapat dilihat pada Gambar 5.69, nilai P_n M_n ditunjukkan pada Tabel 5.18.



Gambar 5.69 Diagram interaksi kolom k1 portal 0A

Tabel 5.18 Nilai Pn dan Mn portal 0A dan portal 5

Pn (kN)	Mn (kNm)
4220,9	0
3376,8	181,1
2428,5	304,4
1480,2	383,2
740,1	363,7
0	278,2
-1326,9	0



Gambar 5.70 Diagram Pn Mn pada portal 0A dan portal 5

Tabel 5.19 Nilai ϕM_n portal 0A dan portal 5

Kolom	Pu (kN)	Mu (kNm)	Pn (kN)	Mn (kNm)	ϕM_n
	(dari SAP)	(dari SAP)	(Pu / 0,65)	(Mn / 0,9)	baca dari grafik)
Portal 0A lantai 1	415,689	1,5843	639,521	1,7603	350
Portal 0A lantai 2	330,140	3,094	507,907	3,437	330
Portal 5 lantai 1	813,140	17,715	1250,985	19,683	390
Portal 5 lantai 2	663,183	6,773	1020,282	7,525	385

$$\begin{aligned}\sum M_n (\text{portal 0A}) &= \phi M_n \text{ portal 0A lantai 1} + \phi M_n \text{ portal 0A lantai 2} \\ &= 350 \text{ kNm} + 330 \text{ kNm} \\ &= 680 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_n (\text{portal 5}) &= \phi M_n \text{ portal 5 lantai 1} + \phi M_n \text{ portal 5 lantai 2} \\ &= 390 \text{ kNm} + 385 \text{ kNm} \\ &= 775 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat SCWB} = \sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$$

– Pada portal 0A

$$\sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$$

$$680 \text{ kNm} \geq \frac{6}{5} 445,992 \text{ kNm}$$

$$680 \text{ kNm} \geq 535,1904 \text{ kNm}$$

maka memenuhi syarat SCWB

– Pada portal 5

$$\sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$$

$$775 \text{ kNm} \geq \frac{6}{5} 445,992 \text{ kNm}$$

$$775 \text{ kNm} \geq 535,1904 \text{ kNm}$$

maka memenuhi syarat SCWB

d. Perhitungan Momen Nominal pada Kolom K1 lantai 1 dan 2 (portal 12 dan portal 13).

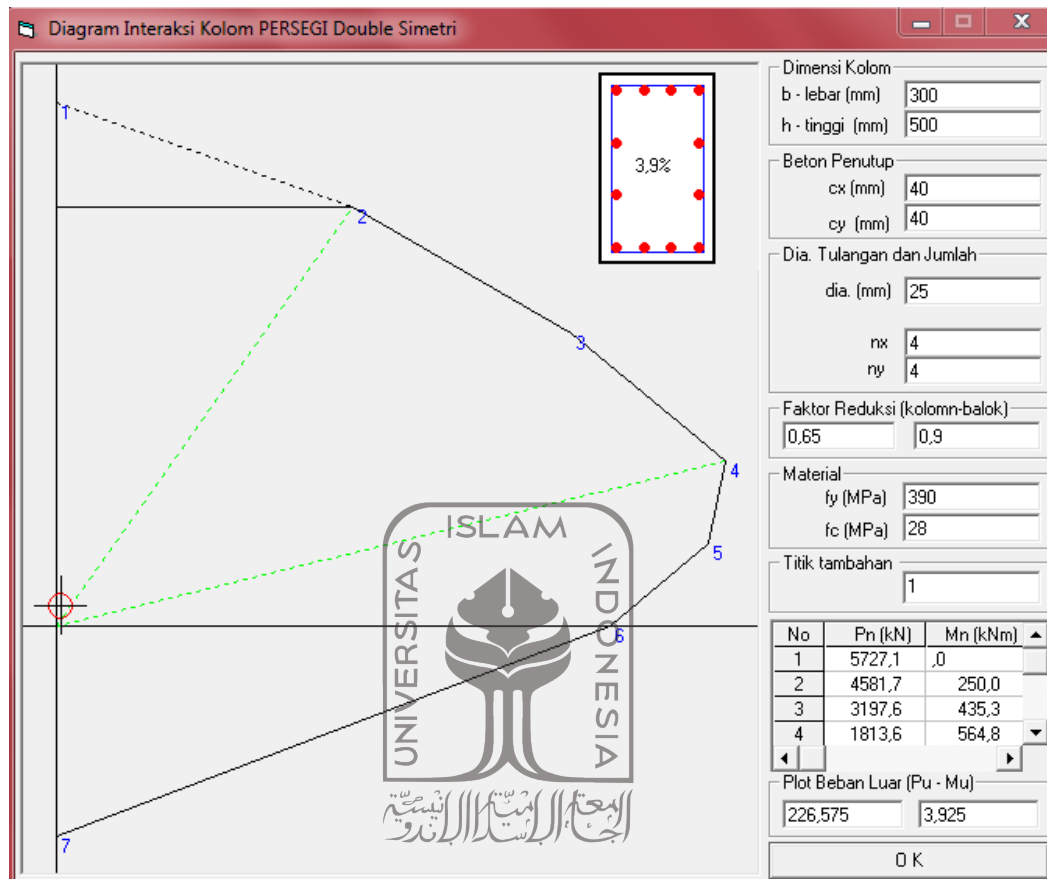
Dimensi kolom 30/50 , tulangan 12D25

Didapatkan nilai Pu dan Mu dari SAP ditunjukkan pada Tabel 5.20

Tabel 5.20 Nilai Pu dan Mu portal 12 dan portal 13

Kolom	Pu (kN)	Mu (kNm)
	(dari SAP)	(dari SAP)
Portal 12 lantai 2	415,689	1,5843
Portal 12 lantai 3	330,140	3,094
Portal 13 lantai 2	226,575	3,925
Portal 13 lantai 3	171,073	8,317

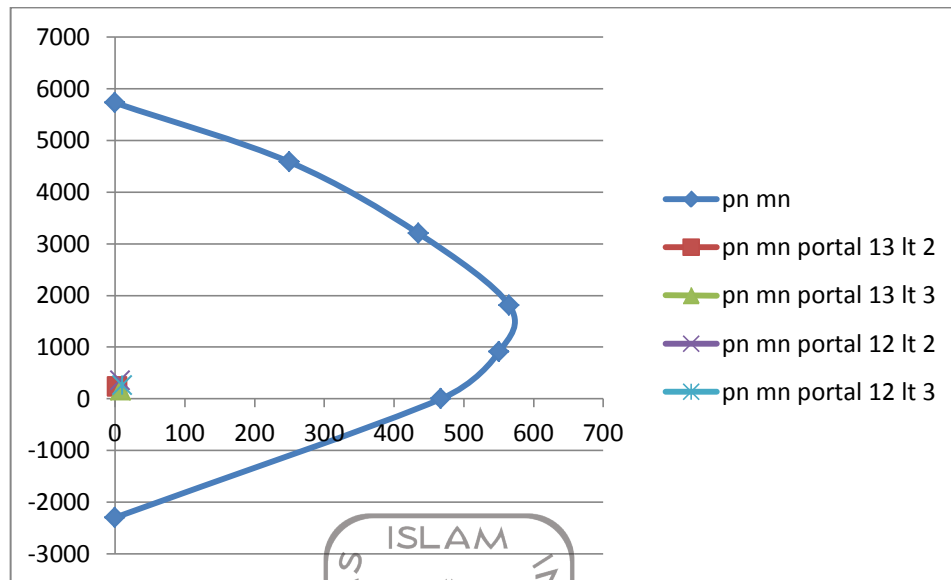
Diagram Pn dan Mn dicari menggunakan aplikasi diagram interaksi kolom persegi *double* simetri dapat dilihat pada Gambar 5.68, nilai Pn Mn ditunjukkan pada Tabel 5.21.



Gambar 5.71 Diagram interaksi kolom k1 portal 12

Tabel 5.21 Nilai Pn dan Mn portal 12 dan portal 13

Pn	Mn
5727,1	0
4581,7	250
3197,6	435,3
1813,6	564,8
906,8	550,4
0	467,4
-2297,3	0



Gambar 5.72 diagram Pn Mn portal 12 dan portal 13

Tabel 5.22 Nilai ϕM_n portal 12 dan portal 13

Kolom	Pu (dari SAP)	Mu (dari SAP)	Pn (Pu / 0,65)	Mn (Mu / 0,9)	ϕM_n (dibaca dari grafik)
Portal 12 lantai 2	226,575	3,925	348,576	4,361	490
Portal 12 lantai 3	171,073	8,317	263,189	9,241	490
Portal 13 lantai 2	355,132	7,477	546,356	8,307	490
Portal 13 lantai 3	258,864	10,598	398,252	11,77	490

$$\begin{aligned}
 \sum M_n (\text{portal 12}) &= \phi M_n \text{ portal 12 lantai 2} + \phi M_n \text{ portal 12 lantai 3} \\
 &= 490 \text{ kNm} + 490 \text{ kNm} \\
 &= 980 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_n (\text{portal 13}) &= \phi M_n \text{ portal 13 lantai 2} + \phi M_n \text{ portal 13 lantai 3} \\
 &= 490 \text{ kNm} + 490 \text{ kNm} \\
 &= 980 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat SCWB} = \sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$$

– Pada portal 12

$$\sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$$

$$980 \text{ kNm} \geq \frac{6}{5} 445,992 \text{ kNm}$$

$$980 \text{ kNm} \geq 535,1904 \text{ kNm}$$

maka memenuhi syarat SCWB

– Pada portal 13

$$\sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$$

$$980 \text{ kNm} \geq \frac{6}{5} 445,992 \text{ kNm}$$

$$980 \text{ kNm} \geq 535,1904 \text{ kNm}$$

maka memenuhi syarat SCWB

Berdasarkan perhitungan analisis struktur tersebut didapat struktur memenuhi kriteria *strong column weak beam* dimana $\sum M_n \text{ kolom} \geq \frac{6}{5} \sum M_n \text{ balok}$, meskipun dalam analisis *pushover* didapat kolom pada portal tersebut *collapse*.



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

6.1 SIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap gedung “Rusunawa Jongke” Yogyakarta, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis didapatkan perbedaan kurva kapasitas dengan kurva arah y gaya geser yang terjadi lebih besar dibanding arah x, hal itu terjadi karena pada arah y terdapat dinding geser sehingga meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya geser dan struktur lebih kaku.
2. Nilai daktilitas aktual struktur pada arah x sebesar 4,187 dan arah y sebesar 3,079. Mengacu pada Widodo (2012) nilai daktilitas aktual struktur tersebut termasuk dalam *response with full ductility*.
3. Hasil analisis *pushover* dengan metode spektrum kapasitas (ATC-40, 1996) didapat simpangan struktur yang terjadi lebih kecil dari batas simpangan maka gedung rusunawa jongke berada dalam tingkat kinerja *Immediate Occupancy*, yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadi gempa.
4. Mekanisme pada sendi plastis.
 - a. Pada arah x sendi plastis terjadi pertama di TB elevasi -0,7. Step 2 sampai step 6 sendi plastis pada balok di posisi yang sama. Pada kolom di step 2 sendi plastis terdapat di kolom lantai 1 sampai 3, bertambah hingga lantai 4 pada step 3. Sendi plastis mulai *collapse* pada step 5 di ujung atas kolom lantai 1 portal 0A, kemudian saat step 6 bertambah satu ujung bawah kolom lantai 1 portal 0A.
 - b. Pada arah y sendi plastis terjadi pertama di TB elevasi -0,7. Step 2 sendi plastis pada kolom dimulai di beberapa daerah kolom lantai 2 sampai kolom lantai 5 dengan sendi plastis warna merah muda. Pada Step 4 terdapat satu sisi sendi plastis *collapse* di ujung bawah kolom portal 13

lantai 2. Pada Step 5 bertambah satu sisi sendi plastis collapse di ujung bawah kolom portal 12 lantai 2.

6.2 SARAN

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai evaluasi kinerja struktur diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Metode yang digunakan untuk analisis *pushover* dapat dilakukan dengan FEMA 356 untuk membandingkan dengan metode ATC-40.
2. Pemodelan pada struktur lebih detail sehingga hasil evaluasi yang diperoleh lebih mendekati dengan keadaan nyata.
3. Perlu dilakukan evaluasi menggunakan analisa dinamik *time history*, sehingga hasil yang didapat lebih detail.



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

- ATC 40, 1997, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA.
- Dewobroto, W., 2004, *Perancangan Balok Beton Bertulang Dengan SAP2000*, Jurnal Teknik Sipil, Vol.1, No. 2, Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, W., 2005, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic 6.0 (analisis dan Desain Penampang Beton Bertulang Sesuai SNI 03-2847-2002)*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, W., 2007, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000 Edisi Baru*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta.
- FEMA 302, 1997, *NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulation for New Buildings and Other Structures, and Commentar*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA 310, 1998, *Handbook for Seismic Evaluation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA 356, 2000, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Googlemap, Lokasi Rusunawa Jongke, (<https://www.google.co.id/maps/place/Rusunawa+Jongke>). Diakses 29 Juni 2016)
- Ibnu, K., Agus, S., Edy, P., 2014, *Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Karanganyar)*, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, Vol. 2, No. 1, Universitas Sebelas Maret, Solo.
- Jamal, Atika Ulfah, 2011, *Evaluasi kinerja struktur gedung kuliah umum "Prof Dr. Sardjito" Universitas Islam Indonesia, Thesis*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Nissa, Z., Edy, P., Agus, S., 2014, *Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang)*, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Solo.

Pranata, YA., 2006, *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440)*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

SKBI, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

SNI 1726, 2012, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Widodo, 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Wikipedia, 2016, *Gempa Bumi Yogyakarta 2016*,
(https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_Yogyakarta_2016). Diakses 29 Juni 2016)



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA



LAMPIRAN

UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

The figure consists of two structural foundation plans for a building. The top plan is titled "DENAH PONDASI SUMURAN" and shows a grid of foundation piles with dimensions and labels. The bottom plan is titled "DENAH PILE CAP DAN TIE BEAM" and shows a similar grid but with tie beams connecting the piles. Both plans include a watermark for "UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA".

DENAH KOLOM LT. ATAP & ROOF TANK (14.55M x 15.27M)

DENAH KOLOM LT.5 (11.53M x 14.35M)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

STRUKTUR ZONE 3 & 4

1. POTONGAN 1
SKALA 1:20

DETAIL 1
SKALA 1:20

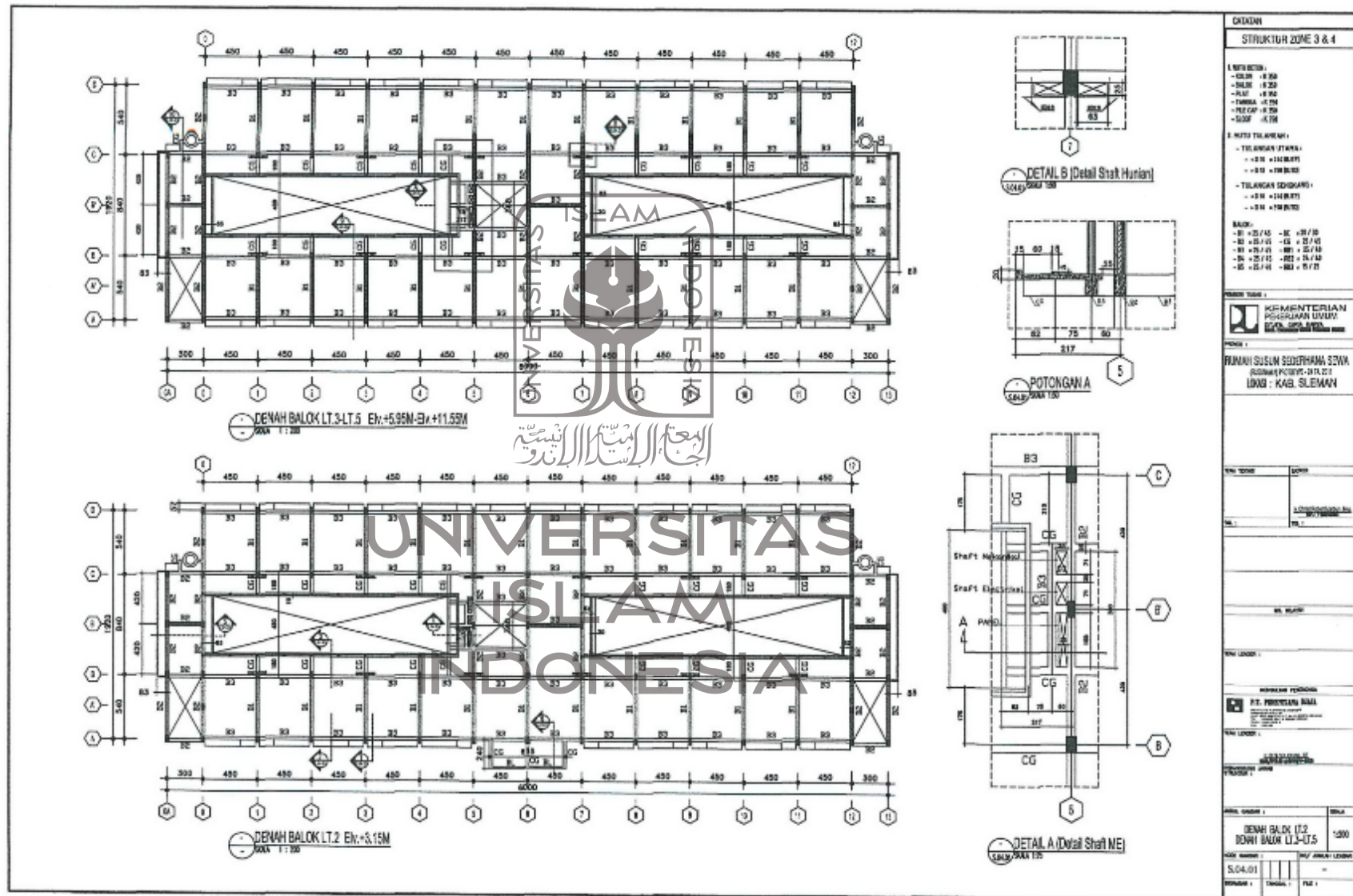
2. POTONGAN 2
SKALA 1:20

DETAIL 2
SKALA 1:20

TABEL PENULANGAN KOLOM

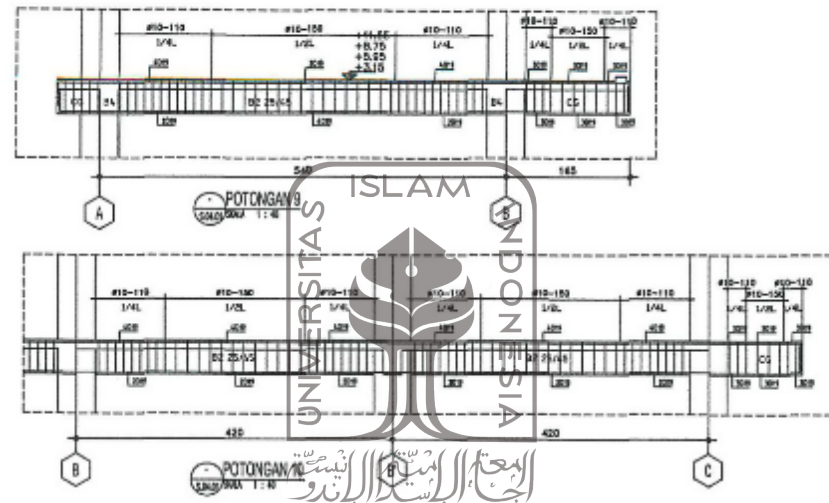
URUTAN	Tipe Kolom					
	K-1	K-2	K-3	K-4	Kp1	Kp2
1. LANTAI 1 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
2. LANTAI 2 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
3. LANTAI 3 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
4. LANTAI 4 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
5. LANTAI 5 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
6. LANTAI 6 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
7. LANTAI 7 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
8. LANTAI 8 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
9. LANTAI 9 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
10. LANTAI 10 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
11. LANTAI 11 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
12. LANTAI 12 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
13. LANTAI 13 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
14. LANTAI 14 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
15. LANTAI 15 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
16. LANTAI 16 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
17. LANTAI 17 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
18. LANTAI 18 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
19. LANTAI 19 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
20. LANTAI 20 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
21. LANTAI 21 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
22. LANTAI 22 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
23. LANTAI 23 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
24. LANTAI 24 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
25. LANTAI 25 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
26. LANTAI 26 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
27. LANTAI 27 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
28. LANTAI 28 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
29. LANTAI 29 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
30. LANTAI 30 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
31. LANTAI 31 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
32. LANTAI 32 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
33. LANTAI 33 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
34. LANTAI 34 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
35. LANTAI 35 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
36. LANTAI 36 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
37. LANTAI 37 (21.400 x 17.000 x 125) (21.400 x 17.000 x 125)						
38. LANTAI 38 (21.400 x 17.000 x 125)						

Lampiran 6. Denah Balok Lantai 2 s/d Lantai 5



Architectural drawings of a building structure, including floor plans, sections, and details. The drawings are for a building with a total length of 15.27m and a width of 16.07m. The drawings include a plan view of the ring beam (DEKAT RING BALOK LT. ATAP) and a section view (POTONGAN 1). The drawings are for a building with a total length of 15.27m and a width of 16.07m. The drawings include a plan view of the ring beam (DEKAT RING BALOK LT. ATAP) and a section view (POTONGAN 1). The drawings are for a building with a total length of 15.27m and a width of 16.07m. The drawings include a plan view of the ring beam (DEKAT RING BALOK LT. ATAP) and a section view (POTONGAN 1).

Lampiran 8. Tabel Penulangan Balok



TABEL PENULANGAN BALOK

[illegible]

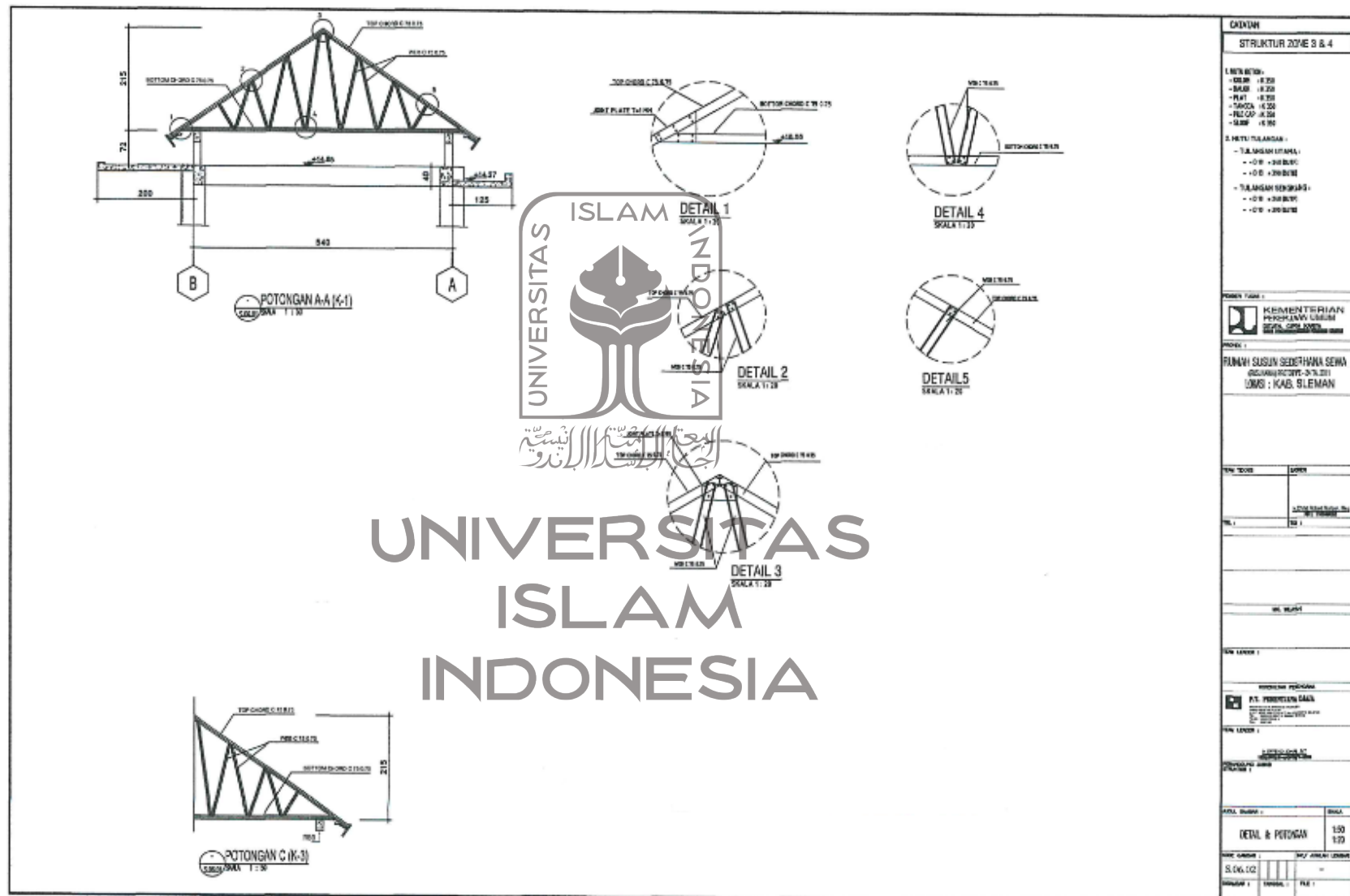
<p>CRDRAIN</p> <p>STRUKTUR ZONE 3 & 4</p> <p>1. LEMBAR BETON :</p> <ul style="list-style-type: none"> - C10/20 : 10.50 - D20/20 : 0.50 - P-0.7 : 0.50 - TUBANG : 1.50 - PLECEP : 0.50 - SLOOF : 0.50 <p>2. MURUTU TUBANG (M) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - TUBANG/ANGKUTAN : 1.00 - 0.50 : 0.50 (M.00) - 0.50 : 0.50 (M.00) - TUBANG/ANGKUTAN : 1.00 - 0.50 : 0.50 (M.00) - 0.50 : 0.50 (M.00) <p>3. BAGUN :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0.7 : 0.7 (M.00) - 0.7 : 0.7 (M.00) - 0.7 : 0.7 (M.00) - 0.7 : 0.7 (M.00) - 0.7 : 0.7 (M.00) - 0.7 : 0.7 (M.00) <p>4. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>5. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>6. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>7. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>8. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>9. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>10. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>11. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>12. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>13. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>14. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>15. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>16. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>17. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>18. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>19. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>20. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>21. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>22. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>23. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>24. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>25. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>26. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>27. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>28. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>29. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>30. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>31. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>32. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>33. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>34. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>35. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>36. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>37. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>38. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>39. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>40. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>41. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>42. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>43. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>44. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>45. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>46. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>47. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>48. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>49. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>50. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>51. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>52. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>53. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>54. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>55. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>56. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>57. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>58. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>59. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>60. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>61. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>62. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>63. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>64. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>65. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>66. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>67. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>68. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>69. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>70. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>71. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>72. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>73. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>74. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>75. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>76. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>77. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>78. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>79. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>80. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>81. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>82. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>83. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>84. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>85. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>86. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>87. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>88. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>89. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>90. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>91. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>92. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>93. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>94. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>95. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>96. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>97. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>98. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>99. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p> <p>100. KEMENTERIAN PERKURAN UMUM :</p>		<p>1/0</p>
--	--	------------

[illegible]

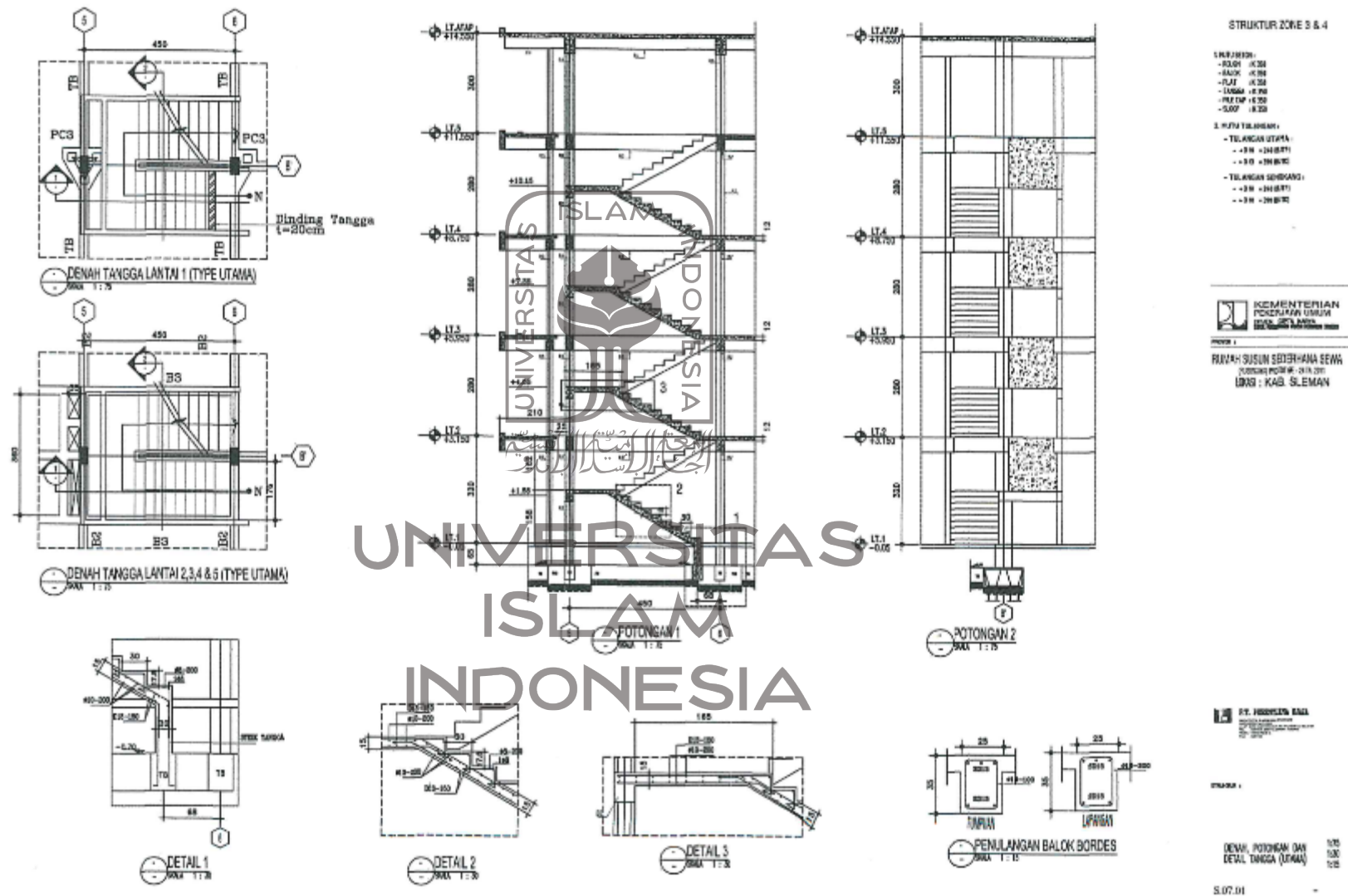
Architectural drawings of the second floor of the Al-Farooq Islamic Education Center. The drawings include a main floor plan, a section view, and various detail views. The main floor plan shows a rectangular building with a central corridor and multiple rooms. The section view shows the building's profile with a flat roof and a central tower. The detail views show the construction of the floor slabs, walls, and columns. The drawings are labeled with dimensions, room numbers, and structural notes. A large watermark for 'UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA' is overlaid on the drawings.

Architectural drawings of the roof structure for the 3rd and 4th floors of the building. The drawings include a plan view (DENAH ATAP), a section view (POTONGAN A), and a detail view (DETAIL 1). The plan view shows the layout of the roof structure with dimensions and grid lines. The section view shows the cross-section of the roof structure, including the roof slab, beams, and columns. The detail view shows a close-up of the roof structure at a specific location. The drawings are labeled with 'UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA' and 'STRUKTUR ZONE 3 & 4'.

Lampiran 14. Potongan Kuda-Kuda



Lampiran 15. Denah Tangga Utama Lantai 1 s/d Lantai 5



Architectural drawings of a staircase, including floor plans, sections, and details. The drawings are for a staircase with a width of 2700 mm and a depth of 3000 mm. The drawings include a plan view of the staircase, a section view, and five detail views (DETAIL 1 to DETAIL 5). The drawings are labeled with dimensions and notes.

DETAIL 1
SKALA 1:10

DETAIL 2
SKALA 1:10

DETAIL 3
SKALA 1:10

DETAIL 4
SKALA 1:10

DETAIL 5
SKALA 1:10

POTONGAN 1
SKALA 1:10

PENUNJANG BALOK BORDES
SKALA 1:10

DEKAT TANGGA LANTAI 1 (DARURAT)
SKALA 1:10

DEKAT TANGGA LANTAI 2,3,4 & 5 (DARURAT)
SKALA 1:10