

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIC GEDUNG
BERTINGKAT BANYAK DENGAN METODE
ANALISIS *PUSHOVER* BERDASARKAN PEDOMAN
ATC-40 DAN FEMA 356 (Studi Kasus : HOTEL
OAKWOOD YOGYAKARTA)
(*SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A
MULTI-STORY BUILDING USING A PUSHOVER
ANALYSIS METHOD BASED ON ATC-40 AND FEMA
356 GUIDELINES (Study Case : OAKWOOD HOTEL
YOGYAKARTA)*)**

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



**AULIA ANANDA BAHTIAR
21511080**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIC GEDUNG
BERTINGKAT BANYAK DENGAN METODE
ANALISIS *PUSHOVER* BERDASARKAN PEDOMAN
ATC-40 DAN FEMA 356 (Studi Kasus : HOTEL
OAKWOOD YOGYAKARTA)
(*SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A
MULTI-STORY BUILDING USING A PUSHOVER
ANALYSIS METHOD BASED ON ATC-40 AND FEMA
356 GUIDELINES (Study Case : OAKWOOD HOTEL
YOGYAKARTA)*)**

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

Disusun oleh:
AULIA ANANDA BAHTIAR
21511080

Diuji pada tanggal ...
Oleh Dewan Penguji

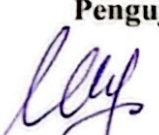
Pebimbing


Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 185111304

Penguji 1


Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK: 205111302

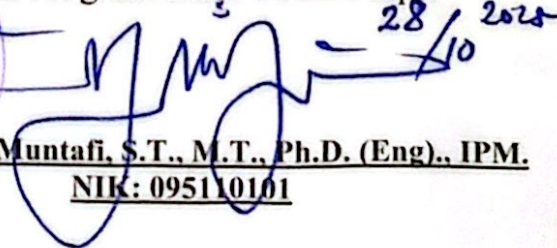
Penguji 2


Malik Musthofa, S.T., M.Eng.
NIK: 185111302

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan penuh kesadaran menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri, disusun sebagai salah satu syarat penyelesaian studi pada Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Setiap bagian dalam laporan ini yang berasal dari karya pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas, sesuai dengan aturan, kaidah, dan etika penulisan ilmiah yang berlaku. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa laporan Tugas Akhir ini, baik sebagian maupun seluruhnya, bukan merupakan karya asli saya atau mengandung unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 3 Oktober 2025

Penulis,



Aulia Ananda Bahtiar

(21511080)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan rezeki-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Bertingkat Banyak dengan Metode Analisis Pushover Berdasarkan Pedoman ATC-40 dan FEMA 356 (Studi Kasus: Hotel Oakwood Yogyakarta)*”. Shalawat serta salam dihaturkan kepada Nabi Besar, Rasulullah Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam dengan penuh penghormatan.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana berkat bantuan, bimbingan, saran, kritik, nasihat, serta dorongan semangat dari berbagai pihak sehingga penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing, memberikan saran, masukan, serta semangat selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T. dan Bapak Malik Musthofa S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji, atas segala masukan yang sangat berharga dan membangun. Ujian dan diskusi yang Bapak dan Ibu berikan menjadi dorongan besar untuk terus belajar dan memperbaiki diri.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Seluruh Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menempuh studi.

5. Ayah Bahrin Bahtiar dan Bunda Wahyu Prihtyana Sri Wulandari, selaku orangtua penulis yang senantiasa memberikan dukungan penuh secara mental dan materi serta mengusahakan segala sesuatu yang terbaik untuk penulis hingga saat ini. Ayah dan bunda adalah motivasi terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, terima kasih atas seluruh kasih sayang, doa, dan dukungan yang telah diberikan khususnya pada masa penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga seluruh proses penyusunan Tugas Akhir penulis berjalan dengan lancar. Aydin Ananda Bahtiar dan Salsabila Ananda Bahtiar, selaku adik-adik penulis yang telah menjadi motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini secara maksimal sehingga dapat menjadi teladan yang baik.
6. Sakilla Adinda Zahira, selaku sahabat yang kebersamaian penulis dari awal masa perkuliahan hingga proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah menjadi teman dalam segala kondisi, berdiskusi dan berjuang bersama, memberikan dukungan penuh, serta menjadi tempat cerita terbaik bagi penulis. Besar harapan penulis agar Sakilla bisa menyelesaikan Tugas Akhirnya bersamaan dengan selesainya Tugas Akhir ini.
7. Azzahra Rahma Nabilla dan Haliza Umami Fajrin, selaku saudara penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk terus berjuang demi masa depan yang diharapkan.
8. Rizky Saputri, Aflah Dwi Oktoriando, Mustika Dewa Samoedra, dan Ucca Athiyyah Daffa, selaku sahabat penulis selama masa perkuliahan yang telah menemani penulis sejak semester awal, terima kasih telah melalui segala tangis dan tawa selama masa perkuliahan, yang selalu menjadi tempat ternyaman bagi penulis untuk berbagi keluh kesah, cerita, dan tantangan dalam perkuliahan. Besar harapan penulis agar masing-masing dari kalian dapat menyelesaikan tahap perkuliahan dengan lancar dan hasil yang memuaskan.
9. Dan yang terakhir, tidak lupa juga terima kasih kepada diri sendiri, terima kasih karena telah berusaha dan bertahan sebaik mungkin selama masa perkuliahan yang awalnya masih sulit diterima bagi penulis, walaupun sangat

sulit untuk berjuang di bidang yang tidak terbayang akan dilalui sebelumnya. Terima kasih telah mencoba menerima dan melalui segala kendala serta tantangan dari awal masa perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini. Selesainya Tugas Akhir ini merupakan bentuk penghargaan besar untuk diri sendiri karena telah menyelesaikan tahap perkuliahan di bidang yang awalnya tidak sesuai minat penulis.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi inovasi untuk kedepannya dan bermanfaat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 3 Oktober 2025

Penulis,

Aulia Ananda Bahtiar
21511080

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang.....	11
2.3 Keaslian Penelitian.....	16
BAB III LANDASAN TEORI.....	17
3.1 Gempa Bumi	17

3.2	Konsep Bangunan Tahan Gempa.....	17
3.3	Pembebanan Struktur	18
3.3.1	Beban Mati	18
3.3.2	Beban Hidup.....	20
3.3.3	Beban Gempa	22
3.3.4	Kombinasi Pembebanan.....	22
3.4	Analisis Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	23
3.4.1	Kategori Risiko Bangunan Tahan Gempa.....	24
3.4.2	Respon Spektrum	27
3.4.3	Spektral Desain	29
3.4.4	Spektrum Respon Desain	30
3.4.5	Kategori Desain Seismik.....	32
3.4.6	Faktor Parameter Struktur	33
3.4.7	Periode Fundamnetal Struktur.....	35
3.4.8	Gaya Geser Seismik	37
3.4.9	Gaya Seismik Lateral	37
3.5	Permodelan Struktur dengan <i>Software</i> ETABS	38
3.5.1	Permodelan Bentuk Bangunan.....	38
3.5.2	Definisi Material	40
3.5.3	Definisi Struktur Bangunan.....	42
3.5.4	Pembebanan Bangunan	45
3.5.5	Permodelan Struktur Bangunan	47
3.5.6	Penentuan <i>Joint Restraint</i>	49
3.6	Analisis Statik Non-Linear <i>Pushover</i>	50
3.7	Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)	52

3.8	Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)	54
3.9	Mekanisme Sendi Plastis.....	57
3.10	Level Kinerja Struktur Bangunan	61
BAB IV METODE PENELITIAN		66
4.1	Umum.....	66
4.2	Objek Penelitian	66
4.3	Data Teknis Bangunan	71
4.4	Tahapan Penelitian	74
BAB V ANALISIS DAN PENBAHASAN.....		78
5.1	Pembebanan Struktur	78
5.1.1	Beban Mati	78
5.1.2	Beban Hidup.....	79
5.1.3	Beban Gempa	80
5.2	Permodelan Struktur.....	87
5.2.1	Permodelan Elemen Struktur Kolom	89
5.2.2	Permodelan Elemen Struktur Balok dan Sloof	91
5.2.3	Permodelan Elemen Struktur Pelat	93
5.3	Analisis Beban Gempa	94
5.3.1	Pendefinisian <i>Mass Source</i>	94
5.3.2	Data Respon Spektrum.....	95
5.3.3	Syarat Gaya Geser Dasar Dinamik dan Statik	96
5.4	Analisis <i>Pushover</i>	99
5.4.1	Pendefinisian <i>Load Pattern Pushover Analysis</i>	99
5.4.2	Pendefinisian <i>Load Case Pushover Analysis</i>	100
5.4.3	Pendefinisian Sendi Plastis (<i>Hinge</i>).....	107

5.4.4	<i>Running Analisis Pushover</i>	111
5.5	Hasil Analisis <i>Pushover</i>	111
5.5.1	Kurva Kapasitas	111
5.5.2	<i>Performance Point</i>	115
5.5.3	Level Kinerja Struktur.....	118
5.5.4	Mekanisme Sendi Plastis.....	122
BAB VI KESIMPULAN.....		130
6.1	Kesimpulan	130
6.2	Saran.....	131
DAFTAR PUSTAKA		132
LAMPIRAN.....		133

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	12
Tabel 3. 1	Berat Sendiri Bahan Bangunan.....	19
Tabel 3. 2	Berat Sendiri Komponen Gedung.....	19
Tabel 3. 3	Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum	21
Tabel 3. 4	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa.....	25
Tabel 3. 5	Faktor Keutamaan Gempa	26
Tabel 3. 6	Koefisien Situs. F_a	29
Tabel 3. 7	Koefisien Situs. F_v	29
Tabel 3. 8	Kategori Desain Seismik Pada Periode Pendek.....	32
Tabel 3. 9	Kategori Desain Seismik Pada Periode 1 Detik.....	32
Tabel 3. 10	Faktor R , C_d , dan Ω_o Untuk Penikul Gaya Seismik.....	34
Tabel 3. 11	Koefisien Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung.....	35
Tabel 3. 12	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	36
Tabel 3. 13	Nilai Faktor Modifikasi C_0^1	55
Tabel 3. 14	Nilai Faktor Modifikasi C_2	56
Tabel 3. 15	Keterangan Warna Sendi Plastis.....	60
Tabel 3. 16	Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Level Kinerja Struktur.....	62
Tabel 3. 17	Batasan Nilai Simpangan Level Kinerja Struktur.....	63
Tabel 3. 18	Deskripsi Level Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA 356.....	64
Tabel 3. 19	Batasan Nilai Rasio Simpangan Level Kinerja Struktur	65
Tabel 4. 1	Dimensi dan Tipe Kolom.....	72
Tabel 4. 2	Dimensi dan Tipe Balok	73
Tabel 4. 3	Dimensi dan Tipe Pelat.....	73
Tabel 5. 1	Hasil Pehitungan Percepatan Respon Spektrum.....	82
Tabel 5. 2	Nilai Gaya Seismik Lateral.....	87

Tabel 5. 3	Nilai Gaya Seismik Lateral.....	96
Tabel 5. 4	Nilai Gaya Seismik Lateral.....	98
Tabel 5. 5	Nilai <i>Displacement</i> dan <i>Base Shear</i> Kurva Kapasitas Arah X	113
Tabel 5. 6	Nilai <i>Displacement</i> dan <i>Base Shear</i> Kurva Kapasitas Arah Y	114
Tabel 5. 7	Nilai <i>Performance Point</i> Berdasarkan ATC-40.....	117
Tabel 5. 8	Parameter <i>Performance Point</i> Berdasarkan FEMA 356.....	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Parameter Gerak Tanah S_s , Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)	27
Gambar 3. 2	Parameter Gerak Tanah S_1 , Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)	27
Gambar 3. 3	Kurva Spektrum Respon Desain	30
Gambar 3. 4	Peta Transisi Periode Panjang T_L Wilayah Indoneisa	31
Gambar 3. 5	Pengaturan Standar Awal Model Bangunan	39
Gambar 3. 6	<i>New Model Quick Template</i>	39
Gambar 3. 7	Permodelan Dimensi <i>Grid</i> pada Bangunan.....	40
Gambar 3. 8	Permodelan Tinggi <i>Story</i> pada Bangunan.....	40
Gambar 3. 9	Spesifikasi Material.....	41
Gambar 3. 10	<i>Material Property Design Data</i>	42
Gambar 3. 11	Pendefinisian <i>Frame Section</i> Elemen Balok dan Kolom.....	43
Gambar 3. 12	Pendefinisian Tulangan Elemen Balok dan Kolom	43
Gambar 3. 13	Pendefinisian <i>Slab Property</i> Elemen Pelat	44
Gambar 3. 14	Pendefinisian <i>Wall Property</i> Elemen Dinding Geser.....	44
Gambar 3. 15	Pembebanan Bangunan pada <i>Load Patterns</i>	45
Gambar 3. 16	<i>Modify Lateral Load</i> pada Pembebanan Gempa Arah X.....	46
Gambar 3. 17	<i>Modify Lateral Load</i> pada Pembebanan Gempa Arah Y	46
Gambar 3. 18	Input Data Grafik Respon Spektrum.....	47
Gambar 3. 19	Permodelan Elemen Struktur Balok dan Kolom.....	48
Gambar 3. 20	Permodelan Elemen Struktur Balok dan Kolom.....	48
Gambar 3. 21	Penentuan <i>Joint Restraints</i>	49
Gambar 3. 22	Jenis Pilihan dari <i>Joint Restraints</i>	49
Gambar 3. 23	Skema Analisis Statik Non-Linear <i>Pushover</i>	51
Gambar 3. 24	Kurva Kapasitas	51
Gambar 3. 25	Partisispasi Modal dan Modal Koefisien Massa	52
Gambar 3. 26	Perubahan Format Kurva Kapasitas.....	53

Gambar 3. 27	Skema Prosedur Metode Koefisien Perpindahan	54
Gambar 3. 28	Kurva Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur	57
Gambar 3. 29	Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur	58
Gambar 3. 30	Posisi Sumbu Lokal Kolom Struktur	59
Gambar 3. 31	Sendi Plastis yang Terjadi pada Balok dan Kolom.....	60
Gambar 3. 32	Level Kinerja Struktur pada Kurva Kapasitas	61
Gambar 3. 33	Kurva Hubungan Beban Gaya-Deformasi	63
Gambar 3. 34	Level Kinerja Struktur pada Kurva	64
Gambar 4. 1	Lokasi Gedung Hotel Oakwood.....	66
Gambar 4. 2	Denah <i>Ground Floor</i> Hotel.....	67
Gambar 4. 3	Denah Lantai 1 Hotel	67
Gambar 4. 4	Denah Lantai 2 Hotel	68
Gambar 4. 5	Denah Lantai 3 Hotel	68
Gambar 4. 6	Denah Lantai 4-8 Hotel.....	69
Gambar 4. 7	Denah Lantai 9 Hotel	69
Gambar 4. 8	Denah Lantai Atap Hotel	70
Gambar 4. 9	Potongan X-X Gedung Hotel.....	70
Gambar 4. 10	Potongan Y-Y Gedung Hotel.....	71
Gambar 4. 11	<i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	77
Gambar 5. 1	Parameter Respon Spektrum.....	80
Gambar 5. 2	Kurva Spektrum Respon Desain Gempa MCE_R	83
Gambar 5. 3	Model 3D Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta.....	87
Gambar 5. 4	Tampak X-Y Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta.....	88
Gambar 5. 5	Tampak X-Z Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta	88
Gambar 5. 6	Tampak Y-Z Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta	89
Gambar 5. 7	<i>Frame Property Shape Type</i>	89
Gambar 5. 8	<i>Section Designer Section Property Data</i>	90
Gambar 5. 9	<i>Section Designer</i>	90
Gambar 5. 10	<i>Section Object Data</i>	91
Gambar 5. 11	<i>Frame Property Shape Type</i>	91
Gambar 5. 12	<i>Section Designer Section Property Data</i>	92

Gambar 5. 13	<i>Section Designer</i>	92
Gambar 5. 14	<i>Section Object Data</i>	93
Gambar 5. 15	<i>Slab Property Layer Definition Data</i>	93
Gambar 5. 16	<i>Quick Layer Definition Data</i>	94
Gambar 5. 17	<i>Mass Source Data</i>	95
Gambar 5. 18	<i>Response Spectrum Function Definition</i>	95
Gambar 5. 19	<i>Scale Factor Load Case Data</i>	97
Gambar 5. 20	<i>Scale Factor Load Case Data</i>	97
Gambar 5. 21	<i>Define Load Patterns</i>	99
Gambar 5. 22	<i>Seismic Loading Arah X</i>	100
Gambar 5. 23	<i>Seismic Loading Arah Y</i>	100
Gambar 5. 24	<i>Load Case Data</i>	101
Gambar 5. 25	<i>Load Application Control for Nonlinear Static Analysis</i>	101
Gambar 5. 26	<i>Result Saved for Nonlinear Static Case</i>	102
Gambar 5. 27	<i>Nonlinear Parameters</i>	102
Gambar 5. 28	<i>Load Case Data</i>	103
Gambar 5. 29	<i>Load Application Control for Nonlinear Static Analysis</i>	103
Gambar 5. 30	<i>Result Saved for Nonlinear Static Case</i>	104
Gambar 5. 31	<i>Nonlinear Parameters</i>	104
Gambar 5. 32	<i>Load Case Data</i>	105
Gambar 5. 33	<i>Load Application Control for Nonlinear Static Analysis</i>	106
Gambar 5. 34	<i>Result Saved for Nonlinear Static Case</i>	106
Gambar 5. 35	<i>Nonlinear Parameters</i>	107
Gambar 5. 36	<i>Select Elemen Struktur Balok</i>	108
Gambar 5. 37	<i>Frame Assignment</i>	108
Gambar 5. 38	<i>Auto Hinge Assignment Data</i>	109
Gambar 5. 39	<i>Select Elemen Struktur Balok</i>	109
Gambar 5. 40	<i>Frame Assignment</i>	110
Gambar 5. 41	<i>Auto Hinge Assignment Data</i>	110
Gambar 5. 42	<i>Running Analysis Pushover</i>	111
Gambar 5. 43	<i>Kurva Kapasitas Arah X</i>	112

Gambar 5. 44	Kurva Kapasitas Arah Y	112
Gambar 5. 45	Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X dan Arah Y	114
Gambar 5. 46	Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur Bangunan	115
Gambar 5. 47	Kurva Respon Spektrum Arah X	116
Gambar 5. 48	Kurva Respon Spektrum Arah Y	116
Gambar 5. 49	Kurva FEMA 356 Arah X	117
Gambar 5. 50	Kurva FEMA 356 Arah Y	118
Gambar 5. 51	Step Awal Sendi Plastis Arah X 3D View	123
Gambar 5. 52	Step Awal Sendi Plastis Arah X Sumbu Y-Z	123
Gambar 5. 53	Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah X 3D View	124
Gambar 5. 54	Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah X Sumbu Y- Z	124
Gambar 5. 55	Step Akhir Sendi Plastis Arah X 3D View	125
Gambar 5. 56	Step Akhir Sendi Plastis Arah X Sumbu Y-Z	125
Gambar 5. 57	Step Awal Sendi Plastis Arah Y 3D View	126
Gambar 5. 58	Step Awal Sendi Plastis Arah Y Sumbu Y-Z	126
Gambar 5. 59	Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah Y 3D View	127
Gambar 5. 60	Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah Y Sumbu Y- Z	127
Gambar 5. 61	Step Akhir Sendi Plastis Arah Y 3D View	128
Gambar 5. 62	Step Akhir Sendi Plastis Arah Y Sumbu Y-Z	129

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Output Nilai Kurva Kapasitas Pushover X
Lampiran 2 Tabel Output Nilai Kurva Kapasitas Pushover Y
Lampiran 3 Denah Lantai Dasar
Lampiran 4 Denah Lantai 1
Lampiran 5 Denah Lantai 2
Lampiran 6 Denah Lantai 3
Lampiran 7 Denah Lantai 4-8
Lampiran 8 Denah Lantai 9
Lampiran 9 Denah Lantai Atap
Lampiran 10 Detail Pelat
Lampiran 11 Detail Sloof dan Dinding Beton
Lampiran 12 Detail Balok 1
Lampiran 13 Detail Balok 2
Lampiran 14 Detail Kolom 1
Lampiran 15 Detail Kolom 2
Lampiran 16 Detail Kolom 3
Lampiran 17 Detail Kolom 4
Lampiran 18 Detail Kolom 5
Lampiran 19 Detail Kolom 6
Lampiran 20 Detail Kolom 7
Lampiran 21 Detail Kolom 8
Lampiran 22 Detail Kolom 9
Lampiran 23 Detail Kolom 10
Lampiran 24 Detail Kolom 11
Lampiran 25 Detail Shearwall 1
Lampiran 26 Detail Shearwall 2
Lampiran 27 Detail Tangga T1
Lampiran 28 Detail Tangga T2

Lampiran 29 Detail Tangga T3

Lampiran 30 Output Performance Point ATC-40 Arah X

Lampiran 31 Output Performance Point ATC-40 Arah Y

Lampiran 32 Output Performance Point FEMA 356 Arah X

Lampiran 33 Output Performance Point FEMA 356 Arah Y

Lampiran 34 Nilai VS30 dari Website USGS VS30

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

α	= Rasio kekakuan paska leleh terhadap kekakuan elastic efektif
α_1	= Koefisien massa ragam untuk ragam ke-1
Ω_0	= Faktor penguatan lebih
Δ_{il}	= Perpindahan pada lantai 1 pada ragam ke-1
δ_T	= Target <i>displacement</i>
Δ_{roof}	= Perpindahan atap (digunakan pada kurva kapasitas)
A_B	= Luas dasar struktur
ADRS	= <i>Acceleration Displacement Response Spectrum</i>
A_i	= Luas badan dinding geser ke- <i>i</i>
ATC-40	= <i>Applied Technology Council</i>
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_m	= Faktor massa efektif
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
CSM	= <i>Capacity Spectrum Method</i>
C_u	= Koefisien batas antar periode
C_{vx}	= Faktor distribusi vertikal
C_0	= Faktor modifikasi, menghubungkan perpindahan spectral system SDOF ekuivalen dengan perpindahan atap pada system bangunan MDOF
C_1	= Faktor modifikasi, menghubungkan perpindahan inelastik Maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastic linear
C_2	= Faktor modifikasi, untuk memperhitungkan efek “pinching” beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan maksimum
C_3	= Faktor modifikasi, untuk memperhitungkan kenaikan lateral akibat efek P-delta
D	= Beban mati
DED	= <i>Detail Engineering Design</i>

D_i	= Panjang dinding geser ke- i
E_h	= Beban gempa horizontal
E_v	= Beban gempa vertikal
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek
FEMA 356	= <i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_i	= Gaya geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i
F_v	= Koefisien situs untuk periode pendek
g	= Percepatan gravitasi (9,81 m/det ²)
h	= Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x
h_n	= Ketinggian struktur dalam satuan meter
I_e	= Faktor keutamaan gempa
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
LS	= <i>Life Safety</i>
k	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai
L	= Beban hidup
N	= Jumlah tingkat
$P_f i$	= Faktor partisipasi ragam, untuk ragam ke-1
R	= Koefisien modifikasi respon
S_a	= Respon spektrum percepatan desain
S_d	= Spektrum perpindahan
S_{DS}	= Parameter spektral desain pada periode pendek, redaman 5%
S_{D1}	= Parameter spektral desain pada periode 1 detik, redaman 5%
S_{MS}	= Parameter percepatan respon spektrum MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs
S_{M1}	= Parameter percepatan respon spektrum MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs
SS	= <i>Structural Stability</i>
S_s	= Parameter percepatan respon spektrum MCE dari peta gempa pada

	periode pendek, redaman 5%
S_I	= Parameter percepatan respon spektrum MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5%
T	= Periode getar fundamental struktur
T_a	= Nilai periode pendekatan
T_e	= Waktu getar alami efektif memperhitungkan kondisi inelastis
T_L	= Peta transisi periode panjang
T_S	= Waktu getar karakteristik dari kurva respon spektrum
V	= Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur
V_x	= Gaya geser seismik
V_y	= Gaya geser pada keadaan titik leleh
W	= Berat struktur (akibat ebban mati dan ebban hidup tereduksi)
w	= Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
W_i/g	= Massa lantai i
x	= Jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau

ABSTRAK

Yogyakarta merupakan salah satu wilayah dengan beberapa sejarah kejadian gempa, diantaranya gempa Mei 2006, Agustus 2004, Mei 2001, dan Juni 1992. Peristiwa gempa yg telah terjadi berdampak besar bagi masyarakat mulai dari korban jiwa hingga kerusakan infrastruktur bangunan, sehingga evaluasi terhadap kinerja struktur bangunan dalam menahan gempa perlu dilakukan. Penelitian ini dilakukan terhadap struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta dengan tinggi bangunan 10 lantai yang berfungsi sebagai hunian sementara dan berlokasi di Jalan A. M. Sangaji, Jetis, Yogyakarta. Dengan jarak yang sangat dekat terhadap pemukiman dan fasilitas umum seperti SD Negeri 1 Jetis, evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa menjadi penting untuk meminimalkan risiko keruntuhan serta menjamin keselamatan penghuni dan masyarakat sekitar. Analisis yang dilakukan dengan metode analisis statik non-linear *pushover* agar dapat menggambarkan beban gempa mendekati kondisi sebenarnya. Analisis *pushover* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETABS untuk mendapatkan kurva kapasitas, mekanisme sendi plastis, serta level kinerja struktur dengan pedoman penilaian ATC-40 dan FEMA 356.

Output analisis *pushover* berupa kurva kapasitas menunjukkan nilai *performance point* berdasarkan pedoman ATC-40 arah X yaitu $V = 17773,776$ kN dan $\delta = 0,126$ m dan arah Y yaitu $V = 21340,786$ kN dan $\delta = 0,106$ m. Sedangkan berdasarkan pedoman FEMA 356 menunjukkan nilai *performance point* untuk arah X yaitu $V = 17716,38$ kN dan $\delta = 0,125$ m dan arah Y yaitu $V = 13841,35$ kN dan $\delta = 0,031$ m. Berdasarkan penelitian diperoleh level kapasitas struktur berdasarkan pedoman ATC-40 yaitu berada pada level *Immediate Occupancy* untuk arah X dan Y, serta berdasarkan pedoman FEMA 356 berada pada level *Immediate Occupancy* untuk arah X dan Y. Mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur memenuhi prinsip SCWB (*strong column weak beam*) dimana sendi plastis terbentuk terlebih dahulu pada elemen balok.

Kata kunci : *pushover*, *performance point*, sendi plastis, kinerja struktur

ABSTRACT

Yogyakarta is one of the regions with a notable history of earthquakes, such as those that occurred in May 2006, August 2004, May 2001, dan June 1992. These seismic events have had significant impacts on society, ranging from loss of life to damage of building infrastructure, thereby highlighting the need for evaluating the performance of structures in resisting earthquakes. This study was conducted on the structure of the Oakwood Hotel Yogyakarta, a 10-story building serving as temporary accommodation, located on A. M. Sangaji Street, Jetis, Yogyakarta. Given its close proximity to residential buildings and public facilities such as SD Negeri 1 Jetis Elementary School, assessing the building's seismic performance is crucial to minimize collapse risk and ensure the safety of occupants and nearby residents. The analysis was using the nonlinear static pushover analysis method to approximate seismic loading conditions more realistically. The pushover analysis was performed with the aid of ETABS software to obtain the capacity curve, plastic hinge mechanism, and structural performance level, based on the assessment guidelines provided in ATC-40 and FEMA 356.

The pushover analysis output in the form of a capacity curve indicated the performance point values according to ATC-40 as follows: for the X direction, $V = 17773.776$ kN and $\delta = 0,126$ m, and for the Y direction, $V = 21340,786$ kN and $\delta = 0,106$ m. Meanwhile, based on FEMA 356, the performance point values were: for the X direction, $V = 17716,38$ kN and $\delta = 0,125$ m, and for the Y direction, $V = 13841,35$ kN and $\delta = 0,031$ m. The study results show that the structural capacity level according to ATC-40 is at the Immediate Occupancy level for both X and Y directions, while based on FEMA 356, the structure also falls under the Immediate Occupancy level for both directions. The plastic hinge mechanism in the structure complies with the SCWB (strong column–weak beam) principle, where plastic hinges are formed first in the beam elements.

Keywords: *pushover, performance point, plastic hinge, structural performance*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi akibat terletak di pertemuan tiga lempeng litosferik dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik (Rumbyarso, 2024). Kondisi geografis ini menyebabkan wilayah Indonesia sering mengalami gempa bumi dengan berbagai tingkat intensitas. Daerah Istimewa Yogyakarta yang dilalui Sesar Opak aktif meningkatkan probabilitas terjadinya gempa bumi di wilayah tersebut, hingga saat ini Daerah Istimewa Yogyakarta menjadi salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki sejarah panjang terhadap kejadian gempa, diantaranya adalah gempa Mei 2006, Agustus 2004, Mei 2001, dan Juni 1992.

Beberapa peristiwa gempa yang telah terjadi sebelumnya memberikan beberapa dampak kerugian, contohnya pada gempa Mei 2006 berupa korban jiwa serta kerusakan infrastruktur bangunan, begitupun pada gempa Agustus 2004, Mei 2001, dan Juni 1992 yang menyebabkan kerugian berupa kerusakan infrastruktur bangunan tingkat ringan-sedang. Dalam kacamata Teknik Sipil, hal tersebut menjadi suatu dasar perancangan desain struktur bangunan yang tahan gempa, khususnya pada bangunan gedung bertingkat banyak. Konsep ketahanan suatu struktur bangunan dalam menerima beban gempa telah berkembang dari yang hanya memperhatikan aspek kekuatan (*strength*) menjadi bertambah untuk memperhatikan aspek kinerja struktur (*performance*). Pendekatan *Performance-Based Seismic Design* (PBSD) digunakan untuk mengevaluasi bangunan dengan memperhatikan perancangan serta pemeriksaan suatu struktur bangunan agar mencapai tingkat kinerja tertentu setelah mengalami beban gempa.

Studi kasus dalam penelitian ini adalah Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta, yang berlokasi di jalan A. M. Sangaji, Cokrodiningratan, Jetis, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung Hotel Oakwood memiliki tinggi bangunan 10 lantai dengan fungsi sebagai hunian sementara (akomodasi publik). Gedung Hotel

Oakwood Yogyakarta berlokasi di kawasan pemukiman padat penduduk, dimana pemukiman hanya berjarak kurang lebih 5 m dari bangunan gedung, serta terdapat fasilitas umum berupa sekolah SD Negeri 1 Jetis yang hanya berjarak kurang dari 50 m tepat di sebelah utara bangunan gedung. Dengan kondisi tersebut, Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta yang merupakan bangunan tinggi yang mulai dibangun pada tahun 2024 di kawasan tersebut perlu dilakukan evaluasi kinerja strukturnya terhadap beban gempa sehingga dapat meminimalkan risiko keruntuhan serta melindungi keselamatan penghuni, masyarakat sekitar, dan pengguna fasilitas umum di sekitarnya. Evaluasi yang dilakukan membutuhkan metode evaluasi struktur yang mampu menggambarkan perilaku bangunan secara lebih mendekati kondisi sebenarnya ketika menerima beban seismik.

Analisis statik linear atau analisis dinamik linear yang biasa digunakan dalam perencanaan konvensional hanya dapat memberikan gambaran respons struktur dalam kondisi elastis, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan fenomena degradasi kekakuan dan kekuatan elemen struktur akibat gempa besar. Keterbatasan ini menjadikan metode tersebut kurang memadai apabila digunakan untuk mengevaluasi bangunan yang sudah beroperasi di wilayah dengan tingkat kerawanan seismik tinggi. Dalam konteks ini, analisis *pushover* dipandang sebagai metode yang tepat, karena secara sistematis dapat menggambarkan respons non-linear inelastik struktur terhadap beban gempa secara bertahap hingga mendekati kondisi keruntuhan.

Analisis suatu struktur bangunan berdasarkan kinerja strukturnya dapat dilakukan menggunakan metode *pushover* yang akan memberikan gambaran perilaku non-linear struktur secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan (Chopra, 2012). Metode *pushover* dapat memperhitungkan perubahan kekakuan dan kekuatan elemen struktur akibat deformasi, sehingga memberikan gambaran lebih realistis mengenai perilaku struktur saat gempa besar. Hasil dari analisis berupa kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara gaya lateral dan perpindahan atap struktur (*displacement*), yang kemudian dibandingkan dengan spektrum gempa target untuk mengevaluasi tingkat kinerja struktur saat menerima

beban gempa, sehingga dapat menunjukkan urutan kerusakan elemen struktural secara jelas.

Evaluasi kinerja struktur ditentukan berdasarkan acuan ATC-40 dan FEMA 356. ATC-40 merupakan pendekatan berbasis performa untuk mengetahui seberapa besar level kinerja struktur dari suatu bangunan, kinerja strukturnya akan dievaluasi berdasarkan kriteria *operational*, *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS), dan *collapse prevention* (CP). FEMA 356 menilai kapasitas bangunan untuk menahan gaya seismik pada berbagai level intensitas gempa, serta memberikan rekomendasi terkait perbaikan untuk memperbaiki elemen yang tidak memenuhi standar kinerja yang diinginkan, seperti *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS), dan *collapse prevention* (CP).

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kurva kapasitas yang dihasilkan dari analisis *pushover* pada struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta?
2. Bagaimana perbandingan level kinerja struktur Hotel Oakwood Yogyakarta terhadap beban gempa sesuai tingkat kinerja berdasarkan pedoman ATC-40 dan FEMA 356?
3. Bagaimana mekanisme sendi plastis setelah dilakukan analisis *pushover* dengan beban gempa?

1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Memperoleh kurva kapasitas dari struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta melalui analisis *pushover*.
2. Menentukan level kinerja struktur berdasarkan kriteria performa dari pedoman ATC-40 dan FEMA 356 serta perbandingan hasil level kinerja antara pedoman ATC-40 dan FEMA 356.
3. Mengidentifikasi mekanisme sendi plastis pada struktur akibat beban gempa yang diberikan melalui analisis *pushover*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi Penulis

Memberikan kesempatan bagi penulis untuk mengaplikasikan pengetahuan mengenai analisis statik non-linear dengan metode *pushover*. Selain itu, penulis dapat meningkatkan keterampilan dalam menggunakan perangkat lunak ETABS sebagai alat analisis struktur serta memahami penilaian kinerja struktur dengan pedoman yang digunakan.

2. Bagi Objek Pengamatan (Hotel Oakwood Yogyakarta)

Hasil evaluasi ini dapat memberikan informasi teknis yang mengenai tingkat ketahanan seismik struktur gedung Hotel Oakwood Yogyakarta, sehingga dapat dijadikan pertimbangan langkah-langkah perbaikan dan perkuatan struktur apabila didapati elemen struktur yang belum memenuhi kinerja struktur seismik yang diharapkan.

3. Bagi Pembaca

Memberikan referensi ilmiah dan praktis mengenai penerapan metode analisis pushover dalam mengevaluasi kinerja struktur suatu bangunan terhadap beban gempa. Dengan kajian ATC-40 dan FEMA 356, pembaca dapat mengetahui cara penentuan tingkat kinerja struktur seismik suatu bangunan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian yaitu gedung Hotel Oakwood Yogyakarta.
2. Struktur gedung merupakan gedung beton bertulang yang berfungsi sebagai bangunan hunian.
3. Metode analisis yang digunakan yaitu metode non-linear *pushover*.
4. Desain gaya gempa dan pembebanan gempa berdasarkan SNI-03-1726:2019.
5. Penilaian level kinerja struktur seismik mengacu pada pedoman ATC-40 dan FEMA 356.

6. Jenis tipe tanah pada objek pengamatan adalah tipe tanah sedang, bersumber dari informasi kontraktor proyek, diverifikasi dengan hasil pengecekan dari *website* USGS nilai VS30 sebesar 291 m/s.
7. Pembebanan gedung meliputi:
 - a. Beban mati
 - b. Beban hidup
 - c. Beban lateral (hanya beban gempa sesuai dengan SNI-03-1726-2019)
8. Analisis yang dilakukan untuk struktur menggunakan perangkat lunak ETABS.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada BAB I telah dibahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, serta batasan dari penelitian yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Penelitian ini dilakukan dengan metode *pushover* untuk mengetahui kinerja struktur suatu bangunan bertingkat terhadap beban gempa, dimana sebelumnya telah dilakukan juga beberapa penelitian serupa dengan metode yang sama. BAB II ditujukan untuk menjabarkan perbandingan lebih lanjut antara penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian-penelitian terdahulu.

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut ringkasan penelitian-penelitian terdahulu mengenai analisis menggunakan metode *pushover* untuk mengetahui level kinerja struktur.

1. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan *Pushover Analysis* dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356.

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Hendarto Prasetyo, Dwi Kurniati, dan bambang Kusuma Pribadi (2020). Analisis kinerja struktur gedung RSGM UGM Prof. Soedomo menggunakan metode non-linear *pushover* dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v14.

Kinerja struktur dievaluasi saat menerima beban gempa sesuai SNI 1726-2012, dimana level kinerjanya ditentukan dengan mengacu pada dua pedoman yaitu ATC-40 (1996) dan FEMA 356 (2000). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui *performance point* serta level kinerja struktur dari gedung RSGM UGM berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356, dengan maksud memastikan objek penelitian mampu menerima beban gempa sehingga dapat memenuhi fungsinya sebagai fasilitas penunjang kesehatan serta mengantisipasi kerusakan fatal yang mungkin terjadi akibat beban gempa.

Penelitian ini menghasilkan output analisis sebagai berikut.

- a. Hasil titik kinerja (*performance point*) ATC-40 dengan nilai $S_a = 0,737$ dan $S_d = 0,200$ untuk sumbu X serta nilai $S_a = 0,680$ dan $S_d = 0,225$ untuk sumbu Y.
 - b. Berdasarkan pedoman ATC-40 didapatkan nilai *drift ratio* arah X sebesar 0,01165 sedangkan untuk arah Y sebesar 0,0127 sehingga level kinerja struktur berada pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO).
 - c. Berdasarkan pedoman FEMA 356 didapatkan nilai perpindahan lateral arah X sebesar 0,00437 (0,437%) sedangkan untuk arah Y sebesar 0,006 (0,6%) sehingga level kinerja struktur berada pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO).
2. Evaluasi Kinerja Seismik pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan Metode Analisis *Pushover* Berdasarkan ATC-40.

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Abdul Fatah Arjakoni dan Muhamad Lutfi (2020). Penelitian dilakukan pada struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia menggunakan metode analisis non-linier *pushover* dengan bantuan perangkat lunak ETABS v9.07.

Objek penelitian yang merupakan bangunan 18 lantai dengan kategori risiko IV berada pada wilayah gempa 4 dan kondisi tanah keras. Kinerja struktur dievaluasi saat menerima beban gempa sesuai SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012, dimana level kinerjanya ditentukan dengan mengacu pada dua pedoman yaitu ATC-40. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui level kinerja struktur dari gedung RSP UI berdasarkan ATC-40 dengan mencari nilai batas maksimum *drift ratio* atap sehingga dapat diketahui apakah gedung tersebut tetap aman dan fungsional setelah menerima beban gempa.

Penelitian ini menghasilkan output analisis sebagai berikut.

- a. Nilai redaman efektif yang didapatkan sebesar 15,6% dimana artinya nilai tersebut masih dibawah batas aman yaitu sebesar 40% serta sendi plastis hanya terjadi pada elemen struktur balok dan tidak menjalar ke kolom.

- b. Nilai *drift* maksimum yang didapatkan yaitu sebesar total *drift* = 0,00399 m dan *in-elastic drift* = 0,00327 m pada arah X dan sebesar total *drift* = 0,000407 m dan *in-elastic drift* = 0,00031 m pada arah Y.
 - c. Titik performa yang menunjukkan level kinerja struktur berdasarkan berada pada level Immediate Occupancy (IO) berdasarkan panduan ATC-40.
3. *Performance Evaluation Highrise Building Structure Based on Pushover Analysis with ATC-40 Method.*

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Dermawan Zebua dan Koespiadi (2022). Penelitian dilakukan pada struktur gedung 10 lantai yang berada di Pulau Nias menggunakan metode analisis non-linier *pushover* dengan bantuan perangkat lunak ETABS v19.

Analisis yang dilakukan pada objek penelitian dengan desain struktur SMRF (*Special Moment Resisting Frame*) mengacu pada SNI 2847-2019, sedangkan untuk desain beban gempanya mengacu pada SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur terhadap beban gempa, mengetahui skema sendi plastis pada struktur, dan mengetahui pola keruntuhan gedung akibat beban gempa yang diberikan pada analisis. Level kinerja struktur ditentukan dengan mengetahui nilai *displacement* yang terjadi setelah dilakukan analisis *pushover* yang mengacu pada panduan ATC-40.

Penelitian ini menghasilkan output analisis sebagai berikut.

- a. Nilai *displacement* maksimum yang didapatkan sebesar 102,543 mm pada arah X dan Y (dikarenakan struktur gedung simetris pada arah X dan Y) sehingga nilai *drift* maksimum yang didapatkan sebesar 69,772 mm.
- b. Mekanisme sendi plastis terjadi pertama kali pada struktur balok setelahnya ke struktur kolom, sesuai dengan konsep SCWB (*Strong Column Weak Beam*).
- c. Level kinerja struktur berdasarkan panduan ATC-40 diketahui berada pada level Immediate Occupancy (IO), artinya struktur gedung aman ketika menerima beban gempa yang mungkin terjadi dan gedung dapat langsung digunakan setelah terjadi gempa tanpa kerusakan yg signifikan.

4. Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier *Pushover* dan ATC-40.

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Mahega Adi Prasetya, Ibnu sina Wirakusuma, dan Gede Surya (2022). Penelitian dilakukan pada gedung Graha Wiyata UNTAG Surabaya menggunakan metode analisis non-linier *pushover* dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v21.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur pada objek penelitian yang dibangun pada tahun 1988/1990, dimana pada beban gempa yang digunakan yaitu berdasarkan SNI tahun 1983 sehingga dilakukan analisis ulang menggunakan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 agar dapat diketahui kinerja struktur gedung tersebut terhadap beban gempa sesuai peraturan terbaru. Kinerja struktur dinilai berdasarkan acuan ATC-40 dimana nilai drift ratio digunakan sebagai parameter penilaian.

Penelitian ini menghasilkan output analisis sebagai berikut.

- a. Nilai gaya geser maksimum yang didapatkan pada arah X yaitu sebesar 1616120,47 kg sedangkan pada arah Y didapatkan nilai gaya geser maksimum sebesar 6036499,16 kg.
 - b. Nilai *displacement* yang didapatkan dari analisis pada arah X yaitu sebesar 0,399 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,115 m.
 - c. Berdasarkan pedoman ATC-40 didapatkan nilai *drift ratio* arah X sebesar 0,007 sedangkan untuk arah Y sebesar 0,002 sehingga level kinerja struktur berada pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO).
 - d. Pola keruntuhan struktur yang dihasilkan menunjukkan bahwa sendi plastis pertama terjadi pada balok, sehingga kategori sendi plastis yang terbentuk yaitu masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO).
5. Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis *Pushover* berdasarkan ATC-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*).

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Maritza Syifa Syahira dan Atika Ulfah Jamal (2023). Penelitian dilakukan pada gedung perkantoran di Kota Padang

menggunakan metode analisis non-linier *pushover* dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v22.

Analisis yang dilakukan menggunakan beban gempa level besar MCE_R (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*), dimana dengan beban gempa ini diharapkan gedung memiliki level kinerja *Collapse Prevention* (CP). Level kinerja struktur ditentukan dengan mencari nilai gaya geser serta displacement dari hasil analisis menggunakan beban gempa MCE_R , selanjutnya kinerja stuktur ditentukan berdasarkan pedoman ATC-40 (1996).

Penelitian ini meghasilkan output analisis sebagai berikut.

- a. Hasil *performance point* yang diperoleh dari analisis yaitu berupa nilai $V = 20149,839$ kN dan $\delta = 0,309$ m untuk arah X sedangkan nilai $V = 26643,81$ kN dan $\delta = 0,231$ m untuk arah Y.
- b. Level kinerja struktur sesuai pedoman ATC-40 diketahui berada pada level *Damage Control*.

6. *Evaluation of Seismic Performance of Hospital Building Using Pushover Analysis Based on ATC-40.*

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Dermawan Zebua, As Andika Sah Putra, Leonardus Setia Budi Wibowo, dan Sania Alfani (2023). Penelitian dilakukan pada struktur Gedung Rumah Sakit Cut Nyak Dhien Meulaboh, Aceh, menggunakan metode analisis non-linier *pushover* dengan bantuan perangkat lunak ETABS v9.07.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur pada struktur gedung, dikarenakan pada proses pembangunannya terjadi perubahan dari desain yang telah dirancang pada 2016. Beban gempa yang digunakan pada analisis ini yaitu mengacu pada SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020, analisis akan memperlihatkan hasil berupa mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur, nilai *displacement*, serta nilai gaya geser pada struktur dengan beban gempa tersebut. Level kinerja struktur ditentukan melalui nilai drift ratio yang didapatkan dari analisis sesuai dengan pedoman ATC-40.

Penelitian ini menghasilkan output analisis sebagai berikut.

- a. Nilai gaya geser maksimum yang didapatkan pada arah X yaitu sebesar 20090,204 kN sedangkan pada arah Y didapatkan nilai gaya geser maksimum sebesar 19832,572 kN.
- b. Nilai *displacement* yang didapatkan dari analisis pada arah X yaitu sebesar 0,052 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,058 m.
- c. Mekanisme sendi plastis terjadi pertama kali pada struktur balok setelahnya ke struktur kolom, sesuai dengan konsep SCWB (*Strong Column Weak Beam*).
- d. Berdasarkan pedoman ATC-40 didapatkan nilai *drift* arah X sebesar 0,0126 sedangkan untuk arah Y sebesar 0.0081 sehingga level kinerja struktur berada pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO).

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Berikut adalah perbandingan antara penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Saat Ini
	Hendarto Prasetyo, dkk (2020)	Abdul Fatah Arjakoni, dkk (2020)	Dermawan Zebua, dkk (2022)	Mahega Adi Prasetya, dkk (2022)	Maritza Syifa Syahira (2023)	Dermawan Zebua, dkk (2023)	Penulis (2025)
Judul	Evaluasi Kinerja Struktur Bnagunan Menggunakan <i>Pushover Analysis</i> dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356	Evaluasi Kinerja Seismik pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan Metode Analisis <i>Pushover</i> Berdasarkan ATC-40	<i>Performance Evaluation Highrise Building Structure Based on Pushover Analysis with ATC-40 Method</i>	Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier <i>Pushover</i> dan ATC-40	Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis <i>Pushover</i> berdasarkan ATC-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (<i>Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted</i>)	<i>Evaluation of Seismic Performance of Hospital Building Using Pushover Analysis Based on ATC-40</i>	Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Bertingkat Banyak dengan Metode Analisis <i>Pushover</i> Berdasarkan Pedoman ATC-40 dan FEMA 356 (Studi Kasus: Hotel Oakwood Yogyakarta)
Tujuan Penelitian	Mengetahui <i>performance point</i>	Mengetahui level kinerja struktur dari	Mengetahui level kinerja struktur sesuai	Mengevaluasi kinerja struktur pada objek	Mengetahui nilai gaya geser dan simpangan	Mengetahui level kinerja struktur pada	Melakukan evaluasi kinerja struktur

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Saat Ini
	Hendarto Prasetyo, dkk (2020)	Abdul Fatah Arjakoni, dkk (2020)	Dermawan Zebua, dkk (2022)	Mahega Adi Prasetya, dkk (2022)	Maritza Syifa Syahira (2023)	Dermawan Zebua, dkk (2023)	Penulis (2025)
Tujuan Penelitian	serta level kinerja struktur dari gedung RSGM UGM berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356, dengan maksud memastikan objek penelitian mampu menerima beban gempa sehingga dapat memenuhi fungsinya.	gedung RSP UI berdasarkan ATC-40 dengan mencari nilai batas maksimum <i>drift ratio</i> atap sehingga dapat diketahui apakah gedung tersebut tetap aman dan fungsional setelah menerima beban gempa.	pedoman ATC-40 terhadap beban gempa, mengetahui skema sendi plastis pada struktur, dan mengetahui pola keruntuhan gedung akibat beban gempa yang diberikan pada analisis.	penelitian yang dibangun pada tahun 1988/1990 dengan beban gempa mengacu pada SNI tahun 1983, sehingga dilakukan analisis ulang menggunakan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 agar dapat diketahui kinerja struktur sesuai peraturan terbaru dan pedoman ATC-40.	saat titik kinerja tercapai serta mengevaluasi tingkat kinerja struktur gedung perkantoran berdasarkan ATC-40 terhadap beban gempa besar (MCER).	struktur gedung, dikarenakan pada proses pembangunannya terjadi perubahan dari desain yang telah dirancang pada 2016.	terhadap gempa menggunakan analisis <i>pushover</i> untuk mengetahui kurva kapasitas dan mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur gedung saat dikenai beban gempa, dimana level kinerja struktur dievaluasi berdasarkan pedoman ATC-40 dan FEMA 356.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Saat Ini
	Hendarto Prasetyo, dkk (2020)	Abdul Fatah Arjakoni, dkk (2020)	Dermawan Zebua, dkk (2022)	Mahega Adi Prasetya, dkk (2022)	Maritza Syifa Syahira (2023)	Dermawan Zebua, dkk (2023)	Penulis (2025)
Bentuk dan Tinggi Bangunan Gedung	Gedung rumah sakit 5 lantai dengan tinggi total bangunan 20 m.	Gedung rumah sakit 18 lantai dengan total tinggi bangunan 73,65 m.	Gedung prkantoran 10 lantai dengan desain struktur SRPMK/SMRF.	Gedung perkuliahan dengan jumlah lantai 9 lantai.	Gedung perkantoran 4 lantai dengan total tinggi 17 m.	Gedung rumah sakit 3 lantai dengan tinggi 13 m.	Gedung hotel 10 lantai dengan tinggi bangunan total 35,75 m.
Metode Penelitian	Studi literatur dan pengumpulan data. Melakukan permodelan bangunan dan input beban dengan SAP200. Analisis terhadap desain struktur dengan metode <i>pushover</i> . Mengevaluasi <i>performance point</i>	Studi literatur dan pengumpulan data. Analisis dengan Autocad 2007 (gambar kontruksi) kemudian ETABS (permodelan struktur). Analisis dengan metode <i>pushover</i> dan evaluasi apakah struktur aman	Studi literatur dan pengumpulan data. Membuat permodelan desain struktur pada ETABS. Input pembebanan berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa (linear dan nonlinear). Analisis dengan metode <i>pushover</i> , kemudian	Studi literatur dan pengumpulan data. Analisis pembebanan struktur meliputi beban gravitasi dan beban gempa. Permodelan struktur dan analisis dengan SAP2000. Analisis dengan metode <i>pushover</i> , kemudian tentukan level kinerja	Pengumpulan data struktur. Membuat permodelan bangunan sesuai data pada SAP. Input pembebanan (beban mati, beban hidup, beban atap, dan beban gempa). <i>Scale factor</i> respon spektrum, lalu analisis struktur pada SAP. Mendefinisikan	Studi literatur dan pengumpulan data. Permodelan struktur kemudian input pembebanan meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa pada ETABS. Pendefinisian sendi plastis balok dan kolom. Analisis dengan metode	Studi literatur dan pengumpulan data. Permodelan desain struktur dan pembebanan (beban mati, beban hidup, dan beban gempa) pada <i>software</i> ETABS. Definisikan sendi plastis. Analisis dengan metode <i>pushover</i> , kemudian

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Saat Ini
	Hendarto Prasetyo, dkk (2020)	Abdul Fatah Arjakoni, dkk (2020)	Dermawan Zebua, dkk (2022)	Mahega Adi Prasetya, dkk (2022)	Maritza Syifa Syahira (2023)	Dermawan Zebua, dkk (2023)	Penulis (2025)
Metode Penelitian	serta level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356.	atau tidak dengan pedoman ATC-40.	evaluasi kinerja struktur berdasarkan ATC-40.	struktur berdasarkan ATC-40.	sendi plastis kemudian analisis dengan metode pusover. Menentukan level kinerja struktur.	<i>pushover</i> kemudian evaluasi kinerja struktur berdasarkan ATC-40.	evaluasi kinerja struktur berdasarkan 2 acuan yaitu ATC-40 dan FEMA 356.
Hasil Penelitian	Berdasarkan analisis didapatkan hasil <i>performance point</i> pada arah X dan Y. level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 yaitu pada level IO dan berdasarkan FEMA 356 pada level yang sama yaitu IO, artinya. Struktur	Berdasarkan penelitian, level kinerja struktur dengan parameter batasan rasio <i>drift</i> atap sesuai ATC-40 berada pada level IO, artinya struktur aman dan bisa digunakan tanpa kerusakan yang	Dari hasil penelitian diketahui mekanisme sendi plastis terjadi pertama kali pada balok lalu ke kolom, sesuai dengan konsep struktur SCWB. Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 berada pada level IO, yang mana artinya	Hasil yang didapatkan dari penelitian yaitu mekanisme sendi plastis terjadi pertama kali pada elemen balok dan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 yaitu berada pada level IO, yang artinya gedung tidak	Dari analisis <i>pushover</i> didapatkan nilai <i>performance point</i> arah X dan Y. Level kinerja struktur yg didapatkan dengan beban gempa MCE_R yaitu pada level DC (<i>Damage Control</i>).	Hasil dari analisis <i>pushover</i> menunjukkan mekanisme sendi plastis sesuai dengan konsep SCWB, yaitu terjadi pada balok lalu ke kolom. Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 berada pada level IO,	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Saat Ini
	Hendarto Prasetyo, dkk (2020)	Abdul Fatah Arjakoni, dkk (2020)	Dermawan Zebua, dkk (2022)	Mahega Adi Prasetya, dkk (2022)	Maritza Syifa Syahira (2023)	Dermawan Zebua, dkk (2023)	Penulis (2025)
Hasil Penelitian	gedung aman dan dapat tetap digunakan setelah terjadi gempa tanpa kerusakan yang signifikan.	berarti setelahb terjadi gempa.	struktur aman dalam menerima beban gempa.	mengalami kerusakan signifikan dan dapat segera difungsikan kembali.		artinya bangunan sangat aman dan resiko keruntuhan sangat rendah.	

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan sumber dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah tertera pada Tabel 2.1, penelitian ini merupakan hasil karya asli dan bukan merupakan plagiasi. Di bawah ini merupakan rincian pembeda untuk penelitian yang akan dilakukan penulis sebagai berikut.

1. Penelitian ini menggunakan objek pengamatan Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta yang berlokasi di jalan A. M. Sangaji, Cokrodiningratan, Jetis, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Permodelan struktur dilakukan sesuai data *As Build Drawing* dan DED dari Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta.
3. Analisis yang dilakukan dengan metode *pushover* dengan bantuan *software* ETABS, dimana seluruh data ukuran dan mutu sesuai dengan yang tertera pada *As Build Drawing* dan DED dari Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta.
4. Penentuan level kinerja struktur dilakukan dengan 2 pedoman yaitu ATC-40 dan FEMA 356.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG, 2017), gempa bumi sendiri didefinisikan sebagai peristiwa bergetarnya bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Energi yang dilepas dapat bersumber dari beberapa peristiwa diantaranya yaitu akibat adanya gesekan atau benturan antar lempeng tektonik ataupun dari aktivitas vulkanik gunung berapi, dimana energi itu dilepas membentuk gelombang seismik ke segala arah yang menyebabkan adanya getaran di permukaan bumi.

Berdasarkan hasil penelitian dari peneliti kebumihan menyimpulkan bahwa hampir 95% lebih gempa bumi alamiah yang cukup besar dapat terjadi di daerah yang merupakan batas pertemuan antar lempeng yang menyusun kerak bumi dan di daerah sesar (Y. P. A. Rumbyarso, 2024). Lapisan kerak bumi tersusun dari lempeng-lempeng tektonik yang saling bertemu, dimana pergerakan pada pertemuan lempeng tersebut dapat menghasilkan sumber energi berupa gaya-gaya dinamis. Energi yang dihasilkan dari pergeseran lempeng bumi akan dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik yang dapat memicu getaran di permukaan bumi.

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa merupakan struktur yang dirancang agar tidak langsung mengalami kerusakan parah ketika terjadi gempa bumi. Untuk mewujudkan bangunan yang memiliki ketahanan terhadap gempa, biasanya dibutuhkan biaya yang cukup besar. Menurut Pawirodikromo (2012), idealnya pembangunan struktur semacam ini mengikuti konsep *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang cukup kuat menghadapi gempa tetapi tetap ekonomis dalam pembangunannya. Dengan pendekatan ini, tujuan utama dari perencanaan

bangunan tahan gempa dapat tercapai, yakni meminimalkan biaya perbaikan pascagempa dan mengurangi potensi korban jiwa akibat runtuhnya struktur.

Masih mengacu pada Pawirodikromo (2012), filosofi desain bangunan tahan gempa mencakup beberapa prinsip berikut:

1. Saat terjadi gempa ringan (*minor earthquake*) yang sering terjadi, struktur utama bangunan harus tetap utuh dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil pada elemen non-struktural masih dapat diterima.
2. Pada gempa sedang (*moderate earthquake*) yang lebih jarang terjadi, struktur utama boleh mengalami kerusakan ringan atau retak, namun tetap bisa diperbaiki. Sementara elemen non-struktural bisa saja mengalami kerusakan dan dapat diganti.
3. Jika terjadi gempa besar (*strong earthquake*) yang sangat jarang, kerusakan bangunan diperbolehkan, asalkan tidak menyebabkan keruntuhan total.

3.3 Pembebanan Struktur

Analisis yang dilakukan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur bangunan ini menggunakan desain permodelan struktur sesuai data pada objek penelitian, perhitungan pembebanan perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban yang bekerja pada struktur. Pada penelitian ini pembebanan yang digunakan dalam analisis meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*earthquake load*). Beban-beban yang digunakan pada analisis mengacu pada peraturan-peraturan di bawah ini.

1. SNI 1727:2020, untuk perhitungan beban mati.
2. SNI 1727:2020, untuk perhitungan beban hidup.
3. SNI 1726:2019, untuk perhitungan beban gempa.

3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang berasal dari berat sendiri seluruh elemen struktur dan non-struktur bangunan yang bersifat tetap dan tidak berubah sepanjang waktu. Mengacu pada SNI-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain, beban mati pada suatu struktur gedung dapat dihitung

dengan berat sendiri bahan bangunan dan berat sendiri komponen gedung yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2

Tabel 3. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Beban	Satuan
Baja	7850	kg/m ³
Batu alam	2600	kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat bertumpuk)	1500	kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700	kg/m ³
Batu pecah	1450	kg/m ³
Besi tuang	7250	kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2200	kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2400	kg/m ³
Kayu (kelas 1) ⁽³⁾	1000	kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembap, tanpa diayak)	1650	kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	kg/m ³
Pasangan batu cetak	2200	kg/m ³
Pasangan batu karang	1450	kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembap)	1600	kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800	kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembap)	1850	kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembap)	1700	kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	kg/m ³
Timah hitam (timbang)	1140	kg/m ³

Sumber: PPIUG tahun 1983

Tabel 3. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Beban	Satuan
Adukan per cm tebal:		
- Dari semen	21	kg/m ²
- Dari kapur, semen merah atau tras	17	
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m ²
Dinding pasangan bata merah:		
- Satu batu	450	kg/m ²
- Setengah batu	250	
Dinding pasangan batako:		
- Berlubang:		
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	kg/m ²

Sumber: PPIUG tahun 1983

Lanjutan Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Beban	Satuan
- Tanpa lubang:		
• Tebal dinding 15 cm	300	
• Tebal dinding 10 cm	200	
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau paku), terpadu dari:		
- Semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm.	11	kg/m ²
- Kaca, dengan tebal 3-4 mm.	10	
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m.	7	kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	50	kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	40	kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	21	kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m ²
Ducting AC dan penerangan	30,6	kg/m ²

Sumber: PPIUG tahun 1983

3.3.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan salah satu komponen beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan dan bersifat tidak tetap serta berubah-ubah sesuai dengan fungsi penggunaan ruang. Beban ini dapat berasal dari aktivitas pengguna bangunan, perabot, peralatan, maupun benda-benda bergerak lainnya yang tidak memiliki posisi tetap. Dalam perancangan struktur, beban hidup harus diperhitungkan secara cermat agar mampu mencerminkan kondisi maksimum yang mungkin terjadi selama masa operasional bangunan. Sesuai ketentuan dalam SNI 1727:2020, beban hidup yang digunakan tidak boleh lebih kecil dari nilai minimum yang telah ditetapkan berdasarkan jenis dan fungsi ruang. Nilai-nilai minimum tersebut tercantum dalam Tabel 3.3, yang menjadi acuan untuk beban merata dalam perencanaan gedung. Penerapan beban hidup yang sesuai standar bertujuan untuk menjamin keselamatan struktural, terutama terhadap beban-beban yang sifatnya tidak pasti namun potensial terjadi secara signifikan sepanjang umur bangunan.

Tabel 3. 3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan ? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan ? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)
Jalur Penyelamatan saat Kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)				
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1
Batang pegangan				Lihat 4.5.1
Koridor				
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain			
Ruang makan dan restoran	100 (4,97)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)	
Hotel (lihat rumah tinggal)				
Perpustakaan				
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)
Tempat rekreasi				
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)	
Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)	
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)	
Gedung perkantoran				
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian				

Sumber: SNI 1727:2020

Lanjutan Tabel 3.3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan ? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan ? (No. Pasal)	Terpusat Ib (kN)
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)
Atap				
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-	4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama Dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-	
Atap vegetatif dan atap lansekap				
Atap bukan hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-	
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama Dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-	

Sumber: SNI 1727:2020

3.3.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan seluruh gaya yang bekerja pada struktur bangunan sebagai akibat dari getaran tanah yang ditimbulkan oleh aktivitas seismik. Pada analisis ini perhitungan beban gempa dilakukan menggunakan pendekatan gaya statis yang meningkat secara bertahap.

3.3.4 Kombinasi Pembebanan

Pada penelitian ini, struktur gedung menerima pengaruh beban mati, beban hidup, dan beban gempa untuk analisisnya. Mengacu pada SNI 1726:2019 dalam perencanaan struktur beban-beban yang bekerja harus ditinjau dengan kombinasi pembebanan yang telah ditentukan. Pemodelan struktur yang dilakukan hanya memperhitungkan 3 beban yang telah dibahas sebelumnya yaitu beban mati, beban

hidup, serta beban gempa, maka untuk analisis ini berikut kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai SNI 1726:2019.

$$1. \quad U = 1,4D \quad (3.1)$$

$$2. \quad U = 1,2D + 1,6L \quad (3.2)$$

$$3. \quad U = 1,2D + 1,0L + 1,0Eh + 0,3Ev \quad (3.3)$$

$$4. \quad U = 1,2D + 1,0L + 1,0Eh - 0,3Ev \quad (3.4)$$

$$5. \quad U = 1,2D + 1,0L - 1,0Eh + 0,3Ev \quad (3.5)$$

$$6. \quad U = 1,2D + 1,0L - 1,0Eh - 0,3Ev \quad (3.6)$$

$$7. \quad U = 1,2D + 1,0L + 0,3Eh + 1,0Ev \quad (3.7)$$

$$8. \quad U = 1,2D + 1,0L + 0,3Eh - 1,0Ev \quad (3.8)$$

$$9. \quad U = 1,2D + 1,0L - 0,3Eh + 1,0Ev \quad (3.9)$$

$$10. \quad U = 1,2D + 1,0L - 0,3Eh - 1,0Ev \quad (3.10)$$

$$11. \quad U = 1,0D + 0,5L \quad (3.11)$$

Dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

Ev = Beban Gempa Vertikal

Eh = Beban Gempa Horizontal

3.4 Analisis Struktur Bangunan Tahan Gempa

Analisis struktur untuk bangunan tahan gempa menjadi bagian penting dalam memastikan bahwa suatu bangunan mampu bertahan saat terjadi guncangan tanpa langsung mengalami kerusakan fatal. Dalam praktik perencanaan, analisis ini umumnya terbagi menjadi dua pendekatan utama, yaitu analisis statis dan analisis dinamis. Analisis statis digunakan untuk kasus-kasus sederhana, di mana gaya gempa diasumsikan sebagai gaya lateral setara yang bekerja secara konstan. Sementara itu, analisis dinamis digunakan untuk bangunan dengan bentuk tidak beraturan atau lokasi dengan risiko seismik tinggi, karena mempertimbangkan beban gempa sebagai fungsi waktu.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan dalam analisis struktur bangunan tahan gempa adalah analisis statik nonlinier atau dikenal sebagai

pushover analysis. Metode ini menambahkan beban lateral secara bertahap hingga struktur menunjukkan perilaku plastis. Hasil analisisnya berupa kurva kapasitas, yang menggambarkan hubungan antara base shear dan simpangan atap, untuk menilai seberapa jauh struktur mampu menahan gempa sebelum mencapai titik keruntuhan. Dari sini, dapat dievaluasi apakah struktur masih berada dalam level kinerja yang dapat diterima.

Analisis *pushover* ini relevan dengan pendekatan permodelan struktur bangunan yang diakomodasi dalam SNI 1726:2019. Standar ini memberikan panduan dalam pemodelan struktur, termasuk dalam penentuan parameter gempa seperti nilai S_s dan S_I , serta pembagian tingkat risiko bangunan berdasarkan fungsinya. SNI 1726:2019 juga menetapkan bahwa analisis nonlinier dapat digunakan sebagai alat evaluasi untuk bangunan baru maupun eksisting, dan mengatur bahwa sendi plastis dimodelkan sesuai interaksi momen dan gaya aksial (P-M2-M3 untuk kolom dan M3 untuk balok). Pemodelan ini dilakukan di ujung elemen, tepat di daerah tumpuan atau sambungan antar komponen.

Sebagai landasan dalam penerapan analisis struktur untuk bangunan tahan gempa, khususnya analisis *pushover*, diperlukan acuan teknis yang jelas dan terstandarisasi. Oleh karena itu, bagian berikut akan membahas ketentuan-ketentuan penting yang diatur dalam SNI 1726:2019, yang menjadi pedoman utama dalam pemodelan struktur dan penilaian kinerja seismik bangunan di Indonesia.

3.4.1 Kategori Risiko Bangunan Tahan Gempa

Dalam analisis kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa yang direncanakan ini perlu mengetahui kategori risiko dan faktor keutamaan gempa pada bangunan gedung yang ditinjau. Kategori risiko merujuk pada pengelompokan bangunan dan struktur berdasarkan tingkat konsekuensi terhadap keselamatan jiwa, ekonomi, dan fungsi penting apabila struktur tersebut mengalami kerusakan akibat gempa. Merujuk pada SNI 1726:2019, untuk mengetahui tingkay kategori risiko pada struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan yang tertera pada Tabel 3.4. Sesuai kategori risiko yang ditentukan sesuai Tabel 3.4, pengaruh beban gempa rencananya harus dikalikan dengan faktor keutaman gempa (I_e) yangb dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Penelitian ini menganalisis Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta dengan fungsi bangunan hunian, dimana sesuai pada Tabel 3.4 objek penelitian berada pada tingkat kategori risiko II. Pengaruh beban gempa rencananya akan dikalikan dengan nilai I_e sebesar 1,0 sesuai pada Tabel 3.5.

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung 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 - Pasar - Gedung Perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan nongedung 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 - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan masalah terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	III

Sumber: SNI 1726:2019

**Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahayanya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadamkebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatanpemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2019

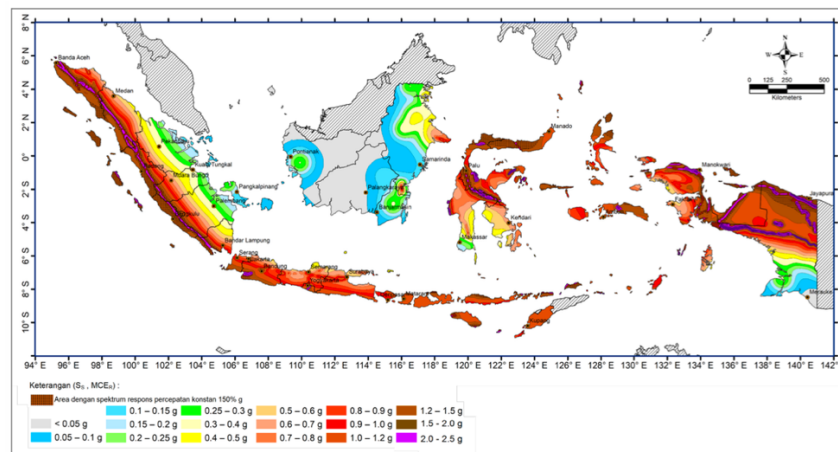
Tabel 3. 5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

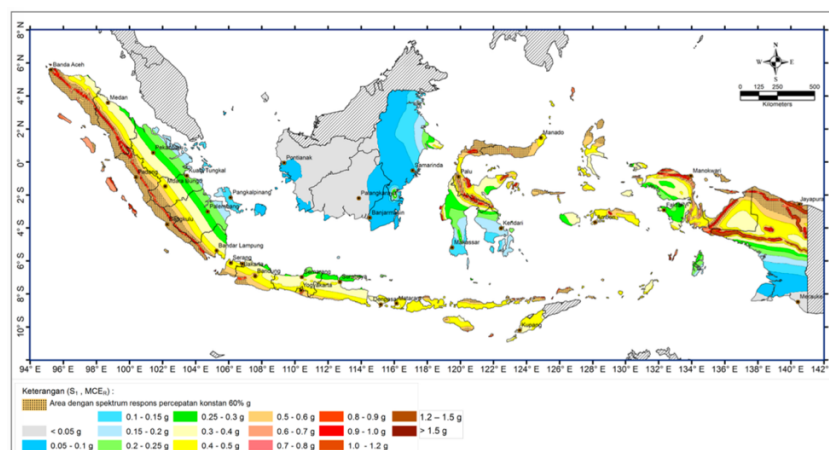
Sumber: SNI 1726:2019

3.4.2 Respon Spektrum

Desain gempa suatu bangunan gedung perlu mengetahui nilai respon spektrum sesuai daerahnya, dimana parameter pertama yang perlu diketahui yaitu parameter gerak tanah untuk periode pendek 0,2 detik (S_s) dan untuk periode panjang 1 detik (S_1) pada bangunan gedung yang ditinjau. Parameter S_s dan S_1 untuk suatu bangunan akan berbeda menyesuaikan lokasi bangunan tersebut, sesuai SNI 1726:2019 nilai S_s dan S_1 dapat dilihat melalui Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 1 Parameter Gerak Tanah S_s , Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 3. 2 Parameter Gerak Tanah S_1 , Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)
(Sumber: SNI 1726:2019)

Untuk mengetahui nilai respon spektrum juga diperlukan suatu faktor amplifikasi sebagai pengali parameter gerak tanah S_s dan S_I yang sudah diketahui sebelumnya melalui Gambar 3.2 dan Gambar 3.3. Faktor amplifikasi yang diperlukan yaitu F_a (faktor amplifikasi getaran pada periode 0,2 detik) dan F_v (faktor amplifikasi getaran pada periode 1 detik). Nilai respon spektrum pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode Panjang (S_{MI}) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.12)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3.13)$$

Keterangan:

S_{MS} = Parameter percepatan respon spektrum MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs

S_{MI} = Parameter percepatan respon spektrum MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs

S_s = Parameter percepatan respon spektrum MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5%

S_I = Parameter percepatan respon spektrum MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5%

F_a = Koefisien situs untuk periode pendek

F_v = Koefisien situs untuk periode pendek

Parameter faktor amplifikasi F_a dan F_v dapat dilihat melalui Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 6 Koefisien Situs Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCER) ter petakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>SC</i>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SE</i>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<i>SF</i>	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019

Keterangan:

SS^(a) = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

Tabel 3. 7 Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCER) ter petakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SC</i>	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
<i>SD</i>	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
<i>SE</i>	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
<i>SF</i>	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019

Keterangan:

SS^(a) = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

3.4.3 Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{DI}) ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.14)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3.15)$$

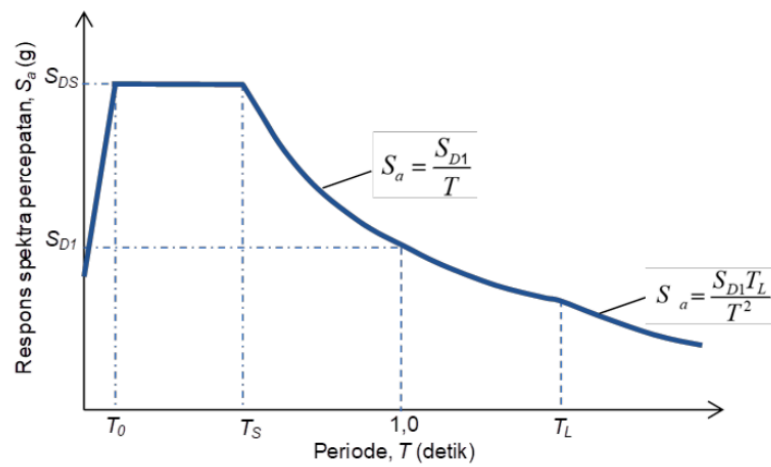
Keterangan:

S_{DS} = Parameter spektral desain pada periode pendek, redaman 5%

S_{D1} = Parameter spektral desain pada periode 1 detik, redaman 5%

3.4.4 Spektrum Respon Desain

Kurva spektrum respon desain dikembangkan sesuai dengan SNI 1726:2019 mengacu pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 3 Kurva Spektrum Respon Desain

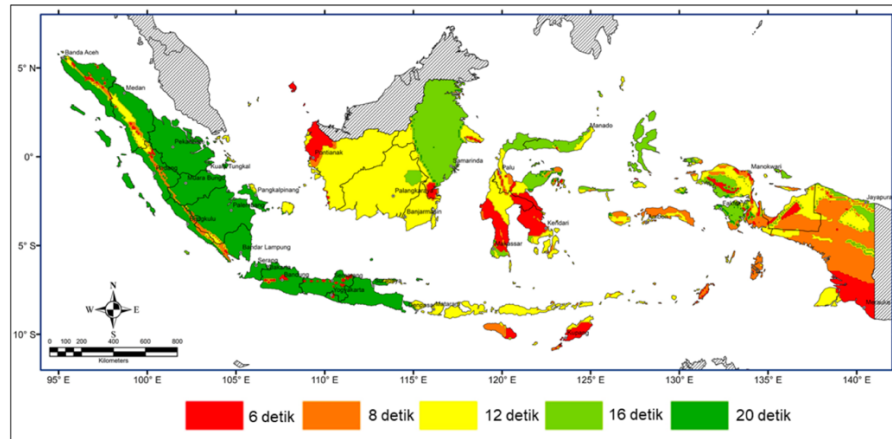
(Sumber: SNI 1726:2019)

Kurva spektrum respon desain merupakan grafik hubungan antara periode getar fundamental struktur (T) dengan percepatan respon spektrum (S_a). Untuk memperoleh nilai periode getar fundamental struktur yang digunakan dalam kurva spektrum respon desain digunakan persamaan berikut,

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.16)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.17)$$

dan untuk nilai T nilainya diambil sesuai SNI 1726:2019 pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 4 Peta Transisi Periode Panjang T_L Wilayah Indonesia
(Sumber: SNI 1726:2019)

Untuk nilai parameter percepatan respon spektrum (S_a) sesuai Gambar 3.4 diperoleh dengan memperhatikan persamaan berikut.

1. Untuk periode yang nilainya lebih kecil dari nilai T_0 , spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil dengan persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.18)$$

2. Untuk periode yang nilainya lebih besar sama dengan nilai T_0 dan lebih kecil sama dengan nilai T_S , spektrum respon percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode yang nilainya lebih besar dari nilai T_S tetapi lebih kecil sama dengan T_L , spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil dengan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.19)$$

4. Untuk periode yang nilainya lebih besar dari nilai T_L , spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil dengan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (3.20)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter spektral desain pada periode pendek, redaman 5%

S_{DI} = Parameter spektral desain pada periode 1 detik, redaman 5%

T = Periode getar fundamental struktur

T_L = Peta transisi periode panjang

3.4.5 Kategori Desain Seismik

Struktur bangunan gedung yang akan dianalisis harus ditentukan kategori desain seismiknya sesuai SNI 1726:2019. Struktur bangunan dengan kategori risiko I, II, dan III yang memiliki nilai percepatan respons spektrum untuk periode 1 detik (S_I) sebesar atau lebih dari 0,75 akan diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik E. Sementara itu, untuk struktur dengan kategori risiko IV dan nilai percepatan respons spektrum untuk periode 1 detik (S_I) sebesar atau lebih dari 0,75 diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik F. Adapun untuk jenis struktur lainnya, penentuan kategori desain seismiknya harus mempertimbangkan kategori risiko serta parameter spektral desain (S_{DS} dan S_{DI}), sesuai dengan ketentuan yang tercantum pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3. 8 Kategori Desain Seismik Pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3. 9 Kategori Desain Seismik Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

Setiap kategori desain sesimik yang telah dijelaskan sebelumnya masing-masing dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Kategori desain sesimik A dan B
Desain sesimik suatu bangunan yang berada pada kategori desain seismik A dan B sesuai Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 yaitu menggunakan desain Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMK) atau Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).
2. Kategori desain sesimik C
Desain sesimik suatu bangunan yang berada pada kategori desain seismik C sesuai Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 yaitu menggunakan desain Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) atau Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).
3. Kategori desain sesimik D
Desain sesimik suatu bangunan yang berada pada kategori desain seismik D sesuai Tabel 3.8 dan tabel 3.9 yaitu menggunakan desain Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK).
4. Kategori desain sesimik E dan F
Desain sesimik suatu bangunan yang berada pada kategori desain seismik E dan F sesuai Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 yaitu menggunakan desain struktur seismik yang sama dengan yang digunakan untuk kategori desain struktur D.

3.4.6 Faktor Parameter Struktur

Penggunaan sistem pemikul gaya seismik yang berbeda dalam menahan beban gempa diperbolehkan untuk masing-masing arah pada kedua sumbu ortogonal suatu struktur gedung. Artinya, sistem yang digunakan untuk menahan gaya gempa pada arah horizontal utama satu tidak harus sama dengan sistem pada arah horizontal utama lainnya. Apabila digunakan sistem yang berbeda pada masing-masing arah, maka setiap sistem wajib menggunakan nilai koefisien modifikasi respon (R), faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), dan faktor penguatan lebih (Ω_0) yang sesuai untuk sistem tersebut. Selain itu, seluruh ketentuan dan batasan terkait sistem struktur mengacu pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3. 10 Faktor R, C_d, dan Ω_0 Untuk Penikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefesien Modifikasi Respons, R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_o^b	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d^c	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dengan bresing eksentris	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan pelat beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan pelat beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726:2019

Catatan:

- a* = Koefisien modifikasi respon (R) untuk penggunaan keseluruhan standar.
- b* = Jika nilai pada tabel Ω_0 lebih besar sama dengan 2,5, maka Ω_0 diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.
- c* = Faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) untuk penggunaan dalam, 0, 0, dan 0.
- e* = Penjelasan sistem pemikul gaya sesimik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.
- f* = sistem pemikul gaya sesimik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.
- g* = Dinding geser didefinisikan sebagai dinding struktural.
- h* = Definisi “Dinding Struktural Khusus”, termasuk konstruksi pracetak dan cor di tempat.

3.4.7 Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T) pada arah yang sedang dianalisis harus ditentukan berdasarkan karakteristik aktual struktur serta sifat deformasi dari elemen-elemen pemikul beban melalui metode analisis yang teruji. Nilai T yang diperoleh dari analisis tidak boleh melampaui batas maksimum, yaitu hasil perkalian antara koefisien batas atas periode (C_u) dan nilai periode pendekatan (T_a) yang dihitung sesuai ketentuan. Sebagai alternatif, dalam pelaksanaan analisis, diperbolehkan secara langsung menggunakan nilai T_a sebagai estimasi T sesuai ketentuan. Untuk nilai C_u dapat dilihat sesuai Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3. 11 Koefisien Batas Atas Pada Periode 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

Sumber: SNI 1726:2019

Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam satuan detik diperoleh dengan parameter ketinggian bangunan yg dikalikan dengan koefisien C_t dan x mengacu pada SNI 1726:2019, berikut persamaannya.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.21)$$

Keterangan:

h_n = Ketinggian struktur dalam satuan meter (m).

Parameter C_t dan x diperoleh dari Tabel 3.12 di bawah ini.

Tabel 3. 12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
- Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019

Untuk struktur dengan tinggi bangunan lebih dari 12 tingkat dan system pemikul gaya sesimiknya berupa rangka pemikul momen beton ataupun baja dengan tinggin setiap lantai rerata 3 m dapat juga digunakan persamaan berikut untuk memperoleh nilai periode fundamental pendekatan (T_a).

$$T_a = 0,1N \quad (3.22)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat.

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton yang memiliki tinggi struktur tidak lebih dari 36,6 m persamaan untuk memperoleh nilai T_a diperbolehkan menggunakan persamaan yang mengacu pada SNI 1726:2019 sebagai berikut.

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (3.23)$$

Dari persamaan (3.23) untuk memperoleh nilai C_w digunakan persamaan berikut.

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0.83 \left(\frac{h_n}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (3.24)$$

Keterangan:

A_B = Luas dasar struktur (m^2).

A_i = Luas badan dinding geser ke- i (m^2).

D_i = Panjang dinding geser ke- i (m).

x = Jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

3.4.8 Gaya Geser Seismik

Gaya geser seismik (V_x) merupakan gaya seismik yang didistribusikan secara horizontal terhadap struktur pada elemen vertikalnya. Sesuai dengan acuan SNI 1726:2019, untuk mengetahui nilai V_x digunakan persamaan sebagai berikut.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (3.25)$$

Keterangan:

F_i = Gaya geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN).

3.4.9 Gaya Seismik Lateral

Gaya seismik lateral (F_x) merupakan gaya seismik yang didistribusikan secara horizontal terhadap struktur yang dianalisis pada setiap tingkatnya. Nilai F_x didapatkan dengan mengalikan nilai gaya geser seismik (V_x) dengan faktor distribusi vertikal (C_{vx}), berikut persamaannya sesuai SNI 1726:2019.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.26)$$

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.27)$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal.

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

w = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x .

h = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m).

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

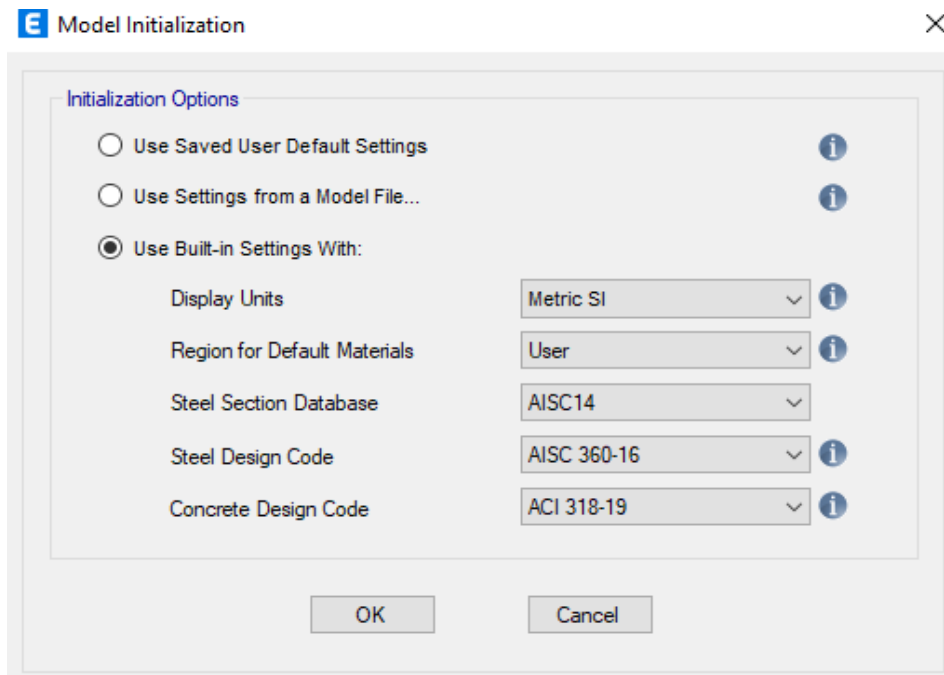
- Untuk struktur bangunan dengan $T \leq 0,5$ detik. $k = 1$
- Untuk struktur bangunan dengan $T \geq 2,5$ detik. $k = 2$
- Untuk struktur bangunan dengan $0,5 < T < 2,5$ detik. $k = 2$ atau dapat dengan interpolasi nilai 1 atau 2.

3.5 Permodelan Struktur dengan *Software* ETABS

Struktur bangunan gedung pada penelitian ini dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak ETABS. Permodelan struktur gedung dilakukan sesuai tahapan tahapan sebagai berikut.

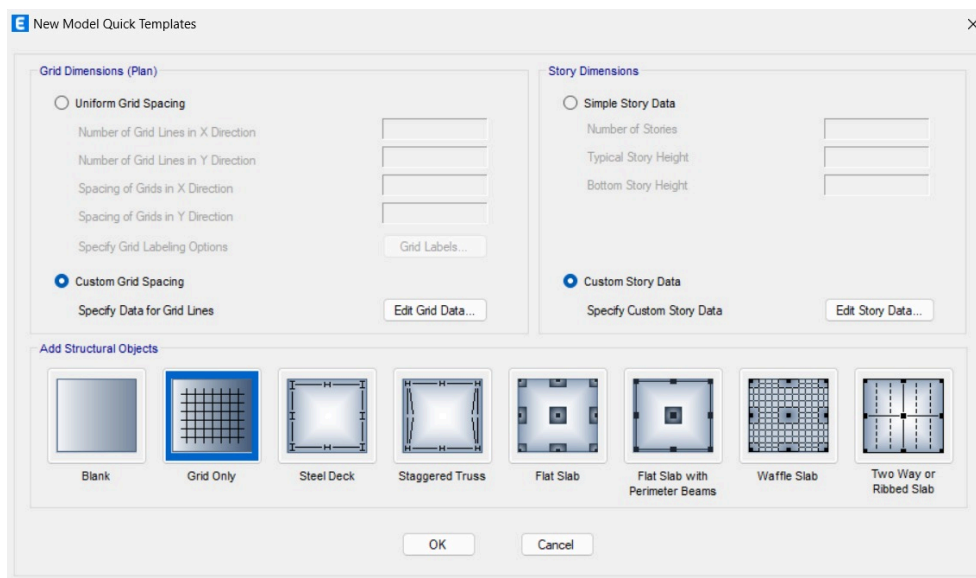
3.5.1 Permodelan Bentuk Bangunan

Tahapan pertama yang dilakukan pada ETABS yaitu memodelkan bentuk bangunan. Permodelan bentuk bangunan dilakukan dengan menekan perintah *New Model* pada *software* ETABS, selanjutnya pilih opsi *Use-Built-in settings* pada *Model Intialization* untuk menyesuaikan spesifikasi bangunan sesuai data. Setelah dilakukan pengaturan spesifikasi bangunan pada ETABS, selanjutnya dilakukan permodelan bentuk bangunan. Untuk memodelkan bentuk dan dimensi bangunan dilakukan dengan memilih opsi *Grid* pada *New Model Quick Templates* dan mengatur dimensi dan tinggi bangunan sesuai data DED pada menu *Grid System Data* dan *Story Data*. Tahapan ini lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.6 – 3.9 berikut ini.



Gambar 3. 5 Pengaturan Standar Awal Model Bangunan

(Sumber: *Software ETABS*)



Gambar 3. 6 New Model Quick Template

(Sumber: *Software ETABS*)

Grid System Data

Grid System Name:

System Origin:
 Global X: m
 Global Y: m
 Rotation: deg

Story Range Option:
☐ Default
☐ User Specified
 Top Story:
 Bottom Story:

Click to Modify/Show:

Options:
 Bubble Size: mm
 Grid Color:

Rectangular Grids
☐ Display Grid Data as Ordinates
☒ Display Grid Data as Spacing

X Grid Data

Grid ID	X Spacing (m)	Visible	Bubble Loc
1	8	Yes	End
2	9.1	Yes	End
3	8	Yes	End
4	8	Yes	End
5	8	Yes	End
6	8	Yes	End

Y Grid Data

Grid ID	Y Spacing (m)	Visible	Bubble Loc
A	8	Yes	Start
B	9	Yes	Start
C	6,175	Yes	Start
D	9,225	Yes	Start
E	0	Yes	Start

Quick Start New Rectangular Grids...

OK Cancel

Gambar 3. 7 Permodelan Dimensi *Grid* pada Bangunan

(Sumber: *Software ETABS*)

Story Data

Story	Height (m)	Elevation (m)	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height (m)	Story Color
Roof	3.3	33.95	Yes	None	No	0	
Story9 (pool)	4	30.65	Yes	None	No	0	
Story8	3.3	26.65	Yes	None	No	0	
Story7	3.3	23.35	Yes	None	No	0	
Story6	3.3	20.05	Yes	None	No	0	
Story5	3.3	16.75	Yes	None	No	0	
Story4	3.3	13.45	Yes	None	No	0	
Story3	4.5	10.15	Yes	None	No	0	
Story2	4.35	5.65	Yes	None	No	0	
Story1	3.1	1.3	Yes	None	No	0	
Groundfloor		-1.8					

Note: Right Click on Grid for Options

OK Cancel

Gambar 3. 8 Permodelan Tinggi *Story* pada Bangunan

(Sumber: *Software ETABS*)

3.5.2 Definisi Material

Tahap selanjutnya yaitu pendefinisian material struktur bangunan. Material yang perlu didefinisikan pada software ETABS yaitu beton dan baja tulangan yang digunakan pada struktur bangunan ditinjau. Pendefinisian material dilakukan

dengan cara klik *Add New Material* pada menu *Material Properties*, selanjutnya isi spesifikasi material dan mutu beton dan baja tulangan pada *Material Property Data* yang digunakan pada bangunan. Tahapan ini lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11 berikut ini.

Material Property Data

General Data

Material Name: FC 30 MPa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 23,5631 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2402,77 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 24855,58 MPa

Poisson's Ratio, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0,0000099 1/C

Shear Modulus, G: 10356,49 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

☐ User Specified

OK Cancel

Gambar 3. 9 Spesifikasi Material

(Sumber: *Software ETABS*)

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: FC 30 MPa

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade: FC 30 MPa

Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'_c : 30 MPa

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

OK Cancel

Gambar 3. 10 Material Property Design Data

(Sumber: Software ETABS)

3.5.3 Definisi Struktur Bangunan

Tahap pendefinisian struktur bangunan ini dilakukan dengan memasukkan data dimensi seluruh elemen struktur pada bangunan pada ETABS, elemen struktur yang didefinisikan yaitu balok, kolom, pelat, dinding geser. Pendefinisian struktur untuk elemen kolom dan balok dilakukan dengan klik *Define > Section Properties > Frame Section*, selanjutnya klik *Add New Property* pada menu *Frame Section* dan sesuaikan dengan dimensi dan tulangan yang digunakan elemen struktur pada menu *Frame Section Property Data*. Untuk elemen struktur pelat, pendefinisian struktur dilakukan dengan klik *Define > Section Properties > Slab Section*, selanjutnya klik *Add New Property* pada menu *Slab Section* dan sesuaikan dimensi dan spesifikasi elemen pelat pada menu *Slab Property Data*. Untuk elemen dinding geser pendefinisian struktur dilakukan dengan tahapan yang sama, hanya saja dipilih menu *Wall Section*. Pendefinisian struktur pada ETABS ini lebih jelasnya dapat dilihat seperti pada Gambar 3.12 – Gambar 3.15 berikut.

Section Designer Section Property Data

General Data

Property Name: K1b

Base Material: Beton F'c 30 MPa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Design Type

☐ No Check/Design ☐ General Steel Section

☒ Concrete Column ☐ Composite Column

Concrete Column Check/Design

☒ Reinforcement to be Checked

☐ Reinforcement to be Designed

Define/Edit/Show Section

Section Designer...

Section Properties

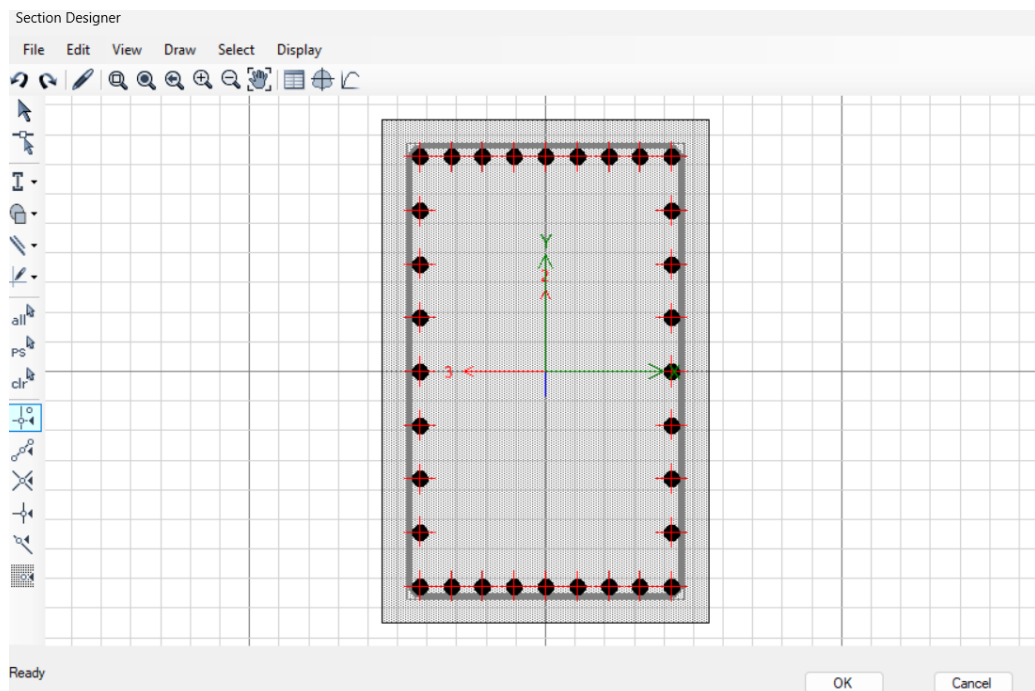
Properties...

Property Modifiers

Set Modifiers...

OK Cancel

Gambar 3. 11 Pendefinisian *Frame Section* Elemen Balok dan Kolom
(Sumber: *Software ETABS*)



Gambar 3. 12 Pendefinisian Tulangan Elemen Balok dan Kolom
(Sumber: *Software ETABS*)

Slab Property Data

General Data

Property Name: S1

Slab Material: FC 30 MPa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thick

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Blue] Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Slab

Thickness: 130 mm

OK Cancel

Gambar 3. 13 Pendefinisian *Slab Property* Elemen Pelat
(Sumber: *Software ETABS*)

Wall Property Data

General Data

Property Name: W1

Property Type: Specified

Wall Material: FC 30 MPa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thick

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Cyan] Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 400 mm

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

OK Cancel

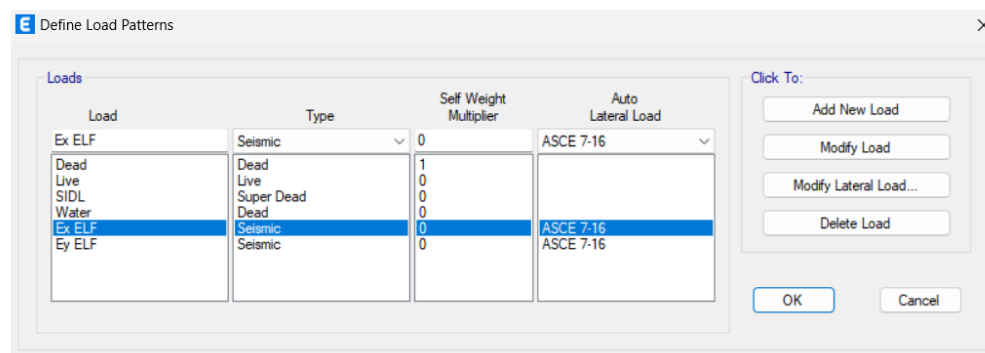
Gambar 3. 14 Pendefinisian *Wall Property* Elemen Dinding Geser
(Sumber: *Software ETABS*)

3.5.4 Pembebanan Bangunan

Pembebanan pada bangunan merupakan tahap penerapan beban yang bekerja terhadap struktur pada *software* ETABS untuk keperluan analisis. Jenis pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beban mati (*Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), serta beban lateral berupa beban gempa. Tahapan pendefinisian pembebanan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Pendefinisian beban pada *Load Patterns*

Proses pendefinisian pembebanan pada bangunan dilakukan melalui menu *Load Patterns*, dengan langkah awal memilih *Define > Load Pattern*, selanjutnya isikan data pembebanan sesuai data pada menu *Define Load Patterns* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3. 15 Pembebanan Bangunan pada *Load Patterns*

(Sumber: *Software* ETABS)

Dari Gambar 3.16 di atas dapat dilihat beban gempa arah x (Ex) dan beban arah y (Ey) memiliki *Auto Lateral Load* sendiri. Untuk pembebanan gempa arah X dan arah Y pada *Auto Lateral Load*, digunakan standar ASCE 7-10 karena telah mengikuti regulasi terbaru yang tersedia dalam perangkat lunak ETABS. Namun, pembebanan gempa ini perlu disesuaikan atau dimodifikasi berdasarkan data hasil perhitungan yang telah diperoleh sebelumnya. Lebih jelas mengenai data yang dimasukkan untuk pembebanan gempa arah X dan Y dapat dilihat pada Gambar 3.17 dan Gambar 3.18 berikut.

ASCE 7-16 Seismic Loading

Direction and Eccentricity

- ☒ X Dir
- ☐ Y Dir
- ☒ X Dir + Eccentricity
- ☐ Y Dir + Eccentricity
- ☒ X Dir - Eccentricity
- ☐ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Time Period

☐ Approximate ☐ Program Calculated ☐ User Defined

Ct (ft), x =

T =

Story Range

Top Story for Seismic Loads

Bottom Story for Seismic Loads

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fa

Site Coefficient, Fv

Calculated Coefficients

SDS = (2/3) * Fa * Ss

SD1 = (2/3) * Fv * S1

Factors

Response Modification, R

System Overstrength, Omega

Deflection Amplification, Cd

Occupancy Importance, I

Gambar 3. 16 Modify Lateral Load pada Pembebanan Gempa Arah X
(Sumber: Software ETABS)

ASCE 7-16 Seismic Loading

Direction and Eccentricity

- ☐ X Dir
- ☒ Y Dir
- ☐ X Dir + Eccentricity
- ☒ Y Dir + Eccentricity
- ☐ X Dir - Eccentricity
- ☒ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Time Period

☐ Approximate ☒ Program Calculated ☐ User Defined

Ct (ft), x =

T =

Story Range

Top Story for Seismic Loads

Bottom Story for Seismic Loads

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fa

Site Coefficient, Fv

Calculated Coefficients

SDS = (2/3) * Fa * Ss

SD1 = (2/3) * Fv * S1

Factors

Response Modification, R

System Overstrength, Omega

Deflection Amplification, Cd

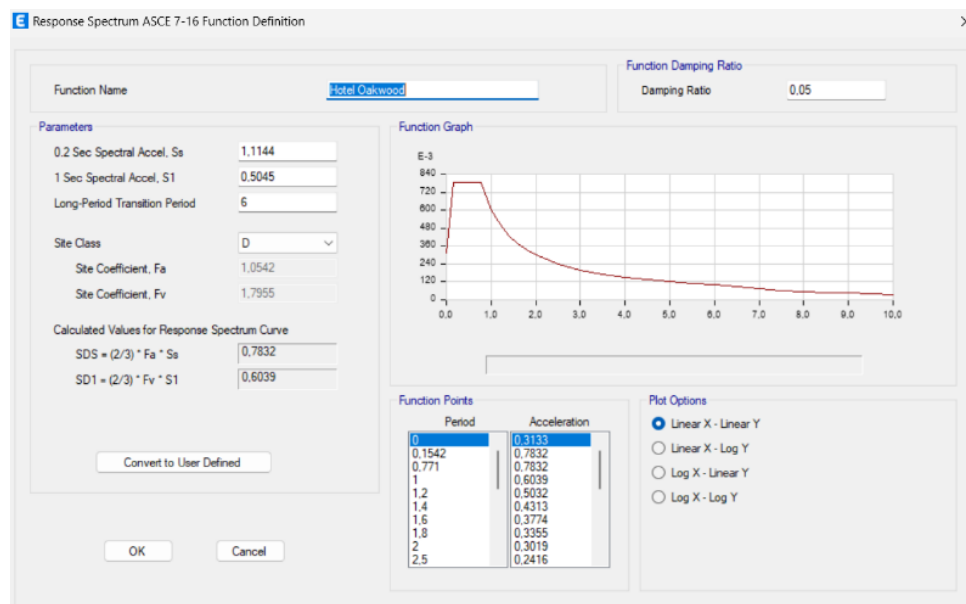
Occupancy Importance, I

Gambar 3. 17 Modify Lateral Load pada Pembebanan Gempa Arah Y
(Sumber: Software ETABS)

2. Pendefinisian respon spektrum

Proses pendefinisian respon spektrum dilakukan dengan cara klik Define > Function > Response Spectrum, selanjutnya pilih opsi Choose Function Tipe to Add pada menu Define Response Spectrum. Untuk pendefinisian respon spektrum ini dipilih standar sesuai ASCE 7-10, selanjutnya setelah dipilih

ASCE 7-10 maka klik Add New Function dan isikan data nilai S_s dan S_1 sesuai data bangunan yang ditinjau. Lebih jelasnya untuk tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.19 berikut.

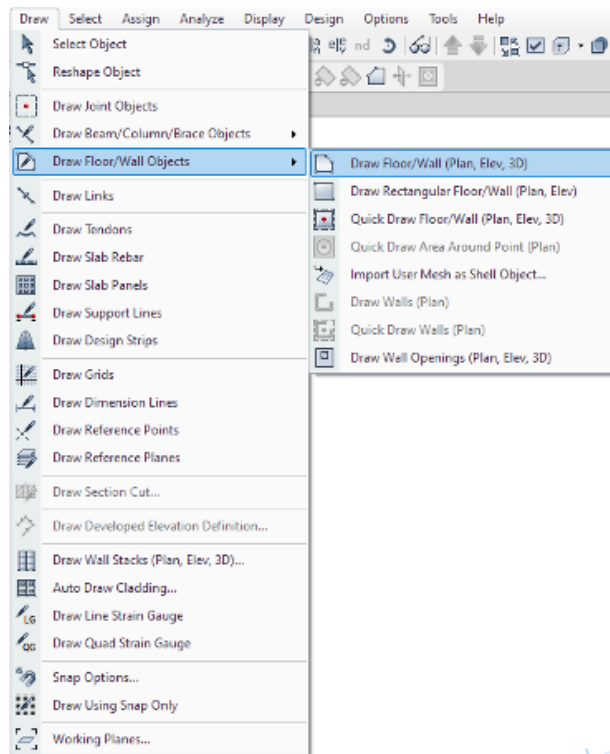


Gambar 3. 18 Input Data Grafik Respon Spektrum

(Sumber: *Software ETABS*)

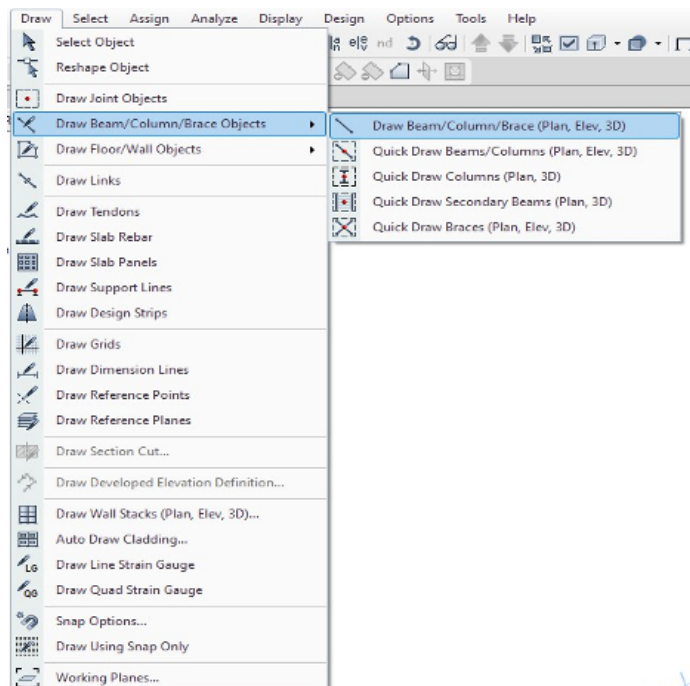
3.5.5 Permodelan Struktur Bangunan

Tahap permodelan struktur bangunan yang ditinjau dilakukan setelah pendefinisian material dan spesifikasi dari setiap elemen struktur telah dilakukan. Permodelan struktur bangunan dilakukan pada elemen struktur balok, kolom, pelat, dan dinding geser bangunan. Permodelan elemen struktur balok dan kolom pada software ETABS dilakukan dengan cara klik Draw > Draw Beam/Column/Brace Object, lalu pilih tools yang diperlukan untuk permodelan. Sedangkan untuk elemen struktur pelat dan dinding geser cara permodelan yang dilakukan yaitu dengan klik Draw > Draw Floor/Wall Objects, lalu pilih tools yang diperlukan untuk permodelan. Tahapan ini secara jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.20 dan Gambar 3.21 berikut.



Gambar 3. 19 Permodelan Elemen Struktur Balok dan Kolom

(Sumber: *Software ETABS*)

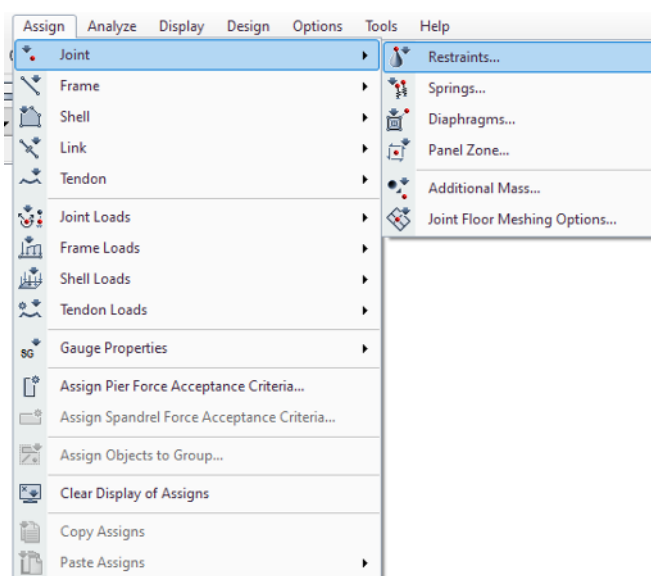


Gambar 3. 20 Permodelan Elemen Struktur Balok dan Kolom

(Sumber: *Software ETABS*)

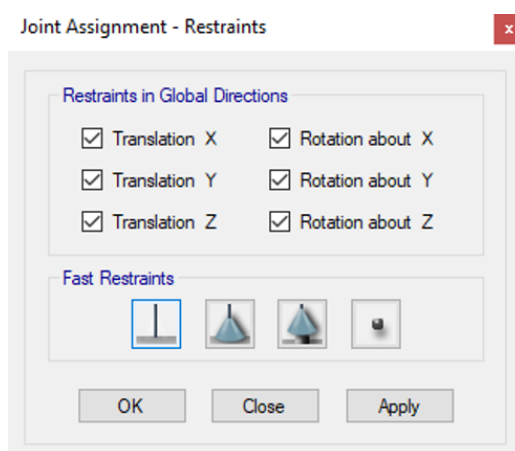
3.5.6 Penentuan *Joint Restraint*

Tahap penentuan joint restraint struktur bangunan pada ETABS dilakukan untuk dapat menentrukan jenis dari tumpuan (*joint*) yang digunakan pada Struktur bangunan yang ditinjau. Penentuan *Joint Restraint* dilakukan dengan cara *Select* pada semua tumpuan paling bawah pada struktur bangunan, selanjutnya klik *Assign > Joint > Restraint* lalu pilih opsi tumpuan jepit. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.22 dan Gambar 3.23 berikut ini.



Gambar 3. 21 Penentuan *Joint Restraints*

(Sumber: *Software ETABS*)



Gambar 3. 22 Jenis Pilihan dari *Joint Restraints*

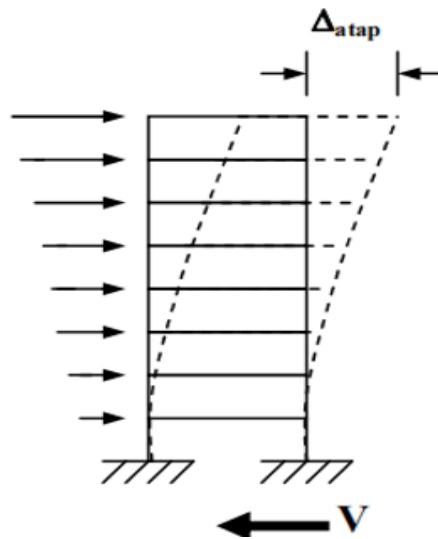
(Sumber: *Software ETABS*)

3.6 Analisis Statik Non-Linear *Pushover*

Analisis *pushover* merupakan salah satu metode analisis statik nonlinier yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktur terhadap beban lateral akibat gempa. Dalam prosedur ini, beban lateral diterapkan secara bertahap pada struktur hingga tercapai target simpangan atau terbentuk mekanisme keruntuhan akibat terjadinya pelelehan pada elemen-elemen struktural seperti balok dan kolom. Pendekatan ini merupakan bagian dari desain berbasis kinerja (*performance-based design*), di mana fokus utamanya adalah untuk mengetahui batas kemampuan deformasi struktur secara inelastik sebelum mencapai kondisi tidak stabil. Seiring bertambahnya beban lateral, elemen-elemen struktur mulai menunjukkan perilaku non-linear. Sendi plastis terbentuk pertama kali pada komponen yang paling lemah, dan seiring pembebanan bertambah, semakin banyak elemen yang mengalami leleh. Hal ini memungkinkan perancang untuk mengidentifikasi elemen-elemen mana yang lebih rentan terhadap kerusakan dan memerlukan perhatian lebih dalam tahap pendetailan atau perkuatan.

Menurut (Chopra, 2012), analisis *pushover* dapat digunakan untuk memperkirakan kapasitas struktur dan urutan plastifikasi elemen, meskipun memiliki keterbatasan dalam menangkap respons dinamik penuh struktur terhadap gempa yang kompleks. Meskipun tidak sekompleks analisis dinamik non-linear, metode ini cukup andal untuk memperkirakan urutan kerusakan, distribusi deformasi, serta kapasitas struktur terhadap beban gempa secara efisien.

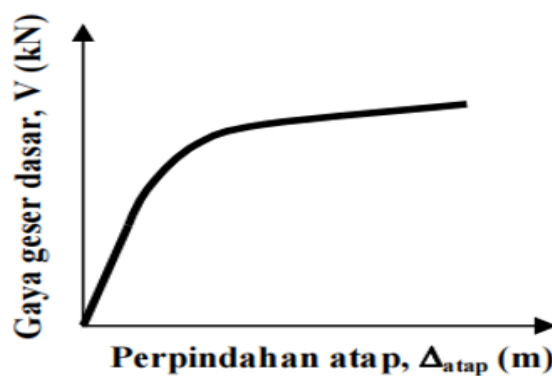
Dalam penerapannya menggunakan perangkat lunak ETABS, hasil dari analisis ini disajikan dalam bentuk kurva kapasitas (*capacity curve*), yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) terhadap simpangan lateral pada titik kontrol di lantai atap. Kurva ini digunakan untuk menilai seberapa besar deformasi yang masih dapat ditoleransi oleh struktur sebelum mencapai keruntuhan, sekaligus menjadi dasar dalam mengevaluasi tingkat kinerja struktur terhadap gempa. Skema analisis *pushover* dapat dilihat pada Gambar 3.24 berikut.



Gambar 3. 23 Skema Analisis Statik Non-Linear *Pushover*

(Sumber: ATC-40 Volume 1, 1996)

Metode evaluasi kinerja struktur dilakukan menggunakan *Capacity Spectrum Method* (CSM) yang direkomendasikan dalam ATC-40. Metode ini menghubungkan hasil dari analisis *pushover* berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) dengan kurva permintaan (*demand curve*). Kurva kapasitas dari analisis *pushover* yang awalnya merupakan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*) akan ditransformasikan ke dalam format spektrum percepatan (S_a) dan spektrum perpindahan (S_d), sehingga dapat dibandingkan secara langsung dengan respon spektrum gempa yang telah disesuaikan. Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.25 di bawah ini.



Gambar 3. 24 Kurva Kapasitas

(Sumber: ATC-40 Volume 1, 1996)

3.7 Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Dalam penerapan metode spektrum kapasitas, sangat penting untuk mengkonversi kurva kapasitas (hasil analisis *pushover*) yang awalnya menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap menjadi bentuk spektrum kapasitas. Spektrum kapasitas ini merepresentasikan kurva tersebut dalam format *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS), yaitu sebagai hubungan antara percepatan spektral (S_a) dan perpindahan spektral (S_d). Untuk merepresentasikannya perlu dipahami hubungan partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 3.26 berikut.

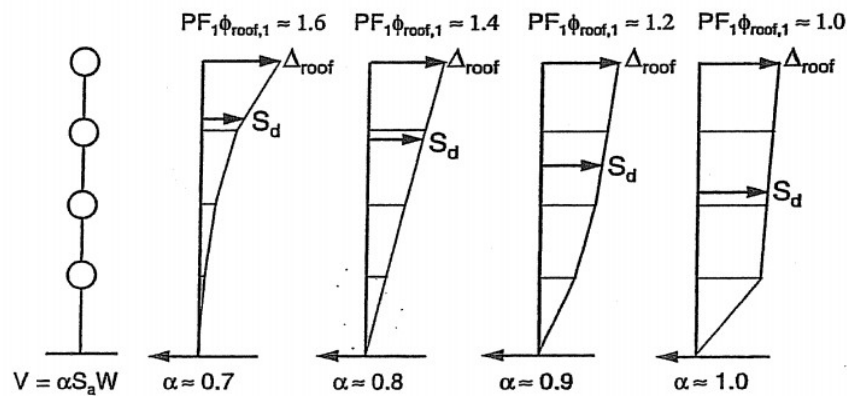


Figure 8-5. Example Modal Participation Factors and Modal Mass Coefficients

Gambar 3. 25 Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa

(Sumber: ATC-40 Volume 1, 1996)

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk mengubahnya adalah :

$$Pfi = \left[\frac{\sum_{i=1}^N \frac{w_1 \phi_{1i}}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{w_1 \phi_{1i}^2}{g}} \right] \quad (3.28)$$

$$\alpha_1 = \left[\frac{\left[\sum_{i=1}^N \frac{w_1 \phi_{1i}}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N \frac{w_1}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^N \frac{w_1 \phi_{1i}^2}{g} \right]} \right] \quad (3.29)$$

Selanjutnya percepatan spektral (S_a) dan perpindahan spektral (S_d) dapat dihitung dengan,

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3.30)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{P_f i \phi_{roof i}} \quad (3.31)$$

Keterangan:

$P_f i$ = Faktor partisipasi ragam, untuk ragam ke-1.

α_1 = Koefisien massa ragam untuk ragam ke-1.

W_i/g = Massa lantai i.

ϕ_{i1} = Perpindahan pada lantai I pada ragam ke-1.

N = Jumlah lantai.

V = Gaya geser dasar.

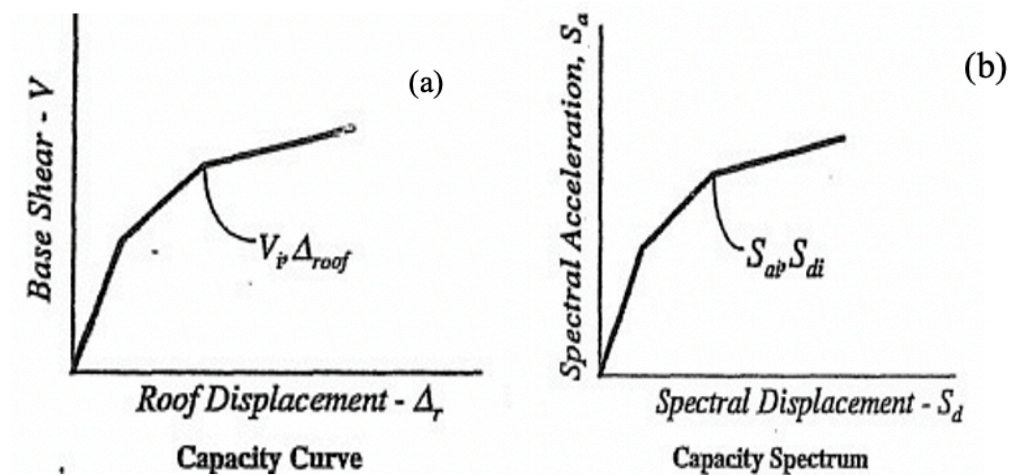
W = Berat struktur (akibat ebban mati dan ebban hidup tereduksi).

Δ_{roof} = Perpindahan atap (yaitu digunakan pada kurva kapasitas).

S_a = Spektrum percepatan.

S_d = Spektrum perpindahan

Dari persamaan-persamaan di atas, maka dapat digambarkan kurva dalam format ADRS (spektrum kapasitas) yang berasal dari kurva kapasitas dari analisis pushover yang dilakukan. Perubahan format dari kurva kapasitas ke spektrum kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.27 berikut.

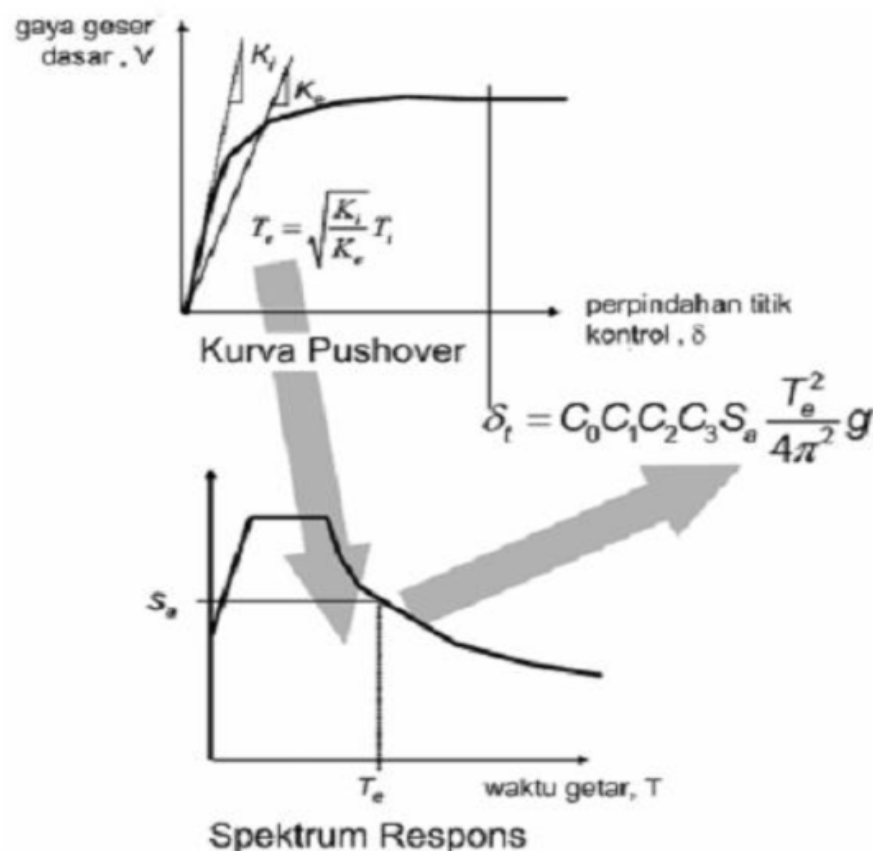


Gambar 3. 26 Perubahan Format Kurva Kapasitas
(a) Kurva Kapasitas Format Standar (b) Kurva Kapasitas Format ADRS

(Sumber: ATC-40 Volume 1, 1996)

3.8 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Metode koefisien perpindahan adalah pendekatan yang digunakan dalam FEMA 356 untuk analisis statik non-linear. Dalam metode ini, perhitungan dilakukan dengan menyesuaikan nilai koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 hingga diperoleh perpindahan global maksimum, baik elastis maupun inelastis, yang dikenal sebagai target displacement (δ_T). Proses perhitungannya diawali dengan penentuan waktu getar efektif (T_e) yang mencerminkan kondisi inelastis dari struktur bangunan. Skema proses perubahan format kurva kapasitas dari analisis pushover menjadi kurva spektrum respon yang untuk metode koefisien perpindahan ini dapat diilustrasikan seperti Gambar 3.28 di bawah ini.



Gambar 3. 27 Skema Prosedur Metode Koefisien Perpindahan

(Sumber: FEMA 356, 2000)

Nilai δ_T dapat diperoleh dengan persamaan berikut,

$$\delta_T = C_0.C_1.C_2.C_3 Sa. \frac{T_e^2}{2.\pi} . g \quad (3.30)$$

Keterangan:

- T_e = Waktu getar alami efektif memperhitungkan kondisi inelastis.
- C_0 = Faktor modifikasi, menghubungkan perpindahan spectral system SDOF ekuivalen dengan perpindahan atap pada system bangunan MDOF.
- C_1 = Faktor modifikasi, menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastic linear.
- C_2 = Faktor modifikasi, untuk memperhitungkan efek “pinching” beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan maksimum.
- C_3 = Faktor modifikasi, untuk memperhitungkan kenaikan lateral akibat efek P-delta.
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/det²).

Untuk memperoleh nilai faktor modifikasi C_0 dan C_2 yang digunakan pada Persamaan 3.30 di atas maka dapat dilihat sesuai Tabel 3.13 dan Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3. 13 Nilai Faktor Modifikasi C_0^1

Jumlah Tingkat	Bangunan Geser ²		Bangunan Lainnya
	<i>Trianggular Load Pattern</i>	<i>Uniform Load Pattern</i>	<i>Any Load Pattern</i>
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,2	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5
1. Interpolasi linear yang harus digunakan untuk menghitung nilai tengah 2. Bangunan dimana, untuk setiap lantai, simpangan antar lantai menurun seiring dengan penurunan tinggi.			

Sumber: FEMA 356, 2000

Tabel 3. 14 Nilai Faktor Modifikasi C_2

Level Kinerja Struktur	$T \leq 0,1 \text{ Detik}^3$		$T \geq T_s \text{ Detik}^3$	
	Tipe Rangka 1 ¹	Tipe Rangka 2 ²	Tipe Rangka 1 ¹	Tipe Rangka 2 ²
<i>Immediate Occupancy</i>	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Life Safety</i>	1,3	1,0	1,1	1,0
<i>Collapse Prevention</i>	1,5	1,0	1,2	1,0
1. Struktur yang memiliki tingkat geser lebih besar sama dengan 30% di setiap level ditahan oleh beberapa kombinasi antara komponen, elemen, atau rangka. 2. Semua rangka yang tidak termasuk Tipe Rangka 1. 3. Interppolasi linear yang harus digunakan untuk menghitung nilai tengah T .				

Sumber: FEMA 356, 2000

Selain nilai faktor modifikasi C_0 dan C_2 yang digunakan pada Persamaan 3.30, untuk memperoleh nilai target displacement (δ_T) juga perlu diketahui nilai faktor modifikasi C_1 dan C_3 sesuai dengan persamaan-persamaan berikut,

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e \geq T_s \quad (3.31)$$

$$C_1 = \frac{\left[1 + (R-1) \frac{T_e}{T_s}\right]}{R} \text{ untuk } T_e < T_s \quad (3.32)$$

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{R} \quad (3.33)$$

Dengan nilai R didapatkan dengan persamaan:

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \cdot C_m \quad (3.34)$$

Keterangan:

T_s = Waktu getar karakteristik dari kurva respon spektrum.

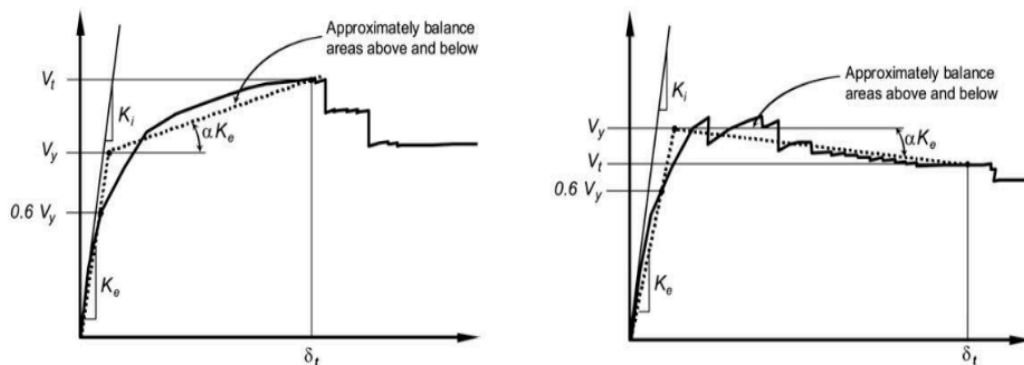
R = Rasio kuat elastic.

S_a = Respon spektrum percepatan desain.

V_y = Gaya geser pada keadaan titik leleh.

- W = Total beban mati dan beban mati direduksi.
 C_m = Faktor massa efektif diambil dengan Tabel 3.13.
 α = Rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastic efektif.

Pada kondisi pasca leleh, struktur mulai menunjukkan respons nonlinier seperti degradasi kekakuan, penurunan kekuatan, dan kurva histeresis yang menyempit. Penerapan koefisien C_2 dan C_3 dalam metode koefisien perpindahan berfungsi untuk mengoreksi efek kerusakan kumulatif dan respons inelastis. Dengan mempertimbangkan perilaku pasca leleh secara eksplisit, metode ini menghasilkan estimasi perpindahan maksimum yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata struktur saat mengalami gempa besar. Gambara perilaku pasca leleh untuk system struktur suatu bangunan dapat dilihat pada Gambar 3.29 berikut.



Gambar 3. 28 Kurva Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur

(Sumber: FEMA 356, 2000)

3.9 Mekanisme Sendi Plastis

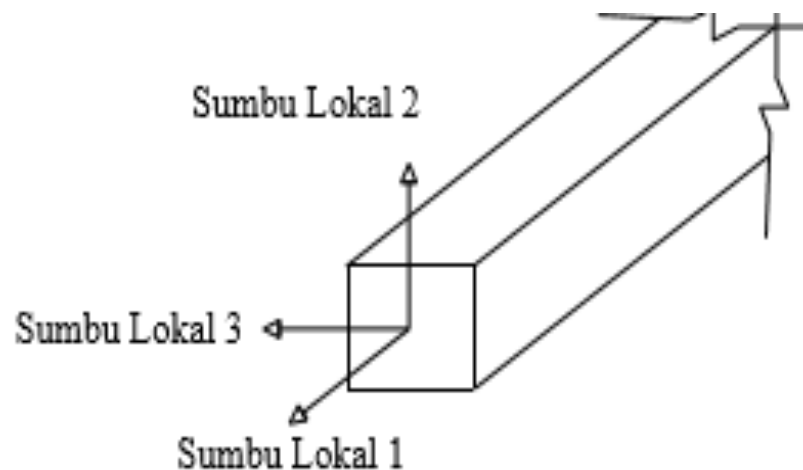
Sendi plastis adalah bagian pada elemen struktur di mana terjadi deformasi tetap akibat gaya eksternal yang melampaui batas elastis material, tetapi belum mencapai kegagalan total. Dalam konteks struktur tahan gempa, sendi plastis merupakan elemen penting yang memungkinkan struktur mampu menyerap gaya atau beban gempa secara berulang tanpa runtuh. Menurut wiryanto Dewobroto (2014), Sendi plastis dalam struktur beton bertulang didesain untuk terbentuk di

tempat tertentu, biasanya pada ujung balok, agar energi gempa dapat diidipasi secara aman melalui rotasi plastis yang terkendali.

Dalam penelitian ini evaluasi struktur bangunan dilakukan dengan pendekatan performa, sehingga plastistas strukturnya ditargetkan memenuhi prinsip *strong clumn weak beam* (SCWB), yaitu balok dirancang untuk dapat mencapai plastisitas terlebih dahulu dibandingkan kolomnya. Dengan prinsip SCWB, elemen balok pada struktur gedung akan runtuh terlebih dahulu, sedangkan jika yang mengalami plastisitas terlebih dahulu terjadi pada elemen kolom, maka seluruh struktur gedung akan runtuh. Untuk dapat mencapai sendi plastis berikut langkah-langkah sebagai berikut.

1. *Hinge Properties* Balok

Data properti sendi (*hinge properties*) dimasukkan pada bagian penampang balok di area tumpuan, yaitu lokasi yang direncanakan untuk terbentuknya sendi plastis. Setiap penampang balok dimodelkan dengan tipe pembebanan momen (M3), yang menunjukkan bahwa sendi plastis hanya akan terjadi akibat momen terhadap sumbu lokal 3. Arah sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 3.30 di bawah ini.

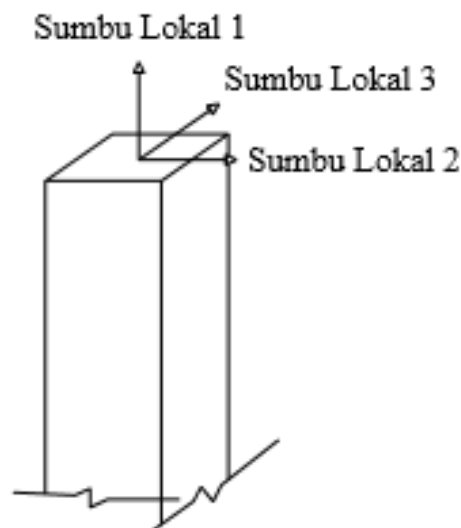


Gambar 3. 29 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur

(Sumber: Dewobroto, 2006)

2. *Hinge Properties* Kolom

Hinge properties untuk elemen kolom dimodelkan menggunakan pendekatan P-M2-M3, yang berarti bahwa terbentuknya sendi plastis disebabkan oleh interaksi antara gaya aksial (P) dan momen lentur pada sumbu lokal 2 serta sumbu lokal 3. Dalam konteks penelitian ini, setiap kolom yang dianalisis memiliki kapasitas momen yang setara pada kedua sumbu tersebut. Hal ini terjadi karena penampang kolom berbentuk persegi dan distribusi tulangan yang merata di keempat sisi kolom. Arah sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 3.31 di bawah ini.

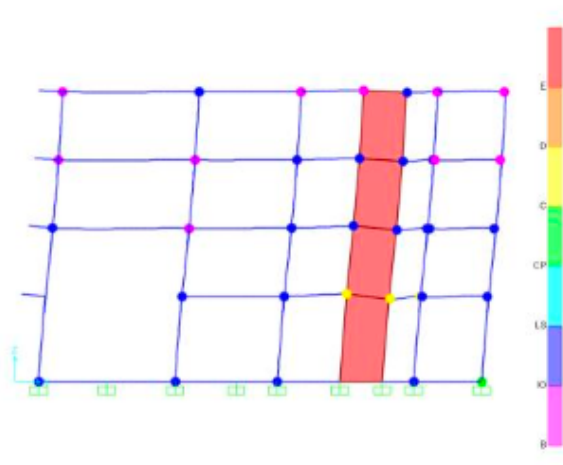


Gambar 3. 30 Posisi Sumbu Lokal Kolom Struktur

(Sumber: (Dewobroto, 2006))

3. Penentuan Sendi Plastis

Setelah mendefinisikan properti sendi plastis (*hinge properties*) untuk balok dan kolom, langkah selanjutnya adalah menentukan lokasi yang diharapkan sebagai tempat terbentuknya sendi plastis. Pada elemen balok, posisi 0 menunjukkan titik awal dari panjang bersih balok, sementara posisi 1 menunjukkan titik akhir dari panjang bersih balok; keduanya berada tepat di depan kolom. Demikian pula untuk elemen kolom, posisi 0 menandai awal panjang bersih kolom, dan posisi 1 menandai akhirnya.



Gambar 3. 31 Sendi Plastis yang Terjadi pada Balok dan Kolom

(Sumber: Syahira & Jamal, 2023)

Perilaku sendi plastis pada elemen digambarkan menggunakan variasi warna yang berbeda. Setiap warna merepresentasikan kondisi tertentu dari sendi plastis tersebut. Keterangan warna-warna tersebut sesuai dengan tingkat kerusakan atau deformasi yang terjadi dapat dilihat melalui Tabel 3.15 berikut.

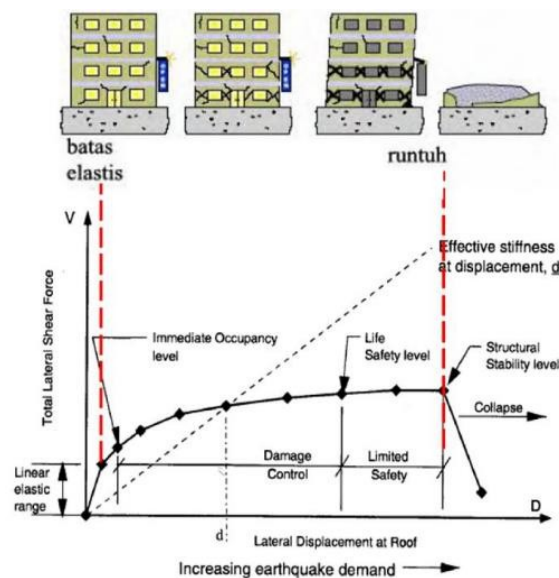
Tabel 3. 15 Keterangan Warna Sendi Plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur.
IO	●	Terjadi kerusakan kecil (tidak berarti) pada struktur dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadinya gempa.
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga sedang pada struktur dan kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan.
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang banyak.
C	●	Batas maksimum gaya geser masih mampu ditahan gedung.
D	●	Terjadi degradasi kekuatan struktur besar sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir runtuh.
E	●	Kondisi struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan runtuh.

Sumber: Syahira & Jamal, 2023

3.10 Level Kinerja Struktur Bangunan

Level kinerja adalah batas tingkat kerusakan atau kondisi yang dideskripsikan dengan kerusakan secara fisik pada suatu bangunan, ancaman terhadap keselamatan jiwa penghuni bangunan akibat kerusakan yang terjadi, dan kemampuan bangunan untuk dapat berfungsi setelah gempa. Level kinerja suatu bangunan adalah kombinasi antara level kinerja struktur bangunan dengan kinerja non-struktural bangunan (ATC-40, 1996). Level kinerja struktur yang mengacu pada ATC-40 digambarkan melalui kurva kapasitas seperti pada Gambar 3.32 berikut.



Gambar 3. 32 Level Kinerja Struktur pada Kurva Kapasitas
(Sumber: ATC-40, 1996)

Dapat dilihat pada Gambar 3.33 terdapat suatu tanda ($\diamond$), tanda tersebut menunjukkan respon lateral terhadap kondisi struktur. Level kinerja struktur tergambar pada batas dan titik tertentu pada kurva yaitu level *Immediate Occupancy*, level *Damage Control*, level *Life Safety*, level *Limited Safety*, level *Structural Stability*, dan level *Not Considered*. Masing-masing dari level kinerja tersebut mendeskripsikan bagaimana kondisi dan kategori bangunan setelah terkena beban gempa yang dapat dilihat pada Tabel 3.16 serta batasan nilai simpangan (*drift*) untuk setiap level dilihat pada Tabel 3.17 di bawah ini.

**Tabel 3. 16 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori
Bangunan pada Level Kinerja Struktur**

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan aman saat terjadi gempa. - Risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti. - Gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali 	Struktur bangunan yang difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau bangunan yang berpengaruh ekonomi nasional, seperti rumah sakit, gudang bahan bakar/bahan berbahaya, dll.
SP-2 <i>Damage Control (DC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Transisi antara <i>IO</i> dan <i>LS</i>. - Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi. - Risiko korban jiwa manusia sangat kecil. 	Struktur bangunan bersejarah, yang menjadi tempat penyimpanan barang berharga.
SP-3 <i>Life Safety (LS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia. - Bangunan dapat berfungsi kembali setelah perbaikan komponen struktural dan non struktural. 	Fasilitas-fasilitas umum gedung perkantoran, gudang, dll.
SP-4 <i>Limited Safety</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Transisi antara <i>LS</i> dan <i>Limited Safety</i>. - Bukan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam perbaikan pasca gempa. 	
SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. - Komponen struktur menahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keruntuhan. 	
SP-6 <i>Not Considered</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bukan tingkatan kinerja struktur, hanya untuk evaluasi seismik non struktural atau <i>retrofit</i>. 	

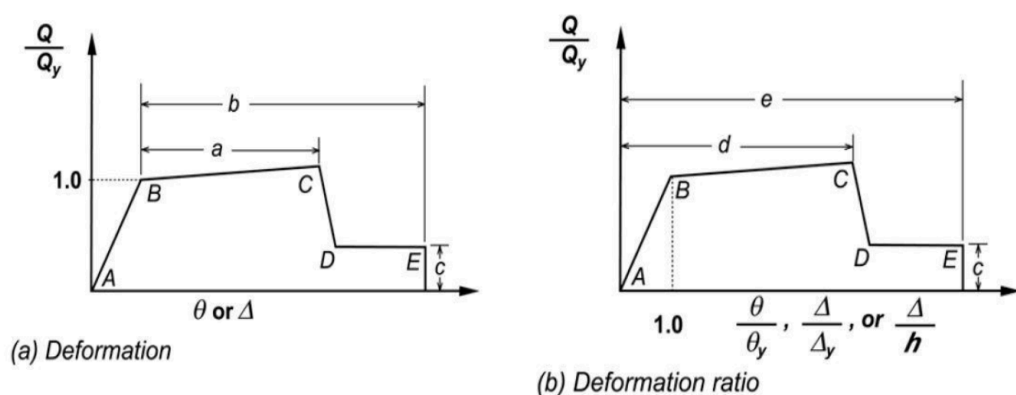
Sumber: ATC-40, 1996

Tabel 3. 17 Batasan Nilai Simpangan Level Kinerja Struktur

Batasan Simpangan Antar Tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<i>Damage Control (DC)</i>	<i>Life Safety (LS)</i>	<i>Structural Stability (SS)</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

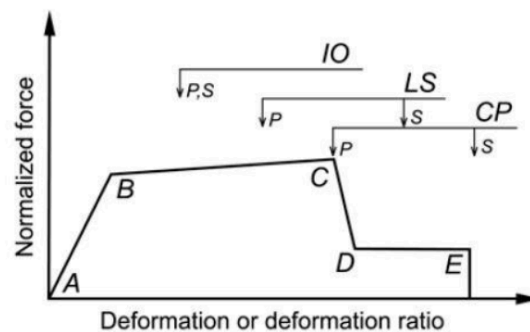
Sumber: ATC-40, 1996

Kriteria penerimaan komponen yang diterapkan oleh FEMA 356 (2000) pada prosedur nonlinier dengan kendali deformasi (*deformation controlled*) didasarkan pada besarnya deformasi pada titik-titik tertentu yang terdapat pada alternatif kurva hubungan antara gaya (Q) dan deformasi (Δ). Mengacu pada FEMA 356, kategori kinerja tertentu yang menjadi acuan dalam menilai sejauh mana struktur mampu menahan beban gempa sebelum mencapai kondisi kritis. Kategori ini kemudian dipetakan pada kurva hasil analisis untuk menunjukkan batas-batas perilaku struktur sesuai tingkat kerusakan dan kemampuan layan pasca gempa. Kurva hubungan antara gaya dan deformasi dapat dilihat pada Gambar 3.34 serta kategori level kinerja strukturnya dapat dilihat pada Gambar 3.35 berikut.



Gambar 3. 33 Kurva Hubungan Beban Gaya-Deformasi
(a) Kurva dengan Deformasi (b) Kurva dengan Rasio Deformasi

(Sumber: FEMA 356, 2000)



Gambar 3. 34 Level Kinerja Struktur pada Kurva

(Sumber: FEMA 356, 2000)

Dari Gambar 3.35 dapat dilihat level kinerja struktur digambarkan pada titik dan batas tertentu pada kurva, meliputi *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP). Masing-masing level kinerja tersebut dideskripsikan secara detail pada Tabel 3.18 serta batasan nilai rasio simpangan (*drift ratio*) untuk setiap level kinerja struktur menurut FEMA 356 pada Tabel 3.19.

Tabel 3. 18 Deskripsi Level Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA 356

Level Kinerja	Kerusakan	Deskripsi Umum	Komponen Nonstruktur
<i>Operational Level</i>	Sangat ringan	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak ada simpangan permanen. - Struktur tetap memiliki kekuatan dan kekakuan rencana. - Retak ringan pada partisi, langit-langit, dan elemen struktur. - Semua system penting operasional tetap berfungsi 	Terdapat kerusakan sangat ringan, daya dan utilitas tetap berfungsi dengan baik
<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	Ringan	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak ada simpangan permanen. - Struktur tetap memiliki kekuatan rencana. - Retak ringan pada partisi atau elemen struktur. - Fasilitas seperti elevator dan proteksi Bahasa kebakaran masih dapat beroperasi. 	Peralatan dan muatan secara fisik aman tetapi terdapat beberapa kerusakan fungsional, diakibatkan kerusakan pada mesinnya.

Sumber: FEMA 356, 2000

**Lanjutan Tabel 3.18 Deskripsi Level Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA
356**

Level Kinerja	Kerusakan	Deskripsi Umum	Komponen Nonstruktur
<i>Life Safety (LS)</i>	Sedang	<ul style="list-style-type: none"> - Kekakuan dan kekuatan struktur masih ada pada setiap tingkat. - Kemampuan memikul beban gravitasi elemen masih berfungsi. - Tidak terjadi kegagalan <i>out-of-plan</i> pada dinding dan partisi. - Terdapat simpangan permanen. - Bangunan membutuhkan perbaikan. 	Risiko keruntuhan dapat dicegah, akan tetapi banyak komponen arsitektural, system operasional, dan elektrik yang rusak.
<i>Collapse Prevention (CP)</i>	Berat	<ul style="list-style-type: none"> - Kekakuan dan kekuatan struktur tersisa sedikit, tetapi elemen kolom dan dinding masih dapat memikul beban. - Simpangan permanen besar. - Terdapat kerusakan pada partisi. - Bangunan berada pada ambang keruntuhan. 	Kerusakan besar

Sumber: FEMA 356, 2000

Tabel 3. 19 Batasan Nilai Rasio Simpangan Level Kinerja Struktur

Level Kinerja Struktur	<i>Drift (%)</i>	Keterangan
<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Life Safety (LS)</i>	2,0	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention (CP)</i>	4,0	<i>Transient atau permanent</i>

Sumber: FEMA 356, 2000

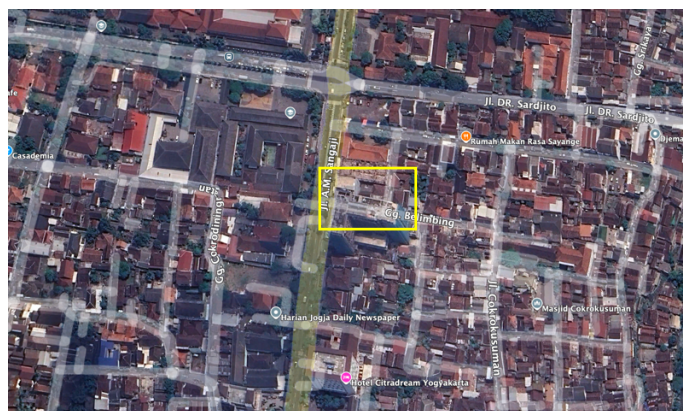
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

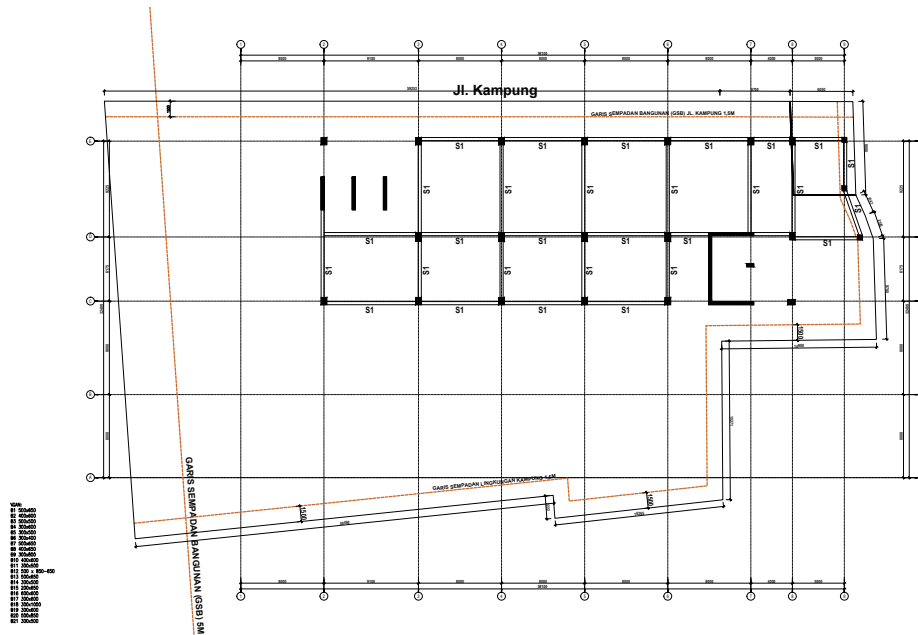
Pada bab ini akan membahas mengenai metode penelitian yang diterapkan untuk mencapai tujuan yang ingin didapatkan dari penelitian ini, yaitu memperoleh kurva kapasitas dari struktur bangunan, mengetahui mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan, serta mengidentifikasi tingkat kinerja struktur bangunan berdasarkan pedoman ATC-40 dan FEMA 356. Penelitian ini dilakukan mulai dari kajian literatur terkait analisis *pushover* serta pengumpulan data primer dan sekunder yang dibutuhkan untuk analisis. Selanjutnya, dilakukan pemodelan struktur secara Tiga Dimensi (3D) dengan bantuan perangkat lunak ETABS. Pemodelan tersebut kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan beban serta dilakukan analisis dengan metode analisis statik non-linear *pushover*.

4.2 Objek Penelitian

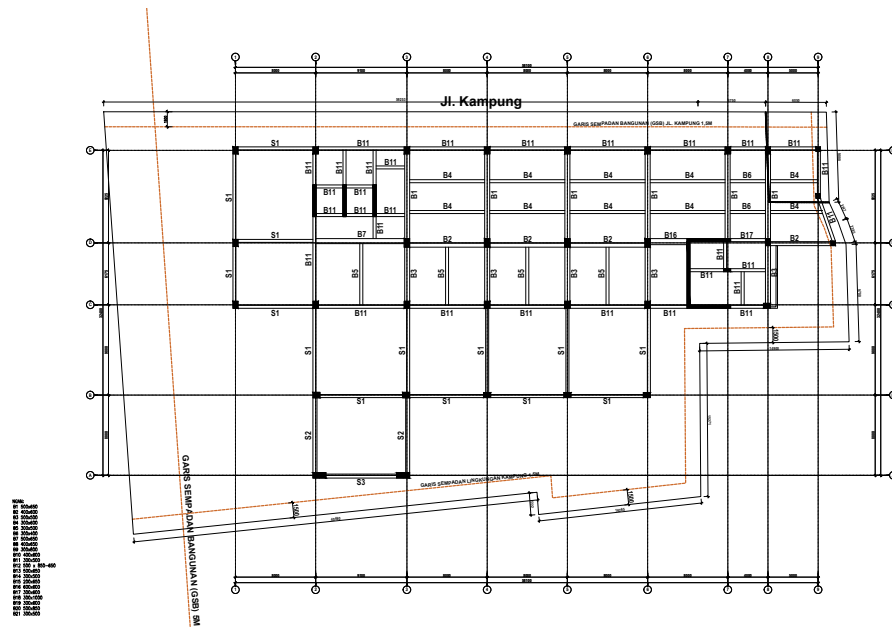
Objek yang ditinjau pada penelitian ini yaitu Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta yang berlokasi di Jl. A. M. Sangaji, Cokrodiningratan, Jetis, Yogyakarta, dengan jumlah lantai 9 lantai. Lokasi dan denah gedung dapat dilihat pada Gambar 4.1 - 4.10 berikut.



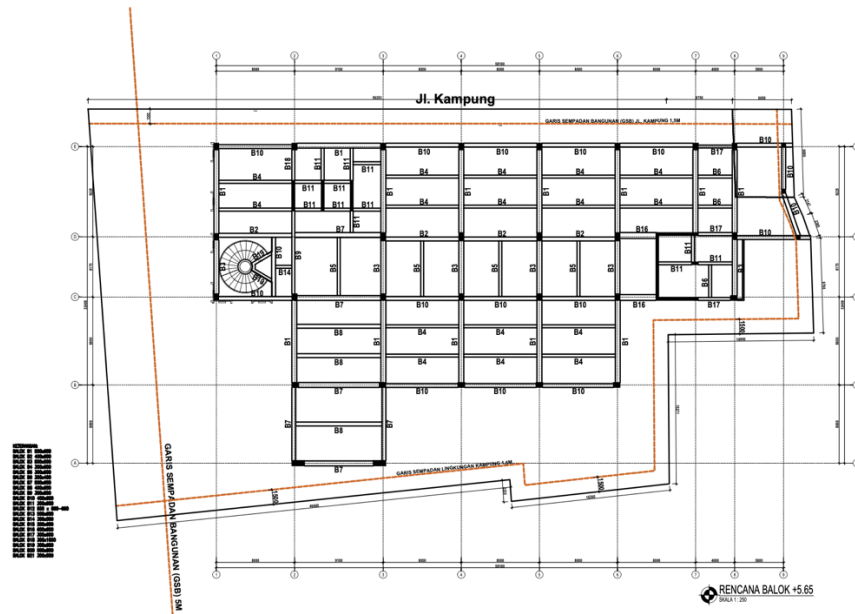
Gambar 4. 1 Lokasi Gedung Hotel Oakwood
(Sumber: *Google Earth 2025*)



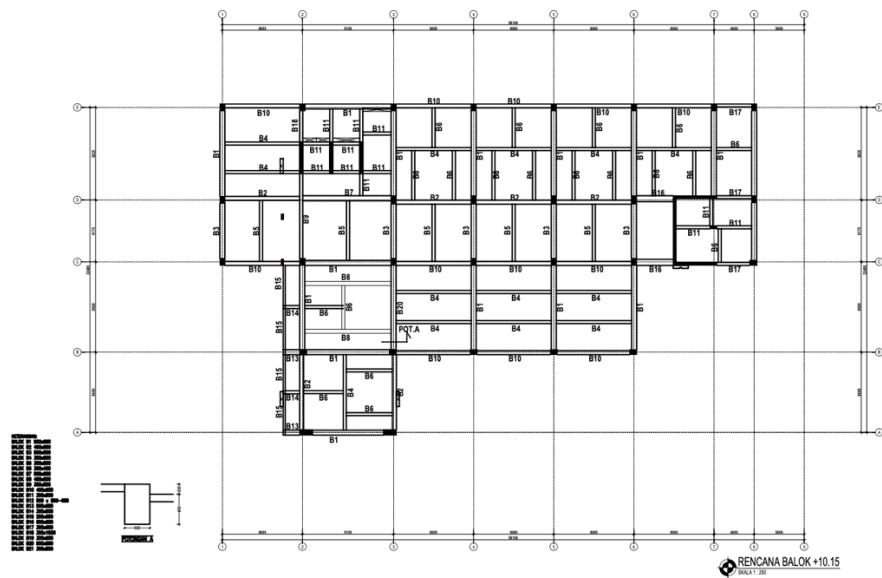
Gambar 4. 2 Denah *Ground Floor* Hotel
(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



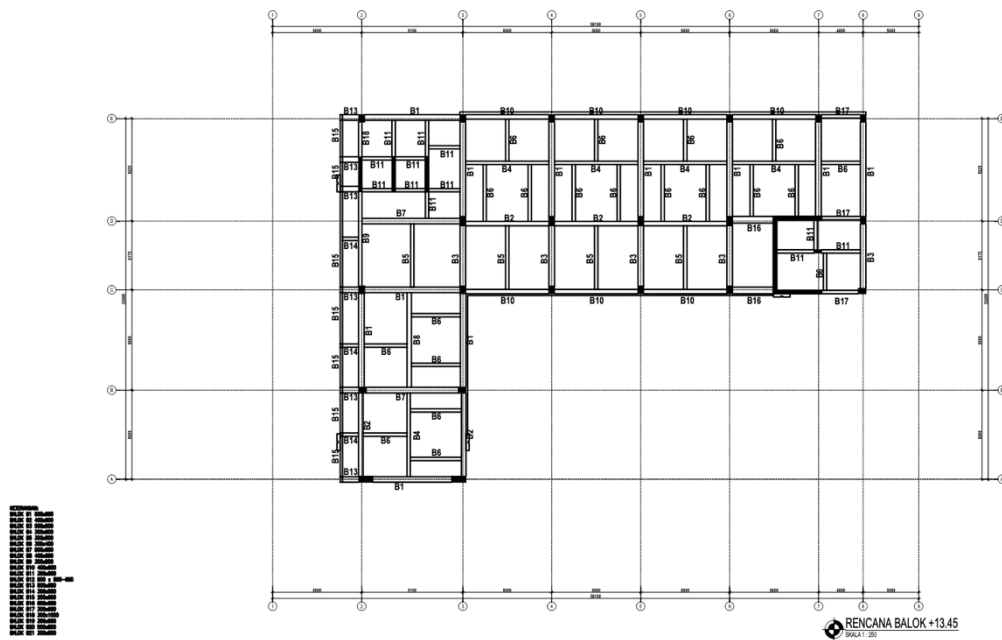
Gambar 4. 3 Denah Lantai 1 Hotel
(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



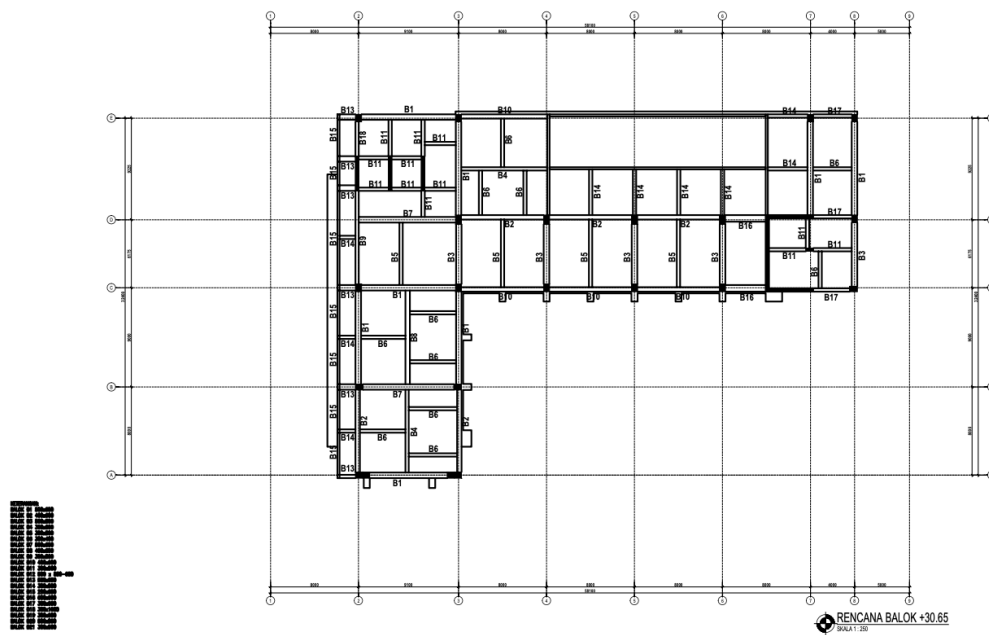
Gambar 4. 4 Denah Lantai 2 Hotel
(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



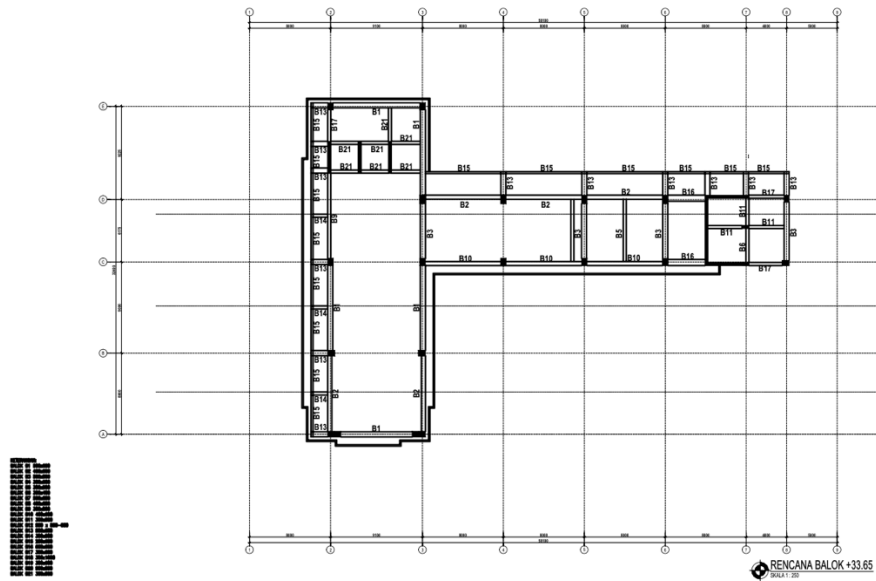
Gambar 4. 5 Denah Lantai 3 Hotel
(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



Gambar 4. 6 Denah Lantai 4-8 Hotel
(Sumber: *Detail Engineering Detail*)

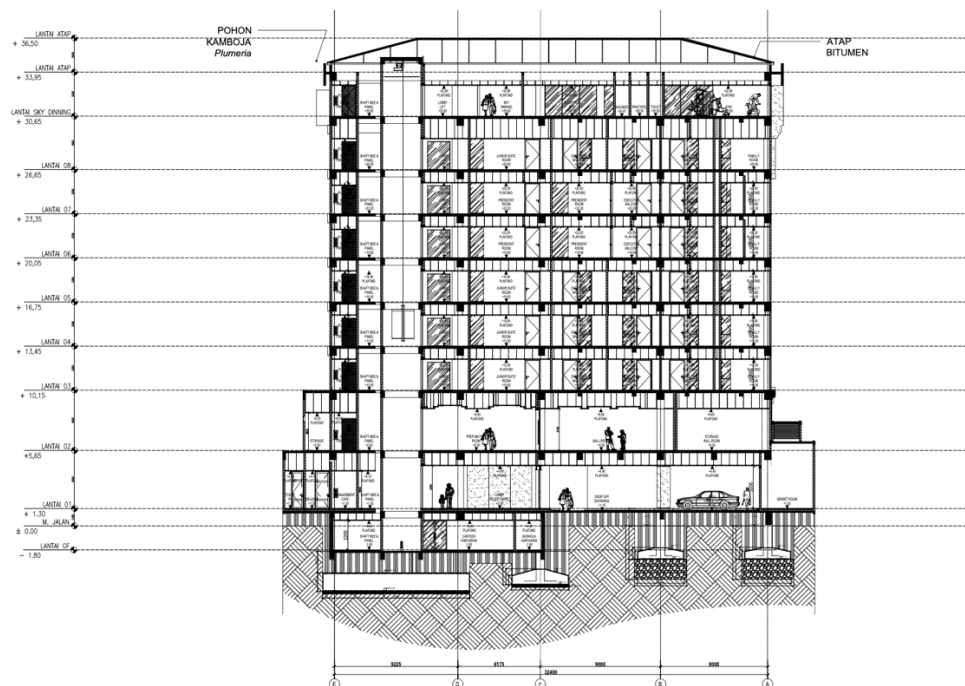


Gambar 4. 7 Denah Lantai 9 Hotel
(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



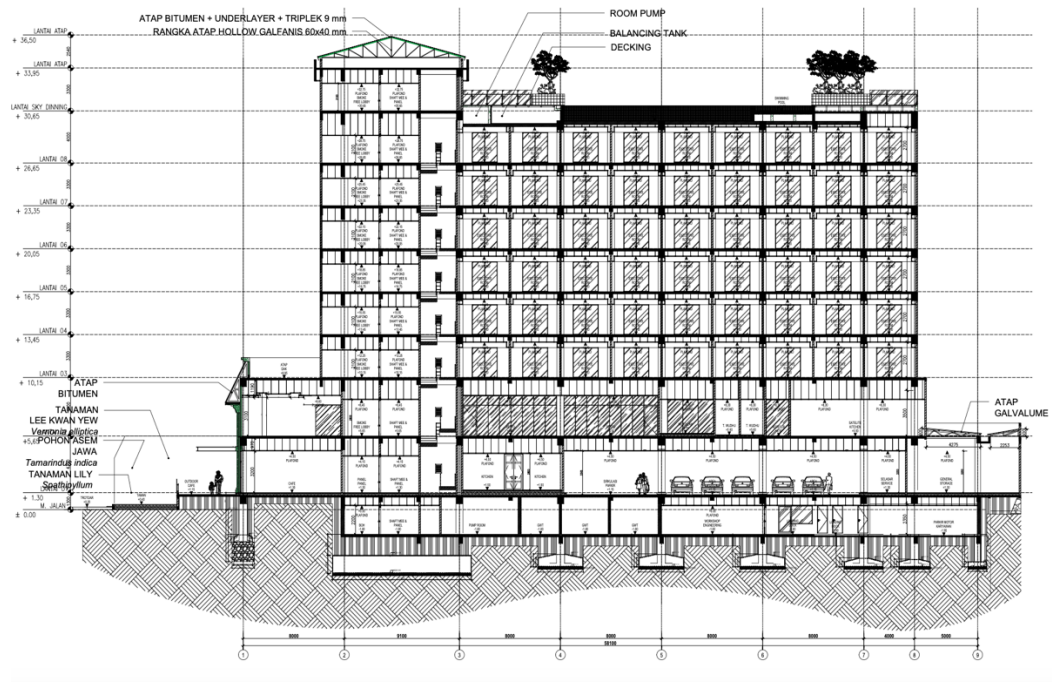
Gambar 4. 8 Denah Lantai Atap Hotel

(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



Gambar 4. 9 Potongan X-X Gedung Hotel

(Sumber: *Detail Engineering Detail*)



Gambar 4. 10 Potongan Y-Y Gedung Hotel

(Sumber: *Detail Engineering Detail*)

4.3 Data Teknis Bangunan

1. Lokasi bangunan : Yogyakarta
2. Fungsi bangunan : Gedung Hotel
3. Konstruksi bangunan : Beton bertulang
4. Tinggi total gedung : 35,75 meter
5. Jumlah lantai : 10 (sembilan) lantai
6. Tinggi tipikal lantai :
 - a. Lantai *Groundfloor* : 3,1 meter
 - b. Lantai 1 : 4,35 meter
 - c. Lantai 2 : 4,5 meter
 - d. Lantai 3-7 dan 9 : 3,3 meter
 - e. Lantai 8 : 4 meter
- f. Jenis tanah : Sedang
- g. Mutu beton (f'_c) : 30 MPa

- h. Mutu baja tulangan (f_y)
 - a. Tulangan polos : 240 MPa
 - b. Tulangan ulir : 400 MPa
- i. Modulus elastisitas
 - a. Beton : $4700 \times \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{30} = 25742,960 \text{ MPa}$
 - b. Baja tulangan : 200000 MPa
- j. Berat volume
 - a. Beton : 2400 kg/m^3
 - b. Baja tulangan : 7850 kg/m^3
- k. Dimensi elemen struktur
 - a. Kolom

Struktur kolom pada gedung memiliki beberapa tipe dengan dimensi yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Dimensi dan Tipe Kolom

No.	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1.	K1	550 x 850
2.	K2	550 x 700
3.	K3	550 x 700
4.	K4	550 x 700
5.	K5	550 x 700
6.	K6	550 x 700
7.	K7	550 x 1300
8.	K8	500 x 700
9.	K9	550 x 550
10.	K10	300 x 700

Sumber: *As Build Drawing*

- b. Balok

Struktur balok pada gedung memiliki beberapa tipe dengan dimensi yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1.	S1	300 x 600
2.	S2	400 x 800
3.	S3	400 x 1000
4.	B1	500 x 650
5.	B2	400 x 600
6.	B3	500 x 500
7.	B4	300 x 600
8.	B5	300 x 500
9.	B6	300 x 400
10.	B7	500 x 650
11.	B8	400 x 650
12.	B9	300 x 800
13.	B10	400 x 600
14.	B11	300 x 500
15.	B12	500 x 850
16.	B13	500 x 650
17.	B14	300 x 500
18.	B15	200 x 650
19.	B16	600 x 600
20.	B17	300 x 600
21.	B18	300 x 1000
22.	B19	300 x 600
23.	B20	500 x 850
24.	B21	300 x 500

Sumber: *As Build Drawing*

c. Pelat

Struktur pelat pada gedung memiliki beberapa tipe dengan dimensi yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Dimensi dan Tipe Pelat

No.	Tipe Balok	Tebal (mm)
1.	A1	150
2.	A2	150
3.	A3	130
4.	A4	250

Sumber: *As Build Drawing*

Lanjutan Tabel 4. 3 Dimensi dan Tipe Pelat

No.	Tipe Balok	Tebal (mm)
5.	A5	150
6.	A6	100
7.	A7	300
8.	A8	200

Sumber: *As Build Drawing*

4.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis statik non-linear *pushover* untuk mengetahui kinerja struktur bangunan gedung yang ditinjau. Tahapan analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, dilakukan pengumpulan informasi berkaitan dengan analisis *pushover* yang bersumber dari buku, jurnal, maupun tugas akhir yang membahas mengenai metode analisis tersebut. Aturan-aturan yang digunakan sebagai standar acuan dalam permodelan stuktur bangunan dan pembebanan terhadap struktur yaitu SNI-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dan SNI-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain. Untuk menentukan level kinerja struktur yang ditinjau pada penelitian ini digunakan acuan penilaian berdasarkan *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume-1* (ATC-40, 1996) dan *Federal Emergency Management Agency Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitations of Buildings* (FEMA 356, 2000).

2. Pengumpulan Data

Data yang diperoleh untuk penelitian ini yaitu data jenis tanah lokasi Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta serta *Detail Engineering Desain* (DED) dan *As Build Drawing* Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta. Data-data yang dikumpulkan dari bangunan yang diamati tersebut digunakan sebagai acuan

permodelan struktur gedung pada perangkat lunak ETABS untuk dapat dianalisis menggunakan metode *pushover*.

3. Program dan Perangkat Lunak yang Digunakan

Penelitian ini perlu digunakan program ataupun perangkat lunak yang membantu proses analisisnya. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam penelitian ini untuk analisis strukturnya adalah sebagai berikut.

- a. ETABS, *software* ini digunakan sebagai sarana permodelan dan pembebanan struktur bangunan dalam format 3D serta analisis dengan metode *pushover*.
- b. Microsoft Excel, program ini digunakan untuk membantu proses perhitungan dan analisis data yang didapatkan dari *output software* ETABS.
- c. Autocad, *software* ini digunakan untuk melihat informasi berupa data struktur bangunan dari DED dan *As Build Drawing* bangunan yang ditinjau.

4. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur untuk bangunan yang ditinjau pada penelitian ini diperhitungkan melalui *software* ETABS. Beban-bekan yang dihitung meliputi beban mati, beban hidup, dan beban lateral berupa beban gempa yang bekerja pada struktur gedung yang mengacu pada standar SNI-1726-2019 dan SNI-1727-2020. Setelah diinput beban-bekan tersebut terhadap struktur gedung, dilakukan analisis terhadap strukturnya dengan bantuan *software* ETABS.

5. Analisis Statik Non-Linear *Pushover*

Pada penelitian ini untuk analisis *pushover* yang akan dilakukan menggunakan 2 pedoman yaitu ATC-40 dan FEMA 356. Analisis statik non-linear *pushover* juga dilakukan menggunakan *software* ETABS. *Output* data analisis yang ingin diperoleh melalui analisis *pushover* ini yaitu berupa kurva kapasitas, nilai *drift ratio*, dan nilai *displacement* dari struktur yang telah dimodelkan dan dilakukan pembebanan sebelumnya. Hasil tersebut akan digunakan sebagai parameter penilaian kinerja struktur bangunan gedung yang ditinjau.

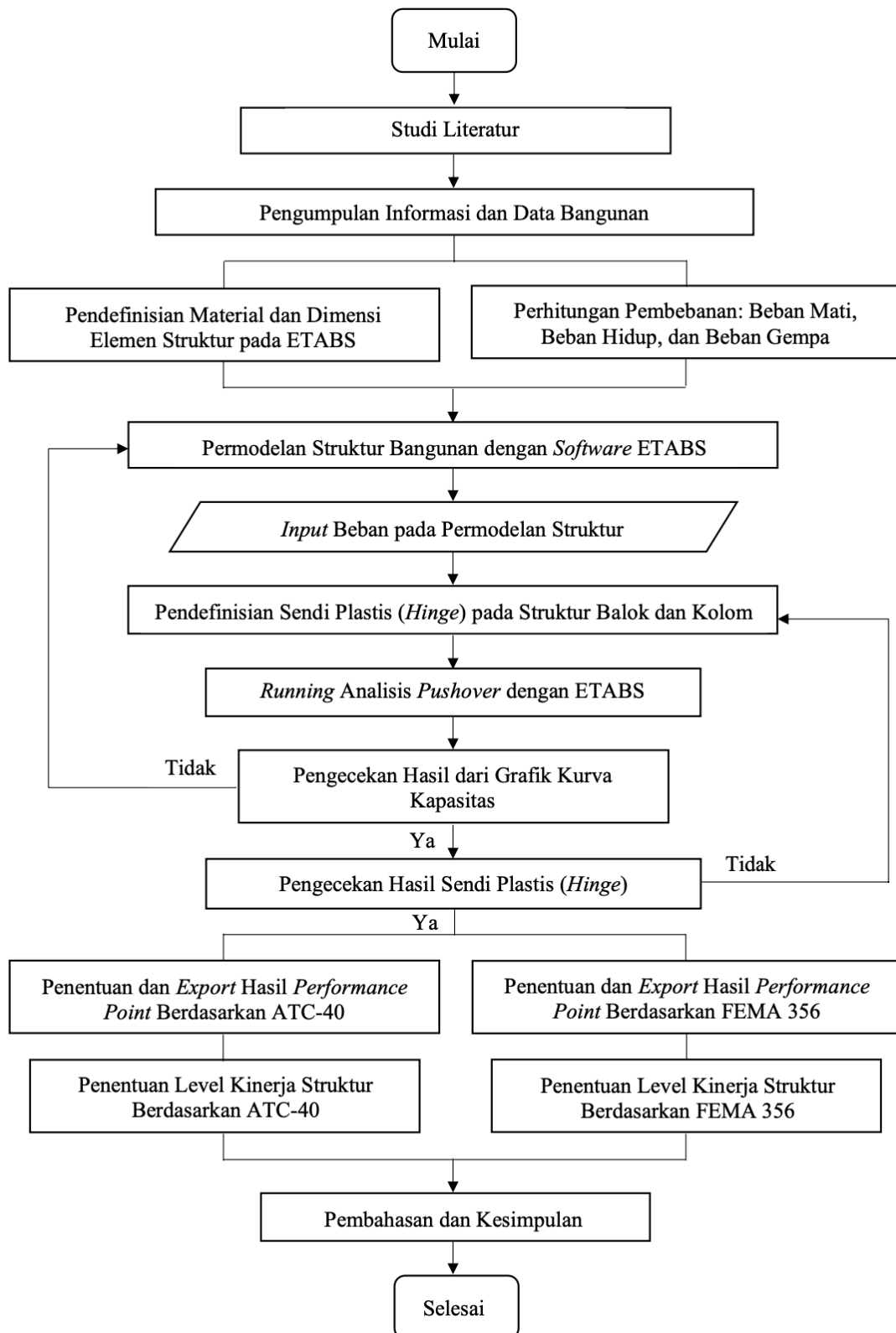
6. Pendefinisian Sendi Plastis

Pendefinisian sendi plastis dilakukan dengan menentukan tipe sendi sesuai elemen struktur M3 untuk balok dan P-M2-M3 untuk kolom. Sendi ditempatkan

di kedua ujung elemen, lalu parameter kapasitas ditetapkan berdasarkan kurva idealisasi dari FEMA 356 atau ATC-40, mencakup titik leleh, maksimum, dan keruntuhan. Selanjutnya, input dikonfirmasi di ETABS dengan mengaktifkan opsi *Plastic Hinges* dan memverifikasi kesesuaian properti material serta penampang.

7. Membuat Kesimpulan dari Analisis yang Dilakukan

Tahapan penelitian yang dirincikan di atas juga dapat dilihat melalui gambaran *flowchart* seperti pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Flowchart Tahapan Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan yang bekerja pada struktur gedung ini mencakup beban mati, beban hidup, serta beban gempa. Uraian mengenai masing-masing perhitungan pembebanan akan dijelaskan pada bagian berikut

5.1.1 Beban Mati

Perhitungan beban mati yang bekerja pada struktur merupakan beban mati tambahan, meliputi beban dinding, beban keramik, plafon, MEP, dan spesi pada pelat lantai dan pelat atap. Beban sendiri elemen struktur kolom, balok, pelat lantai, dan pelat atap sudah terhitung dari permodelan ETABS secara otomatis.

1. Beban Dinding

Berat jenis bata	$= 250 \text{ kg/m}^2$	$= 2,4525 \text{ kN/m}^2$
a. Lantai dasar	$= 2,4525 \times 3,1$	$= 7,6028 \text{ kN/m}^2$
b. Lantai 1	$= 2,4525 \times 4,35$	$= 10,6684 \text{ kN/m}^2$
c. Lantai 2	$= 2,4525 \times 4,5$	$= 11,0363 \text{ kN/m}^2$
d. Lantai 3	$= 2,4525 \times 3,3$	$= 8,0933 \text{ kN/m}^2$
e. Lantai 4	$= 2,4525 \times 3,3$	$= 8,0933 \text{ kN/m}^2$
f. Lantai 5	$= 2,4525 \times 3,3$	$= 8,0933 \text{ kN/m}^2$
g. Lantai 6	$= 2,4525 \times 3,3$	$= 8,0933 \text{ kN/m}^2$
h. Lantai 7	$= 2,4525 \times 3,3$	$= 8,0933 \text{ kN/m}^2$
i. Lantai 8	$= 2,4525 \times 4$	$= 9,8100 \text{ kN/m}^2$
j. Lantai 9	$= 2,4525 \times 3,3$	$= 8,0933 \text{ kN/m}^2$

2. Beban Tambahan Pelat Lantai

Pasir (3,5 cm)	$= 15,696 \times 0,035$	$= 0,549 \text{ kN/m}^2$
Spesi (2 cm)	$= 20,601 \times 0,02$	$= 0,412 \text{ kN/m}^2$
Keramik	$= 17 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$	$= 0,167 \text{ kN/m}^2$
Plafon	$= 11 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$	$= 0,108 \text{ kN/m}^2$

- | | | | |
|--------------------------------|--|---------------------------|---|
| Rangka plafon | $= 7 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,069 \text{ kN/m}^2$ | |
| MEP | $= 30 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,294 \text{ kN/m}^2$ | |
| Q _{SIDL} pelat lantai | | $= 1,599 \text{ kN/m}^2$ | + |
| 3. Beban Tambahan Pelat Atap | | | |
| Waterproof | $= 20,601 \times 0,02$ | $= 0,412 \text{ kN/m}^2$ | |
| Spesi (2 cm) | $= 20,601 \times 0,02$ | $= 0,412 \text{ kN/m}^2$ | |
| Plafon | $= 11 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,108 \text{ kN/m}^2$ | |
| Rangka plafon | $= 7 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,069 \text{ kN/m}^2$ | |
| MEP | $= 30 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,294 \text{ kN/m}^2$ | |
| Q _{SIDL} pelat atap | | $= 1,295 \text{ kN/m}^2$ | + |
| 4. Beban Tambahan Pelat Tangga | | | |
| Pasir (1,5 cm) | $= 15,696 \times 0,015$ | $= 0,309 \text{ kN/m}^2$ | |
| Spesi (1 cm) | $= 20,601 \times 0,01$ | $= 0,157 \text{ kN/m}^2$ | |
| Keramik | $= 17 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,167 \text{ kN/m}^2$ | |
| Q _{SIDL} pelat tangga | | $= 0,633 \text{ kN/m}^2$ | + |
| 5. Beban Tambahan Pelat Bordes | | | |
| Pasir (1,5 cm) | $= 15,696 \times 0,015$ | $= 0,309 \text{ kN/m}^2$ | |
| Spesi (1 cm) | $= 20,601 \times 0,01$ | $= 0,157 \text{ kN/m}^2$ | |
| Keramik | $= 17 \text{ kg/m}^2 \times (9,81/1000)$ | $= 0,167 \text{ kN/m}^2$ | |
| Q _{SIDL} pelat tangga | | $= 0,633 \text{ kN/m}^2$ | + |
| 6. Beban Air Kolam Renang | | | |
| Air Kolam | $= 9,81 \times 1,2$ | $= 11,772 \text{ kN/m}^2$ | |

5.1.2 Beban Hidup

Struktur bangunan gedung yang ditinjau memiliki fungsi hunian (gedung hotel), sehingga beban hidup minimal yang terhitung sesuai dengan acuan SNI 1727:2020 adalah sebagai berikut:

1. Beban hidup pada pelat lantai
 $Q_{LL} = 2,452 \text{ kN/m}^2$
2. Beban hidup pada pelat atap
 $Q_{LL} = 0,981 \text{ kN/m}^2$

3. Beban hidup pada kolam renang

$$Q_{LL} = 4,8 \text{ kN/m}^2$$

5.1.3 Beban Gempa

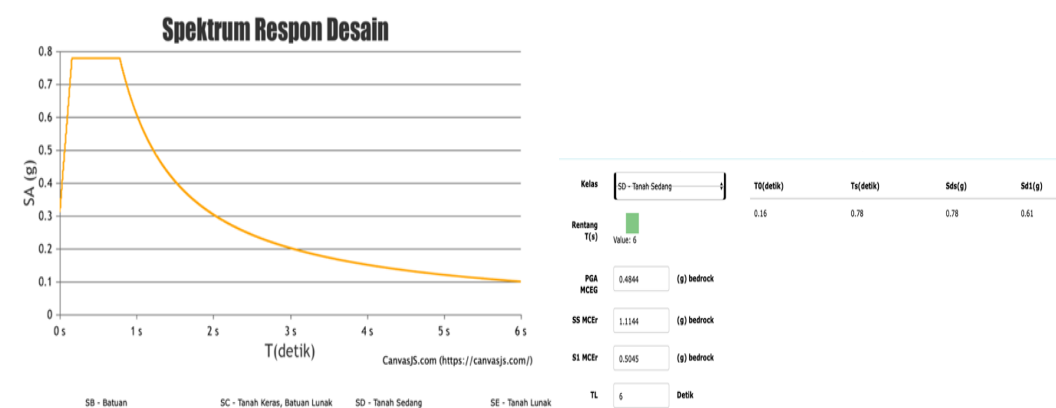
Struktur bangunan gedung yang ditinjau berlokasi di daerah Jetis, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan jenis tanah sedang (SD). Gedung ini memiliki tinggi 10 lantai dengan ketinggian total 36,5 meter.

1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko untuk analisis ini sesuai Tabel 3.4, jenis pemanfaatan bangunan yang ditinjau yaitu sebagai hotel, sehingga bangunan gedung Hotel Oakwood masuk ke dalam kategori risiko II. Untuk faktor keutamaan gempa sesuai Tabel 3.5, dengan kategori risiko II maka nilai faktor keutamaan gempa (I_e) yang digunakan pada analisis yaitu sebesar 1,0.

2. Respon Spektrum

Penentuan nilai parameter gerak tanah untuk periode pendek 0,2 detik (S_s) dan untuk periode panjang (S_l) yang secara akurat dapat diketahui melalui *website* <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Respon spektrum dapat diketahui dengan memasukkan nilai koordinat lintang dan bujur dari lokasi bangunan gedung Oakwood Yogyakarta, dengan nilai koordinat lintang - 7.779407 dan koordinat bujur 110.367622, sehingga diperoleh respon spektrum seperti yang dapat dilihat dari Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5. 1 Parameter Respon Spektrum

(Sumber: *website* <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

Sehingga diketahui nilai parameter S_s dan S_I adalah sebagai berikut:

$$S_s = 1,1144 \text{ g}$$

$$S_I = 0,5054 \text{ g}$$

Respon spektrum perlu dihitung secara manual sesuai acuan SNI 1726:2019 dengan tahapan sebagai berikut.

a. Koefisien Situs

Nilai F_a dan F_v dapat dilihat sesuai Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 yang mengacu pada SNI 1976:2019, sehingga didapatkan nilai sebagai berikut.

$$F_a = 1,054 \text{ (nilai interpolasi dari Tabel 3.6 halaman 36)}$$

$$F_v = 1,796 \text{ (nilai interpolasi dari Tabel 3.7 halaman 36)}$$

b. Parameter Percepatan Respon Spektrum MCE

Nilai respon spektrum pada periode 0,2 detik (S_{MS}) dan pada periode Panjang (S_{MI}) dihitung sesuai persamaan 3.12 dan 3.13, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,054 \times 1,1144 \\ &= 1,1748 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \times S_I \\ &= 1,796 \times 0,5054 \\ &= 0,9058 \end{aligned}$$

c. Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain pada periode 0,2 detin (S_{DS}) dan pada periode Panjang (S_{DI}) dihitung sesuai persamaan 3.14 dan 3.15, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} 1,1748 \\ &= 0,783 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= \frac{2}{3} S_{MI} \\ &= \frac{2}{3} 0,9058 \\ &= 0,604 \end{aligned}$$

d. Spektrum Respon Desain

Untuk memperoleh kurva spektrum respon desain perlu diketahui batas-batas nilai periode T_S , T_0 , dan T_L , nilai T_S dan T_0 diperoleh dengan persamaan 3.16 dan 3.17, sedangkan nilai T_L diperoleh dari Gambar 3.4 sesuai acuan SNI 1726:2019. Sehingga didapatkan nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_S &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,604}{0,783} \\ &= 0,771 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \frac{0,604}{0,783} \\ &= 0,154 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$T_L = 6 \text{ detik}$$

Selanjutnya nilai parameter percepatan respon spektrum (S_a) dihitung sesuai persamaan pada Gambar 3.3, hasil perhitungan nilai S_a dapat dilihat pada tabel berikut.

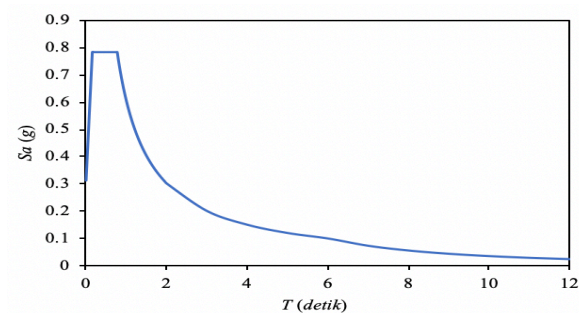
Tabel 5. 1 Hasil Pehitungan Percepatan Respon Spektrum

T (detik)	Sa (g)
0	0,313292
0.1	0,618043
0,1542	0,783
0,2	0,783
0,3	0,783
0,4	0,783
0,5	0,783
0,6	0,783
0,7	0,783
0,7710	0,783
0,8	0,754858
0,9	0,670985

Lanjutan Tabel 5. 1 Hasil Perhitungan Percepatan Respon Spektrum

T (detik)	Sa (g)
1	0,603887
1,1	0,548988
1,2	0,503239
1,3	0,464528
1,4	0,431348
1,5	0,402591
1,6	0,377429
1,7	0,355227
1,8	0,335493
1,9	0,317835
2	0,301943
3	0,201296
4	0,150972
5	0,120777
6	0,100648
7	0,073945
8	0,056614
9	0,044732
10	0,036233
11	0,029945
12	0,025162

Dari tabel di atas dapat diperoleh kurva spektrum respon desain yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

**Gambar 5. 2 Kurva Spektrum Respon Desain Gempa MCE_R**

3. Kategori Desain Seismik

Kategori desain sesmik bangunan gedueng Hotel Oakwood diperoleh sesuai dengan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 yang mengacu pada SNI 1726:2019. Dengan nilai S_{DS} sebesar 0,783 dan nilai S_{DI} sebesar 0,604, maka diketahui bahwa kategori desain seismik bangunan ditinjau yaitu pada kategori D. Kategori desain seismik D artinya pada struktur bangunana dpaat digunakan desain Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau Sistem dinding Struktur Khusus (SDSK).

4. Faktor Parameter Struktur

Faktor parameter struktur yang perlu diketahui yaitu nilai R , C_d , Ω_0 sesuai Tabel 3.10 yang mengacu pada SNI 1726:2019. Sistem pemikul rangka yang digunakan pada struktur bangunan ditinjau yaitu dinding geser beton bertulang khusus, maka nilai yang didapatkan sebagai berikut.

$$R = 7$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 2,5$$

5. Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur diperoleh sesuai Tabel 3.11 dan tabel 3.12 serta persamaan yang mengacu pada SNI 1726:2019 sebagai berikut.

$$C_u = 1,4$$

$$C_t = 0,0488$$

$$x = 0,75$$

$$h_n = 35,75 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{a. } T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0488 \times 36,5^{0,75} \\ &= 0,713 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } T_{max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,713 \\ &= 0,999 \text{ detik} \end{aligned}$$

c. Periode Getar Alami Struktur (T_c)

Periode getar alami struktur adalah nilai yang menggambarkan respons dinamis struktur terhadap beban gempa, sehingga menjadi dasar untuk mengevaluasi kinerja seismik bangunan. Periode getar alami struktur pada penelitian ini yang diperoleh dari hasil analisis dinamis menggunakan perangkat lunak ETABS sebesar 1,43 detik untuk arah X dan 1,383 detik untuk arah Y.

d. Periode Struktur Pakai

Penentuan periode struktur yang dipakai dalam analisis ini mengacu pada beberapa syarat berikut,

- 1) Nilai $T_c > T_{max}$, nilai periode struktur pakai (T) = T_{max}
- 2) Nilai $T_a < T_c < T_{max}$, nilai periode struktur pakai (T) = T_c
- 3) Nilai $T_c < T_a$, nilai periode struktur pakai (T) = T_a

Dari analisis perhitungan yang dilakukan, nilai T_c arah X (1,43 detik) dan T_c arah Y (1,383 detik) lebih besar dari nilai T_{max} (0,999 detik), sehingga nilai periode struktur yang dipakai (T) yaitu sebesar 0,999 detik.

6. Koefisien Respon Struktur (C_s)

Perhitungan koefisien respon struktur memerlukan beberapa parameter seperti nilai R dan faktor keutamaan gempa (I_e) yang diperoleh sesuai Tabel 3.5 dan Tabel 3.10. Perhitungan dilakukan sebagai berikut.

$$I_e = 1,00$$

$$R = 7$$

$$\begin{aligned} C_{s \text{ hitung}} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,783}{\left(\frac{7}{1,00}\right)} \\ &= 0,1119 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{s \max} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,6039}{0,999\left(\frac{7}{1,00}\right)} \\
 &= 0,0864
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{s \min} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,001 \\
 &= 0,44 \times 0,783 \times 1,00 \geq 0,001 \\
 &= 0,0345 \geq 0,001
 \end{aligned}$$

Nilai C_s yang diambil dalam analisis ini adalah $C_{s \max} = 0,0864$.

7. Gaya Geser Seismik (V)

Gaya geser seismik (V) dihitung sesuai dengan persamaan 3.25 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,0864 \times 133440,60 \\
 &= 11524,99
 \end{aligned}$$

8. Gaya Seismik Lateral (F_x)

Nilai gaya seismik lateral (F_x) didapatkan dengan mengalikan nilai gaya geser seismik (V) dengan faktor distribusi vertikal (C_{vx}) sesuai persamaan 3.26 dan 3.27. Perhitungan nilai k untuk $T = 0,999$ detik dimana $0,5 < T < 2,5$, maka dapat digunakan interpolasi dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{0,75}{0,5 \times T} \\
 &= \frac{0,75}{0,5 \times 0,999} \\
 &= 1,249
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung sesuai persamaan 3.26 dan 3.27 berikut,

$$\begin{aligned}
 F_x &= C_{vx} V \\
 F_x &= \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}
 \end{aligned}$$

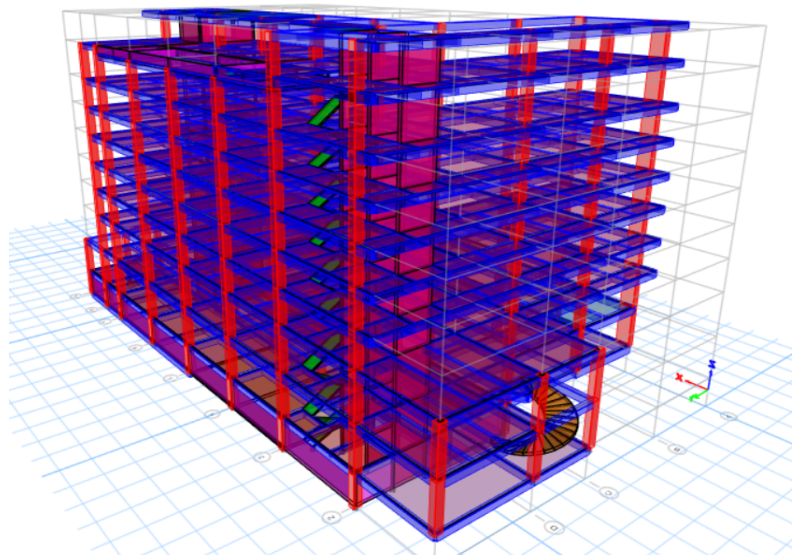
Hasil perhitungan distribusi gaya seismik lateral berdasarkan beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut

Tabel 5. 2 Nilai Gaya Seismik Lateral

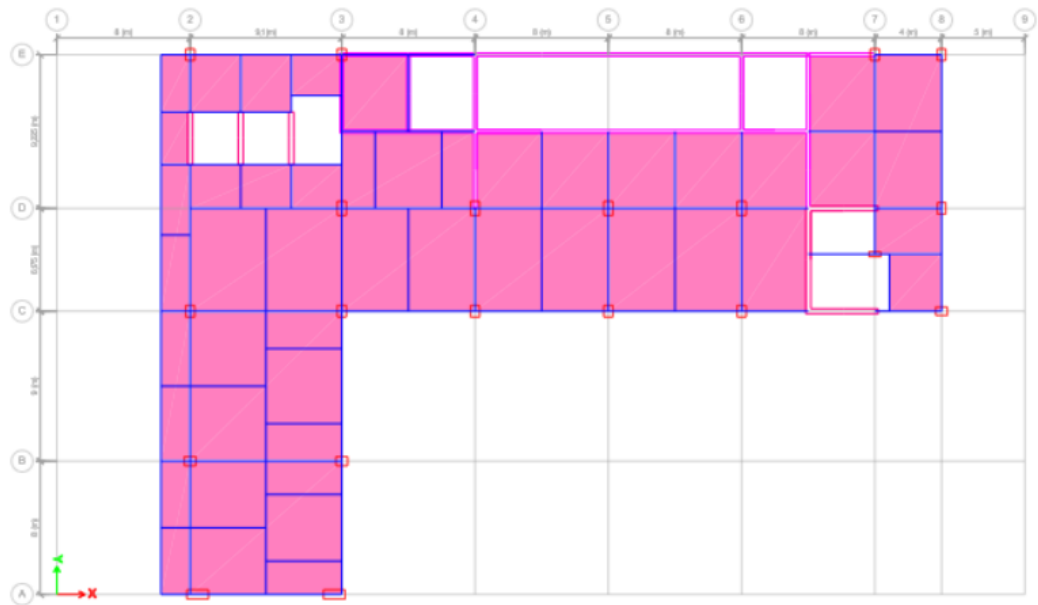
Lantai ke-i	W_i (kN)	H (m)	$W_i \times H^k$	C_{vx} dan C_{vy}	F_x dan F_y (kN)
Roof	3985,448	35,75	347686,0814	0,07664458	883,327
9	10654,389	32,45	823542,5125	0,18154327	2092,283
8	11983,648	28,45	785893,1732	0,17324378	1996,632
7	11008,641	25,15	618882,6519	0,13642766	1572,326
6	11017,250	21,85	519546,5119	0,11452982	1319,954
5	11017,250	18,55	423428,9362	0,09334148	1075,759
4	10975,938	15,25	330259,1454	0,07280295	839,052
3	14699,719	11,95	326140,8221	0,0718951	828,589
2	22781,272	7,45	280076,3628	0,6174056	711,559
1	19676,800	3,1	80886,61666	0,0178308	205,499
Groundfloor	5640,246	0	0	0	0
Total	133440,602		4536342,814	1	11524,985

5.2 Permodelan Struktur

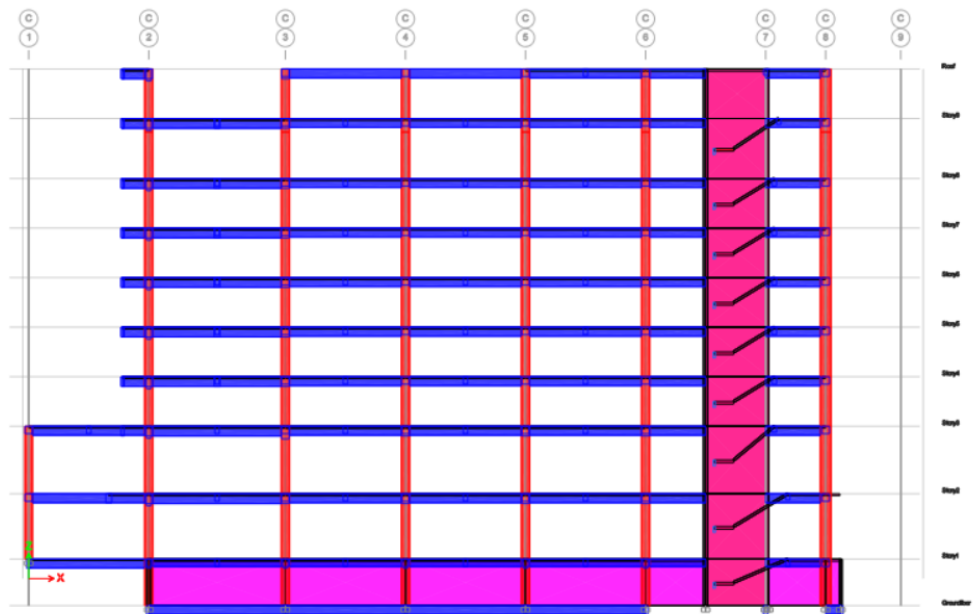
Permodelan struktur bangunan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS, seluruh elemen struktur akan didefinisikan sesuai dengan data DED. Permodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 5.3 – 5.6 berikut.

**Gambar 5. 3 Model 3D Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta**

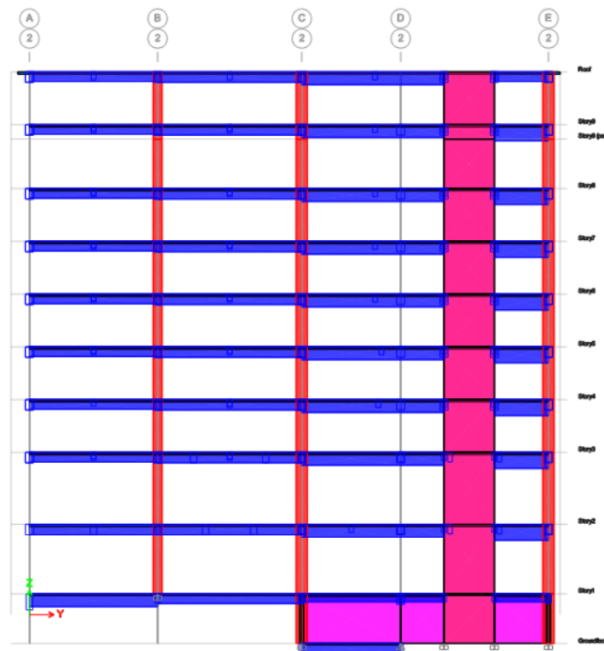
(Sumber: *Software ETABS*)



Gambar 5. 4 Tampak X-Y Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta
(Sumber: *Software ETABS*)



Gambar 5. 5 Tampak X-Z Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta
(Sumber: *Software ETABS*)

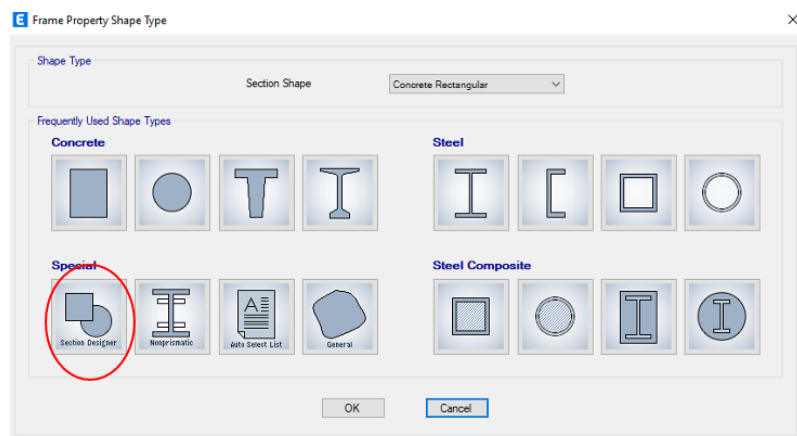


Gambar 5. 6 Tampak Y-Z Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta

(Sumber: *Software ETABS*)

5.2.1 Permodelan Elemen Struktur Kolom

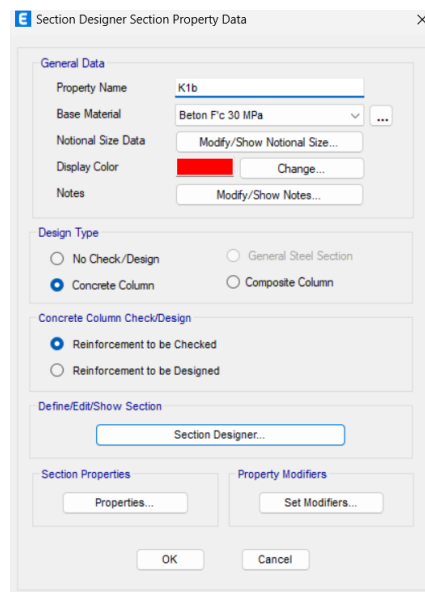
Elemen struktur kolom dimodelkan dengan *Section Designer*, dilakukan dengan klik *Define > Section Properties > Frame Section*, selanjutnya klik *Add New Property* dan pilih *Section Designer* pada menu *Frame Property Shape Type*, dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



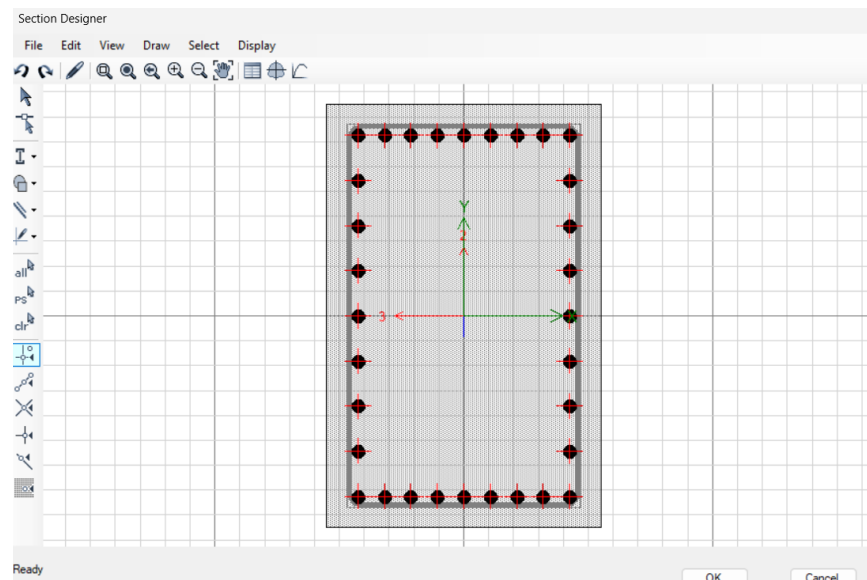
Gambar 5. 7 Frame Property Shape Type

(Sumber: *Software ETABS*)

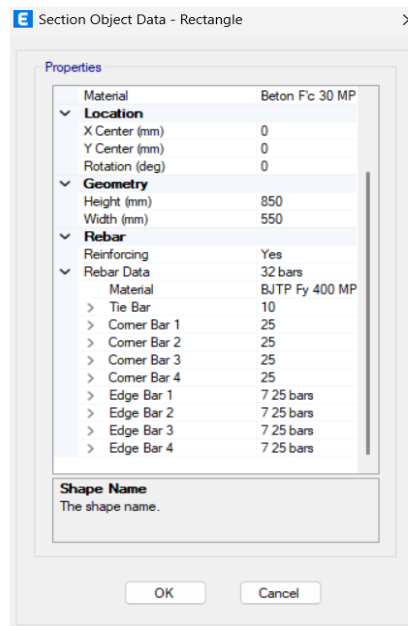
Selanjutnya data dimensi dan mutu beton elemen kolom dapat disesuaikan pada menu *Frame Section Property Data* lalu klik *Modify/Show Rebar* untuk data tulangan kolom sesuai dengan DED, dapat dilihat pada gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5. 8 *Section Designer Section Property Data*
(Sumber: *Software ETABS*)



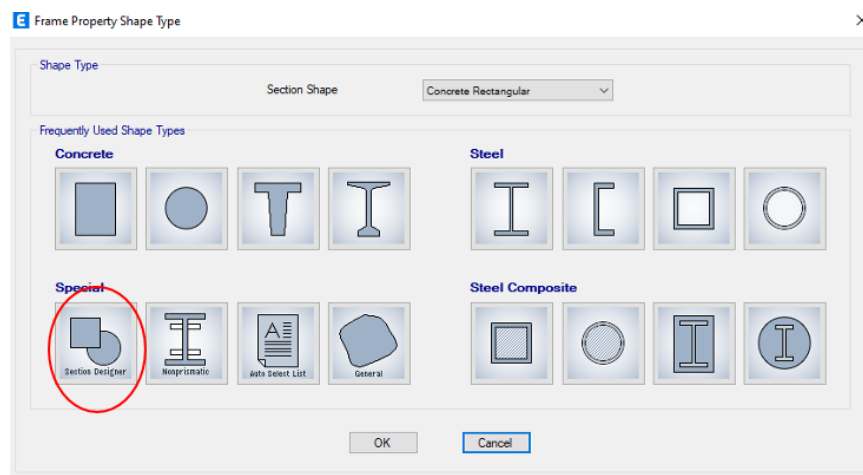
Gambar 5. 9 *Section Designer*
(Sumber: *Software ETABS*)



Gambar 5. 10 Section Object Data
(Sumber: Software ETABS)

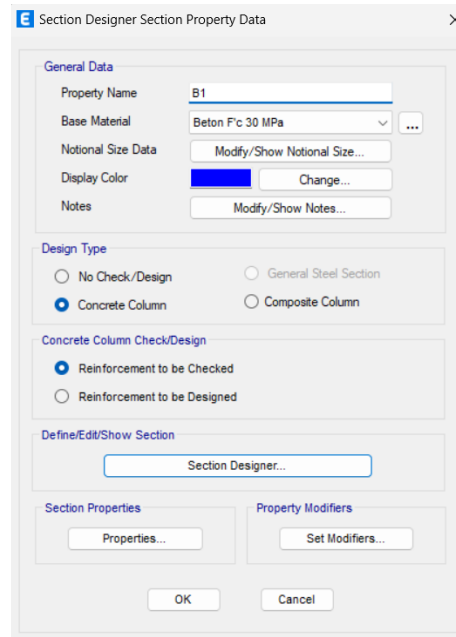
5.2.2 Permodelan Elemen Struktur Balok dan Sloof

Elemen struktur balok dan sloof dimodelkan dengan *Section Designer*, dilakukan dengan klik *Define > Section Properties > Frame Section*, selanjutnya klik *Add New Property* dan pilih *Section Designer* pada menu *Frame Property Shape Type*, dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

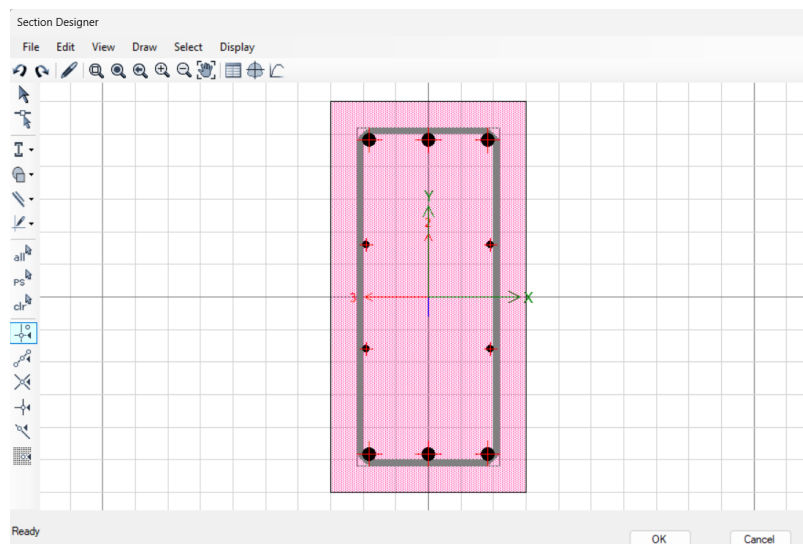


Gambar 5. 11 Frame Property Shape Type
(Sumber: Software ETABS)

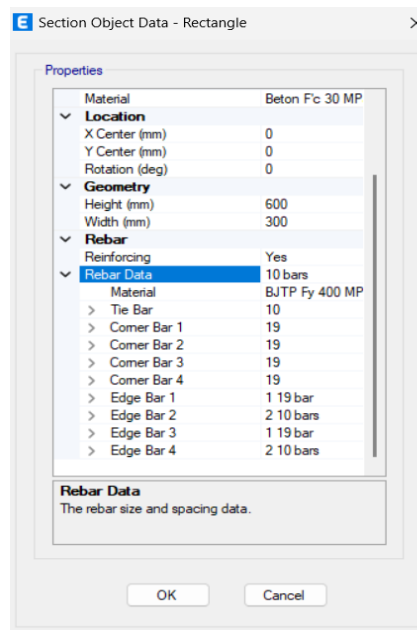
Selanjutnya data dimensi dan mutu beton elemen kolom dapat disesuaikan pada menu *Section Designer Section Property Data*, lalu klik *Section Designer* dan sesuaikan data tulangan balok ataupun sloof pada menu *Section Object Data* sesuai data pada *As Build Drawing*, dapat dilihat pada gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 12 *Section Designer Section Property Data*
(Sumber: *Software ETABS*)



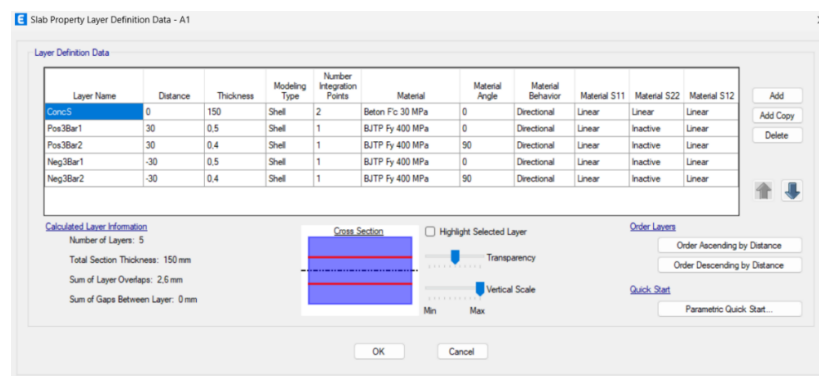
Gambar 5. 13 *Section Designer*
(Sumber: *Software ETABS*)



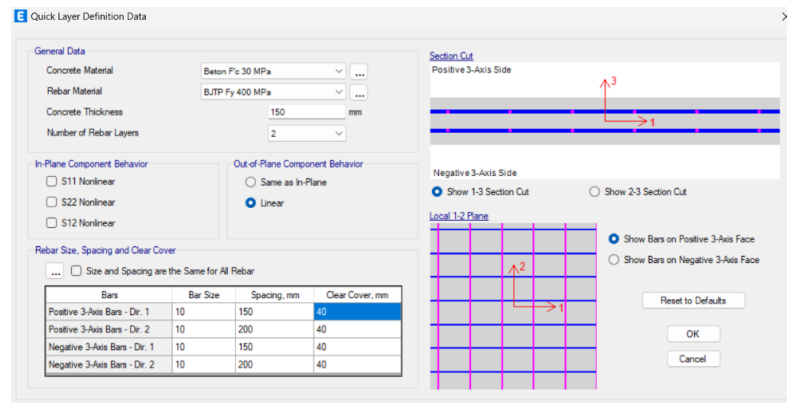
Gambar 5. 14 Section Object Data
(Sumber: Software ETABS)

5.2.3 Permodelan Elemen Struktur Pelat

Permodelan elemen struktur pelat didefinisikan dengan cara klik *Define* > *Section Properties* > *Slab Section*, selanjutnya klik *Add New Property* pada menu *Slab Section*. Dimensi dan tulangan elemen pelat disesuaikan pada menu *Slab Property Layer*, lalu klik *Parametrik Quick Start* dan masukkan data tulangan pelat sesuai DED, dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5. 15 Slab Property Layer Definition Data
(Sumber: Software ETABS)



Gambar 5. 16 Quick Layer Definition Data

(Sumber: Software ETABS)

5.3 Analisis Beban Gempa

Pada penelitian ini, untuk memulai analisis statik non-linear *pushover* perlu memperhatikan syarat beban gempa yang telah dialisisis pada tahap sebelumnya. Mengacu pada SNI 1726:2019 syarat beban gempa untuk struktur yang dialisisis harus memenuhi syarat kombinasi respon untuk gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) sama dengan 100% gaya geser dasar statik (V_{statik}). Analisis pengecekan beban gempa ini dilakukan secara otomatis dengan bantuan perangkat lunak ETABS dengan tahapan sebagai berikut.

5.3.1 Pendefinisian Mass Source

Tahap pendefinisian *mass source* dilakukan untuk dapat memperoleh nilai beban gempa yang tepat. Tahap ini sangat penting untuk dilakukan karena beban gempa sendiri diperoleh dari hasil perkalian antara percepatan dan massa struktur. Pendefinisian *mass source* akan mempengaruhi periode getar struktur (T_c) yang akan berlaku pada gaya geser dasar dinamik maupun statik.

Pendefinisian massa struktur pada ETABS dilakukan dengan cara klik *Define > Mass Source > Add New Mass Source*, selanjutnya pada menu *Mass Source Data* lakukan pengisian sesuai dengan massa struktur yang akan didefinisikan, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.

Gambar 5. 17 Mass Source Data
(Sumber: Software ETABS)

5.3.2 Data Respon Spektrum

Data respon spektrum gempa diperlukan dalam proses analisis dengan ETABS, untuk menginput data respon spektrum pada software ETABS dilakukan dengan cara klik *Define > Function > Response Spectrum*. Pada menu *Define Response Spectrum Functions* pilih opsi ASCE 7-16 lalu klik *Add New Function*, selanjutnya definisikan data respons spektrum yang digunakan untuk analisis pada menu *Response Spectrum ASCE 7-16 Function Definition* seperti pada Gambar 5.18 berikut.

Gambar 5. 18 Response Spectrum Function Definition
(Sumber: Software ETABS)

5.3.3 Syarat Gaya Geser Dasar Dinamik dan Statik

Besar gaya geser dasar dinamik dan statik dalam analisis ini harus memenuhi syarat sesuai SNI 1726:2019, untuk memastikan nilai gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) sama dengan 100% gaya geser dasar statik (V_{statik}). Untuk gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) didapatkan dari *running load case* Respon Sx dan Respon Sy dan untuk gaya geser dasar statik (V_{statik}) didapatkan dari *running load case* Ex ELF dan Ey ELF, sehingga diperoleh nilai seperti yang tertera pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Nilai Gaya Seismik Lateral

	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Kontrol
Arah X	13241,1881	4952,7836	Belum Memenuhi
Arah Y	13241,1881	4265,3086	Belum Memenuhi

Dari tabel di atas diketahui bahwa nilai gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) dan gaya geser dasar statik (V_{statik}) belum memenuhi syarat sesuai dengan SNI 1726:2019, maka perlu dilakukan penskalaan untuk gaya gempa agar nilai $V_{dinamik}$ dan V_{statik} memenuhi persyaratan. Faktor skala dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala arah x} &= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\
 &= \frac{13241,188}{3745,417} \\
 &= 2,673
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala arah y} &= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\
 &= \frac{13241,188}{4952,783} \\
 &= 3,104
 \end{aligned}$$

Dengan nilai faktor skala yang didapatkan di atas, analisis gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) dapat dilakukan kembali dengan memasukan faktor skala pada tabel *Loads Applied*, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan 5.20 berikut.

Load Case Data

General

Load Case Name: Response
 Load Case Type: Response Spectrum
 Mass Source: Previous (Berat Bangunan)
 Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Hotel Oakwood	3738.04

Other Parameters

Modal Load Case: Modal
 Modal Combination Method: CQC
☐ Include Rigid Response
 Rigid Frequency, f1:
 Rigid Frequency, f2:
 Periodic + Rigid Type:
 Earthquake Duration, td:
 Directional Combination Type: SRSS
 Absolute Directional Combination Scale Factor:
 Modal Damping: Constant at 0.05
 Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

OK Cancel

Gambar 5. 19 Scale Factor Load Case Data
 (Sumber: Software ETABS)

Load Case Data

General

Load Case Name: Response
 Load Case Type: Response Spectrum
 Mass Source: Previous (Berat Bangunan)
 Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Hotel Oakwood	4340.88

Other Parameters

Modal Load Case: Modal
 Modal Combination Method: CQC
☐ Include Rigid Response
 Rigid Frequency, f1:
 Rigid Frequency, f2:
 Periodic + Rigid Type:
 Earthquake Duration, td:
 Directional Combination Type: SRSS
 Absolute Directional Combination Scale Factor:
 Modal Damping: Constant at 0.05
 Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

OK Cancel

Gambar 5. 20 Scale Factor Load Case Data
 (Sumber: Software ETABS)

Setelah dilakukan penskalaan dengan faktor skala di atas, didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) yang baru sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Nilai Gaya Seismik Lateral

	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Kontrol
Arah X	13241,1881	13241,1881	Memenuhi
Arah Y	13241,1881	13241,1881	Memenuhi

5.3.4 Cek Mode Shape

Struktur bangunan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran yang mengalami perpindahan posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Hal ini merupakan komposisi penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa, pola goyangan pada struktur perlu diketahui dengan *running* pada *MODAL* sebelum dilakukan analisis pushover. Hasil *running* berupa *Modal Participating Mass Ratios* yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Modal Participating Mass Ratios

Mode	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Maksimum
1	0.62	0.0085	0	0.0046	0.3946	0.0133	0.62
2	0.0199	0.3328	0	0.1985	0.0133	0.3051	0.3328
3	0.0003	0.3051	0	0.1992	0.0003	0.3157	0.3157
4	0	0.0003	0	0.0004	0	0.0003	0.0004
5	0	0.0003	0	0.0005	0	0.0003	0.0005
6	0.0001	0.0003	0	0.0001	0.0001	3.511E-06	0.0003
7	0.00001724	0.068	0	0.1064	0.0004	0.0712	0.1064
8	0.1359	0.000001586	0	4.645E-06	0.1865	0.0008	0.1865
9	6.053E-06	0.0005	0	0.0007	4.648E-06	0.0004	0.0007
10	0.0009	0.0001	0	0.0001	0.0016	3.409E-06	0.0016
11	6.099E-06	0.0008	0	0.0013	1.292E-06	0.0004	0.0013
12	6.706E-07	0.000007757	0	0	1.897E-06	0.0001	0.0001

Berdasarkan Tabel 5.5 di atas, diketahui bahwa pada *mode* 1, nilai maksimum berada pada UX, artinya pola goyangan yang terjadi pada *mode* 1 yaitu translasi ke arah sumbu X. Untuk *mode* 2, nilai maksimum berada pada UY, artinya pola goyangan yang terjadi pada *mode* 2 yaitu translasi ke arah sumbu Y. Sedangkan pada *mode* 3, nilai maksimum berada pada RZ, artinya pola goyangan yang terjadi pada

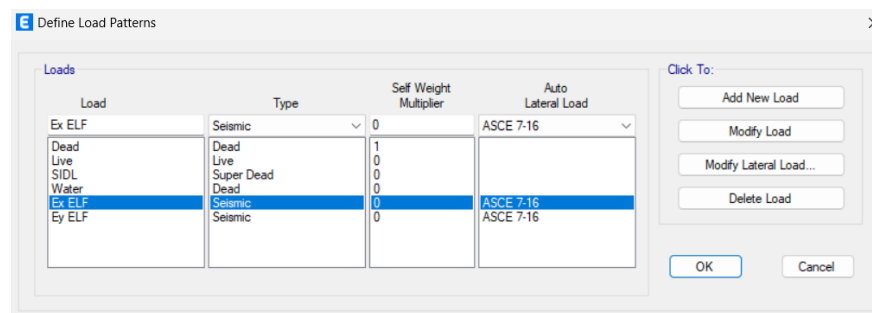
mode 3 yaitu rotasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa *mode shape* yg terjadi pada permodelan struktur sudah sesuai dengan syarat dimana pada *mode 1* dan *2* terjadi translasi dan *mode 3* terjadi rotasi.

5.4 Analisis *Pushover*

5.4.1 Pendefinisian *Load Pattern Pushover Analysis*

Pada analisis pushover yang akan dilakukan, perlu dilakukan pendefinisian gaya seismik lateral pada arah X dan arah Y yang bekerja pada struktur bangunan. Pendefinisian gaya seismik lateral ini dilakukan pada perangkat lunak ETABS dalam format Ex ELF dan Ey ELF.

Pendefinisian gaya pada ETABS dilakukan dengan cara Define > Load Patterns, pada menu Define Load Patterns pilih opsi tipe Seismic dan Auto Lateral Load Pattern ASCE 7-16 lalu selanjutnya klik Add New Load, lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5. 21 Define Load Patterns

(Sumber: *Software ETABS*)

Selanjutnya pada menu *Seismic Loading* definisikan gaya seismik lateral yang annatinya akan terdistribusi menjadi gaya seismik lateral pada pusat massa setiam tingkat, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan 5.23 berikut.

Gambar 5. 22 Seismic Loading Arah X
(Sumber: Software ETABS)

Gambar 5. 23 Seismic Loading Arah Y
(Sumber: Software ETABS)

5.4.2 Pendefinisian Load Case Pushover Analysis

Pendefinisian *load case* yang bekerja pada struktur bangunan untuk analisis statik non-linear *pushover* dibagi menjadi 2 tahap pembebanan. Untuk tahap pertama dilakukan analisis dengan mempertimbangkan beban mati dan beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan tanpa memperhatikan perilaku non-linear struktur, sedangkan untuk tahap kedua analisis dilakukan dengan menambahkan beban lateral secara bertahap kepada struktur.

1. Pendefinisian beban gravitasi

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur untuk analisis *pushover* didefinisikan pada ETABS. Pendefinisian beban gravitasi dilakukan dengan cara

klik *Define > Load Cases > Add New Load Case*, kemudian isi data pada menu *Load Case Data* dengan rincian seperti pada Gambar 5.24 berikut.

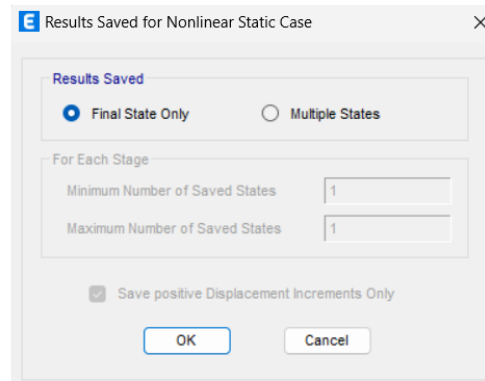
Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	SIDL	1
Load Pattern	Live	0.25

Gambar 5. 24 Load Case Data
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Load Application* klik *Modify/Show*, lalu pilih opsi *Full Load* pada menu *Load Application Control*. Sesuaikan data pada bagian *Monitored Displacement* pilih opsi *DOF/Joint* pada U3 dan untuk titik acuan analisis gunakan lantai paling atas di pusat bangunan yaitu *Roof – 14*, lalu klik OK.

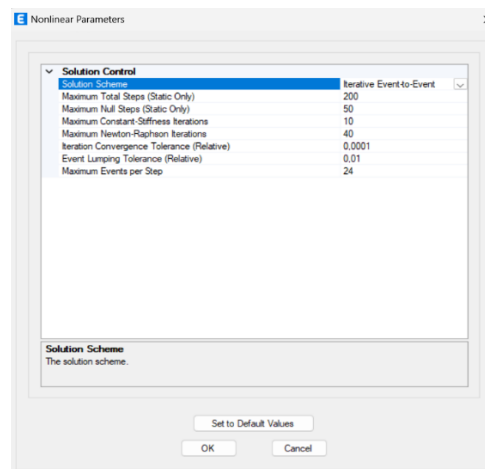
Gambar 5. 25 Load Application Control for Nonlinear Static Analysis
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Result Saved* klik *Modify/Show*, lalu pilih opsi *Final State Only*, lalu klik OK.



Gambar 5. 26 Result Saved for Nonlinear Static Case
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Nonlinear Parameters* klik *Modify/Show*, lalu isi data parameter seperti pada Gambar 5.27 berikut, lalu klik OK.



Gambar 5. 27 Nonlinear Parameters
(Sumber: Software ETABS)

2. Pendefinisian beban lateral pushover arah X

Beban lateral yang bekerja pada struktur untuk analisis *pushover* didefinisikan pada ETABS. Pendefinisian beban lateral dilakukan dengan cara klik *Define > Load Cases > Add New Load Case*, kemudian isi data pada menu *Load Case Data* dengan rincian seperti pada Gambar 5.28 berikut.

Gambar 5. 28 Load Case Data

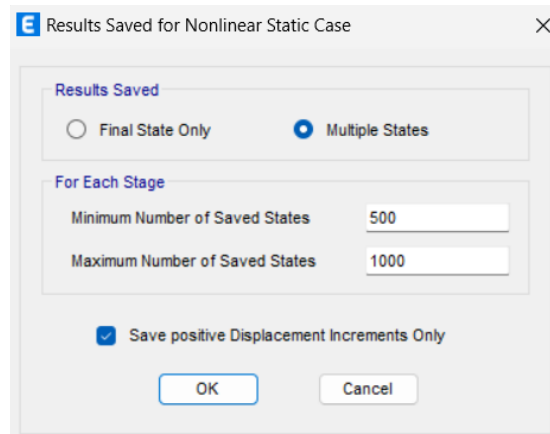
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Load Application* klik *Modify/Show*, lalu pilih opsi *Full Load* pada menu *Load Application Control*. Untuk *Control Displacement* pilih opsi *Use Monitored Displacement* dan isikan angka sebesar 2% dari total tinggi bangunan yaitu 715 m, lalu sesuaikan data pada bagian *Monitored Displacement* pilih opsi *DOF/Joint* pada U1 dan untuk titik acuan analisis gunakan lantai paling atas di pusat bangunan yaitu *Roof-14*, lalu klik OK.

Gambar 5. 29 Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

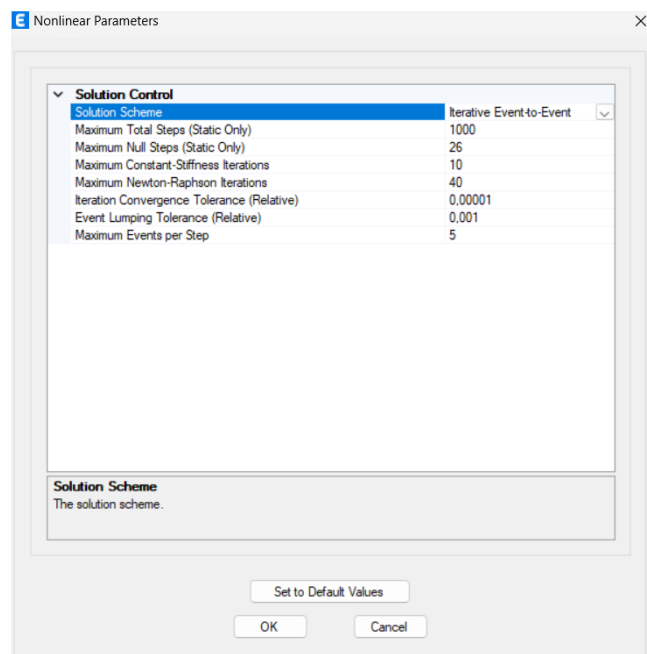
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Result Saved* klik *Modify/Show*, lalu pilih opsi *Multiple State*. Untuk nilai minimal state isikan dengan angka 10 dan nilai maksimal state dengan angka 200, lalu klik OK.



Gambar 5. 30 *Result Saved for Nonlinear Static Case*
(Sumber: *Software ETABS*)

Pada bagian *Nonlinear Parameters* klik *Modify/Show*, lalu isi data parameter seperti pada Gambar 5.31 berikut, lalu klik OK.



Gambar 5. 31 *Nonlinear Parameters*
(Sumber: *Software ETABS*)

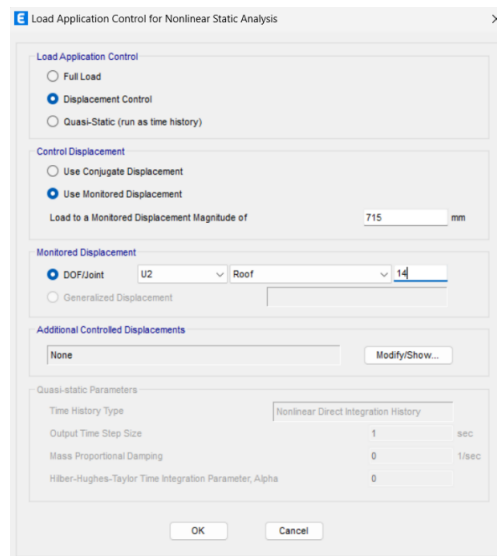
3. Pendefinisian beban lateral pushover arah Y

Beban lateral yang bekerja pada struktur untuk analisis *pushover* didefinisikan pada ETABS. Pendefinisian beban lateral dilakukan dengan cara klik *Define > Load Cases > Add New Load Case*, kemudian isi data pada menu *Load Case Data* dengan rincian seperti pada Gambar 5.32 berikut.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UY	-1

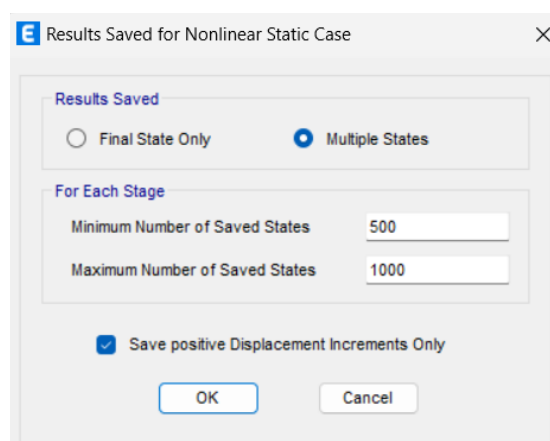
Gambar 5. 32 Load Case Data
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Load Application* klik *Modify/Show*, lalu pilih opsi *Full Load* pada menu *Load Application Control*. Untuk *Control Displacement* pilih opsi *Use Monitored Displacement* dan isikan angka sebesar 2% dari total tinggi bangunan yaitu 715 m, lalu sesuaikan data pada bagian *Monitored Displacement* pilih opsi *DOF/Joint* pada U2 dan untuk titik acuan analisis gunakan lantai paling atas di pusat bangunan yaitu *Roof – 14*, lalu klik OK.



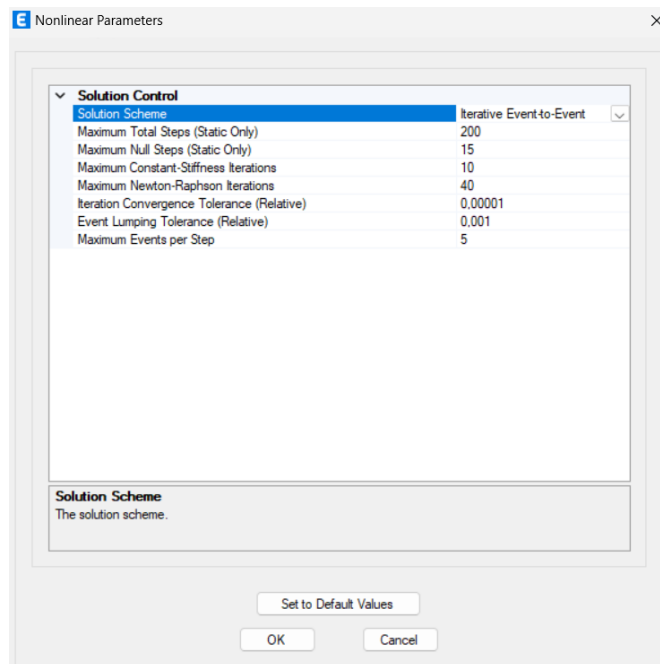
Gambar 5. 33 Load Application Control for Nonlinear Static Analysis
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Result Saved* klik *Modify/Show*, lalu pilih opsi *Multiple State*. Untuk nilai minimal state isikan dengan angka 10 dan nilai maksimal state dengan angka 200, lalu klik OK.



Gambar 5. 34 Result Saved for Nonlinear Static Case
(Sumber: Software ETABS)

Pada bagian *Nonlinear Parameters* klik *Modify/Show*, lalu isi data parameter seperti pada Gambar 5.35 berikut, lalu klik OK.



Gambar 5. 35 Nonlinear Parameters
(Sumber: *Software ETABS*)

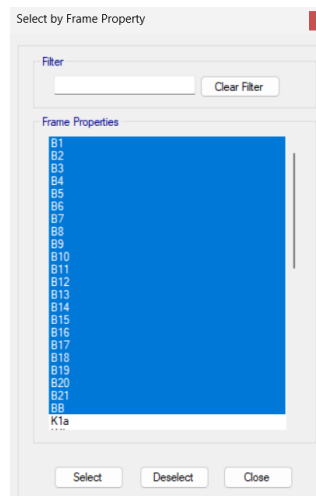
5.4.3 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinge*)

Pendefinisian sendi plastis dilakukan agar dapat mengetahui kondisi plastisitas struktur bangunan yang ditinjau, kondisi plastisitas struktur ditargetkan terjadi lebih dahulu pada elemen balok kemudian elemen kolom. Sendi plastis didefinisikan dalam *software ETABS* agar dapat terdeteksi terjadinya sendi plastis selama analisis *pushover*. Pendefinisian sendi plastis pada ETABS dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Pendefinisian sendi plastis elemen balok

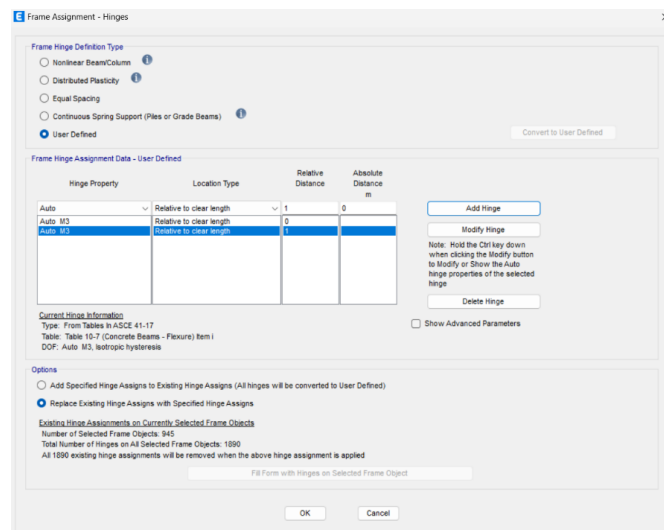
Tahap pendefinisian sendi plastis elemen balok pada ETABS dilakukan dengan cara berikut ini,

- a. Klik *Select > Properties > Frame Section*, lalu pilih seluruh tipe balok yang dimodelkan pada struktur bangunan.



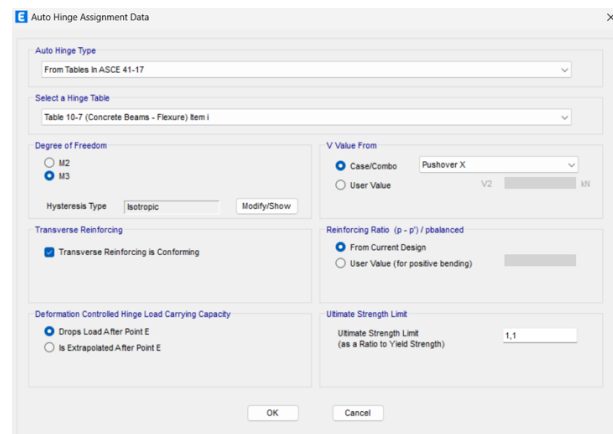
Gambar 5. 36 Select Elemen Struktur Balok
(Sumber: *Software ETABS*)

- b. Klik *Assign > Frame > Hinge*, selanjutnya pada menu *Frame Hinge Assignment Data* klik *Add New Hinge* dengan tipe property Auto M3 dan *Location Type* pilih *Relative to Clear Length* lalu isikan nilai 0 dan 1 yang menunjukkan bahwa sendi plastis didefinisikan pada kedua ujung balok, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.37 berikut.



Gambar 5. 37 Frame Assignment
(Sumber: *Software ETABS*)

- c. Selanjutnya klik *Modify* dan pada menu *Auto Hinge Assignment* pilih opsi tipe ASCE 41-17 dan isikan data seperti pada Gambar 5.38 berikut, lalu klik OK.

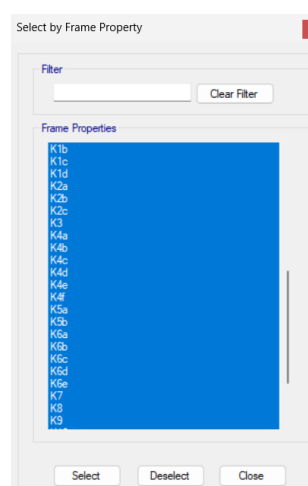


Gambar 5. 38 Auto Hinge Assignment Data
(Sumber: *Software ETABS*)

2. Pendefinisian sendi plastis elemen kolom

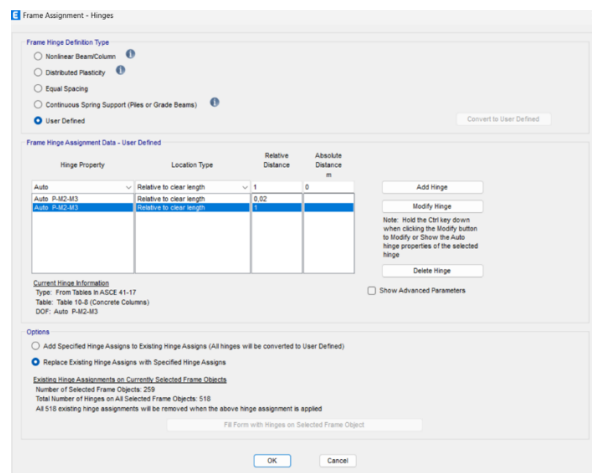
Tahap pendefinisian sendi plastis elemen kolom pada ETABS dilakukan dengan cara berikut ini,

- a. Klik *Select > Properties > Frame Section*, lalu pilih seluruh tipe balok yang dimodelkan pada struktur bangunan.



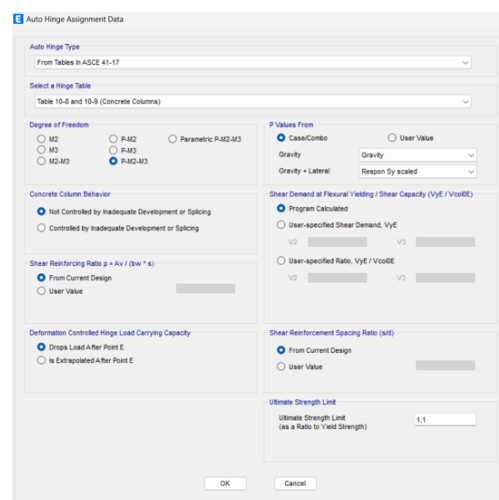
Gambar 5. 39 Select Elemen Struktur Balok
(Sumber: *Software ETABS*)

- b. Klik *Assign > Frame > Hinge*, selanjutnya pada menu *Frame Hinge Assignment Data* klik *Add New Hinge* dengan tipe property Auto P-M2-M3 dan *Location Type* pilih *Relative to Clear Length* lalu isikan nilai 0 dan 1 yang menunjukkan bahwa sendi plastis didefinisikan pada kedua ujung kolom, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.40 berikut.



Gambar 5. 40 Frame Assignment
(Sumber: Software ETABS)

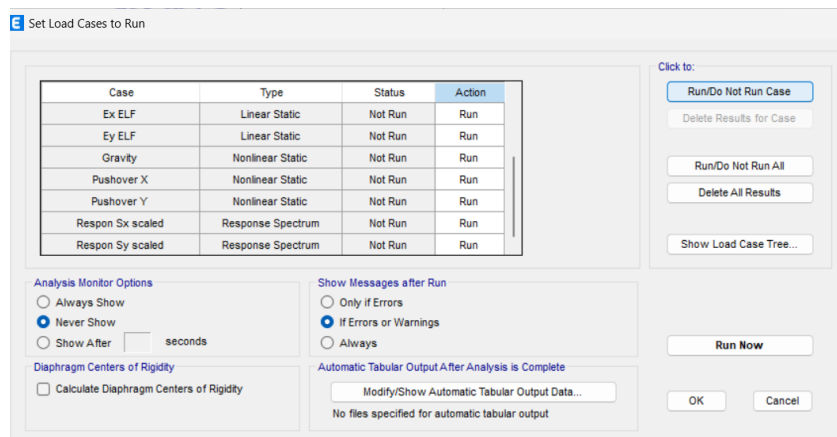
- c. Selanjutnya klik *Modify* dan pada menu *Auto Hinge Assignment* pilih opsi tipe ASCE 41-17 dan isikan data seperti pada Gambar 5.41 berikut, lalu klik OK.



Gambar 5. 41 Auto Hinge Assignment Data
(Sumber: Software ETABS)

5.4.4 Running Analisis Pushover

Setelah dilakukan pendefinisian *Load Case*, *Load Pattern*, dan sendi plastis pada elemen kolom dan baloknya, maka analisis pushover dapat dilakukan pada ETABS. *Running pushover analysis* dilakukan dengan cara klik *Analyze > Set Load Case to Run* dan pilih semua *Load Case* yang telah didefinisikan kecuali *Load Case Modal*, selanjutnya klik *Run Now*. *Running pushover analysis* akan dilakukan secara otomatis oleh perangkat lunak ETABS, waktu analisis untuk struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta memerlukan sekitar 3 jam hingga seluruh analisis selesai dilakukan.



Gambar 5. 42 Running Analysis Pushover

(Sumber: Software ETABS)

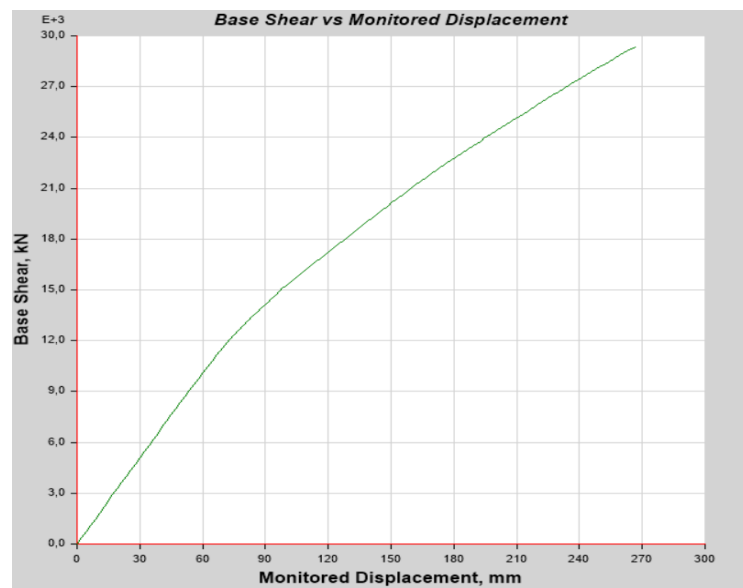
5.5 Hasil Analisis Pushover

Running analisis *pushover* melalui ETABS akan menghasilkan *output* berupa kurva kapasitas, *performance point*, serta kondisi sendi plastis yang terjadi setelah analisis *pushover* dilakukan. Nilai *performance point* akan dievaluasi dengan metode ATC-40 dan FEMA 356 guna menentukan level kinerja struktur gedung Hotel Oakwood Yogyakarta.

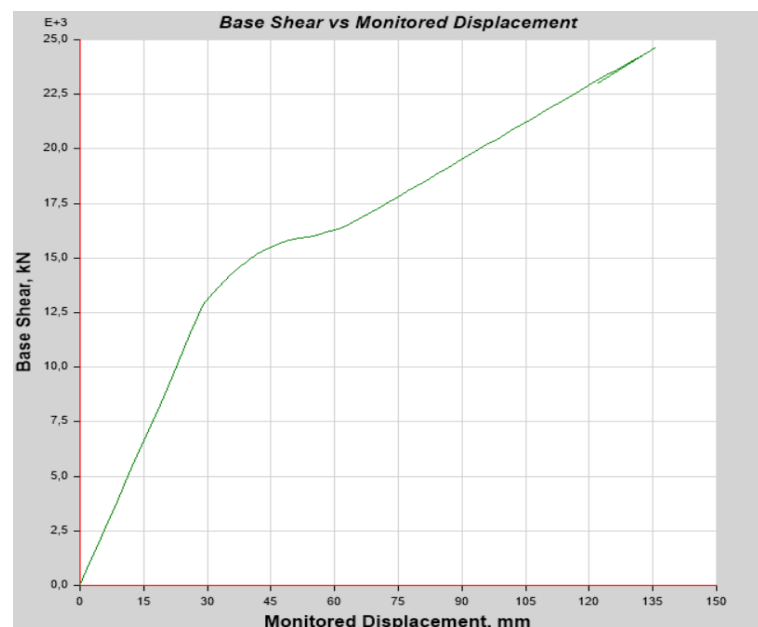
5.5.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*capacity curve*) menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) terhadap simpangan lateral pada titik kontrol di lantai atap. Kurva ini digunakan untuk menilai seberapa besar deformasi yang masih dapat

ditoleransi oleh struktur sebelum mencapai keruntuhan. *Output* analisis *pushover* berupa kurva kapasitas dapat ditampilkan melalui ETABS dengan cara klik *Display* > *Static Pushover Curve*, maka kurva kapasitas hasil dari analisis akan ditampilkan baik untuk *pushover* X maupun *pushover* Y. Kurva kapasitas dari analisis ini dapat dilihat pad Gambar 5.43 untuk arah X dan Gambar 5.44 untuk arah Y.



Gambar 5. 43 Kurva Kapasitas Arah X



Gambar 5. 44 Kurva Kapasitas Arah Y

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat kurva kapasitas yang terbentuk dari analisis pushover arah X dan Y, pada kurva kapasitas arah Y terlihat bahwa kurva sempat mengalami lengkungan di tengah kemudian kembali naik serta diakhiri dengan penurunan tajam kurve kapasitas. Kurva *pushover* dapat memperlihatkan sedikit penurunan ketika sebagian besar kekakuan telah hilang, meskipun kapasitas total struktur belum sepenuhnya habis (Fazarinc, Babič dan Dolšek, 2023). Dapat diartikan bahwa lengkungan yang terbentuk pada tengah kurva menggambarkan terjadinya persebaran gaya internal yang tidak seimbang, sehingga base shear sempat menurun hingga struktur kembali memperoleh kekuatan dari elemen lain. Pada ujung kurva kapasitas Y penurunan drastis dikarenakan kegagalan struktur telah terjadi sehingga elemen tidak lagi menahan gaya. Lebih jelasnya nilai *displacement* dan *base shear* dari kurva kapasitas di atas dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut.

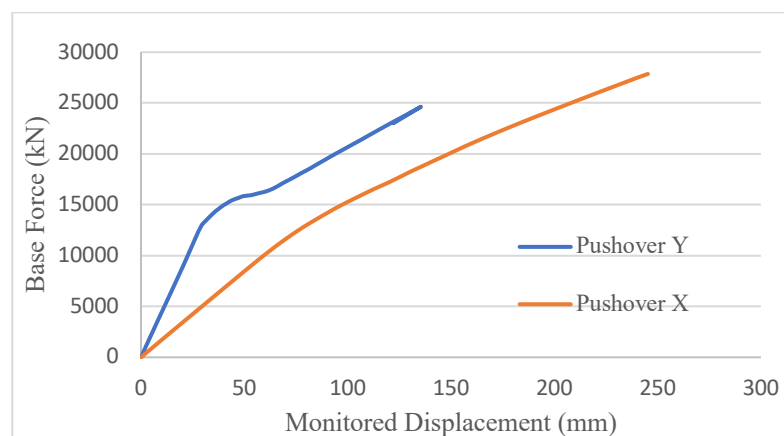
Tabel 5. 6 Nilai *Displacement* dan *Base Shear* Kurva Kapasitas Arah X

Step	<i>Monitored Displacement</i>	<i>Base Force</i>
	mm	kN
0	0,000	0,000
1	2,145	367,083
2	4,290	733,439
...		
19	40,755	6898,418
20	42,900	7259,425
21	45,045	7620,170
22	47,190	7981,046
...		
77	181,416	22872,686
78	184,342	23113,498
79	186,524	23291,268
80	189,176	23505,951
...		
99	243,438	27729,779
100	243,517	27735,920
101	243,522	27735,793
102	245,312	27864,002

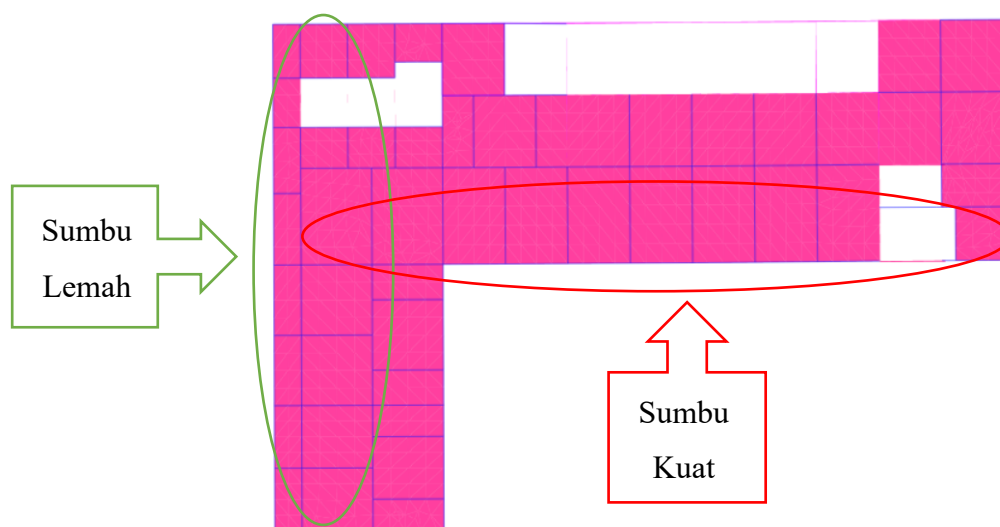
Tabel 5. 7 Nilai *Displacement* dan *Base Shear* Kurva Kapasitas Arah Y

Step	<i>Monitored Displacement</i>	<i>Base Force</i>
	mm	kN
0	0,000	0,000
1	0,067	30,300
2	2,212	992,817
3	4,357	1942,493
...		
22	53,608	15954,442
23	55,753	16069,033
24	57,898	16176,898
25	60,043	16284,934
...		
51	126,520	23634,774
52	130,571	24086,444
53	132,716	24326,924
54	135,447	24631,293
55	135,482	24635,164
56	122,181	23013,182

Dapat dilihat dari Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 di atas, analisis *pushover* arah X berhenti melakukan iterasi pada step ke-102 dengan nilai *displacement* sebesar 0,245 m dan *base shear* sebesar 27864,002 kN, sedangkan untuk analisis *pushover* arah Y berhenti melakukan iterasi pada step ke-55 dengan nilai *displacement* sebesar 0,135 m dan *base shear* sebesar 24635,164 kN. Perbandingan antara kurva kapasitas arah X dan kurva kapasitas arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut.

**Gambar 5. 45 Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X dan Arah Y**

Berdasarkan Gambar 5.51 di atas, dapat dilihat bahwa kurva kapasitas arah X lebih tegak dibandingkan kurva kapasitas arah Y. Hal tersebut menggambarkan bahwa nilai *base shear* yang dihasilkan dari struktur bangunan arah sumbu Y lebih kecil dibanding arah sumbu X, dengan nilai *base shear* maksimal pada arah Y sebesar 24635,164 kN sedangkan untuk arah X sebesar 29350,767 kN. Dapat disimpulkan bahwa hasil analisis *pushover* menunjukkan pada Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta sumbu kuat struktur bangunan berada di arah Y dan sumbu lemah pada arah X. Akan tetapi pada nilai base shear tertentu struktur pada arah Y telah mengalami kegagalan dan tidak dapat menahan gaya kembali sedangkan pada arah X struktur masih memiliki kapasitas untuk menahan base shear. Sumbu kuat dan sumbu lemah pada struktur bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut.



Gambar 5. 46 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur Bangunan

5.5.2 Performance Point

1. Berdasarkan ATC-40

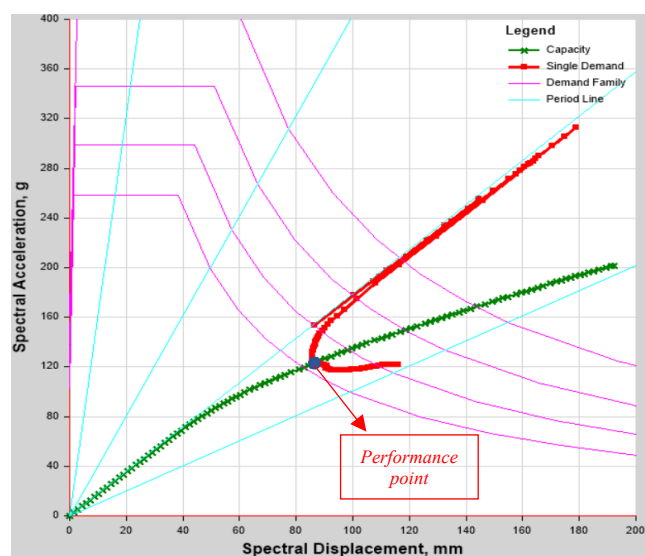
Penentuan titik kinerja (*performance point*) mengacu pada ATC-40 maka perlu dilakukan dengan metode *Capacity Spectrum*. Metode ini dilakukan dengan mengkonversi kurva kapasitas *output* dari analisis *pushover* ke dalam format ADRS

(*Acceleration-Displacement Respons Spectrum*). Dengan nilai parameter sebagai berikut,

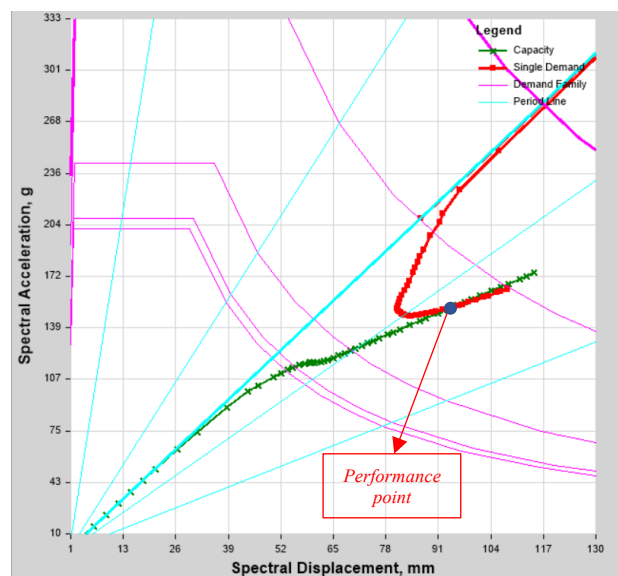
$$S_s = 1,1144 \text{ g}$$

$$S_I = 0,5045 \text{ g}$$

Konversi kurva kapasitas ke dalam format ADRS dilakukan secara otomatis pada *software* ETABS, sehingga didapatkan kurva respon spektrum arah X dan arah Y seperti pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 berikut.



Gambar 5. 47 Kurva Respon Spektrum Arah X



Gambar 5. 48 Kurva Respon Spektrum Arah Y

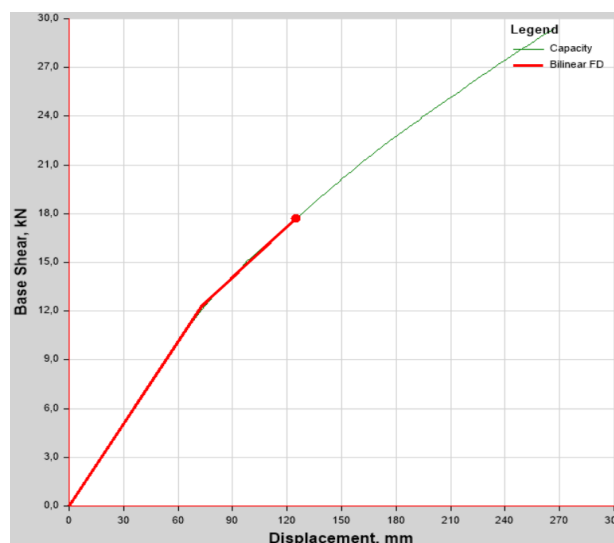
Berdasarkan Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 di atas nilai *performance point* diartikan sebagai besarnya kemampuan suatu struktur untuk dapat memenuhi kapasitas *demand* berupa beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019. Nilai *performance point* berdasarkan ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 8 Nilai *Performance Point* Berdasarkan ATC-40

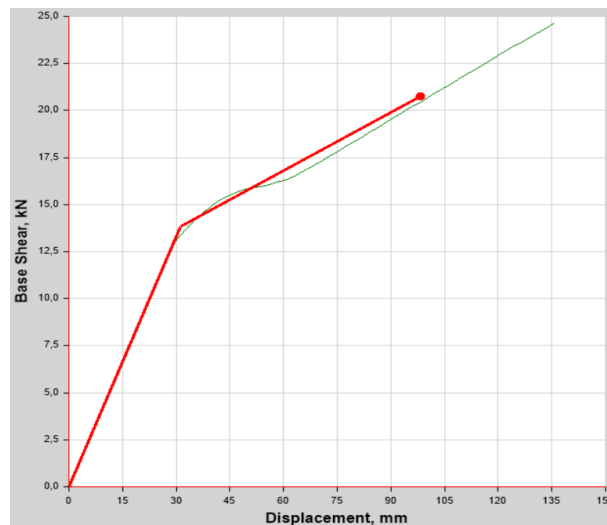
Arah Beban Pushover	Performance Point					
	V (kN)	δ (m)	S _a	S _d	T _{eff}	β_{eff}
Arah X	17773,776	0,126	0,124	86,815	1,695	0,079
Arah Y	21340,786	0,106	0,151	93,361	1,675	0,117

2. Berdasarkan FEMA 356

Penentuan titik kinerja (*performance point*) mengacu pada FEMA 356 menggunakan pendekatan metode koefisien perpindahan. Dalam metode ini, perhitungan dilakukan dengan menyesuaikan nilai koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 hingga diperoleh perpindahan global maksimum, baik elastis maupun inelastis, yang dikenal sebagai target displacement (δ_T). Metode koefisien perpindahan menurut FEMA 356 dilakukan secara otomatis pada ETABS, sehingga didapatkan hasil kurva seperti pada Gambar 5.49 dan 5.50 berikut.



Gambar 5. 49 Kurva FEMA 356 Arah X



Gambar 5. 50 Kurva FEMA 356 Arah Y

Berdasarkan Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 di atas nilai *performance point* berdasarkan FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 9 Parameter *Performance Point* Berdasarkan FEMA 356

Pushover Curve Parameter	Arah Beban Pushover	
	Arah X	Arah Y
V (kN)	17716,375	13841,349
Dt (m)	0,125	0,031
Sa	0,152	0,206
Te	1,517	1,305
C0	1,448	1,119
C1	1,000	1,000
C2	1,000	1,000
Cm	1,000	1,000
W (kN)	220819,721	220819,721
α	0,612	0,232

5.5.3 Perbandingan Level Kinerja Struktur

1. Level Kinerja Mengacu ATC-40

Berdasarkan kurva respon spektrum yang telah diperoleh sebelumnya, nilai parameter *performance point* berdasarkan ATC-40 meliputi gaya geser, *displacement*, S_a , S_d , waktu getar alami efektif, dan redaman viskous efektif dapat

dilihat pada Tabel 5.7 di atas. Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dinilai berdasarkan besarnya total *drift* (simpangan) maksimum yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

a. *Pushover* arah sumbu X

$$\begin{aligned}\text{Total } drift \text{ maksimum} &= \frac{\delta}{H} \\ &= \frac{0,126}{35,750} \\ &= 0,00352 < 0,01\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inelastic } drift \text{ maksimum} &= \frac{\delta_T - \delta_1}{H} \\ &= \frac{0,126 - 0,00067}{35,750} \\ &= 0,00351 < 0,005\end{aligned}$$

b. *Pushover* arah sumbu Y

$$\begin{aligned}\text{Total } drift \text{ maksimum} &= \frac{\delta}{H} \\ &= \frac{0,106}{35,750} \\ &= 0,00297 < 0,01\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inelastic } drift \text{ maksimum} &= \frac{\delta_T - \delta_1}{H} \\ &= \frac{0,106 - 0,00215}{35,750} \\ &= 0,00291 < 0,005\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan total *drift* maksimum menurut ATC-40, didapatkan nilai *drift* maksimum untuk arah X sebesar 0,00352 dan untuk arah Y sebesar 0,00297, lalu untuk nilai *inelastic drift* maksimum untuk arah X yaitu sebesar 0,00351 dan untuk arah Y sebesar 0,00291. Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan pedoman ATC-40 level kinerja struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta mengacu pada Tabel 3.17 berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Hal tersebut diartikan bahwa struktur bangunan gedung mampu menahan beban gempa, tidak terjadi kegagalan struktur yang berarti, serta kondisi bangunan

pasca gempa tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

2. Level Kinerja Mengacu FEMA 356

Berdasarkan kurva *pushover* FEMA 356 yang telah diperoleh sebelumnya dengan pendekatan metode koefisien perpindahan, telah diperoleh nilai parameter kurva *pushover* pada arah sumbu X dan arah sumbu Y yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 di atas. Level kinerja struktur berdasarkan FEMA 356 dinilai berdasarkan besarnya total *drift* (simpangan) maksimum yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

a. *Pushover* arah sumbu X

$$\begin{aligned} R &= \frac{S_a}{v_{y/W}} \cdot C_m \\ &= \frac{0,152}{17716,375/220819,721} \cdot 1 \\ &= 1,900 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{R} \\ &= 1,0 + \frac{|0,612|(1,900-1)^{3/2}}{1,900} \\ &= 1,275 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{2\pi} \cdot g \\ &= 1,448 \times 1 \times 1 \times 1,275 \times \frac{1,517^2}{2\pi} \times 9,81 \\ &= 0,104 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Drift aktual} &= \frac{\delta_T}{H} \\ &= \frac{0,104}{35,750} \\ &= 0,00290 \\ &= 0,290\% < 1,0\% \end{aligned}$$

b. *Pushover* arah sumbu Y

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{S_a}{v_{y/w}} \cdot C_m \\
 &= \frac{0,206}{13841,349/220819,721} \cdot 1 \\
 &= 3,287 \\
 C_3 &= 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{R} \\
 &= 1,0 + \frac{|0,232|(3,287-1)^{3/2}}{3,287} \\
 &= 1,244 \\
 \delta_T &= C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{2\pi} \cdot g \\
 &= 1,1186 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,244 \times 0,206 \times \frac{1,305^2}{2\pi} \times 9,81 \\
 &= 0,0747 \\
 \text{Drift aktual} &= \frac{\delta_T}{H} \\
 &= \frac{0,07474}{35,75} \\
 &= 0,00209 \\
 &= 0,209\% < 1,0\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan *drift* aktual menurut FEMA 365, didapatkan nilai *drift* aktual untuk arah X sebesar 0,290% dan untuk arah Y sebesar 0,209%. Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan pedoman FEMA 356 level kinerja struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta mengacu pada Tabel 3.19 berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Hal tersebut diartikan bahwa struktur bangunan hanya akan mengalami kerusakan ringan ketika menerima beban gempa, tidak ada simpangan permanen, dan struktur akan tetap memiliki kekuatan rencana saat dikenai beban gempa.

3. Rekapitulasi Level Kinerja Struktur

Penentuan level kinerja struktur telah dilakukan berdasarkan pedoman ATC-40 dan FEMA 356, dengan nilai drift yang didapatkan berdasarkan pedoman tersebut seperti pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Perbandingan Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356

Pedoman	<i>Drift</i>			Level Kinerja
	Arah Sumbu	X	Y	
ATC-40	Total <i>drift</i> maksimum	0,00352	0,00297	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>
	<i>Inelastic drift</i> maksimum	0,00351	0,00291	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>
FEMA 356	<i>Drift</i> aktual	0,290%	0,209%	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>

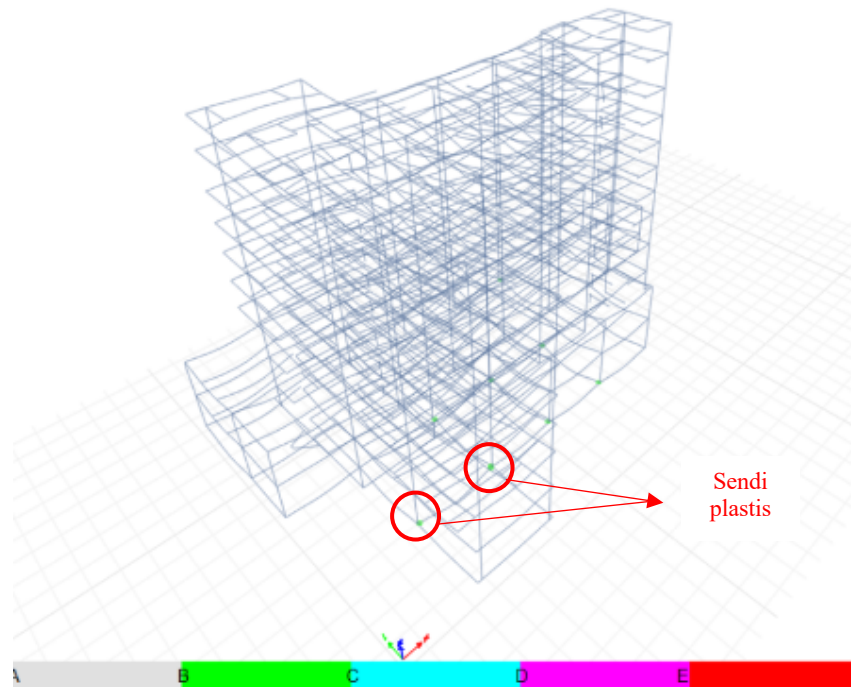
5.5.4 Mekanisme Sendi Plastis

Pada analisis *pushover*, terbentuknya sendi plastis ditandai dengan titik pada ujung elemen balok ataupun kolom. Warna pada tanda titik tersebut mewakili level kondisi sendi plastis pada elemen struktur. Apabila step iterasi pada analisis *pushover* bertambah, maka level kondisi sendi plastis pada bangunan gedung yang ditinjau terus menurun secara bertahap hingga terjadi keruntuhan.

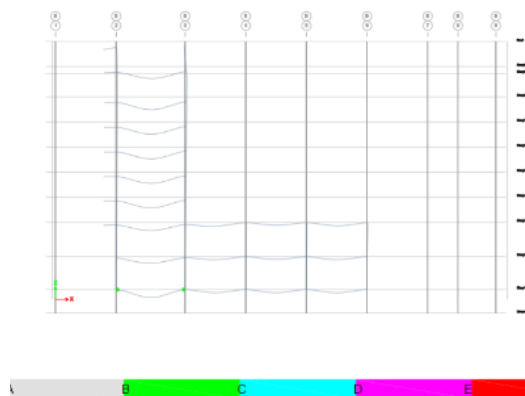
1. Sendi Plastis *Pushover* arah X

a. Step awal terbentuknya sendi plastis

Pada analisis *pushover* arah sumbu X, sendi plastis terbentuk pertama kali pada step ke-1. Sendi plastis yang terbentuk berada pada level B – C, terbentuk pada elemen balok lantai 1.



Gambar 5. 51 Step Awal Sendi Plastis Arah X 3D View

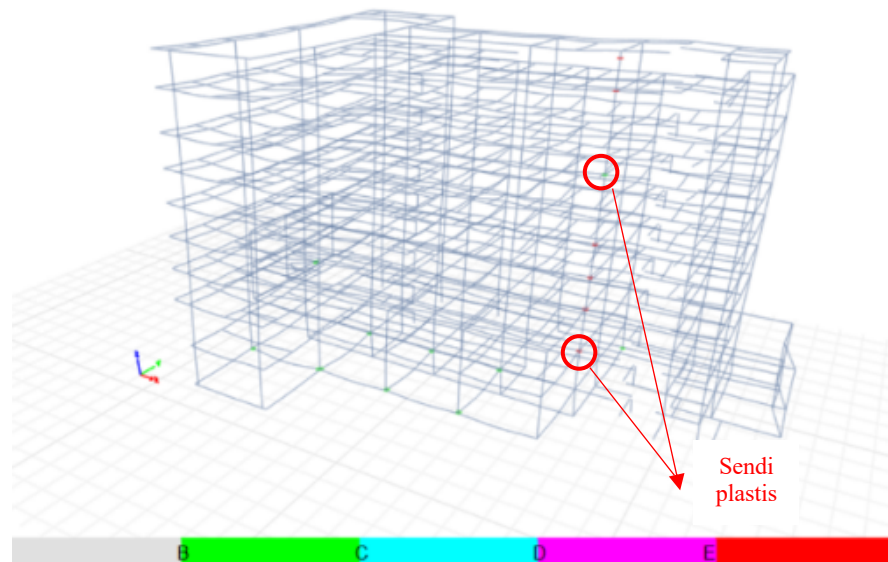


Gambar 5. 52 Step Awal Sendi Plastis Arah X Sumbu Y-Z

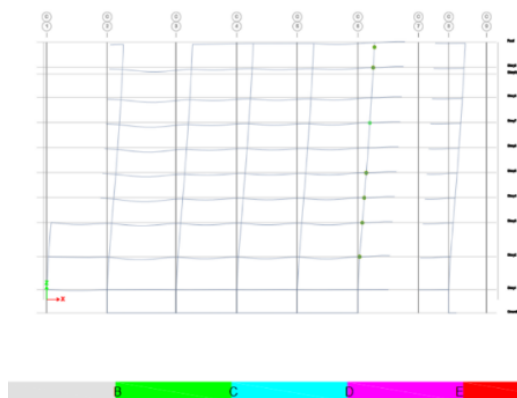
- b. Step terbentuknya sendi plastis pada kolom

Sendi plastis pada kolom pertama kali terbentuk pada step ke-50, sendi plastis terbentuk dari kolom lantai 2 hingga lantai 9 dengan tanda titik berwarna ungu, yang berarti sendi plastis yang terbentuk berada pada level

B – C dan *collapse prevention*. Step sendi plastis yang terbentuk pada elemen struktur kolom dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut.



**Gambar 5. 53 Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah X
3D View**

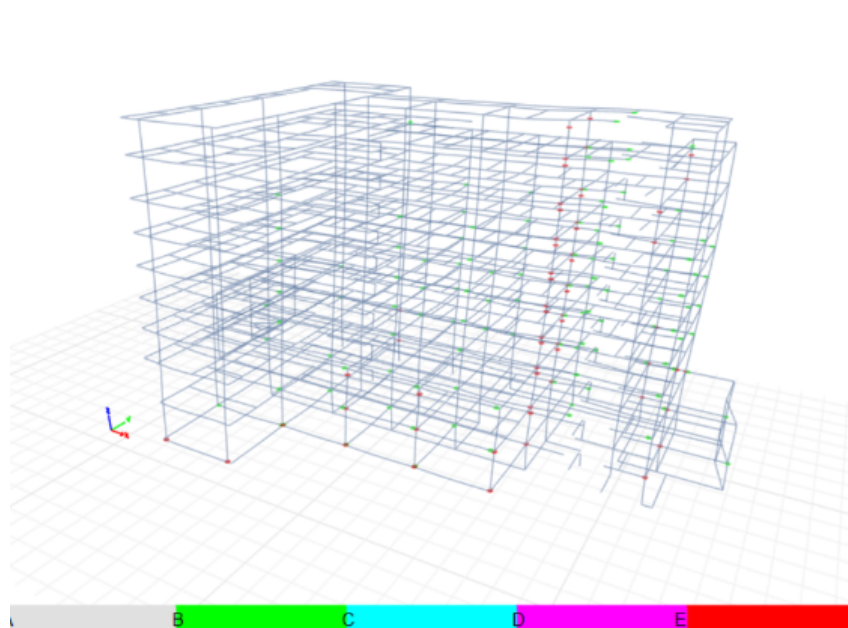


**Gambar 5. 54 Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah X
Sumbu Y-Z**

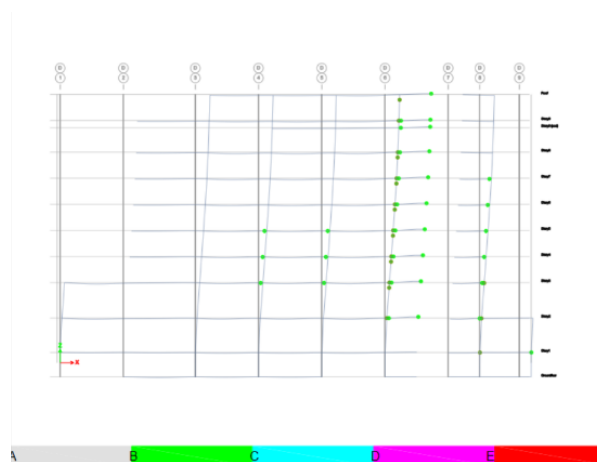
c. Step akhir terbentuknya sendi platis

Pada step ke-95 ETABS berhenti melakukan iterasi, kondisi sendi plastis pada step ini sudah terbentuk di hampir semua elemen struktur baik balok maupun kolom. Sebagian besar sendi plastis yang terbentuk ditandai dengan

warna hijau yang artinya level kondisi sendi plastis berada pada level B-C, akan tetapi terdapat beberapa elemen kolom dan balok sudah berada pada kondisi *collapse prevention* yang ditandai dengan titik warna merah. Terbentuknya sendi plastis sudah memenuhi prinsip *strong column weak beam* dimana sendi plastis pertama kali terbentuk pada elemen balok dan dilanjutkan pada elemen kolom. Step akhir terbentuknya sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut.



Gambar 5. 55 Step Akhir Sendi Plastis Arah X 3D View

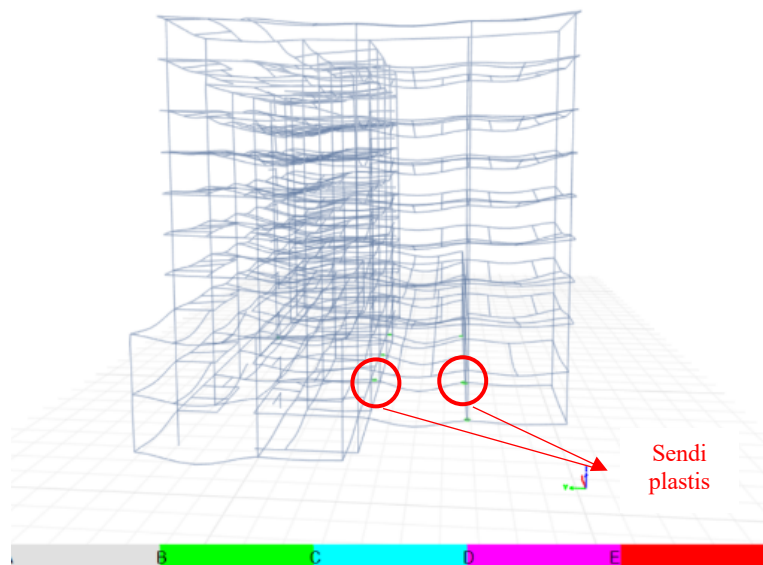


Gambar 5. 56 Step Akhir Sendi Plastis Arah X Sumbu Y-Z

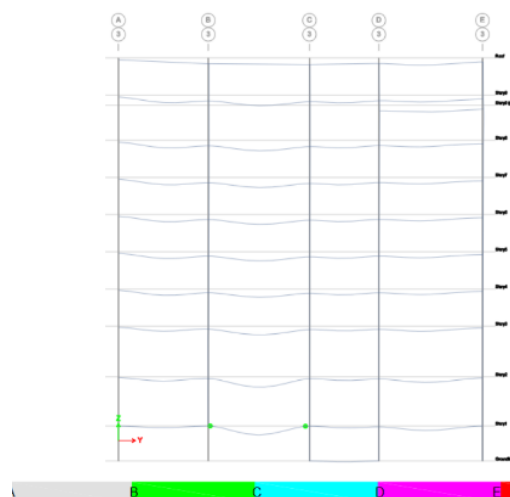
2. Sendi Plastis *Pushover* arah Y

a. Step awal terbentuknya sendi plastis

Pada analisis pushover arah sumbu Y, sendi plastis terbentuk pertama kali pada step ke-1. Sendi plastis yang terbentuk berada pada level B – C, terbentuk pada elemen balok lantai 1.



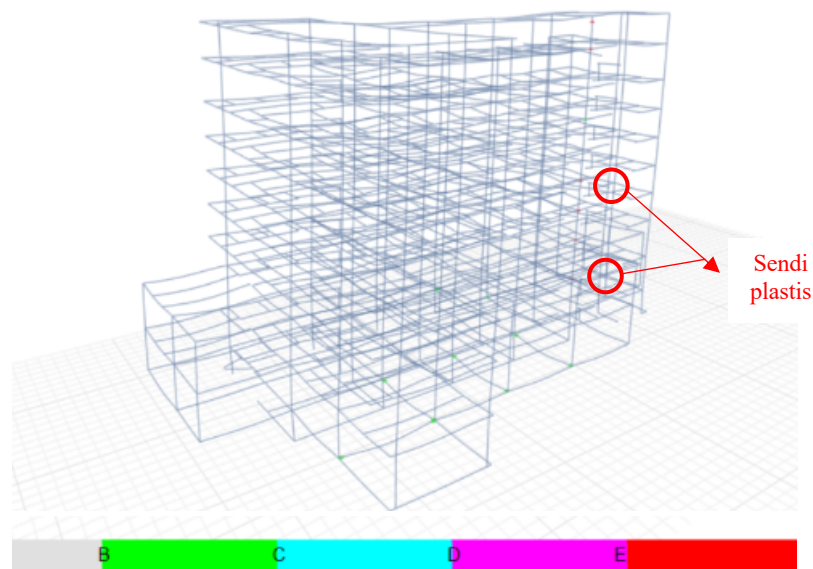
Gambar 5. 57 Step Awal Sendi Plastis Arah Y 3D View



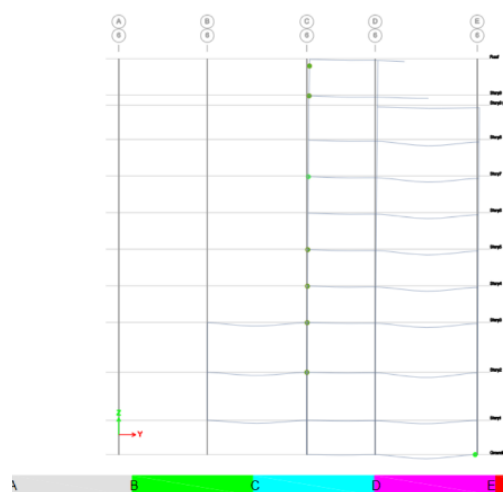
Gambar 5. 58 Step Awal Sendi Plastis Arah Y Sumbu Y-Z

b. Step terbentuknya sendi plastis pada kolom

Sendi plastis pada kolom pertama kali terbentuk pada step ke-50, sendi plastis terbentuk dari kolom lantai 2 hingga lantai 9 dengan tanda titik berwarna hijau dan biru, yang berarti sendi plastis yang terbentuk berada pada level B – C dan *collapse prevention*. Step sendi plastis yang terbentuk pada elemen struktur kolom dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut.



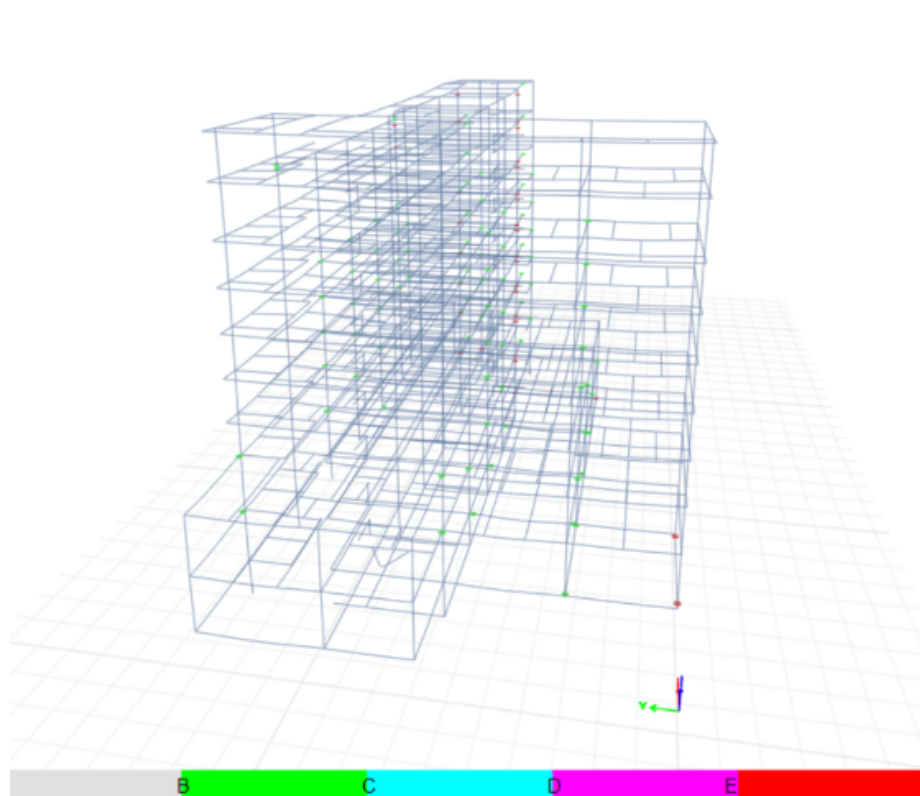
**Gambar 5. 59 Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah Y
3D View**



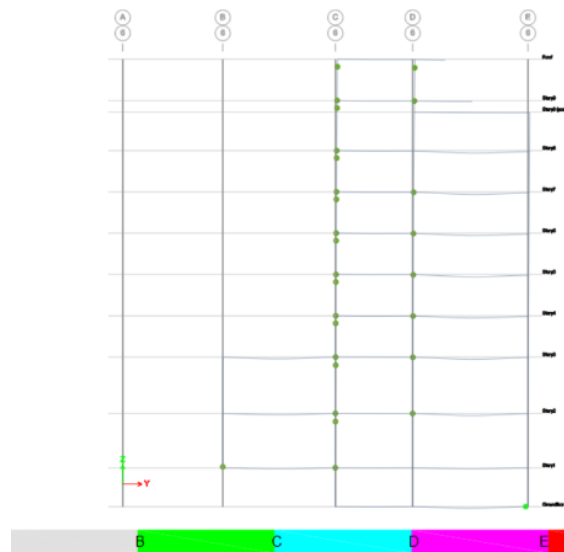
**Gambar 5. 60 Step Terbentuknya Sendi Plastis Elemen Kolom Arah Y
Sumbu Y-Z**

c. Step akhir terbentuknya sendi plastis

Pada step ke-95 ETABS berhenti melakukan iterasi, kondisi sendi plastis pada step ini sudah terbentuk di hampir semua elemen struktur baik balok maupun kolom. Sebagian besar sendi plastis yang terbentuk ditandai dengan warna hijau yang artinya level kondisi sendi plastis berada pada level B-C, akan tetapi terdapat beberapa elemen kolom dan balok sudah berada pada kondisi *collapse prevention* yang ditandai dengan titik warna merah. Terbentuknya sendi plastis sudah memenuhi prinsip *strong column weak beam* dimana sendi plastis pertama kali terbentuk pada elemen balok dan dilanjut pada elemen kolom. Step akhir terbentuknya sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut.



Gambar 5. 61 Step Akhir Sendi Plastis Arah Y 3D View



Gambar 5. 62 Step Akhir Sendi Plastis Arah Y Sumbu Y-Z

BAB VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada objek pengamatan struktur gedung Hotel Oakwood Yogyakarta, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Kurva kapasitas yang dihasilkan dari analisis pushover menunjukkan bahwa pada struktur bangunan ditinjau sumbu kuat bangunan berada pada sumbu Y dan sumbu lemah bangunan berada pada sumbu X, disimpulkan berdasarkan hasil perbandingan antara kurva kapasitas arah X dengan kurva kapasitas arah Y, dimana kurva kapasitas arah Y lebih tegak dibandingkan kurva kapasitas arah X, dengan nilai *performance point* yang diperoleh dari analisis *pushover* berdasarkan ATC-40 pada arah X yaitu $V = 17773,776 \text{ kN}$ dan $\delta = 0,126 \text{ m}$, sedangkan untuk arah Y yaitu $V = 21340,786 \text{ kN}$ dan $\delta = 0,106 \text{ m}$, sedangkan nilai *performance point* yang diperoleh berdasarkan FEMA 356 pada arah X yaitu $V = 177716,375 \text{ kN}$ dan $\delta = 0,125 \text{ m}$, sedangkan untuk arah Y yaitu $V = 13841,349 \text{ kN}$ dan $\delta = 0,031 \text{ m}$.
2. Level kinerja struktur yang dinilai berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356 keduanya menunjukkan bahwa kinerja struktur gedung Hotel Oakwood Yogyakarta berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan ATC-40 didapatkan nilai *drift* maksimum untuk arah X sebesar 0,00352 dan untuk arah Y sebesar 0,00297, lalu untuk nilai *inelastic drift* maksimum untuk arah X yaitu sebesar 0,00351 dan untuk arah Y sebesar 0,00291. Sedangkan berdasarkan FEMA 356 didapatkan nilai *drift* aktual untuk arah X sebesar 0,290% dan untuk arah Y sebesar 0,209%. Dimana seluruh nilai yang didapatkan tersebut masuk ke dalam level kinerja *Immediate Occupancy* berdasarkan masing-masing acuan.

3. Mekanisme sendi plastis yang terjadi akibat analisis pushover yang dilakukan yaitu sesuai dengan prinsip SCWB (*strong column weak beam*), dimana baik pada arah X maupun Y sendi plastis pertama kali terbentuk pada elemen balok pada step yang sama yaitu step ke-1 di lantai yang sama yaitu lantai 1. Selanjutnya elemen kolom mulai mengalami sendi plastis pada step ke-50, baik pada arah X maupun arah Y sendi plastis yang terbentuk berada pada level B – C dan beberapa langsung terbentuk pada level *collapse prevention*. Pada step akhir terbentuknya sendi plastis yaitu pada step ke-95, hampir seluruh elemen balok dan kolom sudah mengalami sendi plastis sebagian besar ada level B – C dan beberapa elemen kolom dan balok berada pada level *collapse prevention*.

6.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, berikut merupakan saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan dari penelitian selanjutnya mengenai evaluasi kinerja struktur bangunan menggunakan metode analisis *pushover*.

1. Untuk melakukan analisis *pushover* diperlukan komputer dengan spesifikasi tinggi agar dapat mempercepat proses *running* analisis yang membutuhkan waktu lumayan lama.
2. Penggunaan metode analisis lain seperti metode analisis dinamik *Time History* sebagai pembanding hasil evaluasi dengan menggunakan metode analisis statik non-linear *pushover*.
3. Penggunaan acuan lain seperti FEMA 440 sebagai opsi pembanding lain dalam penentuan level kinerja struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjakoni, A.F. dan Lutfi, M. (2020) *Evaluasi Kinerja Seismik pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan Metode Analisis Pushover Berdasarkan ATC 40*, Jurnal Komposit.
- ATC-40 (1996) *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. California.
- Chopra, A.K. (2012) *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering (4th edition)*.
- Dewobroto, W. (2006) *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*, Jurusan Teknik Sipil. Universitas Pelita Harapan.
- Fazarinc, N., Babič, A. dan Dolšek, M. (2023) “Parametric pushover curve model for seismic performance assessment of building stock.” Tersedia pada: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3202780/v1>.
- FEMA 356 (2000) *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington D. C.
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Prasetya, M.A., Wirakusuma, I. dan Surya, G. (2022) “Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan Atc-40 (Studi Kasus : Graha Wiyata UNTAG Surabaya),” *Jurnal Extrapolasi*, 19.
- Prasetyo, H., Kurniati, D. dan Prihadi, B.K. (2020) “Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan Pushover Analysis dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356,” *Jurnal PenSil*, 9(1), hlm. 40–46. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21009/jpensil.v9i1.14021>.
- Rumbyarso, yonas P.A. (2024) *KINERJA STRUKTUR GEDUNG OFFICE 36 LANTAI: Analisis Time History dan Pushover*. Banyumas.
- Rumbyarso, Y.P.A. (2024) *Kinerja Struktur Gedung Office 36 Lantai: Analisis Time History dan Pushover*. Banyumas.

- SNI 1726 (2019) “SNI 1726:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.”
- SNI 1727 (2020a) *SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- SNI 1727 (2020b) *SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Syahira, M.S. dan Jamal, A.U. (2023) “Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted),” *Proceeding Civil Engineering Research Forum* [Preprint].
- Zebua, D. dkk. (2023) “Evaluation of Seismic Performance of Hospital Building Using Pushover Analysis Based on ATC-40,” *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 14(2), hlm. 138–145. Tersedia pada: <https://doi.org/10.33736/jcest.5326.2023>.
- Zebua, D. dan Koespiadi (2022) *Performance Evaluation of Highrise Building Structure Based on Pushover Analysis with ATC-40 Method, Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel *Output* Nilai Kurva Kapasitas Pushover X

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0,000	0,000	5002	18	0	0	0	4937	83	0	0	5020
1	2,145	367,083	5002	18	0	0	0	4937	83	0	0	5020
2	4,290	733,439	5002	18	0	0	0	4937	83	0	0	5020
3	6,435	1099,720	5002	18	0	0	0	4936	84	0	0	5020
4	8,580	1465,727	5002	18	0	0	0	4935	85	0	0	5020
5	10,725	1830,274	5002	18	0	0	0	4933	87	0	0	5020
6	12,870	2193,836	5002	18	0	0	0	4932	88	0	0	5020
7	15,015	2556,931	5002	18	0	0	0	4932	88	0	0	5020
8	17,160	2919,610	5002	18	0	0	0	4931	89	0	0	5020
9	19,305	3282,121	5002	18	0	0	0	4930	90	0	0	5020
10	21,450	3644,631	5002	18	0	0	0	4929	91	0	0	5020
11	23,595	4007,134	5002	18	0	0	0	4926	94	0	0	5020
12	25,740	4369,147	5002	18	0	0	0	4926	94	0	0	5020
13	27,885	4730,690	5002	18	0	0	0	4925	95	0	0	5020
14	30,030	5092,182	5002	18	0	0	0	4924	96	0	0	5020
15	32,175	5453,618	5002	18	0	0	0	4924	96	0	0	5020
16	34,320	5815,053	5002	18	0	0	0	4924	96	0	0	5020
17	36,465	6176,277	5002	18	0	0	0	4924	96	0	0	5020
18	38,610	6537,389	5002	18	0	0	0	4924	96	0	0	5020
19	40,755	6898,418	5002	18	0	0	0	4923	97	0	0	5020
20	42,900	7259,425	5002	18	0	0	0	4923	97	0	0	5020
21	45,045	7620,170	5002	18	0	0	0	4922	98	0	0	5020

22	47,190	7981,046	5002	18	0	0	0	4920	100	0	0	5020
23	49,335	8341,857	5002	18	0	0	0	4919	101	0	0	5020
24	51,480	8701,430	5002	18	0	0	0	4918	102	0	0	5020
25	53,625	9058,700	5002	18	0	0	0	4917	103	0	0	5020
26	55,770	9412,252	5002	18	0	0	0	4916	104	0	0	5020
27	57,915	9762,905	5002	18	0	0	0	4914	106	0	0	5020
28	60,060	10108,514	5002	18	0	0	0	4911	109	0	0	5020
29	62,205	10448,768	5002	18	0	0	0	4909	111	0	0	5020
30	64,350	10784,490	5002	18	0	0	0	4907	112	1	0	5020
31	66,495	11110,487	5002	18	0	0	0	4906	113	1	0	5020
32	68,640	11426,760	5002	18	0	0	0	4904	115	1	0	5020
33	70,785	11738,519	5002	18	0	0	0	4903	115	2	0	5020
34	72,930	12040,798	5002	18	0	0	0	4900	118	2	0	5020
35	75,075	12337,317	5002	18	0	0	0	4898	119	3	0	5020
36	77,220	12626,256	5002	18	0	0	0	4896	121	3	0	5020
37	79,365	12903,561	5002	18	0	0	0	4894	122	4	0	5020
38	81,510	13166,255	5002	18	0	0	0	4891	125	4	0	5020
39	83,655	13427,162	5002	18	0	0	0	4889	127	4	0	5020
40	85,800	13684,705	5001	19	0	0	0	4887	129	4	0	5020
41	85,800	13684,706	5000	19	0	0	1	4887	129	3	1	5020
42	87,945	13938,801	5000	19	0	0	1	4885	130	4	1	5020
43	90,090	14189,162	5000	19	0	0	1	4884	131	4	1	5020
44	92,870	14511,679	4998	20	0	0	2	4883	129	6	2	5020
45	95,015	14748,207	4998	20	0	0	2	4882	130	6	2	5020
46	98,146	15083,470	4996	21	0	0	3	4877	133	7	3	5020

47	100,291	15302,819	4996	21	0	0	3	4874	136	7	3	5020
48	102,436	15522,206	4996	21	0	0	3	4871	138	8	3	5020
49	105,443	15823,941	4994	22	0	0	4	4867	142	7	4	5020
50	108,138	16092,586	4987	27	0	0	6	4864	145	5	6	5020
51	110,539	16327,667	4982	30	0	0	8	4864	145	3	8	5020
52	113,419	16605,061	4976	36	0	0	8	4861	148	3	8	5020
53	117,667	16991,325	4972	39	0	0	9	4857	151	3	9	5020
54	119,915	17201,086	4966	45	0	0	9	4856	152	3	9	5020
55	122,060	17409,981	4966	45	0	0	9	4856	148	7	9	5020
56	124,502	17653,489	4962	49	0	0	9	4855	147	9	9	5020
57	127,947	18002,634	4958	52	0	0	10	4854	146	10	10	5020
58	130,092	18221,795	4953	57	0	0	10	4852	147	11	10	5020
59	133,328	18529,119	4943	64	0	0	13	4848	150	9	13	5020
60	136,278	18807,650	4938	68	0	0	14	4846	152	8	14	5020
61	138,631	19031,136	4934	72	0	0	14	4844	153	9	14	5020
62	141,210	19274,579	4922	81	0	0	17	4841	155	7	17	5020
63	143,477	19485,468	4918	85	0	0	17	4841	153	9	17	5020
64	145,680	19690,979	4914	88	0	0	18	4841	153	8	18	5020
65	148,101	19922,779	4910	92	0	0	18	4838	155	9	18	5020
66	150,246	20129,624	4910	92	0	0	18	4836	153	13	18	5020
67	152,505	20338,986	4904	97	0	0	19	4834	155	12	19	5020
68	155,107	20586,234	4898	103	0	0	19	4825	164	12	19	5020
69	157,408	20799,999	4892	108	0	0	20	4821	167	12	20	5020
70	160,914	21117,020	4888	111	0	0	21	4820	166	13	21	5020
71	164,823	21462,797	4881	117	0	0	22	4813	172	13	22	5020

72	166,968	21650,548	4881	117	0	0	22	4809	175	14	22	5020
73	169,362	21856,709	4877	120	0	0	23	4807	176	14	23	5020
74	172,480	22124,637	4873	124	0	0	23	4805	177	15	23	5020
75	176,533	22465,461	4869	127	0	0	24	4803	177	16	24	5020
76	178,987	22672,488	4853	141	0	0	26	4801	179	14	26	5020
77	181,417	22872,665	4840	154	0	0	26	4799	179	16	26	5020
78	184,342	23113,472	4832	162	0	0	26	4799	178	17	26	5020
79	186,524	23291,248	4826	168	0	0	26	4795	179	20	26	5020
80	189,176	23505,931	4813	180	0	0	27	4791	181	21	27	5020
81	192,429	23767,659	4803	190	0	0	27	4787	183	23	27	5020
82	194,574	23939,253	4802	191	0	0	27	4785	184	24	27	5020
83	197,851	24199,310	4797	194	0	0	29	4783	184	24	29	5020
84	201,071	24453,939	4787	203	0	0	30	4781	185	24	30	5020
85	204,777	24746,606	4785	205	0	0	30	4777	187	26	30	5020
86	208,204	25016,101	4783	207	0	0	30	4775	187	28	30	5020
87	211,346	25262,900	4777	213	0	0	30	4773	186	31	30	5020
88	213,491	25431,164	4777	213	0	0	30	4772	186	32	30	5020
89	215,636	25599,113	4777	213	0	0	30	4770	187	33	30	5020
90	219,494	25900,133	4771	218	0	0	31	4768	187	34	31	5020
91	222,453	26129,800	4765	223	0	0	32	4768	185	35	32	5020
92	224,622	26297,833	4759	229	0	0	32	4765	186	37	32	5020
93	227,108	26489,144	4755	233	0	0	32	4763	188	37	32	5020
94	229,896	26703,332	4753	235	0	0	32	4761	187	40	32	5020
95	232,822	26927,730	4747	240	0	0	33	4758	185	44	33	5020
96	236,205	27187,708	4743	243	0	0	34	4754	187	45	34	5020

97	239,121	27410,067	4735	249	0	0	36	4753	187	44	36	5020
98	241,291	27573,551	4723	256	0	0	41	4752	188	39	41	5020
99	243,438	27729,779	4717	261	0	0	42	4749	190	39	42	5020
100	243,517	27735,920	4715	263	0	0	42	4749	190	39	42	5020
101	243,522	27735,793	4715	263	0	0	42	4749	190	39	42	5020
102	245,312	27864,002	4711	266	0	0	43	4747	191	39	43	5020

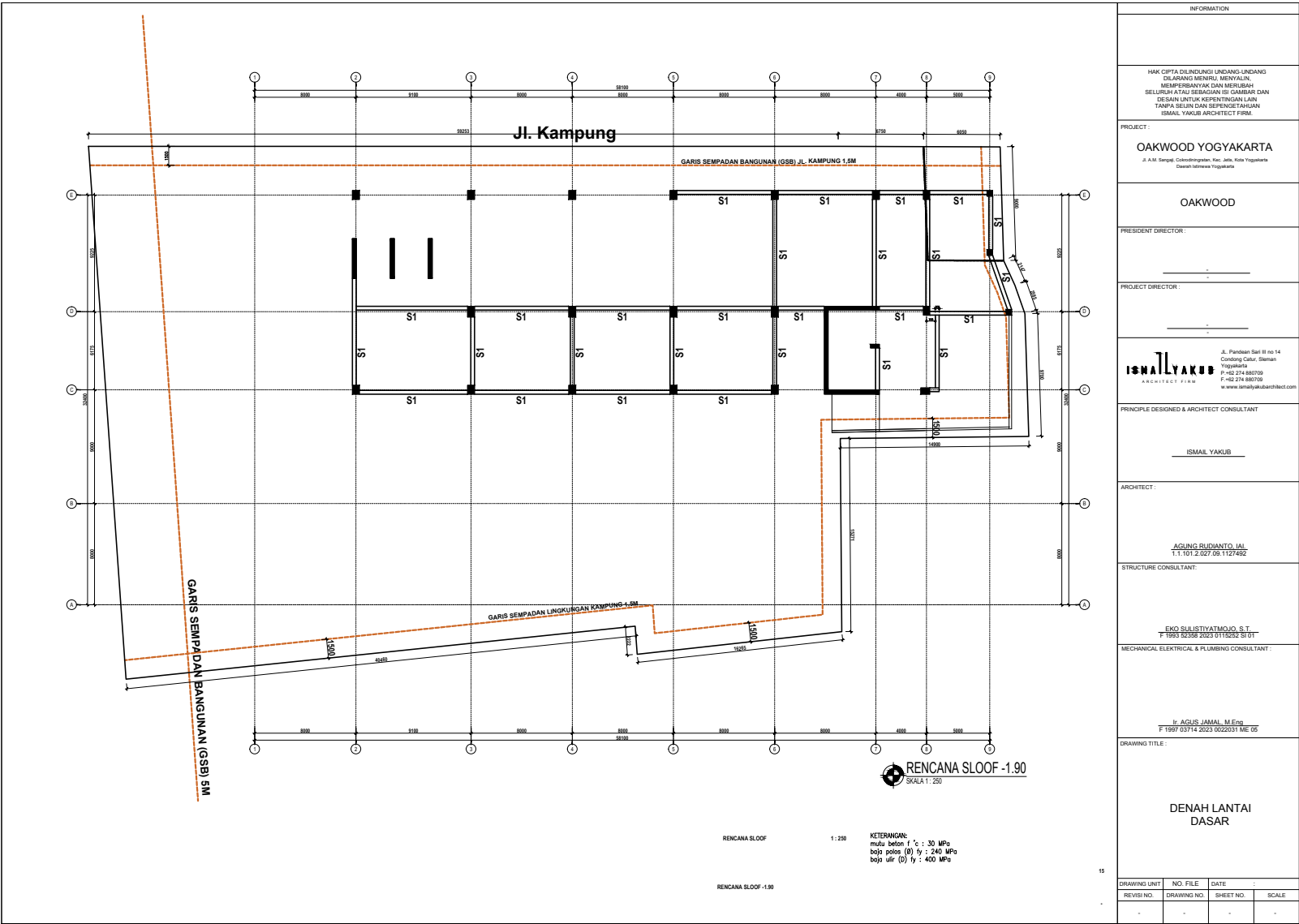
Lampiran 2 Tabel *Output* Nilai Kurva Kapasitas Pushover Y

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0,000	0,000	5002	18	0	0	0	4937	83	0	0	5020
1	0,067	30,300	5002	18	0	0	0	4937	83	0	0	5020
2	2,212	992,817	5002	18	0	0	0	4935	85	0	0	5020
3	4,357	1942,493	5002	18	0	0	0	4932	88	0	0	5020
4	6,502	2889,143	5002	18	0	0	0	4931	89	0	0	5020
5	8,647	3830,696	5002	18	0	0	0	4931	89	0	0	5020
6	10,792	4765,182	5002	18	0	0	0	4931	89	0	0	5020
7	12,937	5700,107	5002	18	0	0	0	4928	92	0	0	5020
8	15,099	6645,058	4998	22	0	0	0	4925	95	0	0	5020
9	18,777	8263,297	4994	26	0	0	0	4922	98	0	0	5020
10	21,889	9653,521	4990	30	0	0	0	4920	100	0	0	5020
11	26,081	1159,269	4984	36	0	0	0	4917	103	0	0	5020
12	29,040	1286,935	4982	38	0	0	0	4915	105	0	0	5020
13	31,185	1339,775	4982	38	0	0	0	4914	106	0	0	5020
14	35,292	14218,538	4980	40	0	0	0	4911	109	0	0	5020
15	37,437	14572,171	4980	40	0	0	0	4909	111	0	0	5020
16	39,582	14903,105	4980	40	0	0	0	4909	111	0	0	5020
17	41,727	15163,892	4980	40	0	0	0	4908	112	0	0	5020
18	43,872	15424,795	4980	40	0	0	0	4906	114	0	0	5020
19	47,173	15673,896	4978	42	0	0	0	4904	116	0	0	5020
20	49,318	15833,645	4978	42	0	0	0	4903	117	0	0	5020
21	51,463	15895,743	4978	42	0	0	0	4902	118	0	0	5020

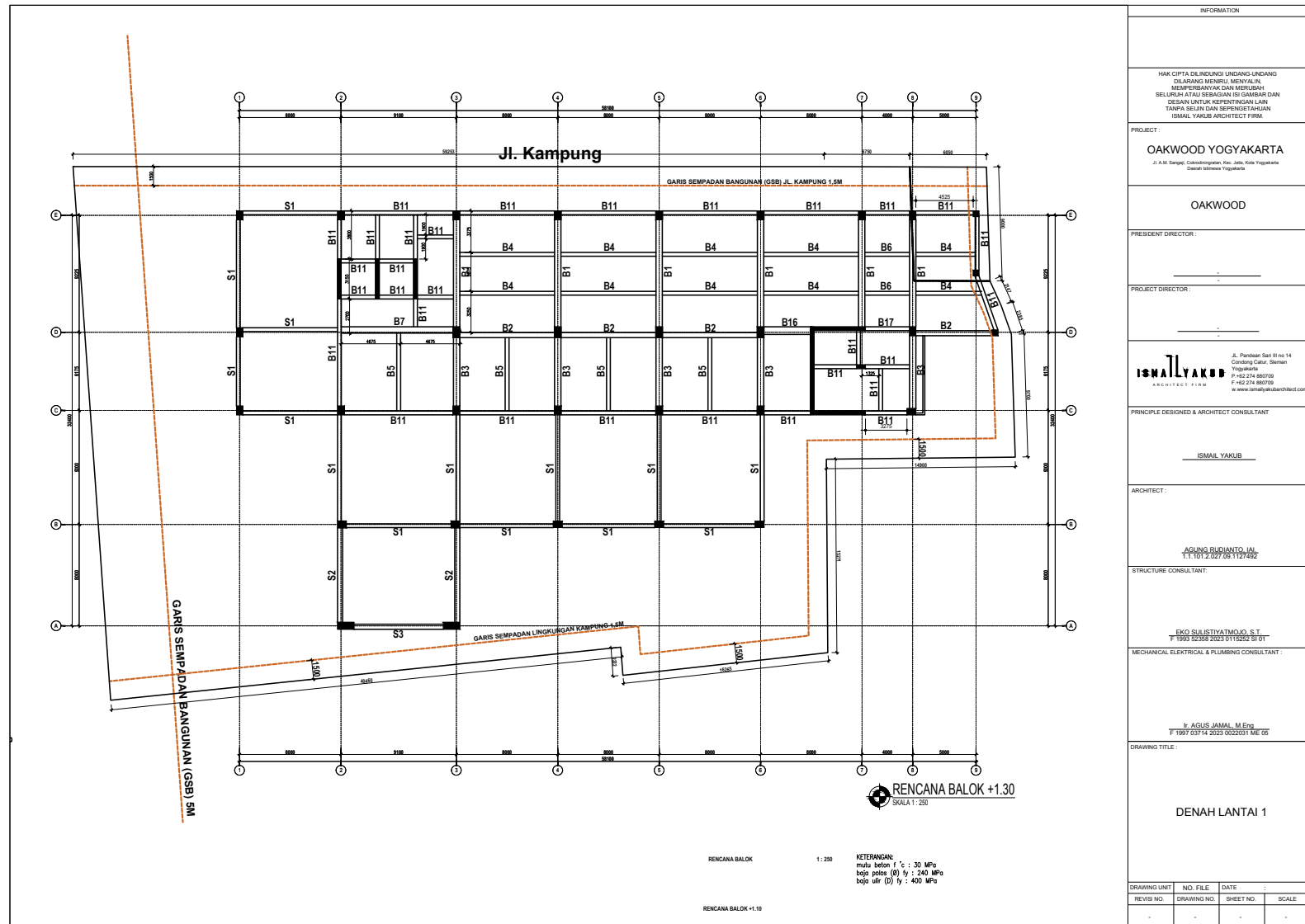
22	53,608	15954,442	4978	42	0	0	0	4902	118	0	0	5020
23	55,753	16069,033	4978	42	0	0	0	4899	121	0	0	5020
24	57,898	16176,898	4978	42	0	0	0	4898	121	1	0	5020
25	60,043	16284,934	4978	42	0	0	0	4898	121	1	0	5020
26	62,188	16437,119	4978	42	0	0	0	4898	121	1	0	5020
27	64,333	16632,277	4978	42	0	0	0	4897	121	2	0	5020
28	66,478	16865,813	4977	43	0	0	0	4897	121	2	0	5020
29	68,623	17123,834	4977	43	0	0	0	4895	123	2	0	5020
30	70,768	17352,418	4977	43	0	0	0	4894	124	2	0	5020
31	72,913	17579,173	4977	43	0	0	0	4893	125	2	0	5020
32	75,058	17819,883	4977	43	0	0	0	4891	127	2	0	5020
33	77,203	18066,328	4977	43	0	0	0	4889	128	3	0	5020
34	79,348	18298,277	4975	45	0	0	0	4888	128	4	0	5020
35	81,493	18533,136	4975	45	0	0	0	4888	127	5	0	5020
36	84,559	18899,113	4970	50	0	0	0	4885	130	5	0	5020
37	86,704	19147,825	4970	50	0	0	0	4884	129	7	0	5020
38	88,849	19397,443	4970	50	0	0	0	4884	129	7	0	5020
39	92,160	19784,898	4968	52	0	0	0	4880	133	7	0	5020
40	95,908	20207,224	4965	55	0	0	0	4876	137	7	0	5020
41	98,134	20455,365	4961	59	0	0	0	4874	138	8	0	5020
42	102,400	20930,275	4957	62	0	0	1	4868	144	7	1	5020
43	104,545	21167,763	4957	62	0	0	1	4865	147	7	1	5020
44	106,690	21408,876	4955	64	0	0	1	4862	148	9	1	5020
45	108,835	21655,951	4954	65	0	0	1	4861	148	10	1	5020
46	111,460	21957,473	4948	69	0	0	3	4857	150	10	3	5020

47	113,605	22201,057	4948	69	0	0	3	4856	151	10	3	5020
48	116,815	22564,372	4941	76	0	0	3	4848	159	10	3	5020
49	120,721	23001,400	4936	79	0	0	5	4843	162	10	5	5020
50	124,071	23371,957	4932	83	0	0	5	4842	161	12	5	5020
51	126,520	23634,774	4923	90	0	0	7	4837	165	11	7	5020
52	130,571	24086,444	4918	94	0	0	8	4829	170	13	8	5020
53	132,716	24326,924	4918	94	0	0	8	4826	169	17	8	5020
54	135,447	24631,293	4916	95	0	0	9	4825	165	21	9	5020
55	135,482	24635,164	4916	93	2	0	9	4825	165	21	9	5020
56	122,181	23013,182	4916	93	2	0	9	4825	165	21	9	5020

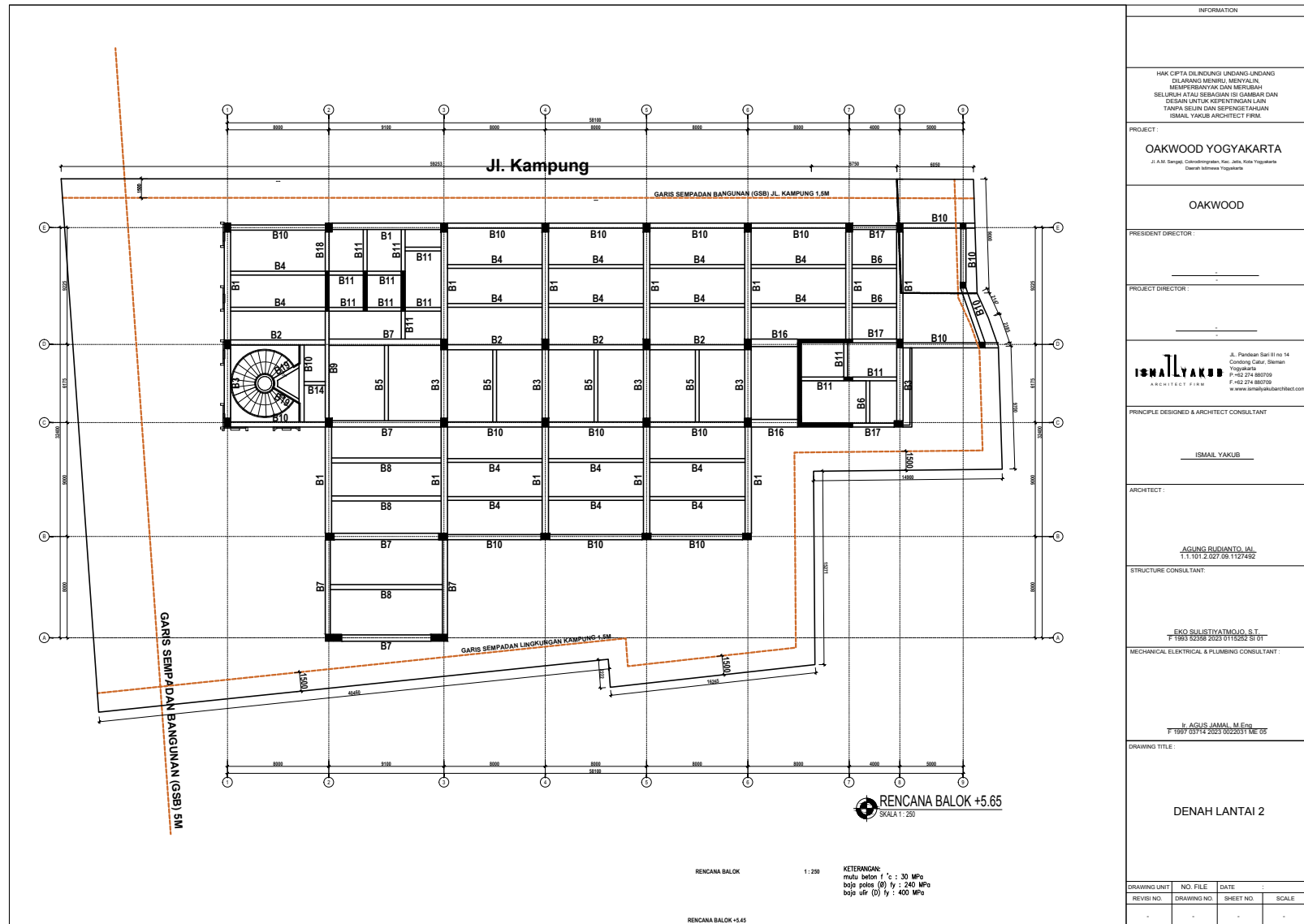
Lampiran 3 Denah Lantai Dasar



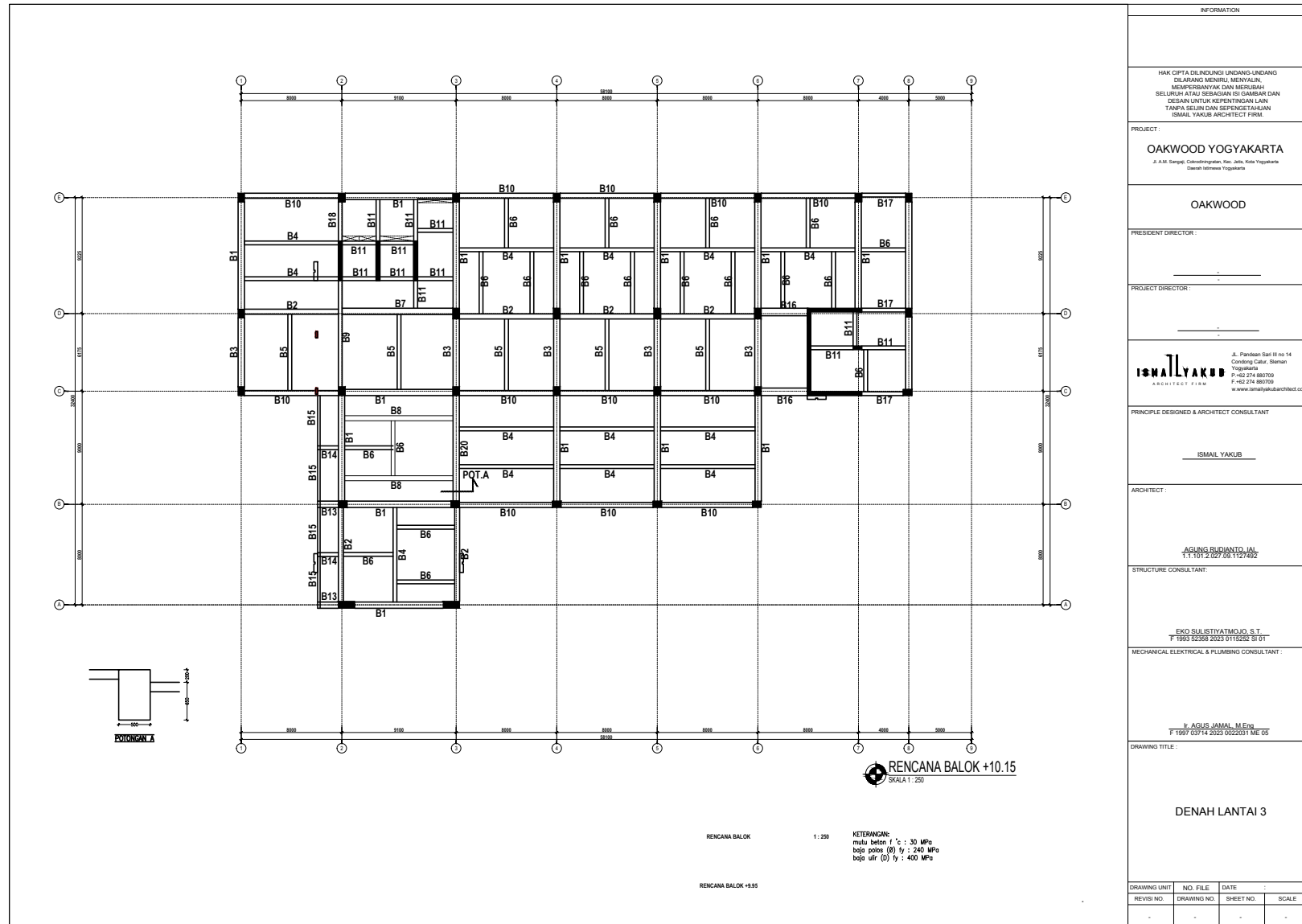
Lampiran 4 Denah Lantai 1



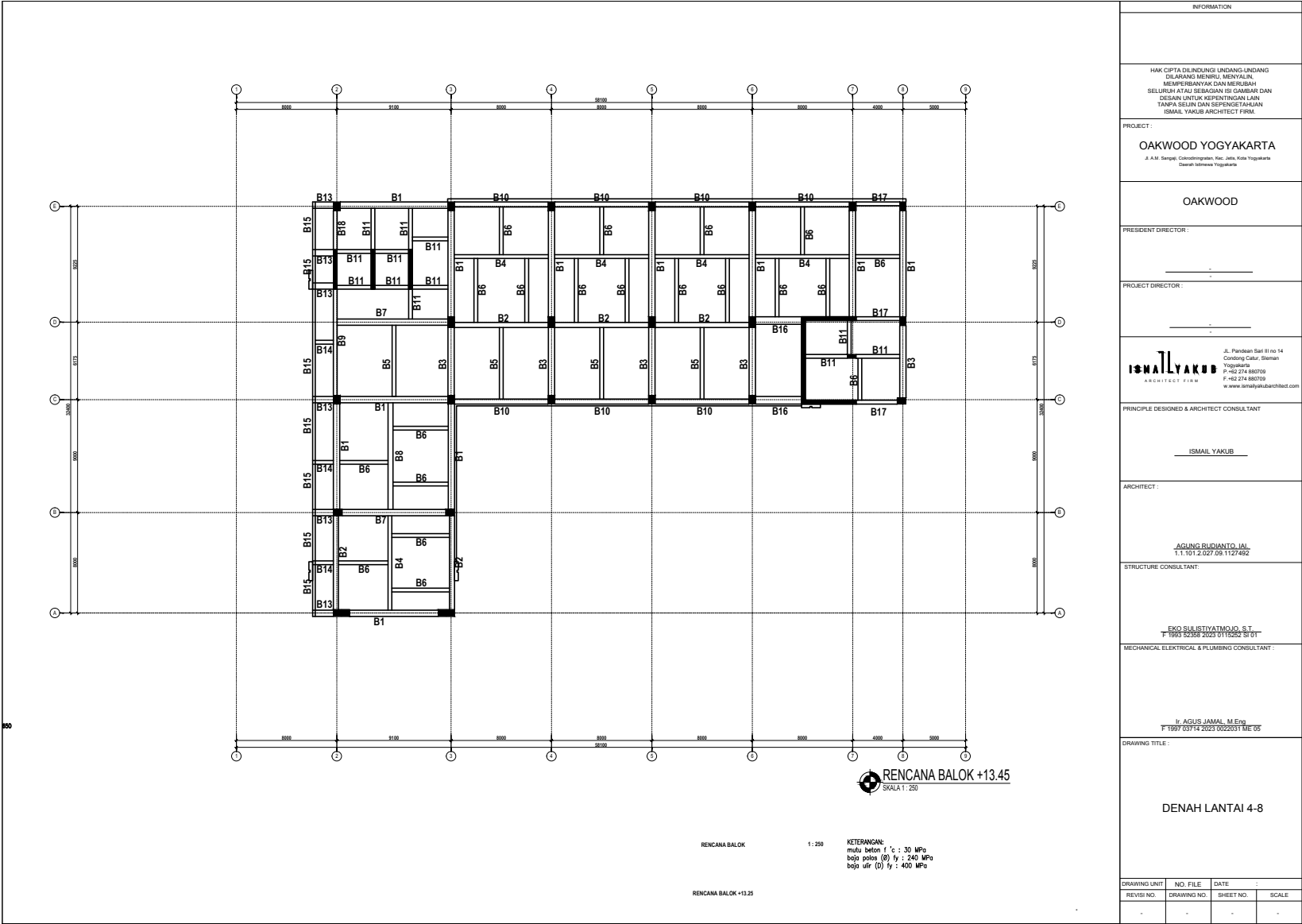
Lampiran 5 Denah Lantai 2



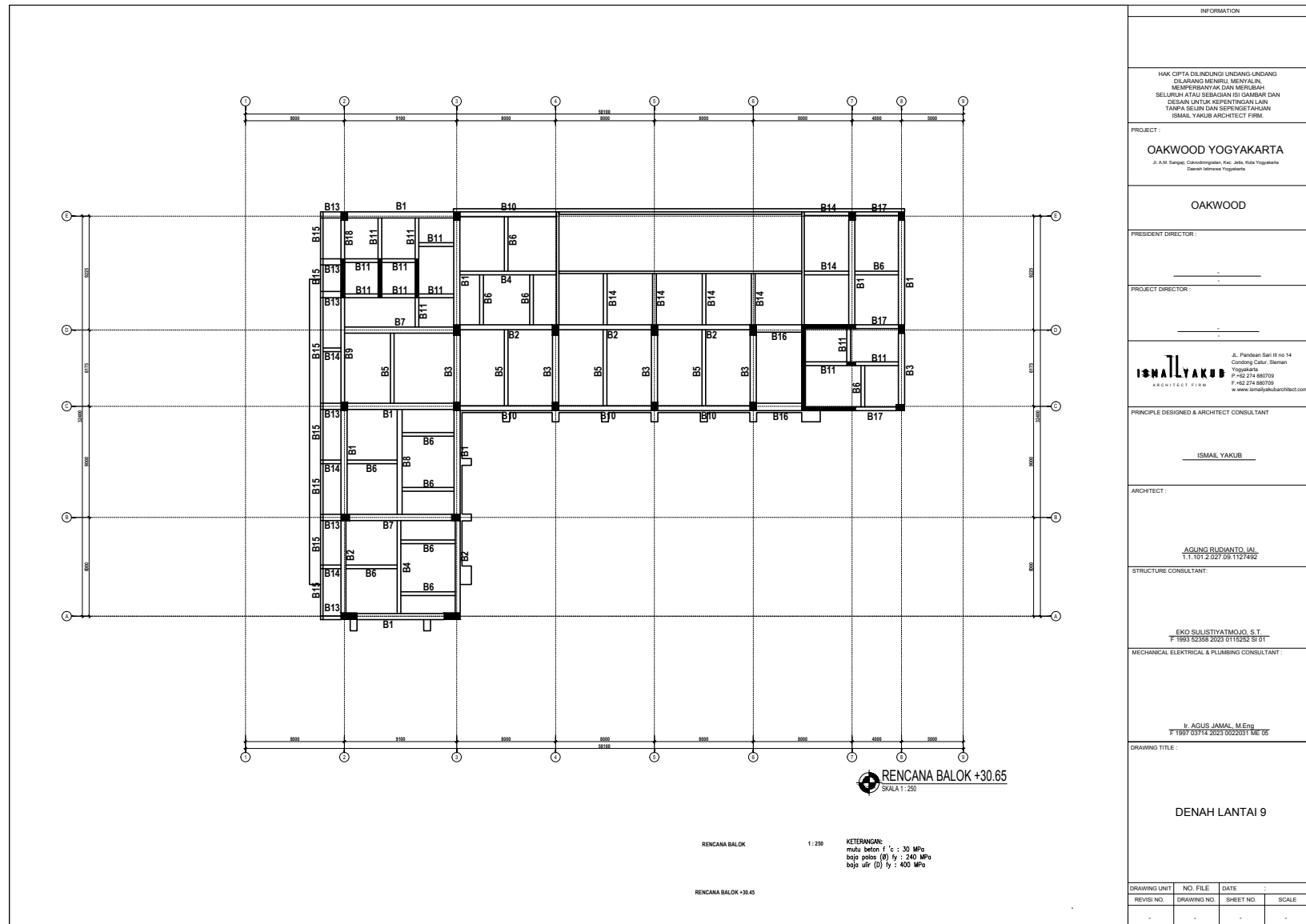
Lampiran 6 Denah Lantai 3



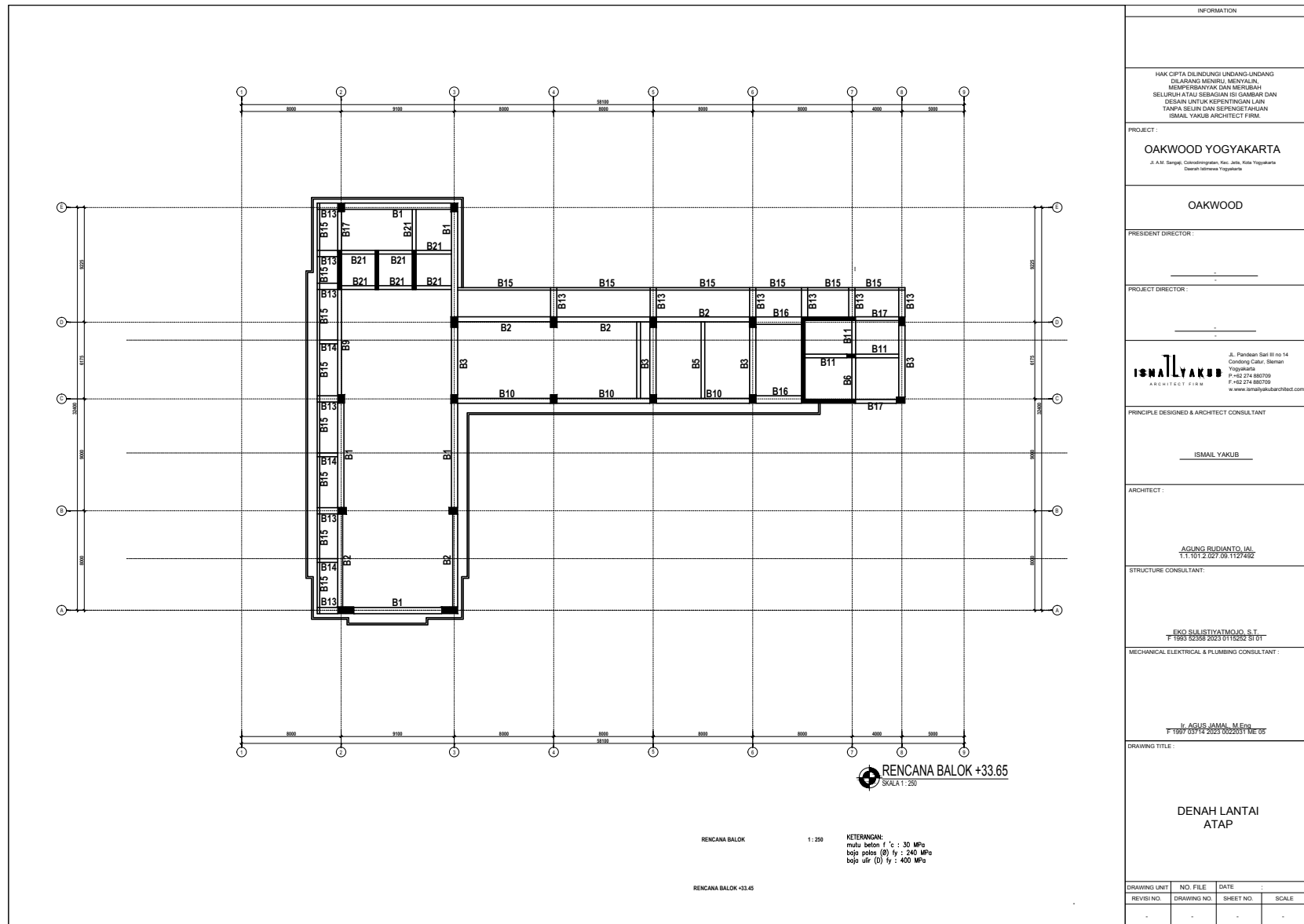
Lampiran 7 Denah Lantai 4-8



Lampiran 8 Denah Lantai 9



Lampiran 9 Denah Lantai Atap



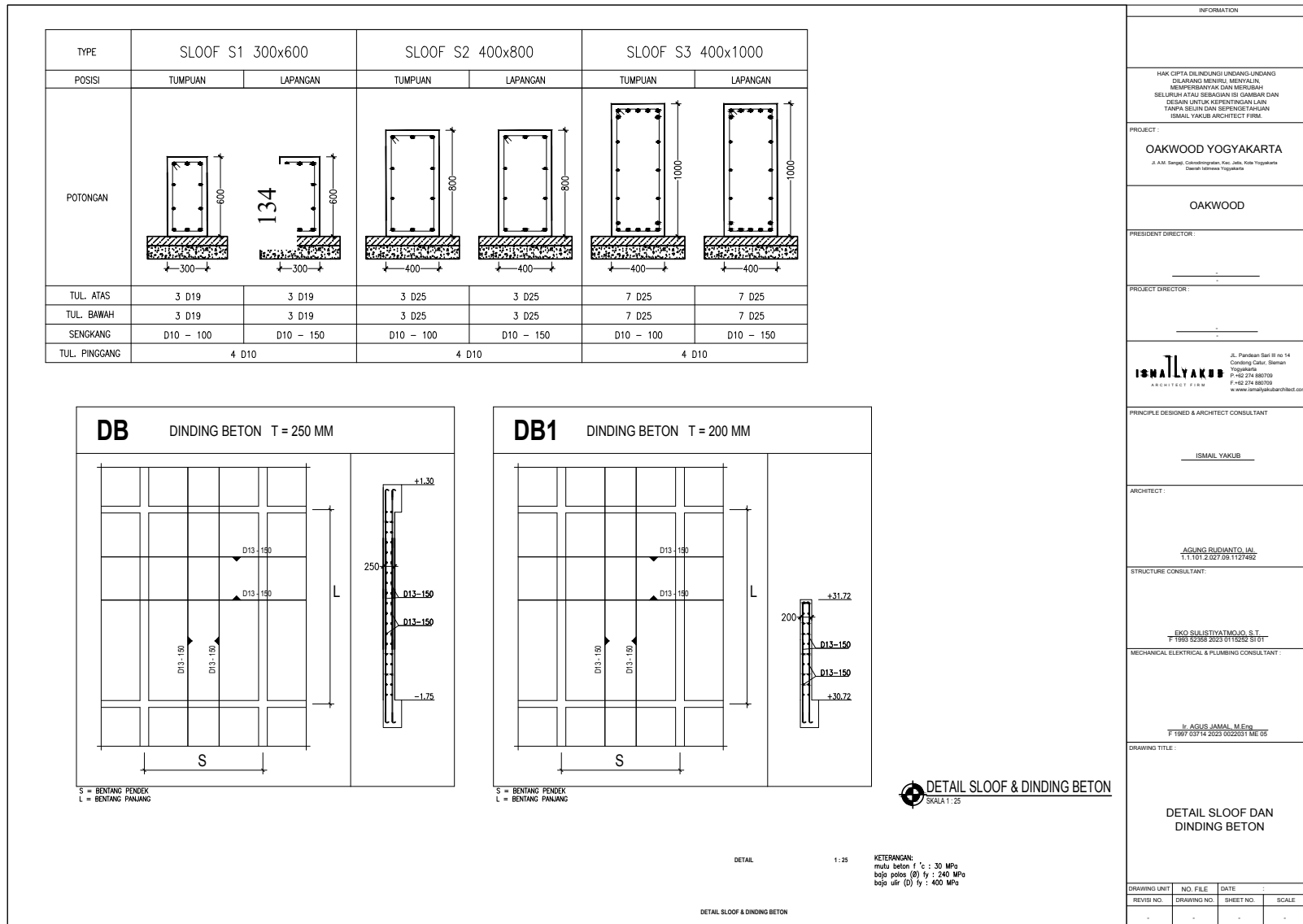


DETAIL	NTS	KETERANGAN:
		mutu beton f'c : 30 MPa
		baja polos (Ø) fy : 240 MPa
		baja ulir (D) fy : 400 MPa

DETAIL PLAT

INFORMATION			
<p>HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MELUBANG SELURUH ATAU SEBAGIAN IS GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJAJAN DAN SEPENGANTAHAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM</p>			
<p>PROJECT : <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">OAKWOOD YOGYAKARTA</div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">J. A.M. Sangpi, Condongkidopaten, Kac. Jella, Kota Yogyakarta Dewan Istikomah Yogyakarta</div> </p>			
<div style="font-weight: bold; font-size: 1.5em;">OAKWOOD</div>			
<p>PRINCIPLE DIRECTOR : <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto;"></div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">_____</div> </p>			
<p>PROJECT DIRECTOR : <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto;"></div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">_____</div> </p>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p style="font-size: 0.8em;">ARCHITECT FIRM</p> </div> <div style="text-align: right; font-size: 0.8em;"> <p>Jl. Perbenas Sari III no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta T: +62 274 480700 F: +62 274 480700 www.ismailyagubarchitect.com</p> </div> </div>			
<p>PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto;"></div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">ISMAIL YAKUB</div> </p>			
<p>ARCHITECT : <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto;"></div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">AGUNG RUDIANTO, IAI 1.1.101.2.027.09.112492</div> </p>			
<p>STRUCTURE CONSULTANT: <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto;"></div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">EKO SULISTIVATOMOJO, S.T P.190.0230.2003.0110292.3101</div> </p>			
<p>MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT: <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto;"></div> <div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Iv. AGUS JAMAL, M.Eng P.1997.0314.2003.0020351.MC.05</div> </p>			
<p>DRAWING TITLE: <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">DETAIL PELAT</div> </p>			
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	:
REVISI NO	DRAWING NO	SHEET NO	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 11 Detail Sloof dan Dinding Beton



INFORMATION			
<div>HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJUNJUH SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.</div>			
PROJECT : <div>OAKWOOD YOGYAKARTA</div> <div>Jl. A.M. Sangaji, Cokrodingratan, Kec. Jati, Kota Yogyakarta Diponegoro Yogyakarta</div>			
<div>OAKWOOD</div>			
PRESIDENT DIRECTOR : <div></div>			
PROJECT DIRECTOR : <div></div>			
<div><div></div><div>Jl. Pandean Sari II no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P +62 274 488708 F +62 274 488709 www.ismailyakubarchitect.com</div></div>			
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT <div>ISMAIL YAKUB</div>			
ARCHITECT : <div>AGUNG RUDANTO, IAI T. 011 2227 036 11274652</div>			
STRUCTURE CONSULTANT: <div>EKO SULISTYATMOJO, S.T P. 0993 52358 2023 0116252 51 01</div>			
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : <div>Ir. AGUS JAMAL, M.Eng F. 0997 0374 2023 0022031 ME 05</div>			
DRAWING TITLE : <div>DETAIL SLOOF DAN DINDING BETON</div>			
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 12 Detail Balok 1

INFORMATION										
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJUN DAN SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.										
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA J. A.M. Sangej, Cokodronggahan, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta										
OAKWOOD										
PRESIDENT DIRECTOR : _____										
PROJECT DIRECTOR : _____										
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT ISMAIL YAKUB Jl. Pandean Sari II no 14 Cibadung Catur, Sleman Yogyakarta P+62 274 880709 F+62 274 880709 www.ismallyakubarchitect.com										
ARCHITECT : AGUNG RUDIANTO, IAL 1.1.101.2.027.09.1127482										
STRUCTURE CONSULTANT: EKO SUI ISTIYATMOJO, S.T P 1993 52398 2023 0115252 SI 01										
MECHANICAL ELEKTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : Ir. AGUS JAMAL, M.Eng P 1997 03714 2023 022031 ME 05										
DRAWING TITLE : DETAIL BALOK										
DETAIL BALOK										

TYPE		BALOK B1 500x650		BALOK B2 400x600		BALOK B3 500x500		BALOK B4 300x600		BALOK B5 300x500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
POTONGAN											
TUL. ATAS	9 D25	4 D25	6 D25	3 D25	3 D25	3 D25	4 D19	3 D19	3 D19	2 D19	
TUL. BAWAH	5 D25	6 D25	3 D25	4 D25	3 D25	3 D25	3 D19	4 D19	2 D19	3 D19	
SENGKANG	D10 - 75	D10 - 75	D10 - 75	D10 - 125	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 125	D10 - 100	D10 - 150	
TUL. PINGGANG	4 D10		4 D10		2 D10		4 D10		2 D10		

TYPE		BALOK B6 300x400		BALOK B7 500x650		BALOK B8 400x650		BALOK B9 300x800		BALOK B10 400x600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
POTONGAN											
TUL. ATAS	3 D19	3 D19	6 D25	3 D25	6 D19	3 D19	9 D25	4 D25	4 D25	3 D25	
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D25	5 D25	3 D19	6 D19	4 D25	5 D25	3 D25	4 D25	
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 75	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 125	D13 - 100	D13 - 150	D10 - 100	D10 - 150	
TUL. PINGGANG	2 D10		4 D10		4 D10		4 D10		4 D10		

TYPE		BALOK B11 300x500		BALOK B19 300x600		BALOK B21 300x500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
POTONGAN							
TUL. ATAS	3 D25	3 D25	5 D25	5 D25	3 D19	3 D19	
TUL. BAWAH	3 D25	3 D25	3 D25	3 D25	3 D19	3 D19	
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 100	
TUL. PINGGANG	2 D10		4 D10		2 D10		

DETAIL BALOK
SKALA 1:25

DETAIL
DETAIL BALOK

1:25

KETERANGAN:
modul beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (Ø) fy : 400 MPa

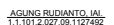
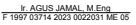
Lampiran 13 Detail Balok 2

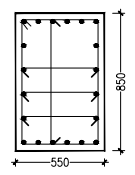
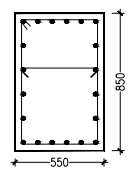
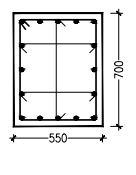
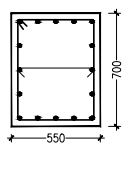
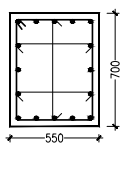
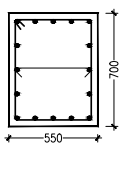
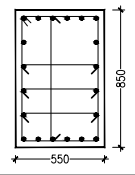
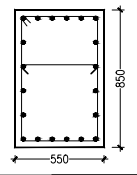
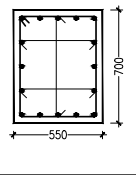
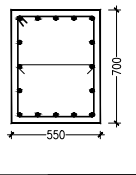
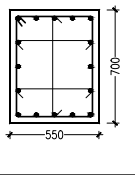
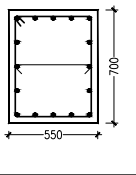
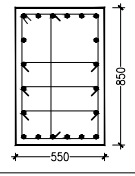
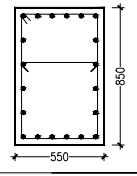
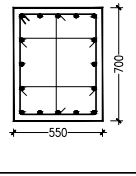
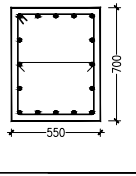
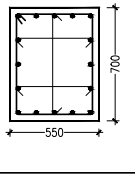
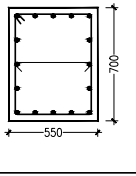
INFORMATION									
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENRUI, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MENJUAL SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA IZIN DARI SEPENGHANTARAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.									
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA Jl. A.M. Sangre, Condongratih, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta									
OAKWOOD									
PRESIDENT DIRECTOR : _____									
PROJECT DIRECTOR : _____									
ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM Jl. Pandean Sari III no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P +62 274 880709 F +62 274 880700 www.ismailyakubarchitect									
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT _____ ISMAIL YAKUB									
ARCHITECT : _____ AGUNG BUDIANTO, IAI 1.1.101.2.027.09.1127492									
STRUCTURE CONSULTANT: _____ EKO SULISTIYATMOJO, S.T. T 1993 52358 2023 0115252 SI 01									
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : _____ P. AGUS JAMAL, M.Engg T 1987 03714 2025 0202031 THE 05									
DRAWING TITLE : DETAIL BALOK									
DRAWING UNIT : NO. FILE DATE : REVISI NO. DRAWING NO. SHEET NO. SCALE									

Lampiran 14 Detail Kolom 1

	HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMERESKAN ATAU MELAKUKAKAN SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA IZIN DAN SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.					
PROJECT :						
OAKWOOD YOGYAKARTA						
J.A.M. Sanggih Cendekirangan, Klat, Jawa, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta						
OAKWOOD						
PRESIDENT DIRECTOR :						
PROJECT DIRECTOR :						
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT						
ISMAIL YAKUB						
ARCHITECT :						
AGUNG RUDIANTO, IAI						
STRUCTURE CONSULTANT:						
EKO SULISTIVATMOJO, S.T.						
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :						
DRAWING TITLE :						
DETAIL KOLOM						
SKALA 1 : 25						
DETAIL KOLOM						
1 : 25						
KETERANGAN: mutu beton f'c : 30 MPa batu bata paku (B) : 240 MPa batu bata ulir (U) : 400 MPa						

Lampiran 15 Detail Kolom 2

INFORMATION						
HAK CIPTA DIUNDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MENYIIPKAN SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJUNJANG SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.						
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA <small>Jl. A.M. Sengul, Caturmarganegara, Kota, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta</small>						
OAKWOOD						
PRESIDENT DIRECTOR :						
PROJECT DIRECTOR :						
 ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM						
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT						
 ISMAIL YAKUB						
ARCHITECT :						
 AGUNG RUDIANTO, IAI T.1101.2.227.228.1127.402						
STRUCTURE CONSULTANT:						
 EKO SULISTYATMOJO, S.T. P.1993.02358.2023.0116252.SI.01						
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :						
 Agus Jamal, M.Eng. P.1997.03714.2023.0022031.ME.05						
DRAWING TITLE :						
DETAIL KOLOM						
DRAWING UNIT : NO. FILE : DATE :						
REVISED : DRAWING NO. SHEET NO. SCALE :						
- - - - -						

TYPE	KOLOM K1		KOLOM K2		KOLOM K3	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 3 s/d LANTAI 4						
TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
DIMENSI	550 x 850					
LANTAI 4 s/d LANTAI 5						
TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
DIMENSI	550 x 850					
LANTAI 5 s/d LANTAI 6						
TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
DIMENSI	550 x 850					

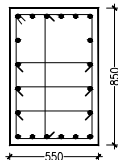
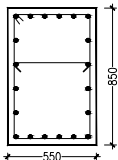
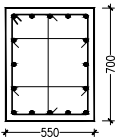
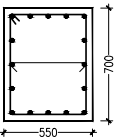
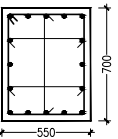
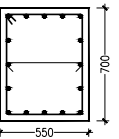
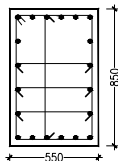
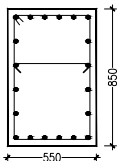
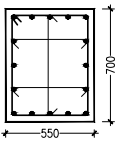
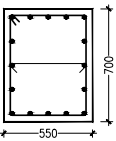
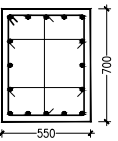
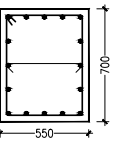
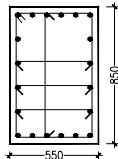
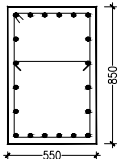
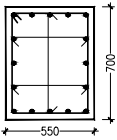
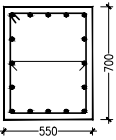
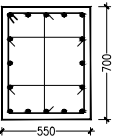
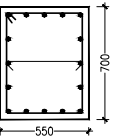
**DETAIL KOLOM**
SKALA 1 : 25

DETAIL1 : 25

KETERANGAN:
mutu beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (Ø) fy : 400 MPa

DETAIL KOLOM

Lampiran 16 Detail Kolom 3

TYPE		KOLOM K1		KOLOM K2		KOLOM K3	
LANTAI		TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
134 LANTAI 6 s/d LANTAI 7							
	TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
	SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
	DIMENSI	550 x 850					
LANTAI 7 s/d LANTAI 8							
	TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
	SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
	DIMENSI	550 x 850					
LANTAI 8 s/d ATAP							
	TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
	SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
	DIMENSI	550 x 850					

DETAIL

1 : 25

KETERANGAN:
mulu beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (D) fy : 400 MPa

DETAIL KOLOM

DETAIL KOLOM

SKALA 1 : 25

DETAIL

1 : 25

KETERANGAN:
mulu beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (D) fy : 400 MPa

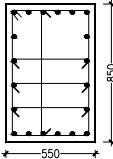
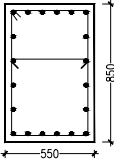
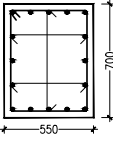
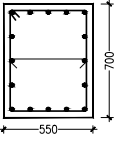
DETAIL KOLOM

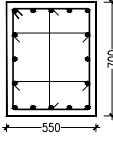
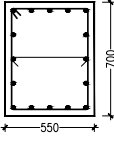
DETAIL KOLOM

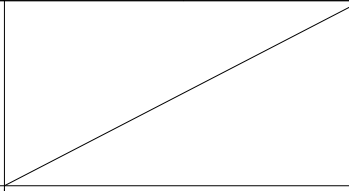
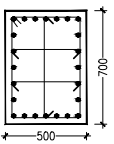
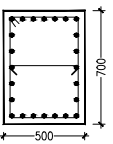
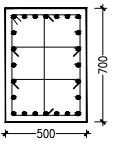
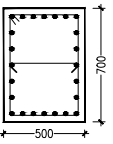
SKALA 1 : 25

INFORMATION			
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESIAN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJUN DAN SEPENGETAHUAHIAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.			
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA Jl. A.M. Sangaji, Cokrodelingratun, Kec. Jatis, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta			
OAKWOOD			
PRESIDENT DIRECTOR : -			
PROJECT DIRECTOR : -			
Jl. Pandean Sari III no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P. +62 274 880709 F. +62 274 880709 www.ismailyakubarchitect.com			
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT ISMAIL YAKUB			
ARCHITECT : AGUNG RUDIANTO, IAI T.1.161.2.027.06.1127492			
STRUCTURE CONSULTANT: EKO SULISTYATMOJO, S.T. P.1993.02358.2023.0115252 SI 01			
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : Ir. AGUS JAMAL, M.Eng P.1997.03174.2023.0022031 ME 05			
DRAWING TITLE : DETAIL KOLOM			
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	

Lampiran 17 Detail Kolom 4

TYPE LANTAI	KOLOM K1		KOLOM K2	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
ATAP s/d ROOF TOP				
TUL. UTAMA	20 D19	20 D19		
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150		
DIMENSI	550 x 850			

TYPE LANTAI	KOLOM K3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
ATAP s/d ROOF TOP		
TUL. UTAMA		
SENGKANG		
DIMENSI		

TYPE LANTAI	KOLOM K8	
	TUMPUAN	LAPANGAN
GROUND FLOOR s/d LANTAI 1		
TUL. UTAMA		
SENGKANG		
DIMENSI		
LANTAI 1 s/d LANTAI 2		
TUL. UTAMA	24 D19	24 D19
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150
DIMENSI	500 x 700	
LANTAI 2 s/d LANTAI 3		
TUL. UTAMA	24 D19	24 D19
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150
DIMENSI	500 x 700	



DETAIL 1 : 25 KETERANGAN:
mutu beton (f'c) : 30 MPa
baja polos (B) fy : 240 MPa
baja ulir (U) fy : 400 MPa

DETAIL KOLOM

INFORMATION			
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMERIKSA, DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEIJIN DAN SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.			
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA Jl. A.M. Sangaji, Cokrodiningratan, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta			
OAKWOOD			
PRESIDENT DIRECTOR : -			
PROJECT DIRECTOR : -			
Jl. Pandean Sari III no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P-462 274.880709 F-462 274.880709 www.ismailyakubarchitect.com			
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT ISMAIL YAKUB			
ARCHITECT : AGUNG RIJWANTO, IAI 1.1.101.2.027.09.1127492			
STRUCTURE CONSULTANT: EKO SULISTYATMOJO, S.T. P.1993.52358.2023.0115252.51.01			
MECHANICAL ELEKTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : Ir. AGUS JAMAL, M.Eng P.1997.03174.2023.0022031.ME.05			
DRAWING TITLE : DETAIL KOLOM			
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 18 Detail Kolom 5

INFORMATION						
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENRU, MENYALIN, MEMERSEBANYAK DAN MENJUAL SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJIN DAN SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.						
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA J. A.M. Saengul, Colodindirigatan, Rec. Jatin, Kota Yogyakarta Desain lahman Yogyakarta						
OAKWOOD						
PRESIDENT DIRECTOR : -						
PROJECT DIRECTOR : -						
J.L. Pandan Sari III no 14 Cendang Catur, Sleman Yogyakarta P +62 274 880709 F +62 274 880709 www.ismailyakubarchitect.com						
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT ISMAIL YAKUB						
ARCHITECT : AGUNG RUDIANTO, IAI T.1.101.2.027.09.1127492						
STRUCTURE CONSULTANT: EKO SULISTIVATMOJO, S.T. T.1993.52358.2023.0115282 SI 01						
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : Ir. AGUS JAMAL, M.Eng T.1997.03714.2023.002031 ME 05						
DRAWING TITLE : DETAIL KOLOM SKALA 1 : 25						
DETAIL KOLOM						

TYPE	KOLOM K4		KOLOM K5		KOLOM K6	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GROUND FLOOR s/d LANTAI 1						
TUL. UTAMA	36 D25	36 D25	20 D19	20 D19		
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 150		
DIMENSI	550 x 700		500 x 700			
LANTAI 1 s/d LANTAI 2						
TUL. UTAMA	36 D25	36 D25	20 D19	20 D19	34 D25	34 D25
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 150
DIMENSI	550 x 700		500 x 700		550 x 700	
LANTAI 2 s/d LANTAI 3						
TUL. UTAMA	36 D25	36 D25			28 D25	28 D25
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150			D10 - 100	D10 - 150
DIMENSI	550 x 700				550 x 700	

134

DETAIL

1:25

KETERANGAN:
mulut beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (Ø) fy : 400 MPa

DETAIL KOLOM

DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	-
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 19 Detail Kolom 6

INFORMATION						
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MEYAKALIN, MEMERSEBARKAN DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJIN DAN SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.						
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA J. A.M. Sangaji, Cakrodiringatan, Kec. Jatis, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta						
OAKWOOD						
PRESIDENT DIRECTOR : _____						
PROJECT DIRECTOR : _____						
Jl. Pandean Sari II no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P+62 274 880709 F+62 274 880709 www.ismailyakubarchitect.com						
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT ISMAIL YAKUB						
ARCHITECT : AGUNG RUFIVANTO, IAL 11-10112-027-09 1127492						
STRUCTURE CONSULTANT: EKO SULISTIYATMOJO, S.T. F 1993 52368 2023 D115252 SI 01						
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : Ir. AGUS JAMAL, M.Eng F 1997 03174 2023 002031 NIE 05						
DRAWING TITLE : DETAIL KOLOM						
DRAWING UNIT : NO. FILE : DATE : REVISI NO. : DRAWING NO. : SHEET NO. : SCALE :						
- - - -						

TYPE	KOLOM K4		KOLOM K5		KOLOM K6	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 3 s/d LANTAI 4						
TUL. UTAMA	32 D25	32 D25			20 D25	20 D25
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150			D10 – 100	D10 – 150
DIMENSI	550 x 700				550 x 700	
LANTAI 4 s/d LANTAI 5						
TUL. UTAMA	24 D25	24 D25			20 D19	20 D19
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150			D10 – 100	D10 – 150
DIMENSI	550 x 700				550 x 700	
LANTAI 5 s/d LANTAI 6						
TUL. UTAMA	20 D25	20 D25				
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150				
DIMENSI	550 x 700					

DETAIL

1 : 25

KETERANGAN:
mutu beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (Ø) fy : 400 MPa

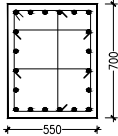
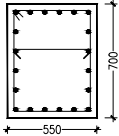
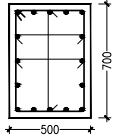
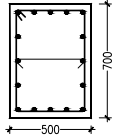
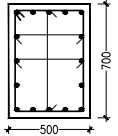
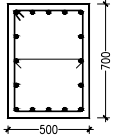
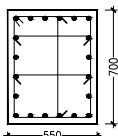
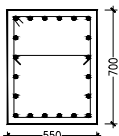
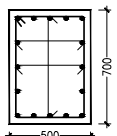
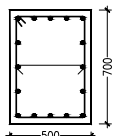
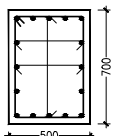
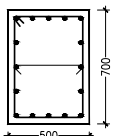
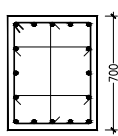
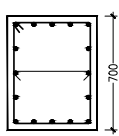
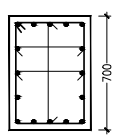
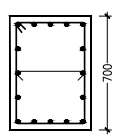
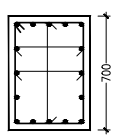
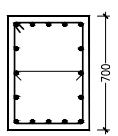
DETAIL KOLOM

DETAIL KOLOM

SKALA 1 : 25

Lampiran 20 Detail Kolom 7

INFORMATION						
HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMERIKANYAKAN DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJIN DAN SEPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM						
PROJECT : OAKWOOD YOGYAKARTA <small>J. A.M. Sengaji, Cokrodingraten, Kec. Jati, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta</small>						
OAKWOOD						
PRESIDENT DIRECTOR : -						
PROJECT DIRECTOR : -						
Jl. Panchan Sari III no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P +62 274 888709 F +62 274 888709 www.ismailyakubarchitect.com						
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT ISMAIL YAKUB						
ARCHITECT : AGUNG RIJUMANTO, IAI T.1.101.2.027.05.1127402						
STRUCTURE CONSULTANT: EKO SULISTYATMOJO, S.T. F.1993.02358.2023.0116252 SI 01						
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT : Ir. AGUS JAMAL, M.Eng T.1997.03714.2023.0022031 ME 05						
DRAWING TITLE : DETAIL KOLOM						
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE				
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE			
-	-	-	-			

TYPE	KOLOM K4		KOLOM K5		KOLOM K6	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 6 s/d LANTAI 7						
TUL. UTAMA	20 D25	20 D25				
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150				
DIMENSI	550 x 700					
LANTAI 7 s/d LANTAI 8						
TUL. UTAMA	20 D19	20 D19				
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150				
DIMENSI	550 x 700					
LANTAI 8 s/d ATAP						
TUL. UTAMA						
SENGKANG						
DIMENSI						

DETAIL

1: 25

KETERANGAN:
molu beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (D) fy : 400 MPa

DETAIL KOLOM

SKALA 1: 25

Lampiran 21 Detail Kolom 8

TYPE LANTAI	KOLOM K4		KOLOM K5		KOLOM K6	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
ATAP s/d ROOF TOP						
TUL. UTAMA						
SENGKANG						
DIMENSI						

TYPE LANTAI	KOLOM K9	
	TUMPUAN	LAPANGAN
GROUND FLOOR s/d LANTAI 1		
TUL. UTAMA	12 D19	12 D19
SENGKANG	D10 – 100	D10 – 150
DIMENSI	550 x 550	



DETAIL

1:25

KETERANGAN:
mutu beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (D) fy : 400 MPa

DETAIL KOLOM

INFORMATION

HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG
DILARANG MENIRU, MENYALIN,
SELLURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN
DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN
TANPA SEJUN DAN SEPENGETAHUAN
ISMAL YAKUB ARCHITECT FIRM.

PROJECT :

OAKWOOD YOGYAKARTA
J. A.M. Sengul, Cokrodiningrat, Kac. Jels, Kota Yogyakarta
Darahat Indoneisa Yogyakarta

OAKWOOD

PRESIDENT DIRECTOR :

PROJECT DIRECTOR :

Jl. Pondsari Sari II no 14
Candong Catur, Sleman
Yogyakarta
P+62 274 880709
F+62 274 880709
www.ismalyakubarchitect.com

PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT

ISMAL YAKUB

ARCHITECT :

AGUNG RUDIANTO, IAI
T.T.101.2.027.09.1123492

STRUCTURE CONSULTANT:

EKO SULISTYATMOJO, S.T
T 1993 02350 2023 0115002 SI 01

MECHANICAL, ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :

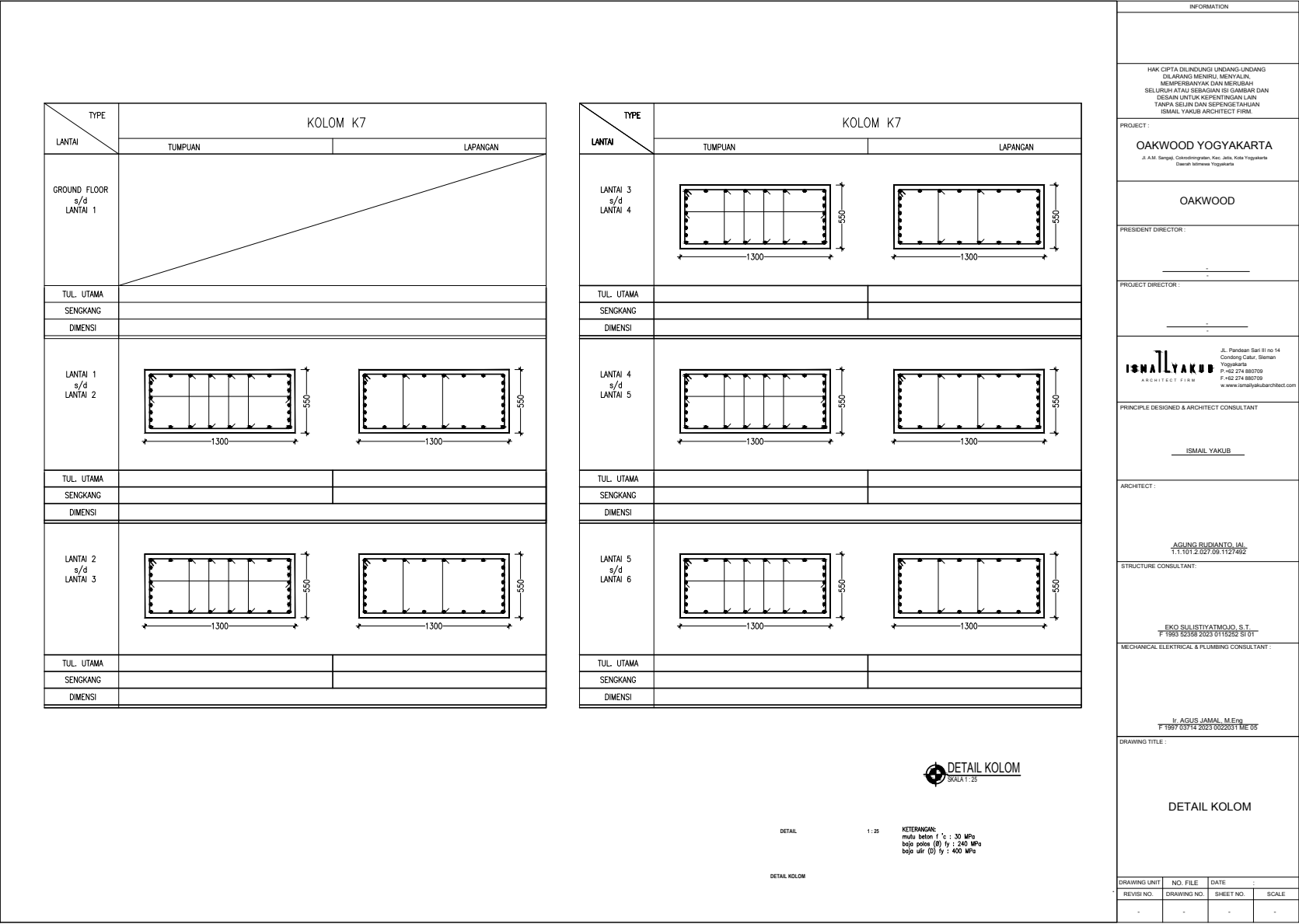
Ir. AGUS JAMAL, M.Eng
F 1997 03714 2023 0022031 ME 05

DRAWING TITLE :

DETAIL KOLOM

DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 22 Detail Kolom 9



TYPE	KOLOM K7	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN
ATAP s/d ROOF TOP		
TUL. UTAMA		
SENGKANG		
DIMENSI		

INFORMATION			
<p>HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DIARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SELIN DAN SIPENGETAHUAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM</p>			
PROJECT :			
<p>OKAWOOD YOGYAKARTA</p> <p>Jl. A.M. Sangpi, Cokodongrateng, Pac. Jella, Kota Yogyakarta Careset Intermex Yogyakarta</p>			
<p>OKAWOOD</p>			
PRESIDENT DIRECTOR :			
<p>_____</p> <p>_____</p>			
PROJECT DIRECTOR :			
<p>_____</p> <p>_____</p>			
		<p>Jl. Pandean Sari II no 14 Gondong Catur, Sleman Yogyakarta F +62 274 880709 F +62 274 880709 www.ismailyakubarchitect.com</p>	
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT			
<p>_____</p> <p>ISMAIL YAKUB</p>			
ARCHITECT :			
<p>_____</p> <p>AGUNG RUPDANTO, IAI 1.1.101.2.027.09.11252 SI 01</p>			
STRUCTURE CONSULTANT:			
<p>_____</p> <p>ENDO SULISTYANADMO, S.T F 1960 52598 2023 0110262 SI 01</p>			
MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :			
<p>_____</p> <p>Ir. AGUS JAMAL, M Eng F 1967 03714 2023 0202031 Eng 05</p>			
DRAWING TITLE :			
<p>DETAIL KOLOM</p>			
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	:
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 24 Detail Kolom 11

TYPE

LANTAI

KOLOM K10

TUMPUAN

LAPANGAN

GROUND FLOOR
s/d
LANTAI 1

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

LANTAI 1
s/d
LANTAI 2

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

LANTAI 2
s/d
LANTAI 3

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

TYPE

LANTAI

KOLOM K10

TUMPUAN

LAPANGAN

TAI 3
/d
TAI 4

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

LANTAI 4
s/d
LANTAI 5

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

LANTAI 5
s/d
LANTAI 6

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

TYPE

LANTAI

KOLOM K10

TUMPUAN

LAPANGAN

LANTAI 6
s/d
LANTAI 7

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

LANTAI 7
s/d
LANTAI 8

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

LANTAI 8
s/d
ATAP

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

TYPE

LANTAI

KOLOM K10

TUMPUAN

LAPANGAN

ATAP
s/d
ROOF TOP

700

300

300

TUL. UTAMA

SENGKANG

DIMENSI

DETAIL

1:25

KETERANGAN:
mulut beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (Ø) fy : 450 MPa

DETAIL KOLOM

INFORMATION

HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG
DILARANG MENRUI, MENYALIN,
MEMPERBANYAK DAN MEMERBAH
SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN
DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN
TANPA SEJIN DAN SEPENGETAHUAN
ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.

PROJECT :
OAKWOOD YOGYAKARTA
Jl. A.M. Sangaji, Candiromonggo, Vici, Kota, Kota Yogyakarta
Daerah Istimewa Yogyakarta

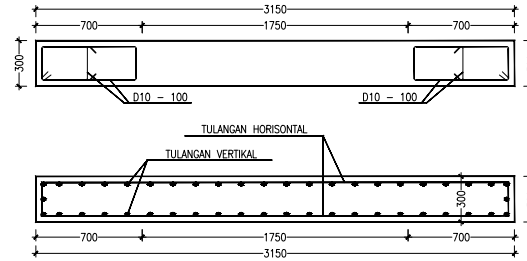
OAKWOOD

PRESIDENT DIRECTOR :
PROJECT DIRECTOR :
PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT
ISMAIL YAKUB
ARCHITECT :
AGUNG RUDANTO, IAI
1.1.101.2.027.99.1127482
STRUCTURE CONSULTANT:
EKO SULISTIYATMOJO, S.T.
P'1993 52358 2023 0115282 SI 01
MECHANICAL ELETRICAL & PLUMBING CONSULTANT :
H. AGUS JAMAL, M.Engg
P'1997 0314 2023 0022031 ME 05
DRAWING TITLE :
DETAIL KOLOM

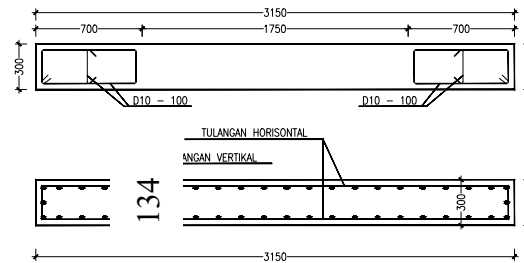
DRAWING UNIT : NO. FILE : DATE :
REVISI NO. : DRAWING NO. : SHEET NO. : SCALE :

Lampiran 25 Detail *Shearwall* 1

SHEAR WALL SW1 TEBAL 300 MM		
LANTAI	TUL. VERTIKAL	TUL. HORIZONTAL
GROUND	D13-75	D10-100
LANTAI 1	D25-75	D16-100
LANTAI 2	D19-75	D13-100
LANTAI 3	D16-75	D10-100
LANTAI 4	D10-75	D10-100
LANTAI 5	D10-75	D10-100
LANTAI 6	D10-75	D10-150
LANTAI 7	D10-75	D10-150
LANTAI 8	D10-75	D10-150
ATAP	D10-75	D10-150



SHEAR WALL SW2 TEBAL 300 MM		
LANTAI	TUL. VERTIKAL	TUL. HISONTAL
GROUND	D19-100	D13-100
LANTAI 1	D19-100	D10-100
LANTAI 2	D19-100	D10-100
LANTAI 3	D13-100	D10-150
LANTAI 4	D10-100	D10-150
LANTAI 5	D10-100	D10-150
LANTAI 6	D10-100	D10-150
LANTAI 7	D10-100	D10-150
LANTAI 8	D10-100	D10-150
ATAP	D10-100	D10-150



 DETAIL SHEARWALL
SKALA 1 : 25

DETAIL

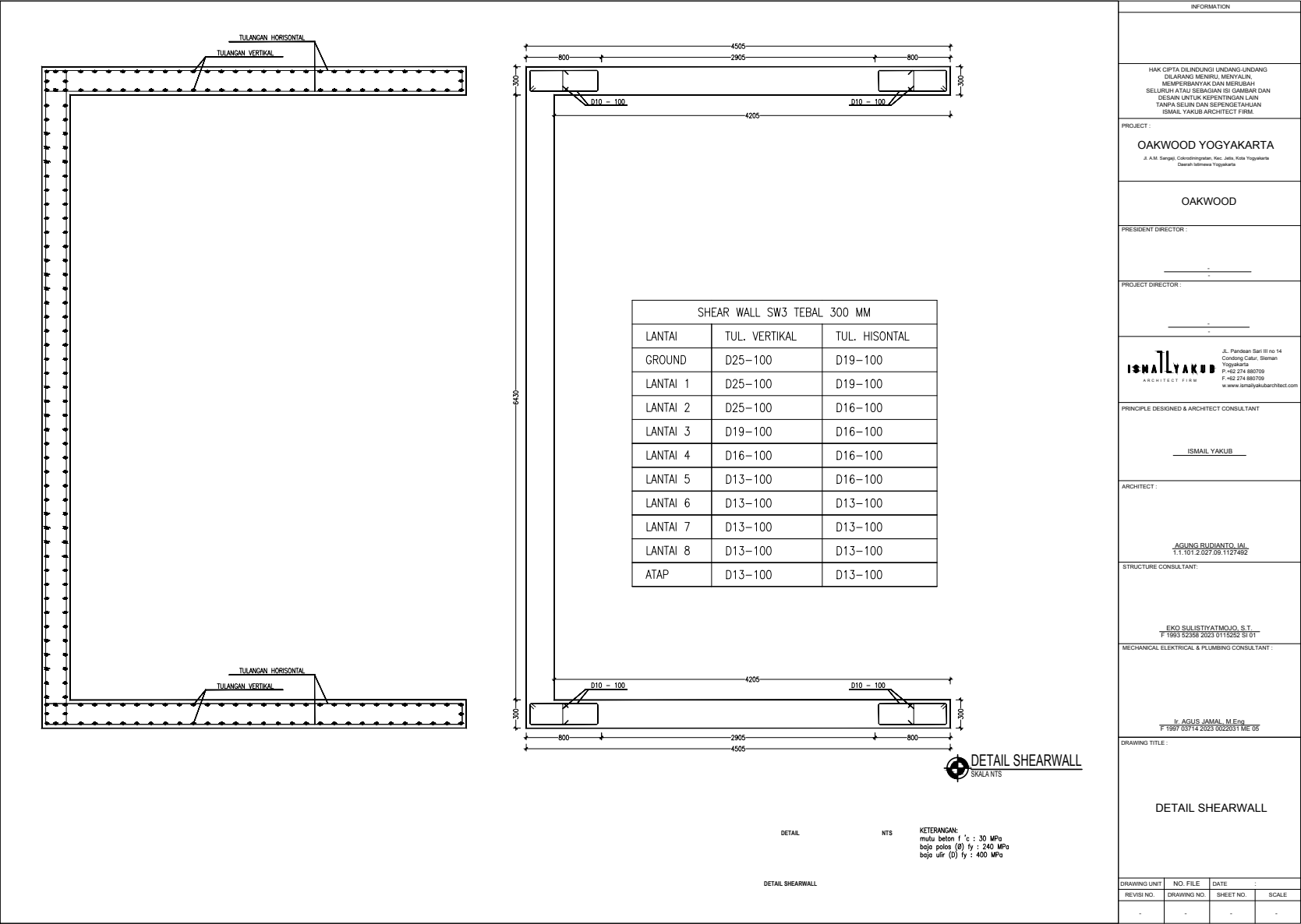
1:1

KETERANGAN:
 mutu beton f'_c : 30 MPa
 baja polos ($\emptyset$) f_y : 240 MPa
 baja ulir (D) f_y : 400 MPa

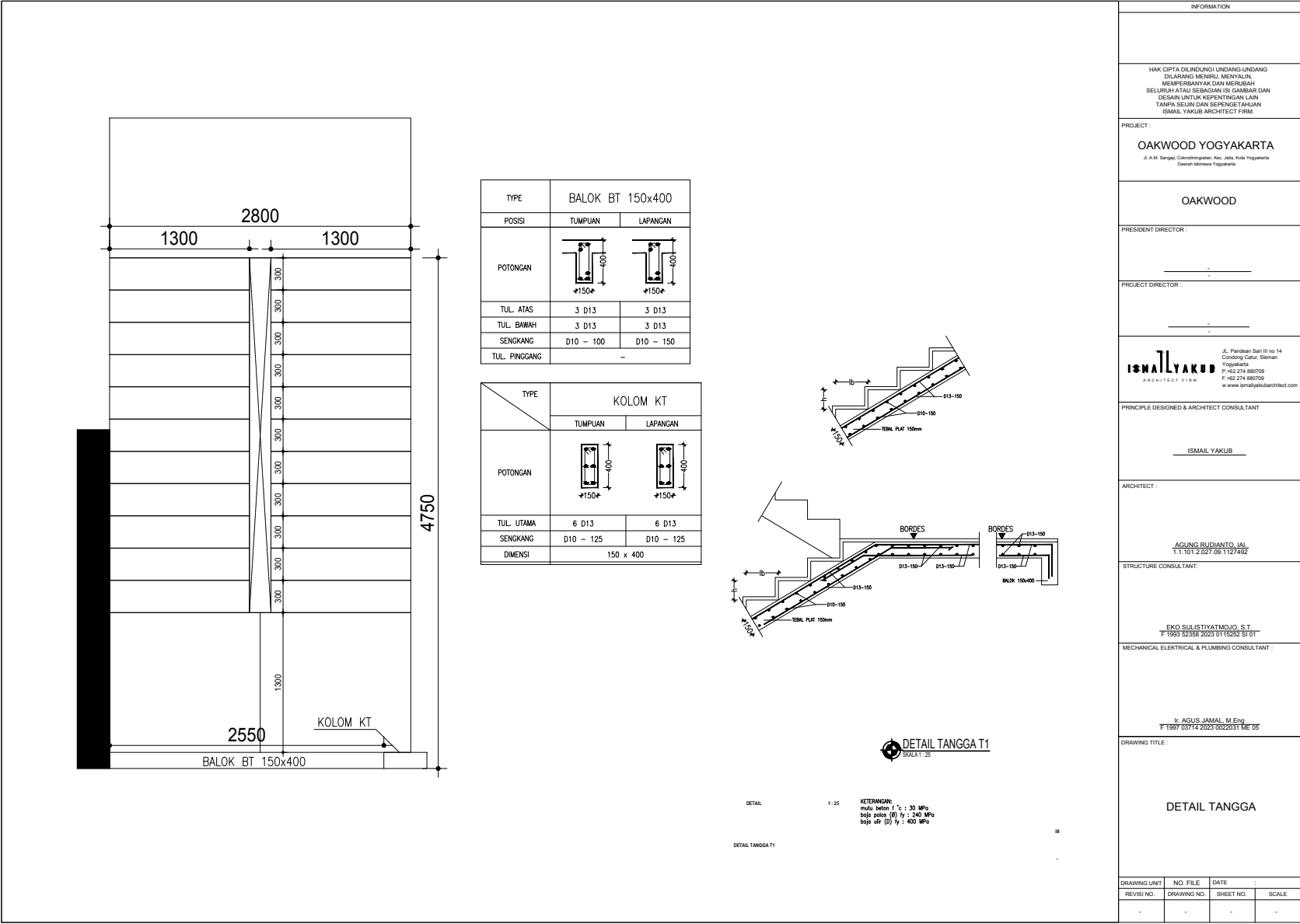
DETAIL SHEARWALL

<p style="text-align: center;">INFORMATION</p>			
<p style="text-align: center;"> HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENRUI, MENYALIN, MEMERBAIKAN DAN MERUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEIJUR DAN SEPENGETAHUIAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM. </p>			
<p>PROJECT :</p> <p style="text-align: center;">OAKWOOD YOGYAKARTA</p> <p style="text-align: center;">J. A.R. Sengul, Colodongbanten, Kec. Jaka, Kota Yogyakarta Dipendahkan oleh Ismail Yakub</p>			
<p style="text-align: center;">OAKWOOD</p>			
<p>PRESIDENT DIRECTOR :</p> <p style="text-align: center;">+ + +</p>			
<p>PROJECT DIRECTOR :</p> <p style="text-align: center;">+ + +</p>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>J. Pandan Sari II no 14 Condong Catur, Sleman Yogyakarta P+62 274 880709 F+62 274 880709 www.ismailyakubarchitect.com</p> </div> </div>			
<p>PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT</p> <p style="text-align: center;">+ + + ISMAIL YAKUB + + +</p>			
<p>ARCHITECT :</p> <p style="text-align: center;">+ + + AGUNG BUDIANTO, IAL T. 1997 0374 2023 0115252 SI 01 + + +</p>			
<p>STRUCTURE CONSULTANT:</p> <p style="text-align: center;">+ + + EKO SULISTATMOJO, S. T P.1993 82358 2023 0115252 SI 01 + + +</p>			
<p>MECHANICAL ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :</p> <p style="text-align: center;">+ + + Ir. AGUS JAMAL, Ir. Eng P.1997 0374 2023 002231 ME 05 + + +</p>			
<p>DRAWING TITLE :</p> <p style="text-align: center;">+ + + DETAIL SHEARWALL + + +</p>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p>DRAWING UNIT</p> <p>REVISI NO.</p> </div> <div style="width: 40%;"> <p>NO. FILE</p> <p>DRAWING NO.</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>DATE</p> <p>SHEET NO.</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>SCALE</p> </div> </div>			

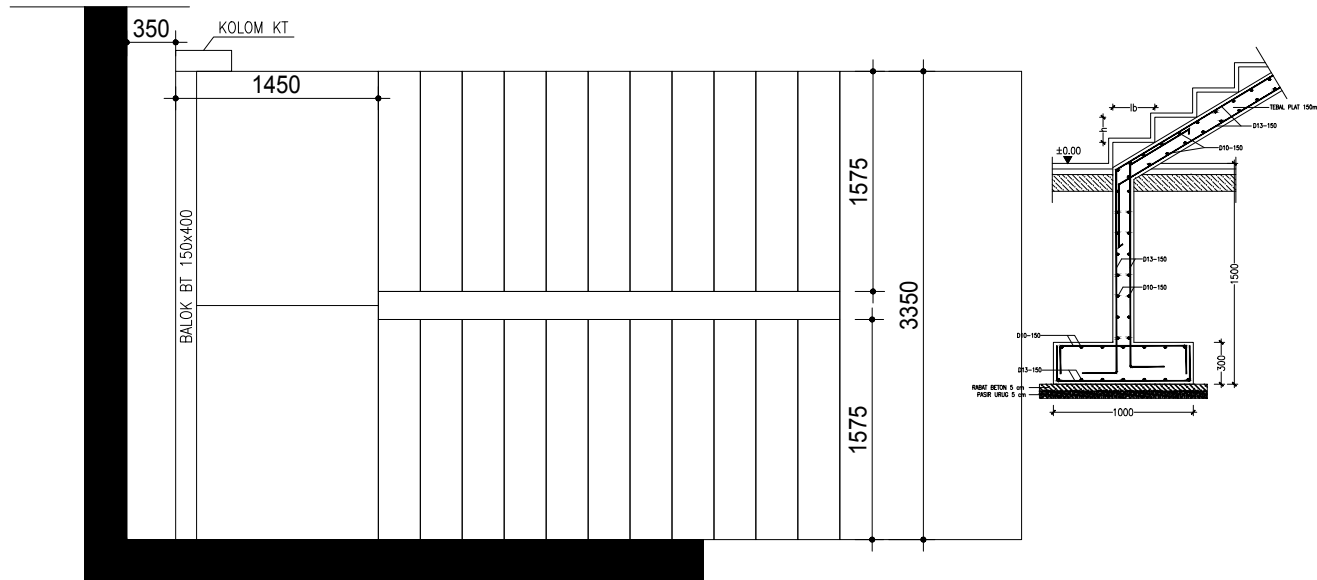
Lampiran 26 Detail *Shearwall* 2



Lampiran 27 Detail Tangga T1



Lampiran 28 Detail Tangga T2



TYPE	KOLOM KT	
	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TUL. UTAMA	6 D13	6 D13
SENGKANG	D10 - 125	D10 - 125
DIMENSI	150 x 400	

TYPE	BALOK BT 150x400	
	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TUL. ATAS	3 D13	3 D13
TUL. BAWAH	3 D13	3 D13
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150
TUL. PINGGANG	-	

DETAIL TANGGA T2
SKALA 1:25

DETAIL

1:25

KETERANGAN:
modul beton f'c : 30 MPa
baja polos (Ø) fy : 240 MPa
baja ulir (Ø) fy : 400 MPa

DETAIL TANGGA T2

INFORMATION

HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG
DILARANG MENIRU, MENYALIN,
MEMPERBANYAK DAN MERUBAH
SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN
DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN
TANPA SEJIN DAN SEPEKETAHUAN
ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.

PROJECT :

OAKWOOD YOGYAKARTA
J. A.M. Sangal, Cikondrongkon, Kec. Jatin, Kota Yogyakarta
Daerah Istimewa Yogyakarta

OAKWOOD

PRESIDENT DIRECTOR :

PROJECT DIRECTOR :

Jl. Pandean Sari III no 14
Condong Catur, Sleman
Yogyakarta
P+62 274 880709
F+62 274 880709
www.ismailyakubarchitect.com

PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT

ISMAIL YAKUB

ARCHITECT :

AGUNG RUDIANTO, IAI
T.T.101.2.027.06.1127482

STRUCTURE CONSULTANT:

EKO SULISTYATMOJO, S.T.
P.1993.02398.2003.0115052.51.01

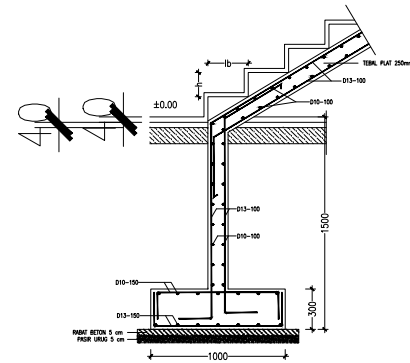
MECHANICAL, ELECTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :

Ir. AGUS JAMAL, M.Eng
P.1997.03714.2023.0022031.1AE.05

DRAWING TITLE :

DETAIL TANGGA

DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-



DETAIL TANGGA T3
SKALA 1 : 25

1:25

DETAIL TANGGA T3

INFORMATION			
<p>HAK CIPTA DIUNDUNGI UNDANG-UNDANG DILARANG MENIRU, MENYALIN, MEMPERBANYAK DAN MEMUBAH SELURUH ATAU SEBAGIAN ISI GAMBAR DAN DESAIN UNTUK KEPENTINGAN LAIN TANPA SEJUNDAK DAN SEPENGINGTAHAN ISMAIL YAKUB ARCHITECT FIRM.</p>			
<p>PROJECT :</p> <p>OAKWOOD YOGYAKARTA</p> <p>Jl. A.M. Sengul, Cokrodarmasari, Ret. Jatis, Kota Yogyakarta Daerah Istimewa Yogyakarta</p>			
<p>OAKWOOD</p>			
<p>PRESIDENT DIRECTOR :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>			
<p>PROJECT DIRECTOR :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>			
<p>ISMAIL YAKUB</p> <p>ARCHITECT FIRM</p> <p>Jl. Pandean Sari II no 14 Candi Otar, Sleman Yogyakarta P-027 4860769 F-027 274 880709 www.ismailyakubarchitect.com</p>			
<p>PRINCIPLE DESIGNED & ARCHITECT CONSULTANT</p> <p>_____</p> <p>ISMAIL YAKUB</p>			
<p>ARCHITECT :</p> <p>_____</p> <p>ACHUNG RUDIANTO, AI. 1.1.101.2.027.09.1127492</p>			
<p>STRUCTURE CONSULTANT:</p> <p>_____</p> <p>EKO SULISTIYATMOJO, S.T F 1993 52358 2023 0115252 SI 01</p>			
<p>MECHANICAL, ELEKTRICAL & PLUMBING CONSULTANT :</p> <p>_____</p> <p>H. AGUS JAMAL, M.Eng F 1997 03774 2023 002031 76. 05</p>			
<p>DRAWING TITLE :</p> <p>_____</p>			
<p>DETAIL TANGGA</p>			
DRAWING UNIT	NO. FILE	DATE	:
REVISI NO.	DRAWING NO.	SHEET NO.	SCALE
-	-	-	-

Lampiran 30 Output Performance Point ATC-40 Arah X

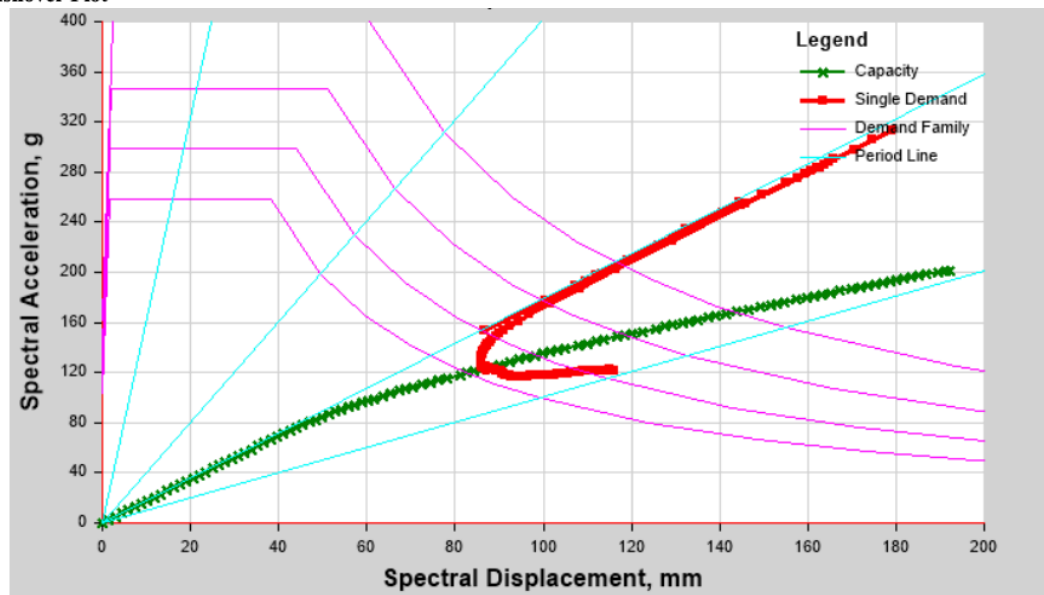
Demand Spectrum Input Data

Source	Defined Function	Function Name	Hotel Oakwood
		Scalefactor	3738,45 mm/sec ²

Effective Period and Effective Damping Parameters

Inherent Damping	0,05		
Damping Params	Default Value	Period Parameters	Default Value
A	4,2	G	0,11
B	-0,83	H	-0,018
C	10	I	0,09
D	1,6	J	0,14
E	22	K	0,77
F	0,4	L	0,05

Pushover Plot



Demand Spectra Ductility Ratios 1; 1,5; 2; 2,5

Constant Period Lines 0,5; 1; 1,5; 2

Performance Point

Point Found	Yes	T secant	1,682 sec
Shear	17773,7764 kN	T effective	1,695 sec
Displacement	125,689 mm	Ductility Ratio	1,860803
Sa	0,123565	Effective Damping	0,0793
Sd	86,815 mm	Modification Factor	1,016097

Lampiran 31 *Output Performance Point ATC-40 Arah Y*

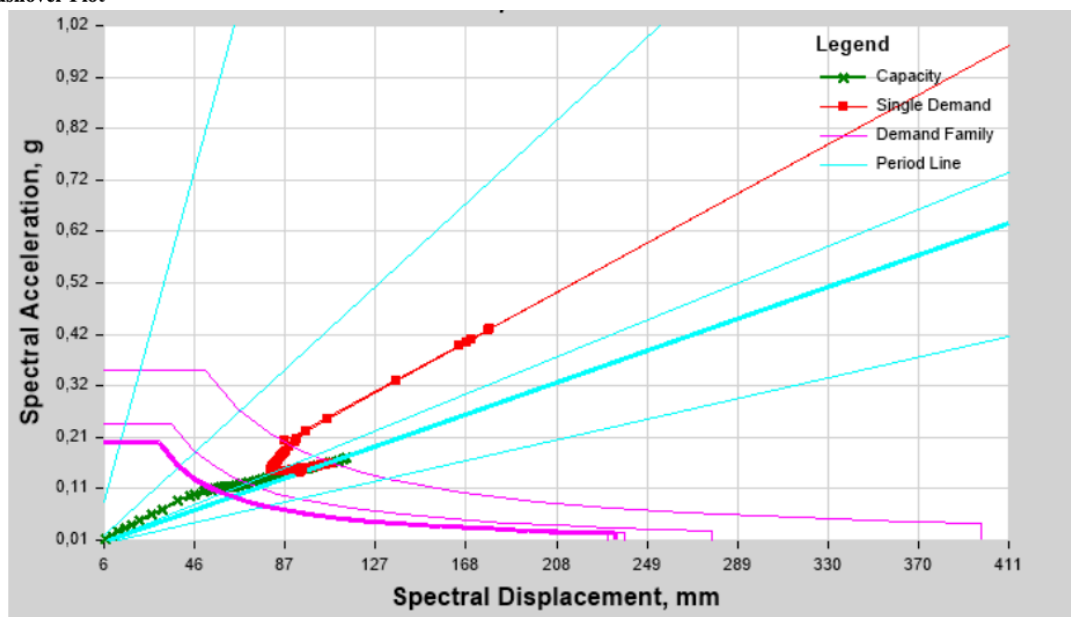
Demand Spectrum Input Data

Source	Defined Function	Function Name	Hotel Oakwood
		Scalefactor	4341,98 mm/sec ²

Effective Period and Effective Damping Parameters

Inherent Damping	0,05		
Damping Params	Default Value	Period Parameters	Default Value
A	4,2	G	0,11
B	-0,83	H	-0,018
C	10	I	0,09
D	1,6	J	0,14
E	22	K	0,77
F	0,4	L	0,05

Pushover Plot



Demand Spectra Ductility Ratios	1; 1,5; 2; 2,5
Constant Period Lines	0,5; 1; 1,5; 2

Performance Point

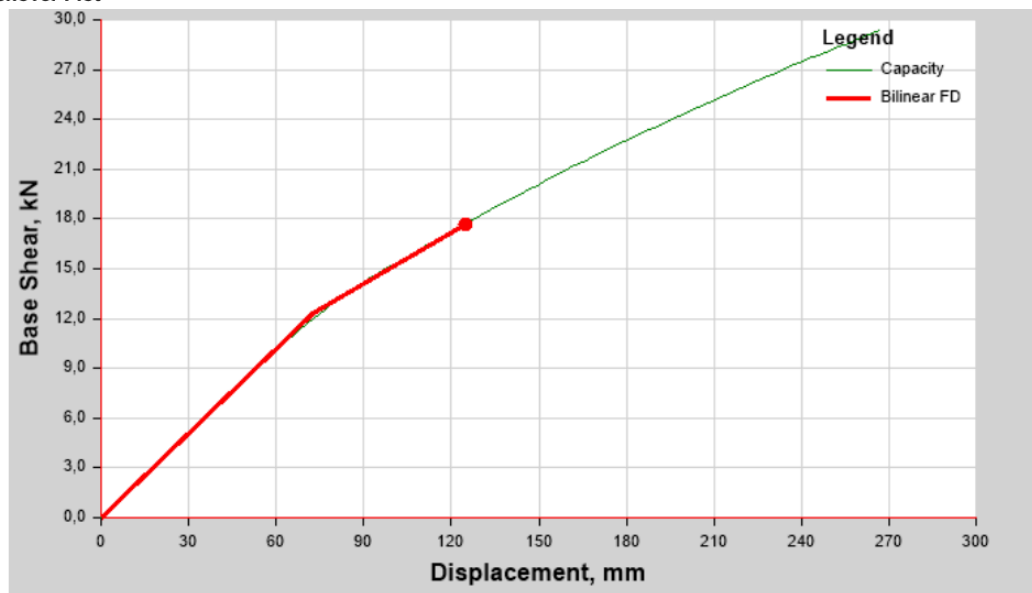
Point Found	Yes	T secant	1,576 sec
Shear	21340,7855 kN	T effective	1,675 sec
Displacement	106,084 mm	Ductility Ratio	2,419539
Sa	0,151354	Effective Damping	0,1173
Sd	93,361 mm	Modification Factor	1,129596

Lampiran 32 *Output Performance Point* FEMA 356 Arah X

Demand Spectrum Input Data

Damping Ratio	0,05	Source	Defined Function
Include SSI	No	Function Name	Hotel Oakwood
C2 Type	User Specified	Scalefactor	3738,45 mm/sec ²
Cm Type	Default Value	Period Ts	0,771 sec

Pushover Plot



Target Displacement Results

Displacement	124,88 mm	Shear	17716,375 kN
--------------	-----------	-------	--------------

Calculated Parameters

C0	1,448107	Sa	0,152457 g
C1	1	Alpha	0,612294
C2	1	uStrength	2,733603

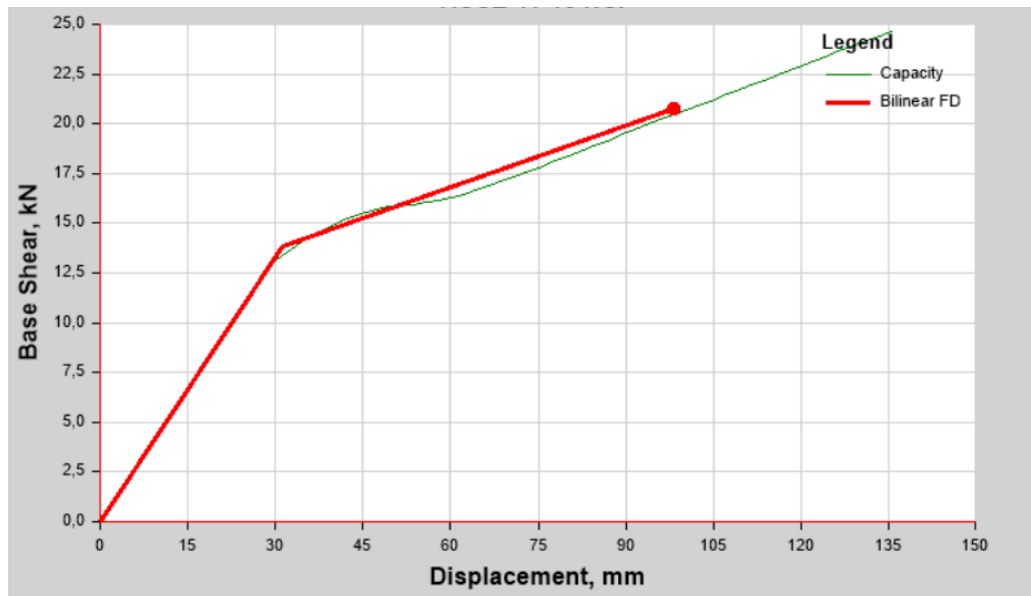
Ti	1,508 sec	Dy	72,764 mm
Te	1,517 sec	Vy	12315,4488 kN
Ki	171134,394 kN/m	Weight	220819,721 kN
Ke	169252,712 kN/m	Cm	1

Lampiran 33 *Output Performance Point* FEMA 356 Arah Y

Demand Spectrum Input Data

Damping Ratio	0,05	Source	Defined Function
Include SSI	No	Function Name	Hotel Oakwood
C2 Type	User Specified	Scalefactor	4341,98 mm/sec ²
Cm Type	Default Value	Period Ts	0,771 sec

Pushover Plot



Target Displacement Results

Displacement	98,234 mm	Shear	20760,7253 kN
--------------	-----------	-------	---------------

Calculated Parameters

C0	1,118631	Sa	0,20604 g
C1	1	Alpha	0,232291
C2	1	uStrength	3,287086

Ti	1,294 sec	Dy	31,165 mm
Te	1,305 sec	Vy	13841,3485 kN
Ki	452022,115 kN/m	Weight	220819,721 kN
Ke	444134,021 kN/m	Cm	1

Lampiran 34 Nilai VS30 dari Website USGS VS30

