

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN VARIASI DIMENSI BALOK DAN WILAYAH GEMPA DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER*

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas
Teknik Universitas Sriwijaya**



ANDREAWAN RAMADHAN

03011281722061

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN VARIASI DIMENSI BALOK DAN WILAYAH GEMPA DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER*

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

ANDREAWAN RAMADHAN

03011281722061

Palembang, Januari 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.

NIP. 197605092000122001

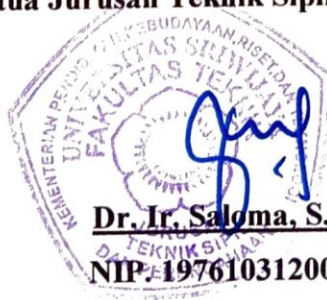
Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

**Mengetahui/Menyetujui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan**



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman wal islam, serta rahmat, hidayat dan nikmat kesehatan kepada diri penulis, sehingga penulis dapat menuntaskan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover***” ini sesuai dengan waktu yang telah direncanakan.

Dalam pengerjaan dan pelaksanaan penyusunan tugas akhir ini penulis masih menyadari bahwa masih banyak sekali ketidaktahuan dan kekurangan wawasan dalam diri penulis. Sehingga dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT. yang telah memberikan limpahan nikmat, rezeki dan kesehatan, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik mungkin.
2. Kedua orang tua yang telah membesarkan dan mendidik penulis, mendukung penulis dalam hal moril dan finansial, serta memberi semangat dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Ir. Mona Foralisa Toyfur, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya
5. Ibu Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T. selaku pembimbing pertama tugas akhir yang telah bersedia membimbing, memberi saran dan dan memberi dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini
6. Ibu Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir yang telah bersedia membimbing, memberi saran dan memberi dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.

7. Bapak Ir. H. Yakni Idris, M.Sc., MSCE. selaku dosen pembimbing akademik, yang telah membimbing, memberi ilmu dan mengajarkan banyak hal dalam pelaksanaan dunia perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan penulis yang berkenaan dengan tugas akhir ini

Palembang, Januari 2024



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xiv
PERNYATAAN INTEGRITAS	xv
HALAMAN PERSETUJUAN	xvi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xvii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
2.1. Penelitian Terdahulu.....	4
2.2. Persyaratan Tinggi Balok SNI 2847-2019	5
2.3. Sistem Struktur Beton Bertulang Pemikul Beban Gempa.....	6
2.4. Analisis Statis Nonlinier <i>Pushover</i>	6
2.5. Kriteria Struktur Tahan Gempa	10
2.5.1. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja.....	10
2.5.2. Metode Spektrum Kapasitas ATC 40	10
2.5.3. Metode koefisien perpindahan FEMA.....	14
2.6 Analisis Respon Struktur	17
2.7. Properti Sendi Plastis.....	18

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Data Struktur Gedung.....	22
3.2 Tahapan Analisis.....	23
3.2.1 Studi Literatur.....	24
3.2.2 Pengumpulan Data.....	24
3.2.3 Pemodelan 3D.....	24
3.2.4 Perhitungan Pembebanan.....	26
3.2.4.1 Beban Mati.....	27
3.2.4.2 Beban Hidup.....	27
3.2.5 Analisa Respon Spectrum.....	28
3.2.5.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan.....	28
3.2.5.2 Sistem Struktur.....	28
3.2.5.3 Menentukan Periode Fundamental (T) dan Nilai Koefisien Desain.....	29
3.2.6 Perhitungan Beban Gempa.....	31
3.2.7 Kombinasi Pembebanan.....	35
3.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	37
3.4 Analisis <i>Pushover</i>	38
3.4.1 Menentukan Titik yang Ditinjau.....	39
3.4.2 Mengubah Beban <i>Linear</i> menjadi Beban <i>Nonlinear</i>	39
3.4.3 Mendefinisikan Karakter Sendi Plastis Pada Setiap Elemen Struktur.....	41
3.5 Analisis Hasil dan Pembahasan.....	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 <i>Preliminary Design</i>	54
4.1.1 Dimensi Balok.....	54
4.1.2 Dimensi Pelat.....	55
4.1.3 Dimensi Kolom.....	55
4.2 Dimensi Desain Akhir Elemen Struktur.....	57
4.3 Perhitungan Pembebanan.....	58
4.4 Analisis Respon Struktur.....	60
4.4.1 Perhitungan Skala Gaya Metode Respon Spektrum.....	60
4.4.2 <i>Joint Displacement</i>	61

4.4.3	Simpangan Antar Lantai	69
4.5	Analisis Kinerja Struktur	75
4.5.1	<i>Performance Point</i>	75
4.5.2	<i>Performance Level</i> (Tingkat Kinerja)	86
4.6	Perbandingan <i>Masses and Weights</i> Struktur	87
4.7	Rekomendasi Dimensi Balok Berdasarkan Wilayah Gempa	89
BAB 5	PENUTUP	91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.1	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	96

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bangunan dengan lantai dasar yang memiliki kekakuan tingkat lunak7	
Gambar 2.2 Mengubah <i>capacity curve</i> menjadi <i>capacity spectrum</i>	8
Gambar 2.3 <i>Response Spectrum</i> menjadi <i>Demand Spectrum</i>	9
Gambar 2.4 <i>Performance point</i>	10
Gambar 2.5 Kurva Kriteria Kinerja	11
Gambar 2.6 Ilustrasi Bangunan Runtuh	12
Gambar 2.7 Perilaku pasca leleh struktur	15
Gambar 2.8 Respon struktur	18
Gambar 2.9 Properti sendi plastis	18
Gambar 2.10 Posisi Sumbu lokal Struktur Balok	19
Gambar 2.11 Posisi Sumbu lokal Struktur Kolom.....	20
Gambar 2.12 Sendi plastis di balok dan kolom	21
Gambar 3.1 Denah	23
Gambar 3. 2 Denah dan Potongan Bangunan	23
Gambar 3.3 Sistem koordinat yang digunakan dalam program SAP 2000 Dewobroto (2007)	26
Gambar 3.4 Parameter <i>Response Spectrum</i> Gempa.....	33
Gambar 3.5 Pendefinisian <i>Load Pattern</i> Untuk Beban Gempa	34
Gambar 3.6 Parameter Gempa Pada Arah X	34
Gambar 3.7 Parameter Gempa Pada Arah Y	35
Gambar 3.8 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 3.9 <i>Joint 157</i> sebagai titik acuan.....	39
Gambar 3.10 <i>Define Load Case Gravity</i>	40
Gambar 3.11 <i>Define Load Case Pushover X</i>	40
Gambar 3.12 <i>Define Load Case Pushover Y</i>	41
Gambar 3.13 Pendefinisian Material Balok	42
Gambar 3.14 Pendefinisian Ukuran Penampang Balok.....	42
Gambar 3.15 Data Jumlah Tulangan Tumpuan dan Luasan Tulangannya	43

Gambar 3.16 Parameter Penulangan Senggang	43
Gambar 3.17 Potongan Balok PLB1	44
Gambar 3.18 Hasil Momen Kurvatur Balok PLB1.....	44
Gambar 3.19 Momen Kurvatur Balok PLB1	45
Gambar 3.20 Pendefinisian <i>Frame Hinge Property</i> Data Balok	49
Gambar 3.21 Pendefinisian Parameter <i>Hinge Properties</i>	50
Gambar 3.22 Pendefinisian <i>Frame Hinge Property</i> Data Kolom.....	51
Gambar 3.23 Pendefinisian <i>Hinge Properties</i> Pada Kolom	51
Gambar 3.24 <i>Assign Hinges Frames</i> Pada Elemen Balok	52
Gambar 3.25 <i>Assign Hinges Frames</i> Pada Elemen Kolom	53
Gambar 4.1 Dimensi akhir gedung L8 B1	57
Gambar 4.2 Dimensi akhir gedung L9 B2	57
Gambar 4.3 Dimensi akhir gedung L10 B3	58
Gambar 4.4 Grafik respon spektrum Palembang	59
Gambar 4.5 Grafik respon spektrum Jakarta.....	59
Gambar 4.6 Grafik respon spektrum Palu.....	60
Gambar 4.7 Pilih <i>joint</i>	61
Gambar 4.8 Menampilkan tabel <i>joint displacement</i>	62
Gambar 4.9 <i>Joint Displacement</i> wilayah Palu	66
Gambar 4.10 <i>Joint Displacement</i> wilayah Jakarta.....	66
Gambar 4.11 <i>Joint Displacement</i> wilayah Palembang	67
Gambar 4.12 <i>Joint Displacement</i> gabungan	68
Gambar 4.13 Diagram simpangan antar lantai wilayah Palu.....	72
Gambar 4.14 Diagram simpangan antar lantai wilayah Jakarta.....	72
Gambar 4.15 Diagram simpangan antar lantai wilayah Palembang	73
Gambar 4.16 Diagram simpangan antar lantai gabungan	74
Gambar 4.17 Titik Kinerja PLB1 arah X.....	75
Gambar 4.18 Titik Kinerja PLB1 arah Y	76
Gambar 4.19 Titik Kinerja PLB2 arah X	76
Gambar 4.20 Titik Kinerja PLB2 arah Y	77
Gambar 4.21 Titik Kinerja PLB3 arah X	77
Gambar 4.22 Titik Kinerja PLB3 arah Y	78

Gambar 4.23 Titik Kinerja JKB1 arah X	78
Gambar 4.24 Titik Kinerja JKB1 arah Y	79
Gambar 4.25 Titik Kinerja JKB2 arah X	79
Gambar 4.26 Titik Kinerja JKB2 arah Y	80
Gambar 4.27 Titik Kinerja JKB3 arah X	80
Gambar 4.28 Titik Kinerja JKB3 arah Y	81
Gambar 4.29 Titik Kinerja PGB1 arah X.....	81
Gambar 4.30 Titik Kinerja PGB1 arah Y.....	82
Gambar 4.31 Titik Kinerja PGB2 arah X.....	82
Gambar 4.32 Titik Kinerja PGB2 arah Y.....	83
Gambar 4.33 Titik Kinerja PGB3 arah X.....	83
Gambar 4.34 Titik Kinerja PGB3 arah Y.....	84
Gambar 4.35 Distribusi <i>Performance Point</i> untuk Semua Model	85
Gambar 4.36 Perbandingan <i>masses and weights</i> model struktur.....	88

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tinggi minimum balok non-prategang	5
Tabel 2.2 Batas rasio <i>drift</i> atap ATC-40	12
Tabel 2.3 Tingkat kerusakan Struktural	19
Tabel 3.1 Variasi tinggi balok dan wilayah gempa.....	22
Tabel 3.2 Peraturan yang digunakan dalam penelitian	24
Tabel 3.3 Tabel Kategori Desain Seismik.....	28
Tabel 3.4 Tabel Koefisien Gempa	31
Tabel 3.5 Hubungan Antara Nilai Kurvatur dan Nilai Momen	45
Tabel 3.6 Nilai Titik <i>Hinge Properties</i> Balok PLB1	48
Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok	55
Tabel 4.2 Perhitungan beban pada kolom paling bawah.....	56
Tabel 4.3 Tabel koefisien gempa	58
Tabel 4.4 Parameter gempa sesuai wilayah	59
Tabel 4.5 <i>Joint displacement</i> wilayah Palu.....	62
Tabel 4.6 <i>Joint displacement</i> wilayah Jakarta.....	63
Tabel 4.7 <i>Joint displacement</i> wilayah Palembang	64
Tabel 4.8 Simpangan antar lantai wilayah Palu	70
Tabel 4.9 Simpangan antar lantai wilayah Jakarta.....	71
Tabel 4.10 Simpangan antar lantai wilayah Palembang	71
Tabel 4.11 <i>Performance point</i> arah X dan Y	84
Tabel 4.12 <i>Performance level</i> arah X dan Y	86
Tabel 4.13 <i>Masses and weights</i> model struktur	88
Tabel 4.14 Tabel simpangan antar lantai maksimum pada salah satu lantai ...	89

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan.....	
Lampiran 2. Parameter Percepatan Gempa.....	
Lampiran 3. Sistem Struktur.....	
Lampiran 4. Periode Alami Fundamental.....	
Lampiran 5. Simpangan Antar Lantai Izin.....	
Lampiran 6. Kartu Asistensi Tugas Akhir.....	
Lampiran 7. Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir.....	
Lampiran 8. Surat Selesai Revisi Tugas Akhir.....	
Lampiran 9. Berita Acara.....	

RINGKASAN

ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN VARIASI DIMENSI BALOK DAN WILAYAH GEMPA DENGAN METODE ANALISIS PUSHOVER.

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Desember 2023

Andreawan Ramadhan; dibimbing oleh Dr. Ir. Rosidawani, S.T.,M.T., dan Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah S.T., M.T.

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

xxvii + 94 halaman + 22 Lampiran

Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat gencar dalam pembangunan. Berdasarkan data dari Direktorat Sistem dan Strategi Penyelenggaraan Perumahan, didapatkan data per September 2020 terdapat 433,7 ribu bangunan yang terdata dalam sistem. Dalam konteks perencanaan bangunan bertingkat, perlu dilakukan perencanaan yang baik agar struktur yang dihasilkan mampu berkerja secara optimal. Salah satu aspek terpenting adalah perencanaan keempaan pada struktur. Melalui SNI 1726:2019 mengenai tata cara perencanaan struktur tahan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung, diperoleh suatu opsional untuk menahan beban lateral gempa yang terjadi, yaitu dengan menggunakan dinding geser (*shearwall*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan menentukan hasil perbandingan level kinerja seismik, pola penyebaran sendi plastis dan efisiensi gempa pada bangunan bertingkat 8 lantai akibat variasi model dinding geser (*shearwall*) baik pada arah sumbu x dan sumbu y bangunan. Analisis struktur dimodelkan dalam program SAP 2000 dengan metode analisis *pushover*. Hasil menunjukkan bahwa perpindahan pada titik kinerja (*performance point*) yang terjadi pada arah x untuk struktur model eksisting, model 1, model 2 dan model 3 masing-masing bernilai 363,53 mm, 308,124 mm, 264,461 mm dan 267,541 mm. Sedangkan perpindahan pada titik kinerja (*performance point*) yang terjadi pada arah y untuk struktur model eksisting, model 1, model 2 dan model 3 masing-masing bernilai 283,233 mm, 199,594 mm, 256,998 mm dan 258,103 mm. Pada penyebaran sendi plastis untuk seluruh struktur dalam rentang *Immediate Occupancy* hingga *Collapse Prevention*. Seluruh struktur kecuali pada arah x model eksisting menunjukkan level kinerja (*performance level*) pada struktur dengan kondisi *Immediate Occupancy*.

Kata Kunci : Analisis Pushover, SNI 1726:2019, Level Kinerja, Titik Kinerja, Respon Struktur, Gempa.

SUMMARY

SEISMIC EFFICIENCY ANALYSIS OF MULTILEVEL BUILDING STRUCTURES DUE TO THE INFLUENCE OF *SHEARWALL* VARIATIONS WITH *PUSHOVER* ANALYSIS METHODS.

Scientific papers in the form of final project, December 2023

Andreawan Ramadhan; Guided by Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T., and Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah S.T., M.T.

Department of Civil Engineering , Faculty of Engineering, Sriwijaya University.

xxvii + 94 pages + 22 Attachments

Indonesia is one of the countries that is very aggressive in development. Based on data from the Directorate of Housing Development Systems and Strategies, was obtained as of September 2020, there were 433.7 thousand buildings recorded in the system. In the context of planning multi-storey buildings, it is necessary to do good planning so that the resulting structure is able to work optimally. One of the most important aspects is seismic planning on the structure. Through SNI 1726: 2019 concerning the procedures for planning earthquake-resistant structures for building buildings and non-buildings, an optional to withstand the lateral load of earthquakes that occur, namely by using sliding walls (*shearwall*). The purpose of this study was to analyze and determine the results of comparison of seismic performance levels, plastic joint dispersal patterns and earthquake efficiency in 8-story buildings due to variations in *shearwall* models in both the direction of the x-axis and the y-axis of the building. The structure analyst was modeled in the SAP 2000 program by the *pushover* analyst method. The results showed that the displacement at the performance point (*performance point*) that occurred in the x direction for the structure of the existing model, model 1, model 2 and model 3 was worth 363.53 mm, 308,124 mm, 264,461 mm and 267,541 mm, respectively. While the displacement at the performance point (*performance point*) that occurs in the y direction for the existing model structure, model 1, model 2 and model 3 are worth 283,233 mm, 199,594 mm, 256,998 mm and 258,103 mm, respectively. On the spread of plastic joints for the entire structure in the immediate *occupancy* to *collapse prevention range*. All structures except in the direction x existing models show the performance level (*performance level*) in the structure with *immediate occupancy* conditions.

Keywords : Pushover Analysis, SNI 1726:2019, Performance Level, Performance Point, Structure Response, Earthquake.

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ANDREAWAN RAMADHAN

NIM : 03011281722061

Judul : ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN VARIASI DIMENSI
BALOK DAN WILAYAH GEMPA DENGAN METODE ANALISIS
PUSHOVER.

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Indralaya, Januari 2024



Andreawan Ramadhan

NIM. 03011281722061

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*” yang disusun oleh Andreawan Ramadhan, 03011281722061 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Desember 2023.

Palembang, 21 Desember 2023

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Dosen Pembimbing:

1. Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
NIP. 197605092000122001
2. Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

()

()

Dosen Penguji:

3. Dr. Ir. Maulid M. Iqbal, M.S.
NIP. 196009091988111001

()

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., IPU.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Sipil
dan Perencanaan



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ANDREAWAN RAMADHAN

NIM : 03011281722061

Judul : ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN VARIASI DIMENSI
BALOK DAN WILAYAH GEMPA DENGAN METODE ANALISIS
PUSHOVER.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Januari 2024



Andreawan Ramadhan

NIM. 03011281722061

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Andreawan Ramadhan
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 10 Desember 1999
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Warga Negara : Indonesia
Nomor HP : 082287815658
E-mail : andreawanramadhan26@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SDIT Izzuddin Kota Palembang			SD	2005-2011
SMP Negeri 1 Kota Palembang			SMP	2011-2014
SMA Plus Negeri 17 Kota Palembang		MIPA	SMA	2014-2017
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2017-2024

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Andreawan Ramadhan

NIM. 03011281722061

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tantangan pembangunan gedung bertingkat di Indonesia adalah bencana alam seperti gempa bumi. Hal ini dikarenakan Negara Indonesia yang berlokasi di Jalur Gempa Pasifik (*Circum Pacific Earthquake Belt*) dan Gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*), Indonesia juga terletak di perpotongan 4 lempeng tektonik utama, lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina, atau dengan nama lain *Ring of Fire*, yang berarti banyak daerah-daerah di Indonesia yang berisiko tinggi terjadi gempa bumi. Dengan risiko terjadinya gempa bumi ini, maka sangat tinggi pula risiko kerusakan konstruksi terutama bangunan gedung yang akan terjadi. Khususnya terhadap lingkup kerja teknik sipil, sehingga dalam perencanaan desain struktur bangunan akan sangat mempengaruhi ketahanan bangunan.

Konstruksi bangunan bertingkat mempunyai beberapa komponen struktur utama salah satunya balok. Balok adalah pemikul beban pada plat yang kemudian diteruskan ke kolom. Untuk menentukan dimensi balok bisa mengacu pada SNI 2847; 2019. Menurut Rosiqin (2017) adanya variasi dimensi balok dan kolom, dengan tidak mengubah jarak antara kolom dan balok akan mempengaruhi momen yang akan dihasilkan. Selain itu pengaruh perubahan dimensi balok dan dimensi kolom pada ketahanan gedung terhadap gempa bumi juga dapat mempengaruhi terpenuhinya syarat pada simpangan antar lantai. Aman tidaknya struktur tergantung dari kapasitas struktur terhadap beban. Arzal, dkk (2019) berpendapat bahwa gempa bumi yang terjadi di lokasi-lokasi Sulawesi Tengah berdampak cukup signifikan terhadap kebutuhan struktural gedung khususnya gedung bertingkat tinggi. Beberapa hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara pemilihan dimensi elemen struktur terhadap kapasitas maupun respon struktur akibat beban yang bekerja.

Menurut Arzal, dkk (2019) perbedaan beban gempa menghasilkan perbedaan spesifikasi bangunan. Berdasarkan perbedaan wilayah gempa, suatu struktur bangunan akan menerima beban yang berbeda. Oleh karena itu penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh variasi dimensi balok terhadap kinerja struktur pada wilayah gempa yang berbeda dengan menggunakan aturan kegempaan terbaru yaitu SNI 1726:2019. Adapun perbedaan wilayah gempa yang digunakan dalam penelitian ini meliputi wilayah rawan gempa yang tinggi (diwakili wilayah Palu), wilayah rawan gempa yang sedang (diwakili wilayah Jakarta), dan wilayah rawan gempa yang rendah (diwakili wilayah Palembang).

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini rumusan masalah yang akan digunakan adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi balok dan wilayah gempa terhadap respons struktur?
2. Bagaimana pengaruh variasi dimensi balok dan wilayah gempa terhadap kinerja struktur?

1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi dimensi balok dan wilayah gempa terhadap respons struktur.
2. Menganalisa pengaruh variasi dimensi balok dan wilayah gempa terhadap kinerja struktur.

1.4. Batasan Masalah

Pada analisis *pushover* ini pembatasan masalah akan dilakukan dengan aspek-aspek sipil, khususnya perencanaan konfigurasi struktur yang akan digunakan, beban-beban, permodelan struktur maupun analisis struktur.

Dari batasan masalah sebagai berikut :

1. Struktur bangunan yang digunakan terdiri dari 10 lantai berupa sistem rangka pemikul momen.
2. Struktur bangunan adalah struktur gedung beton bertulang yang beraturan, struktur daktail penuh, dianalisa seragam di Kota Palembang, Jakarta, dan Palu.
3. Spesifikasi yang digunakan adalah variasi tinggi balok $\frac{l}{10}$, $\frac{l}{9}$ dan $\frac{l}{8}$.
4. Struktur menggunakan beton :
 - a. Struktur portal beton bertulang.
 - b. Plat lantai beton bertulang.
5. Pembebanan :
 - a. Beban mati (berat sendiri stuktur).
 - b. Beban hidup (akibat fungsi bangunan).
 - c. Beban lateral (beban gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung tanpa memperhitungkan beban angin).
 - d. Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 03-1727-2020.
6. Hasil perhitungan dari penelitian respons struktur berupa gaya geser dasar, gaya geser lateral antar lantai, simpangan lantai, dan *story drift* per lantai.
7. Kriteria kinerja menggunakan ATC-40.
8. Perilaku struktur dianalisis dengan menggunakan metode *pushover* dengan bantuan program SAP 2000.
9. Tidak memperhitungkan struktur bawah (pondasi).
10. Tidak melakukan perhitungan tangga, *lift*, dan tidak sampai menghitung pendetailan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Di bawah ini adalah beberapa hasil penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini.

Rosiqin (2017) memodelkan struktur gedung setinggi 8 lantai. Analisisnya dengan menggunakan persyaratan SRPMK. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji pengaruh dari perubahan variasi dimensi balok pada kebutuhan persyaratan kolom kuat balok lemah dengan jarak antara kolom dan balok yang sama pada saat merencanakan ulang bangunan lab terpadu FMIPA UNESA dengan SRPMK, untuk menguji pengaruh dari variasi dimensi balok terhadap ketahanan gedung terhadap gempa bumi dengan SRPMK.

Hasil penelitian ini adalah dengan merubah dimensi balok dan kolom tanpa perubahan jarak antara kolom dan balok berdampak signifikan terhadap momen yang dihasilkan. Dari 6 model diuji, Model 6 merupakan desain yang bagus, sedangkan Model 1 merupakan desain yang sebaiknya tidak dipakai. Perubahan dimensi balok dan kolom juga berpengaruh terhadap ketahanan gedung pada gempa bumi, dari semua model gedung ada yang memenuhi syarat batasan maksimum simpangan antar lantai yaitu 80 mm dan ada juga yang tidak memenuhi syarat. Gedung yang akan dipilih berdasarkan desain yang efektif, efisien, dan aman terhadap gempa bumi di daerah yang disyaratkan dengan pemikul momen khusus dan memenuhi syarat kolom kuat balok lemah. Model 3 dan 6 yang berdimensi balok 30 cm x 40 cm memenuhi persyaratan kontrol simpangan antar lantai, sedangkan pada model 1,2,4, dan 5 yang berdimensi lebih kecil yaitu 20 cm x 40 cm dan 25 cm x 40 cm tidak memenuhi syarat dan tidak cukup efektif. Oleh karena itu, diperoleh desain rencana yang paling efisien, yaitu Model 6 dengan balok 30 cm x 40 cm dan kolom 70 cm x 70 cm.

Zain, dkk (2019) melakukan penelitian menggunakan model yang digunakan adalah bangunan komersil 5 lantai dan 1 penampang bentang arah x

dan y dengan jarak sebesar 5 m, tinggi lantai seragam 4 m, yang akan dimodelkan ETABS secara tiga dimensi. Dalam analisisnya digunakan *response spectra* sesuai parameter gempa di wilayah masing-masing sesuai SNI 1726:2012. Tujuannya yaitu untuk mendapatkan perbandingan dari hasil desain struktur beton bertulang menurut SNI 2847:2013 terhadap variasi resiko gempa bumi di wilayah Sulawesi Tengah menurut SNI 1726:2012.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini. Dampak gempa bumi terhadap struktur bangunan pada kota-kota di Sulawesi Tengah cukup signifikan terhadap kebutuhan struktur, khususnya gedung bertingkat tinggi, yang memang terkena dampak besar dari gempa bumi. Sedangkan pengaruh terhadap volume beton di balok cukup kecil, di lokasi Palu dan Banggai diperlukan volume beton sebanyak 8 m³. Untuk struktur kolom, volume beton yang dibutuhkan meningkat meski dalam jumlah yang tidak banyak, di Banggai dibutuhkan volume sebesar 7,2 m³ sedangkan di Palu, volume yang dibutuhkan meningkat menjadi 8,32 m³. Dampak terbesar adalah pada tulangan, di wilayah Banggai, balok membutuhkan volume tulangan sebanyak 323 kg, dan di Palu sebanyak 515,5 kg, sedangkan elemen kolom di wilayah Banggai membutuhkan 583,8 kg sedangkan elemen kolom di wilayah Palu membutuhkan 1516,1 kg. Gempa bumi yang terjadi pada kota-kota di Sulawesi Tengah memberikan dampak yang signifikan terhadap kebutuhan struktur khususnya elemen kolom baik kebutuhan beton maupun tulangan.

2.2. Persyaratan Tinggi Balok SNI 2847-2019

Untuk menentukan tinggi balok minimum berdasarkan bentang. Dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tinggi minimum balok non-prategang

Kondisi perlekatan	Minimum $h^{[1]}$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

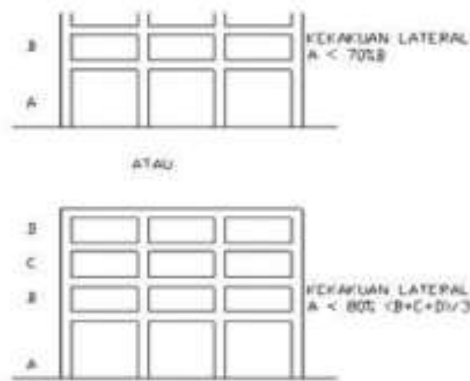
Dari tabel diatas dapat di tentukan tinggi balok minimum berdasarkan bentang. Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420.

2.3. Sistem Struktur Beton Bertulang Pemikul Beban Gempa

SNI 2847:2019 mengategorikan sistem struktur dasar penahan beban gempa bumi menjadi Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan Sistem Dinding Struktural (SDS). SRPM merupakan suatu sistem rangka tiga dimensi elemen struktur yaitu balok, kolom dan *joint* yang akan menahan gaya dalam berupa momen, geser, dan aksial yang bekerja. SRPM dikelompokkan lagi menjadi 3 yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Sedangkan SDS digunakan untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial dari beban gempa. Dinding struktur diklasifikasikan jadi 4 yaitu dinding struktur khusus (*Special structural wall*), dinding struktur pracetak menengah (*Intermediate precast structural wall*), dinding struktural beton bertulang biasa (*Ordinary reinforced concrete structural wall*), dan dinding beton polos struktur biasa (*Ordinary structural plain concrete wall*).

2.4. Analisis Statis Nonlinier Pushover

Analisa statis *pushover* merupakan metode analisa nonlinier statis yang dimana pengaruh gempa rencana akan dianggap sebagai beban statis yang bekerja menangkap pusat massa di setiap lantai pada struktur, yang dimana nilainya akan meningkat dengan bertahap dari pelelehan pertama (sendi plastis) hingga melampaui pembebanan yang akan terjadi pada struktur, lalu seiring meningkatnya beban struktur akan mengalami perubahan bentuk yang besar (pasca-elastis) hingga target peralihan yang diharapkan tercapai atau mencapai kondisi plastis.



Gambar 2.1 Bangunan dengan lantai dasar yang memiliki kekakuan tingkat lunak

Dari analisis *pushover* akan didapatkan kurva *pushover* atau *capacity curve*, yang berupa kurva hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan suatu titik pada atap yang dijadikan acuan (D). Kemudian *Capacity curve* akan diubah menjadi *capacity spectrum* menggunakan metode *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS) dengan menggunakan rumus :

$$MPF_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g]}{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (2.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N (w_i / g)] [(w_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (2.2)$$

$$S_a = \frac{V_b / w}{\alpha_i} \quad (2.3)$$

$$S_d = \frac{X_{roof}}{MPF_1 \phi_{1,roof}} \quad (2.4)$$

α_1 : modal mass coefficient pada mode ke-1

MPF_1 : modal participation factor pada mode alami ke-1

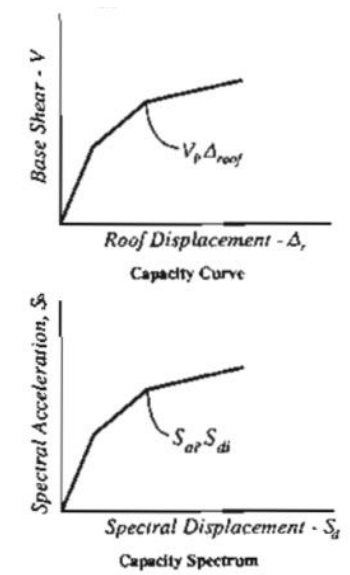
$\phi_{1,roof}$: amplitude mode ke-1 di atap

w_i/g : massa di tingkat- (story)-i

N : jumlah story (tingkat) bangunan

- $\phi_{1,i}$: amplitud mode ke-1 di *story*-i
- W : berat struktur (termasuk beban akibat berat sendiri dan beban hidup)
- V : gaya geser dasar (*base shear*)
- S_a : percepatan spektra
- X_{roof} : simpangan atap
- S_d : simpangan spektra

Gambar untuk grafik *capacity curve* dan *capacity spectrum* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mengubah *capacity curve* menjadi *capacity spectrum*
(ATC-40)

Kurva Pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Analisis *Pushover* juga memerlukan *response spectrum*, yaitu kurva yang menghubungkan percepatan spektra (S_a) dan periode (T) gempa rencana pada lokasi letak struktur bangunan. *Response spectrum* juga diubah menjadi *demand*

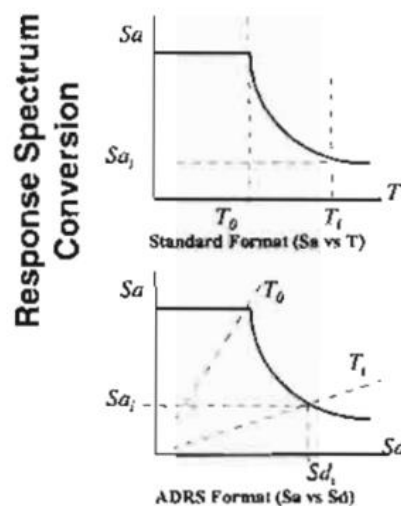
spectrum menggunakan format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS) dengan rumus sebagai berikut :

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} \cdot g \quad (2.5)$$

$$S_{ai} \cdot g = \frac{2\pi}{T_i} S_v \quad (2.6)$$

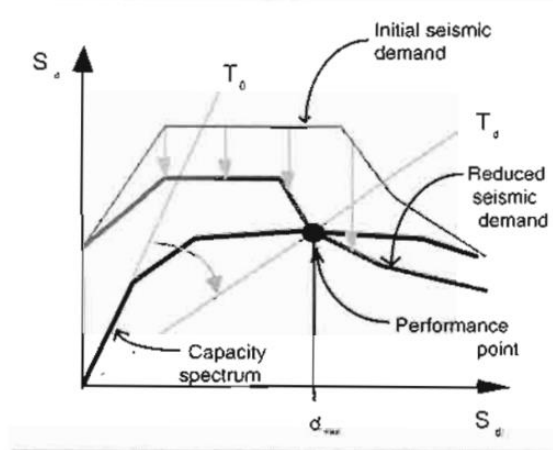
$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} S_v \quad (2.7)$$

Gambar untuk grafik *response spectrum* dan *demand spectrum* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Response Spectrum* menjadi *Demand Spectrum*
(ATC-40)

Lalu *Performance point* kemudian didapatkan dari pertemuan antara *demand spectrum* dan kurva kapasitas. *Performance point* mewakili tingkat kinerja struktur pada beban gempa maksimum. Gambar untuk grafik *performance point* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Performance point

Tujuan dari analisis *pushover* yaitu untuk memperkirakan gaya-gaya maksimum dan deformasi yang akan terjadi, dan juga untuk mendapatkan informasi bagian-bagian yang kritis. Kemudian mengidentifikasi bagian yang perlu perhatian lebih dalam hal pendetailan atau stabilitas. Beberapa penelitian menjelaskan analisis statis *pushover* memberikan hasil yang lebih mencukupi jika dibanding dari hasil analisis dinamis nonlinier pada gedung regular dan yang tidak tinggi.

2.5. Kriteria Struktur Tahan Gempa

2.5.1. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja adalah suatu proses yang digunakan untuk perencanaan bangunan baru ataupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang ada, yaitu memberikan paham realistis mengenai risiko keselamatan, kesiapan pakai, dan kerugian harta benda yang mungkin akan diakibatkan oleh gempa bumi di masa depan.

2.5.2. Metode Spektrum Kapasitas ATC 40

Berdasarkan ATC-40, standar struktur bangunan tahan gempa adalah :

1. *Immediate Occupancy* (IO)

Immediate Occupancy (IO, Penggunaan Langsung) adalah bila gempa terjadi, struktur harus mampu untuk menahan beban gempa, struktur juga tidak rusak struktural maupun non-struktural, sehingga struktur masih sangat aman. Oleh karena itu struktur dapat segera digunakan.

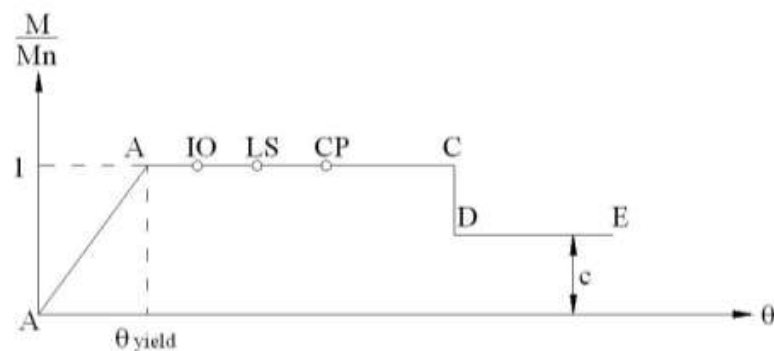
2. *Life Safety* (LS)

Life Safety (LS, Keselamatan Hidup) adalah pada saat gempa terjadi, struktur akan mampu menahan beban gempa, dan kerusakan struktural dapat diminimalisir, sehingga manusia yang ada didalam struktur akan tetap aman.

3. *Collapse Prevention* (CP)

Collapse Prevention (CP, Pencegahan Keruntuhan) adalah apabila saat gempa terjadi, struktur akan mengalami kerusakan yang besar namun struktur tidak runtuh.

Gambar untuk kurva kriteria kinerja dapat dilihat pada Gambar 2.5.



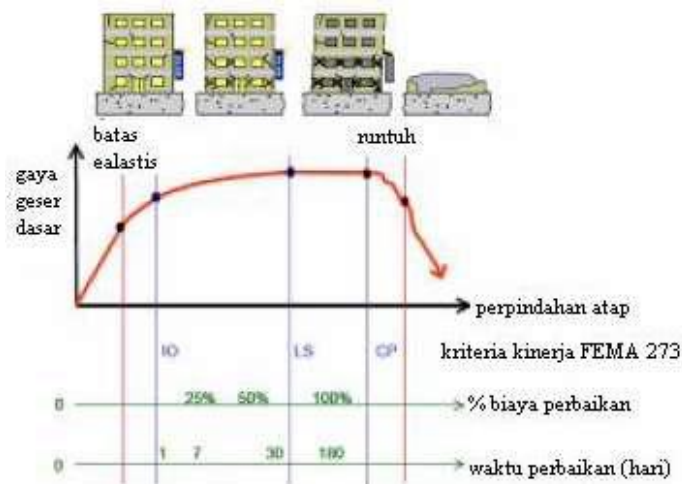
Gambar 2.5 Kurva Kriteria Kinerja

Dewobroto (2007)

Apabila suatu struktur terkena beban gempa (gaya geser dasar, V_b), dimana keadaan gempa lebih kecil dari gempa rencana (V_n), maka bagian struktur tersebut dianggap dalam keadaan elastis (A-B). Poin B mewakili keadaan leleh pertama. Dan jika V_b lebih besar dari V_y maka struktur dianggap berada dalam keadaan plastis (B-C). Poin C adalah batas ketahanan gempa maksimal struktur (V_b). Ketika V_b meningkat dan terjadi degradasi di struktur (C-D). Poin D

menunjukkan struktur tersebut tidak bisa menahan gempa (V_b), namun masih bisa untuk menahan beban gravitasi. Jika beban bertambah maka struktur akan runtuh.

Gambar untuk grafik ilustrasi bangunan runtuh dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi Bangunan Runtuh

Dewobroto (2007)

Tabel untuk mendapatkan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batas rasio *drift* atap ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0.01	0.01 s.d 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total Inelastik Drift	0.005	0.005 s.d 0.015	No limit	No limit

Sumber : *Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City:ATC,1996), Table 8-4, p.8-19*

Pada metode spektrum kapasitas, prosesnya yaitu dengan mencari kurva hubungan antara gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis dari sebuah struktur. Proses ini seperti metode koefisien perpindahan, hanya saja hasilnya diplot dengan format *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS). Kurva Kapasitas lalu diubah menjadi spektrum kapasitas dengan format ADRS seperti berikut :

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (2.8)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{atap}}{PF_1 \phi_{atap,1}} \quad (2.9)$$

$$PF = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (2.10)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N w_i / g][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (2.11)$$

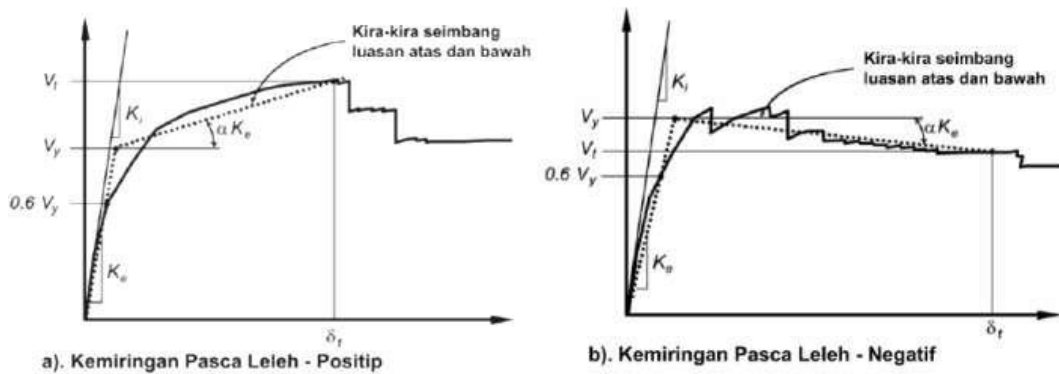
- α_1 = Koefisien massa ragam ke-1
- PF_1 = Faktor partisipasi ragam ke-1
- ϕ_{i1} = Perpindahan pada lantai-i ragam ke-1
- W_i/g = Massa lantai- i
- V = Gaya geser dasar
- N = Jumlah lantai
- Δ_{atap} = Perpindahan atap
- W = Berat struktur (DL dan LL tereduksi)
- S_d = spektrum perpindahan
- S_a = Spektrum percepatan

2.5.3. Metode koefisien perpindahan FEMA

Performance levels yang sesuai berdasarkan FEMA 273/356 dari respon terkecil, meliputi :

1. *Fully Operational* (FO, Beroperasi Penuh), yaitu keadaan dimana struktur masih bisa dioperasikan segera setelah terjadi gempa. Hal ini disebabkan struktur utama yang tidak mengalami kerusakan struktural dan nonstruktural yang terjadi hanya kerusakan kecil sehingga tidak ada masalah.
2. *Immediatety Occupancy* (IO, Penggunaan Langsung) yaitu keadaan dimana struktur masih aman secara umum dioperasikan setelah terjadinya gempa bumi. Kerusakannya tidak signifikan dan perbaikannya tidak akan mengganggu pengguna. Jadi, struktur yang berada di level ini dapat segera digunakan juga setelah terjadi gempa bumi.
3. *Life Safety* (LS, Keselamatan Hidup) adalah keadaan struktur suatu bangunan yang mengalami kerusakan sedang (*damage state*) sehingga perlu dilakukan perbaikan tetapi struktur tersebut masih tetap stabil dan bisa melindungi pengguna. Bangunan bisa digunakan lagi setelah perbaikan (*operational state*).
4. *Collapse Prevention* (CP, Pencegahan keruntuhan) adalah keadaan suatu struktur yang mengalami kerusakan berat (*severe*) namun masih bisa berdiri, tanpa mengalami keruntuhan. Elemen nonskuktural runtuh dan bangunan ini belum bisa digunakan lagi.

Method Displacement Coefficient (Metode Koefisien Perpindahan) FEMA 356 adalah metode FEMA 273/356 yang utama, metode statis nonlinier diterbitkan pada tahun 2000 oleh *Federal Emergency Management Agency* (FEMA). Solusi ini adalah memodifikasi respon elastik linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan, faktor koefisien C0, C1, C2, dan C3 yang akan memperoleh perpindahan maksimal global (elastik dan inelastik) atau disebut juga dengan target perpindahan (δT). Gambar untuk grafik perilaku pasca leleh struktur dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perilaku pasca leleh struktur
(FEMA 356, 2000)

Prosesnya yaitu menentukan waktu getar efektif (T_e), yang menghitung kondisi inelastik. Waktu getar alami efektif menggambarkan kekakuan linier dari sistem SDOF ekuivalen. Pada saat diplot di spektrum respons elastik, maka akan ditunjukkan percepatan gerak tanah saat gempa atau akselerasi puncak (S_a), dengan waktu getar (T). Redaman yang selalu digunakan adalah 5% yang akan mewakili level yang terjadi pada struktur diharapkan, dan mempunyai respon di daerah elastik. Puncak perpindahan spektra elastik (S_d), berhubungan langsung dengan akselerasi spektra (S_a), yaitu :

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \quad (2.12)$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol δ_T , ditentukan dari rumus berikut:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_A \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \quad (2.13)$$

T_e = Waktu getar alami efektif menghitung kondisi inelastik

C_0 = Koefisien faktor bentuk, untuk mengubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya menggunakan faktor partisipasi ragam pertama berdasarkan Tabel 3 – 2 FEMA 356.

C_1 = Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastiks maksimal dengan perpindahan yang dihitung dari respons elastis linier. $C_1 = 1.0$ untuk $T_e \geq T_S$

$$C_1 = \frac{[1+(R-1)\frac{T_S}{T_e}]}{R} \text{ untuk } T_e < T_S \quad (2.14)$$

T_S = Waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.

R = Rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung.

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (2.15)$$

V_y = Gaya geser dasar saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinier.

S_a = Akselerasi respon spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif di arah yang ditinjau.

C_m = Faktor massa efektif dari Tabel 3-1 FEMA 356.

C_2 = Koefisien untuk memperhitungkan efek pinching dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 FEMA 356.

W = Total beban hidup dan mati yang bisa direduksi.

C_3 = Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu nonlinier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan

engineering judgement, dimana perilaku hubungan gaya geser dasar-lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negatif (kurva menurun) maka:

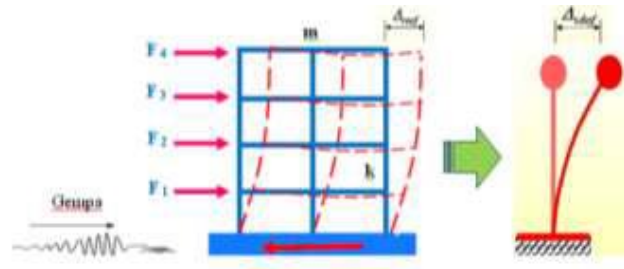
$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.16)$$

g = Percepatan gravitasi 9.81 m/det².

α = Rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinier

2.6 Analisis Respon Struktur

Ketika suatu struktur bangunan memikul beban gempa, setiap lantai akan memikul *base shear* yang merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) setiap lantai. *Base shear* menyebabkan setiap lantai akan bergeser dari posisi awal. Jika geometri strukturnya simetris, maka simpangan yang terjadi akan sama dan pada satu bidang dua dimensi, yaitu simpangan suatu massa setiap saat hanya akan memiliki satu koordinat. Maka dianggap satu kesatuan yaitu *Single Degree of Freedom* (SDOF) yang memuat *displacement* yang diukur di atap. Ketika terkena gempa, Bangunan merespon gaya gempa dengan gaya-gaya dalam. Jika gaya-gaya dalam melebihi kapasitas bangunan, maka bangunan akan berperilaku inelastis jika sifat struktur cukup daktail, akan tetapi gedung akan langsung runtuh jika struktur tidak cukup daktail. Gambar respon struktur dapat dilihat pada Gambar 2.8.

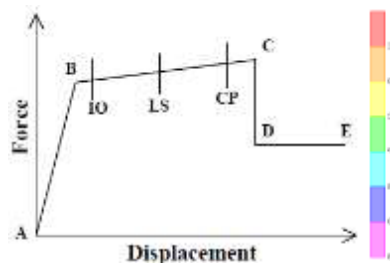


Gambar 2.8 Respon struktur

Dewobroto (2007)

2.7. Properti Sendi Plastis

Apabila suatu struktur bangunan dikenai beban gempa dengan tingkat tertentu, maka akan terbentuk sendi plastis pada elemen struktur bangunan. Sendi plastis adalah ketidakmampuan struktur untuk menahan gaya-gaya dalam. Perencanaan struktur harus didasarkan pada persyaratan kolom kuat dan balok lemah. Ketika terjadi keruntuhan pada struktur, balok yang pertama kali runtuh. Jika kolomnya runtuh terlebih dahulu, maka bangunan tersebut akan langsung hancur. Adapun keterangan mengenai karakteristik sendi plastis adalah sebagai berikut. Gambar untuk grafik properti sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Properti sendi plastis

Manual SAP2000

Tabel untuk melihat tingkat kerusakan struktural dapat dilihat pada Tabel 2.3.

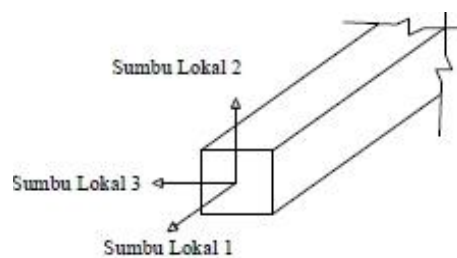
Tabel 2.3 Tingkat kerusakan Struktural

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
ID		Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS		Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D		Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

Sumber : Budi (2011)

1. *Hinge* propertis balok

Data *hinge* properties dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 2.10.



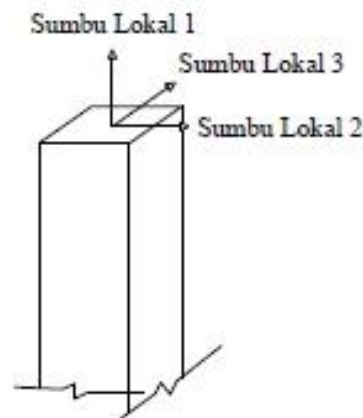
Gambar 2.10 Posisi Sumbu lokal Struktur Balok

Dewobroto (2007)

2. *Hinge* Propertis Kolom

Data *hinge* properties untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P)

dan momen (M) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.11.

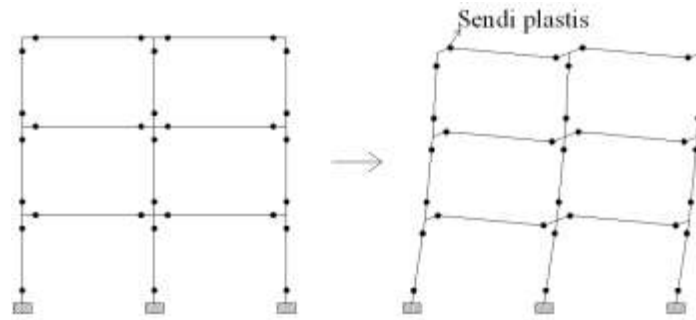


Gambar 2.11 Posisi Sumbu lokal Struktur Kolom
Dewobroto (2007)

3. Menentukan posisi sendi plastis

Setelah pendefinisian data *hinge propertis* balok dan kolom adalah penentuan latak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menunjukkan posisi akhir dari panjang bersih balok. Keduanya terletak dimuka kolom.

Seperti halnya kolom, posisi 0 mewakili posisi awal dari panjang bersih kolom, dan posisi 1 mewakili posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini berada di tepi muka balok. Gambar untuk melihat posisi sendi plastis pada balok dan kolom dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Sendi plastis di balok dan kolom

Dewobroto (2007)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

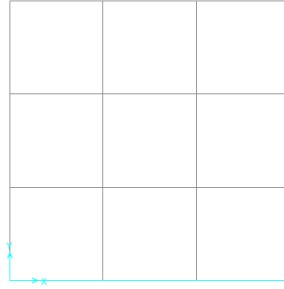
3.1 Data Struktur Gedung

Pada penelitian ini struktur yang dimodelkan merupakan Struktur Rangka Pemikul Momen 10 lantai dengan tinggi 40 m, sehingga dapat dilakukan analisis linear dengan statik ekuivalen. Dengan panjang bangunan dan lebar bangunan 18 m. Terdapat 9 model berdasarkan variasi tinggi balok dan wilayah gempa yang dipakai. Tabel untuk variasi dimensi balok dan wilayah gempa beserta kodefikasinya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

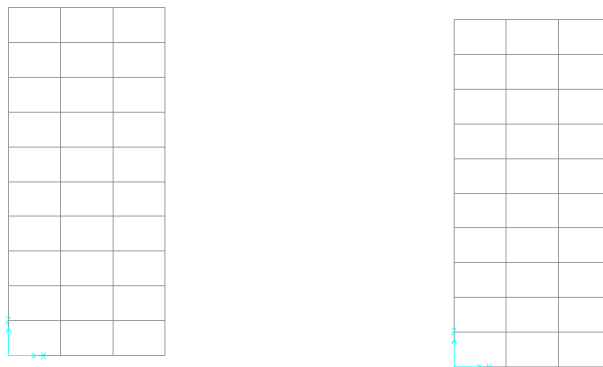
Tabel 3.1 Variasi tinggi balok dan wilayah gempa

Wilayah Gempa	Tinggi balok	Model	Kodefikasi
Palembang	$\frac{L}{10}$	Model 1	PGB3
	$\frac{L}{9}$	Model 2	PGB2
	$\frac{L}{8}$	Model 3	PGB1
Jakarta	$\frac{L}{10}$	Model 4	JKB3
	$\frac{L}{9}$	Model 5	JKB2
	$\frac{L}{8}$	Model 6	JKB1
Palu	$\frac{L}{10}$	Model 7	PLB3
	$\frac{L}{9}$	Model 8	PLB2
	$\frac{L}{8}$	Model 9	PLB1

Gambar untuk denah gedung dan potongan bangunan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1 Denah
Gambar Rencana denah



Gambar 3. 2 Denah dan Potongan Bangunan
Gambar rencana gedung

3.2 Tahapan Analisis

Metode penelitian ini menggunakan analisis *nonlinier pushover*. Analisis menggunakan program SAP 2000. Langkah-langkah analisis yang dilakukan adalah.

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam analisis *nonlinier pushover*. Mempelajari semua yang berhubungan dengan analisis *nonlinier pushover*. Tabel untuk peraturan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Peraturan yang digunakan dalam penelitian

Perhitungan/Analisis	Peraturan (<i>code</i>)
Perhitungan beban mati	PPPURG 1987
Perhitungan beban hidup	SNI 1727-2020
Perhitungan beban gempa	SNI 1726-2019
Analisis Pushover	ATC-40 (1996)

3.2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi bangunan yang diteliti. Data yang didapat adalah *Shop Drawing*. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP 2000.

Shop Drawing digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis tidak menyimpang dari gambar. Semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan *Shop Drawing*, untuk bangunan non struktural tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh yang signifikan dalam pemodelan 3d ini.

3.2.3 Pemodelan 3D

Pemodelan struktur bangunan dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi bangunan.

1. System koordinat global dan lokal

Pemodelan ini dibuat sesuai dengan *Shop Drawing* yang ada. Perlu diketahui pembuatan model 3D yang ada pada program SAP 2000 mempunyai aturan sistem koordinat global dan lokal. Sistem koordinat global adalah sistem

koordinat 3 dimensi yang saling tegak lurus dan perjanjian tanda yang digunakan memenuhi kaidah aturan tangan kanan. Sistem ini memiliki 3 sumbu yang saling tegak lurus yaitu sumbu X,Y,Z. Arah koordinat dalam model struktur yang digunakan menggunakan nilai $\pm X$, $\pm Y$ dan $\pm Z$. Semua sistem koordinat dalam model struktur yang digunakan selalu didefinisikan dengan koordinat global baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

SAP 2000 mengasumsikan bahwa sumbu global Z selalu merupakan sumbu vertikal, dimana sumbu global +Z merupakan sumbu vertikal yang memiliki arah ke atas. Bidang X-Y merupakan suatu bidang horizontal.

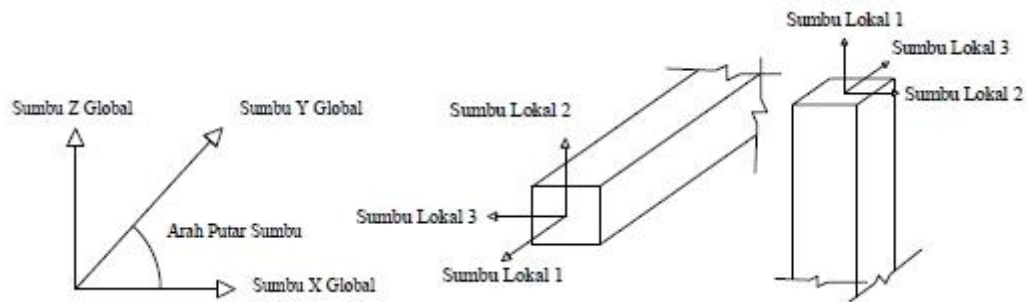
Komponen-komponen struktur seperti *joint*, *element*, dan *constraint* memiliki sumbu lokal tersendiri untuk mendefinisikan properties, beban dan respon dari bagian struktur tersebut. Sumbu dari sistem koordinat lokal ini dinyatakan dengan sumbu 1, 2 dan 3. Secara umum sistem koordinat lokal dapat bervariasi untuk setiap *joint*, *element*, dan *constraint*.

Dalam pemodelan ini, sistem koordinat lokal yang digunakan untuk *joint*, *constraint* dan *nonlinier hinge properties* sama dengan sistem koordinat global X, Y, dan Z.

Sistem koordinat lokal elemen yang dipakai pada penelitian ini dinyatakan dengan sumbu lokal 1, sumbu lokal 2, dan sumbu lokal 3 di mana :

- A. Sumbu lokal 1 adalah arah aksial.
- B. Sumbu lokal 2 searah sumbu global +Z untuk balok dan searah sumbu global +X untuk kolom.
- C. Sumbu lokal 3 mengikuti kaidah aturan tangan kanan, di mana sumbu 3 tegak lurus dengan sumbu lokal 1 dan sumbu lokal 2.

Sistem sumbu lokal elemen dapat disimak pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Sistem koordinat yang digunakan dalam program SAP 2000
Dewobroto (2007)

2. Elemen-elemen portal dan pelat lantai

Tahapan awal yang dilakukan adalah mendefinisikan semua jenis dan ukuran penampang elemen portal yang digunakan. Setelah tahapan ini selesai, masing-masing elemen portal harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran penampang yang dibuat. Tahapan kedua adalah pembuatan pelat yang merupakan satu kesatuan struktur bangunan.

3. *Diaphragm constraint*

Tahapan ini dilakukan secara manual dalam SAP 2000. *Diaphragm Constraint* ini menyebabkan semua *joint* pada satu lantai diberi batasan *constraint* bergerak secara bersamaan sebagai diafragma planar yang bersifat kaku (rigid) terhadap semua deformasi yang mungkin terjadi. Asumsi *Diaphragm constraint* sangat tepat untuk fenomena terbentuknya *rigid floor* di mana lantai struktur bergerak bersamaan ketika suatu struktur mengalami gempa.

3.2.4 Perhitungan Pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasar pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam Program SAP 2000 dimasukkan dalam *load case DEAD*, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program

SAP 2000 dalam *load case Super Dead*. Perhitungan berat sendiri ini dalam program SAP 2000 yang untuk *dead* adalah 1, sedangkan *super dead* adalah 0, dimana beban untuk *dead* telah dihitung secara otomatis oleh program SAP 2000, sedangkan untuk beban *Super dead* bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP 2000 dinotasikan dalam *live*. Beban hidup ini mendapatkan reduksi beban gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP 2000 yang untuk *LIVE* adalah 0, di mana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

3.2.4.1 Beban Mati

Berat sendiri struktur dihitung oleh program SAP 2000. Beban mati tambahan berdasarkan PPURG 1987 adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati Lantai 1-9
 - a. Beban Plesteran keramik (2cm) = 42 kg/m²
 - b. Beban Keramik = 24 kg/m²
 - c. Beban Plafon dan Penggantung = 18 kg/m²
 - d. Beban Instalasi pipa dan Listrik = 30 kg/m²
 - e. Beban Dinding Bata 4 m = 250 kg/m²
2. Beban Mati Atap
 - a. Beban *waterproofing* (1 cm) = 22 kg/m²
 - b. Beban Plafon dan Penggantung = 18 kg/m²
 - c. Beban Instalasi pipa dan Listrik = 30 kg/m²

3.2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan menyesuaikan dari tabel 4.3-1 SNI 1727:2020 untuk gedung perkantoran sebagai berikut:

1. Beban Hidup Lantai 1-9 = 50 psf = 250 kg/m²
2. Beban Hidup Atap = 20 psf = 100 kg/m²

3.2.5 Analisa Respon Spectrum

Perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dengan wilayah kota Palembang, Jakarta dan Palu dengan jenis tanah lunak (E) dan tipe gedung perkantoran. Koefisien gempa diperoleh dari website Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia di <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Analisis respons struktur bertujuan untuk mengetahui apakah suatu struktur tersebut aman atau tidak.

3.2.5.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2019, untuk bangunan perkantoran termasuk kategori resiko II dengan faktor keutamaan gempa (I_e) 1,0.

3.2.5.2 Sistem Struktur

Bangunan perkantoran dikategorikan ke dalam jenis sistem struktur pemikul momen khusus. Dimana untuk desain seismik disajikan dalam Tabel 3.3:

Tabel 3.3 Tabel Kategori Desain Seismik

No	Wilayah	Terhadap Nilai S_{DS}	Terhadap Nilai S_{D1}
1	Palembang	D	D
2	Jakarta	D	D
3	Palu	D	D

Sehingga faktor reduksi sistem struktur tersebut berdasarkan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut:

Faktor modifikasi respon (R) = 8

Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3

Faktor pembesaran defleksi (Cd) = 5,5

3.2.5.3 Menentukan Periode Fundamental (T) dan Nilai Koefisien Desain

Seismik (Cs)

Berikut ini adalah contoh perhitungan periode fundamental (T) dan nilai koefisien seismik (Cs) pada salah satu wilayah yang ditinjau yaitu wilayah Palembang:

1. Perhitungan periode fundamental struktur

Periode fundamental struktur sesuai SNI pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019, yaitu:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dimana h_n adalah tinggi bangunan yaitu 40 m dan untuk nilai C_t dan x diambil dari tabel pada SNI 1726:2019 dengan melihat sistem struktur bangunan yaitu rangka beton pemikul momen. Dimana nilai didapat nilai $C_t = 0,0466$ dan nilai $x = 0,9$

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ &= 0,0466 \times 40^{0,9} \\ &= 1,2889 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dalam menentukan periode fundamental struktur (T), nilai T yang digunakan tidak boleh melebihi dari hasil perkalian antara koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dengan periode fundamental pendekatan (T_a). Untuk mendapatkan nilai C_u . Dapat ditentukan berdasarkan koefisien S_{D1} dan dilihat pada tabel di SNI 1726:2019. Wilayah Palembang memiliki $S_{D1} = 0,5065$, maka dipilih nilai C_u sebesar 1,4.

$$C_u T_a = 1,4 \times 1,2889 = 1,8045 \text{ detik}$$

Selanjutnya periode struktur didapat dari output program analisis struktur yaitu periode getar untuk arah X dengan nilai tidak boleh kurang dari T_a dan tidak boleh lebih dari $C_u T_a$.

$$T_x \leq T_a \leq C_u T_a$$

2. Menentukan koefisien desain seismik (C_s)

Perhitungan koefisien desain seismik (C_s), ditentukan berdasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019. Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,4432}{\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0,0554 \end{aligned}$$

Untuk $T \leq T_L$:

$$C_{s_{max}} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Untuk $S_1 \geq 0,6$ maka rumus $C_{s_{min}}$ yang digunakan sebagai berikut:

$$C_{s_{min}} = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Nilai C_s yang digunakan adalah nilai C_s yang berada diantara $C_{s_{min}}$ dan $C_{s_{max}}$. apabila nilai C_s yang digunakan senilai $C_{s_{max}}$,

$$C_{s_{min}} \leq C_s \leq C_{s_{max}}$$

3.2.6 Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa pada setiap model yang ditinjau didapat dari website Direktorat Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Berikut ini adalah koefisien kegempaan pada masing-masing wilayah gempa yang telah ditentukan sebelumnya pada Tabel 3.4:

Tabel 3.4 Tabel Koefisien Gempa

No.	Wilayah	Kelas Situs	S_s	S_1
1.	Palembang	Tanah Lunak (SE)	0,2909	0,2485
2.	Jakarta	Tanah Lunak (SE)	0,7806	0,3823
3.	Palu	Tanah Lunak (SE)	1,5	0,6

(Sumber: PU Cipta Karya)

Dari koefisien gempa diatas, dapat dihitung parameter gempa yang diperlukan untuk menggambarkan kurva respons spektrum pada masing-masing wilayah yang ditinjau. Berikut salah satu contoh penjabaran perhitungan parameter kegempaan pada salah satu wilayah yang ditinjau yaitu wilayah Palembang:

1. Menentukan koefisien situs F_a dan F_v berdasarkan nilai koefisien S_s , S_1 dan kelas situs tanah. Koefisien situs F_a dan F_v dapat ditentukan berdasarkan tabel pada SNI 1726:2019, untuk nilai S_1 dan nilai S_s yang tidak terdapat pada tabel tersebut dilakukan interpolasi. Dari kedua tabel tersebut, didapat nilai koefisien situs:

$$F_a = 2,2855$$

$$F_v = 3,0575$$

2. Menentukan parameter spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 2,2855 \times 0,2909 \text{ g} = 0,6648 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 3,0575 \times 0,2485 \text{ g} = 0,7598 \text{ g}$$

3. Menentukan parameter percepatan spektral desain periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} 0,6648 = 0,4432 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} 0,7598 = 0,5065 \text{ g}$$

4. Menghitung desain respons spektrum dengan perhitungan sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,5065 \text{ g}}{0,4432 \text{ g}} = 0,2286 \text{ detik}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,5065 \text{ g}}{0,4432 \text{ g}} = 1,1428 \text{ detik}$$

- a. Untuk $T \leq T_0$ ($T \leq 0,2286$ detik)

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,4432 \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{0,2286} \right) \\ &= 0,17729 + (1,1,633 \times T) \end{aligned}$$

- b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_S$ ($0,2286$ detik $\leq T \leq 1,1428$ detik)

$$S_a = S_{DS} = 0,4432 \text{ g}$$

- c. Untuk $T_S \leq T \leq T_L$ ($1,1428$ detik $\leq T \leq 20$ detik)

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} = \frac{0,5065 \text{ g}}{T}$$

- d. Untuk $T > T_L$ ($T > 20$ detik)

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} = \frac{0,5065 \times 20 \text{ detik}}{T^2}$$

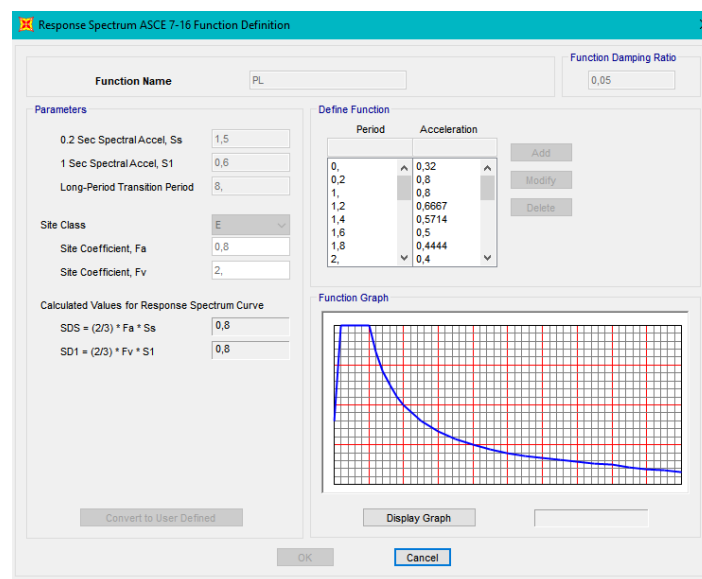
Dari perhitungan di atas maka dapat digambarkan desain respons spektrum pada masing-masing wilayah yang ditinjau.

Untuk pembebanan lateral gempa, parameter koefisien data yang digunakan merupakan koefisien data yang berupa respon spektrum yang telah disusun oleh para ahli dari berbagai instansi dengan koordinasi oleh Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Republik Indonesia.

Dimana data tersebut diakses pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id>. Data respon spektrum yang digunakan merupakan data dari wilayah Kota Palu dengan kondisi tanah lunak (E).

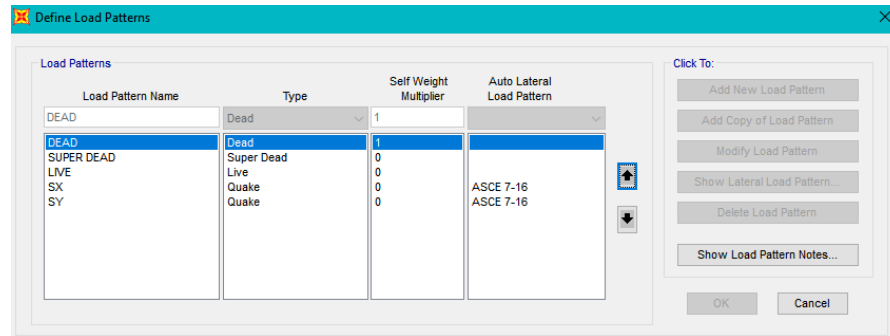
Data respon spektrum kemudian dimasukkan kedalam program SAP, adapun langkah-langkah dalam memasukan data tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Pada menu SAP 2000, pilih opsi define, function, kemudian pilih *response spectrum*. Pada kolom *choose function type to add* pilih ASCE 7-16 sebagai opsi. Hal ini disebabkan karena SNI 1726:2019 mengadopsi parameter yang ada pada ASCE 7-16. Lalu pilih *add new function*. Isikan nilai serta parameter yang telah didapat sebelumnya kedalam kolom yang telah disediakan. Hasil dari pengisian response spectrum bisa diamati pada Gambar 3.4.



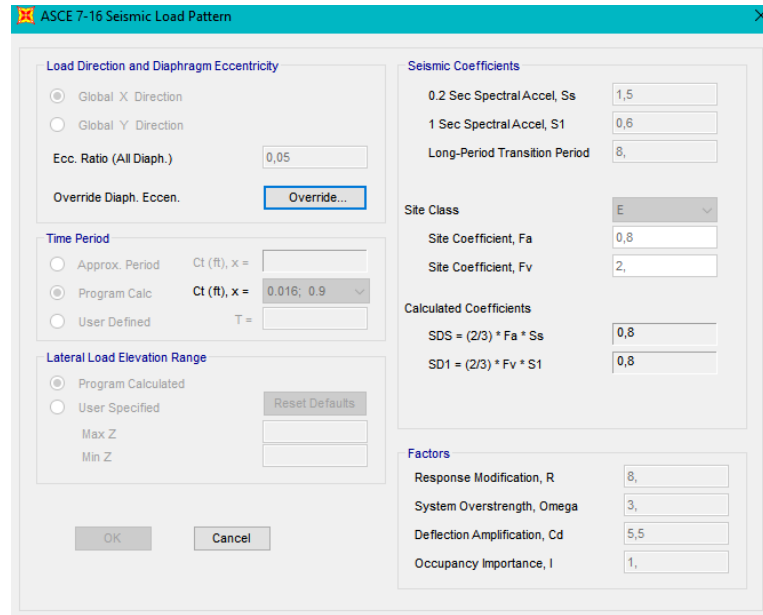
Gambar 3.4 Parameter *Response Spectrum* Gempa

- b) Langkah selanjutnya adalah membuat beban gempa arah x dan y pada program SAP 2000. Pilih *define, load pattern*. Isikan *load pattern name* sesuai arah gempa, pilih *type* sebagai *quake*, dan pilih *auto lateral load pattern* ASCE 7-16, lalu pilih *add new pattern*. Hasil dari penambahan *load pattern* pada gempa arah x dan arah y bisa diamati pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pendefinisian *Load Pattern* Untuk Beban Gempa

- c) Kemudian tahap berikutnya adalah memasukkan parameter-parameter kegempaan pada *load pattern* gempa didalam program SAP 2000. Pilih *modify lateral load pattern* dan isikan parameter kegempaan yang sudah diperoleh pada subbab sebelumnya pada gempa arah x dan arah y. Hasil dari pengisian *load pattern* pada gempa arah x dan arah y bisa diamati pada Gambar 3.6. dan Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Parameter Gempa Pada Arah X

Gambar 3.7 Parameter Gempa Pada Arah Y

3.2.7 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang direncanakan berupa kombinasi pembebanan ultimit meliputi kombinasi beban mati (dead load), beban hidup (live load), dan beban gempa. Kombinasi pembebanan disusun berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 sebagai berikut:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2 DL + 1,6 (L_r atau R) + (LL atau 0,5 W)
4. 1,2 DL + 1,0 W + LL + 0,5 (L_r atau R)
5. 1,2 DL + 1,0 Eq + 1,0 LL
6. 0,9 DL + 1,0 W
7. 0,9 DL + 1,0 Eq

Terdapat adanya efek dari beban lateral gempa pada kombinasi pembebanan ditunjukkan dengan persamaan.

1. Beban seismik pada kombinasi 5 ditentukan sebagai:

$$Eq = Eq_h + Eq_v$$

2. Beban seismik dalam kombinasi 7 ditentukan sebagai:

$$E_q = E_{q_h} - E_{q_v}$$

Dengan:

$$E_{q_h} = \rho Q_E$$

$$E_{q_v} = 0,2 S_{DS}D$$

Keterangan :

E_h = pengaruh beban gempa horizontal

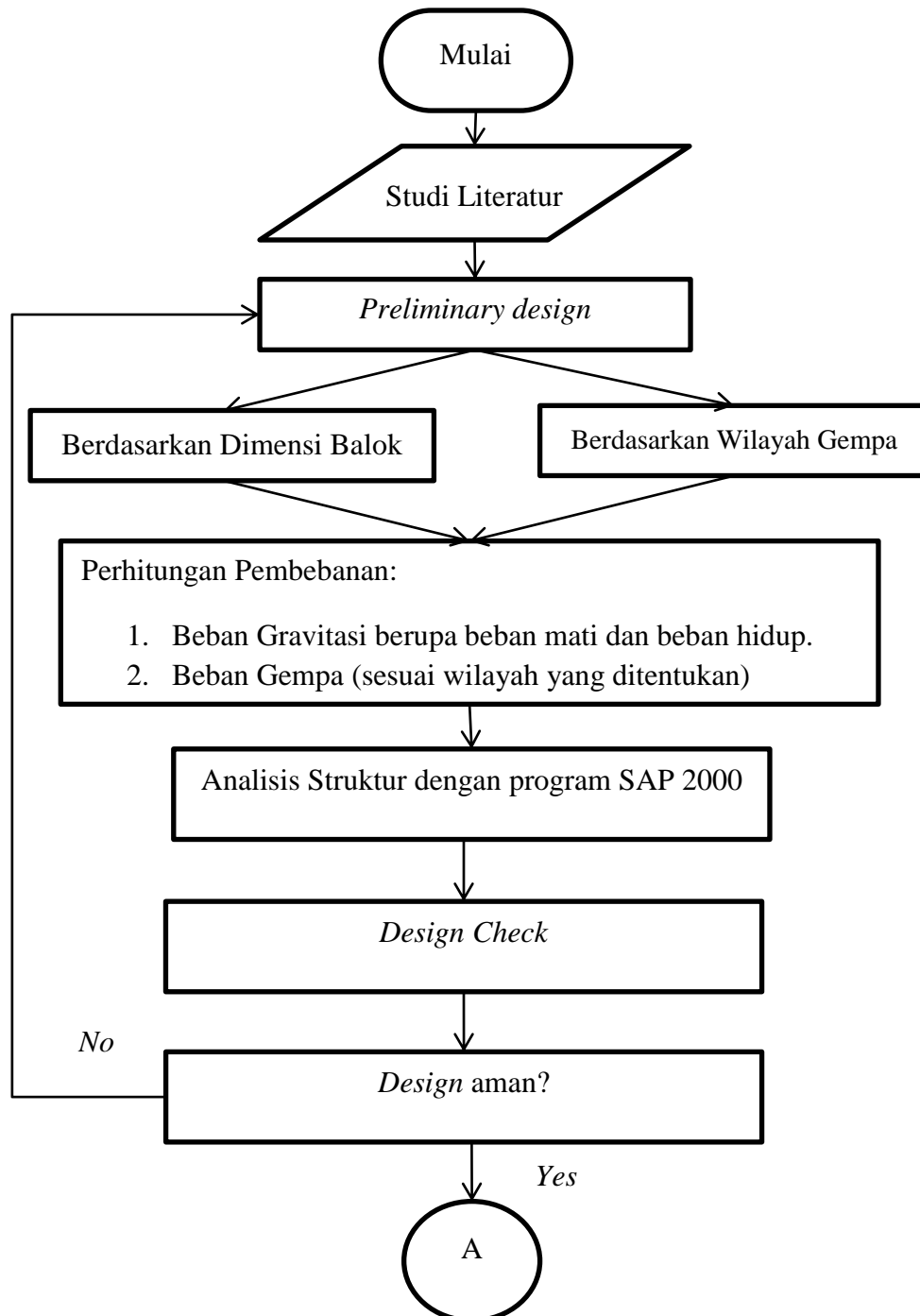
E_v = pengaruh beban gempa vertikal

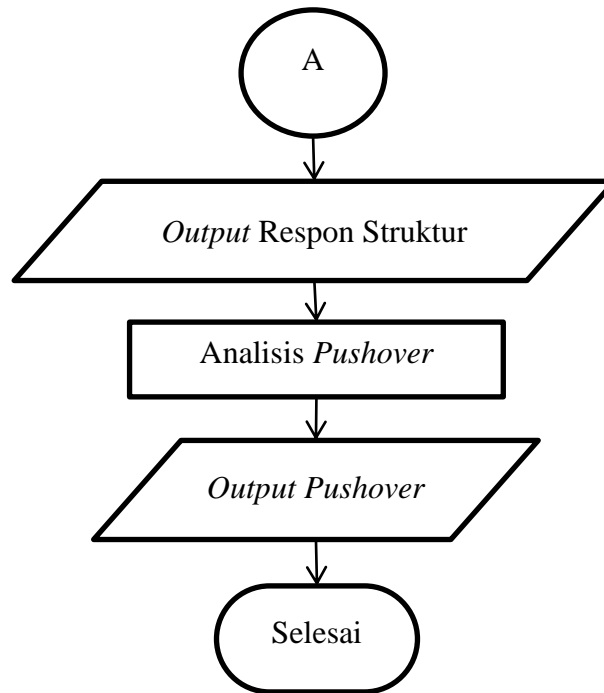
Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,2 DL + 1 LL + 1,3 RX + 0,39 RY
4. 1,2 DL + 1 LL + 1,3 RX - 0,39 RY
5. 1,2 DL + 1 LL - 1,3 RX + 0,39 RY
6. 1,2 DL + 1 LL - 1,3 RX - 0,39 RY
7. 1,2 DL + 1 LL + 0,39 RX + 1,3 RY
8. 1,2 DL + 1 LL + 0,39 RX - 1,3 RY
9. 1,2 DL + 1 LL - 0,39 RX + 1,3 RY
10. 1,2 DL + 1 LL - 0,39 RX - 1,3 RY
11. 0,9 DL + 1,3 RX + 0,39 RY
12. 0,9 DL + 1,3 RX - 0,39 RY
13. 0,9 DL - 1,3 RX + 0,39 RY
14. 0,9 DL - 1,3 RX - 0,39 RY
15. 0,9 DL + 0,39 RX + 1,3 RY
16. 0,9 DL + 0,39 RX - 1,3 RY
17. 0,9 DL - 0,39 RX + 1,3 RY
18. 0,9 DL - 0,39 RX - 1,3 RY

3.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Adapun tahapan penelitian ini dapat dilihat melalui *flowchart* pada gambar 3.8 berikut:





Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

Proses pada diagram alir diatas dilakukan untuk tiap variabel penelitian. Bila satu variabel terpilih dilakukan analisis dan menghasilkan data, maka proses perhitungan dilakukan kembali dari awal untuk variabel penelitian berikutnya.

Selanjutnya semua data yang didapat kemudian diolah untuk diambil hasil dan kesimpulannya.

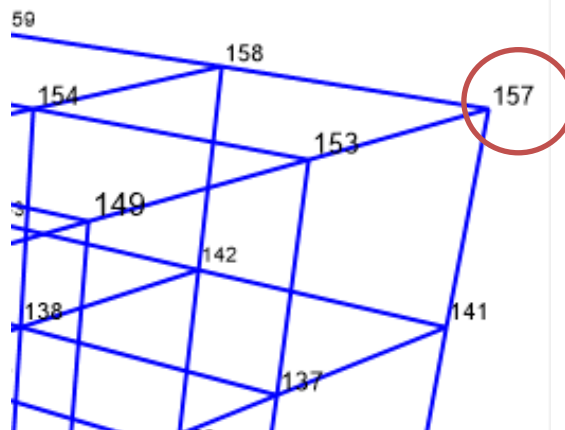
3.4 Analisis *Pushover*

Hasil analisis *Pushover* didapat kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada *level* tertentu, kurva respon spektrum yang sesuai dengan wilayah gempa yang ada.

Respon spektrum dalam format ADRS yang di plotkan dengan kurva kapasitas didapatkan *Performance point*. Proses konversi dilakukan sepenuhnya oleh program SAP2000. Dari *Performance point* didapat nilai *displacement* efektif, gaya geser dasar, waktu getar efektif dan *damping* efektif. Dari nilai *displacement* akan diketahui kriteria kinerja *seismik* struktur berdasarkan ATC-40.

3.4.1 Menentukan Titik yang Ditinjau

Hal yang pertama kali dilakukan dalam analisis pushover ini adalah menentukan titik tinjauan. Penentuan titik tinjauan ini bertujuan sebagai titik acuan yang akan ditinjau perpindahannya. Titik tinjauan dapat diletakkan pada ujung-ujung sudut bangunan atau dapat diletakkan pada titik yang dekat dengan pusat massa. Berikut lokasi titik tinjauan ditunjukkan pada Gambar 3.9 yang diberada dilantai 10 dengan label *joint 157* pada ujung bangunan :



Gambar 3.9 Joint 157 sebagai titik acuan

3.4.2 Mengubah Beban *Linear* menjadi Beban *Nonlinear*

Pada analisis *pushover*, hal selanjutnya yang dilakukan yaitu mengubah beban *linear* menjadi beban *nonlinear*. Dalam hal ini, beban *nonlinear* yang digunakan adalah beban gravitasi yang meliputi beban mati dan beban hidup. Kemudian beban lateral *nonlinear* yang digunakan yaitu beban *pushover* arah X dan beban *pushover* arah Y. Dalam metode *pushover* ini, beban-beban *nonlinear* akan diterima oleh struktur yang kemudian beban *nonlinear* ini akan ditingkatkan secara bertahap sampai suatu struktur mencapai keruntuhan tertentu. Hasil dari pengisian beban-beban *nonlinear* pada program analisis struktur SAP 2000 bisa diamati pada Gambar 3.10, 3.11, dan 3.12.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Gravity

Initial Conditions: Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Analysis Type: Nonlinear

Modal Load Case: MODAL

Load Type	Load Name	Scale Factor
DEAD	DEAD	1
SUPER DEAD	SUPER DEAD	1

Other Parameters: Full Load, Final State Only, Nonlinear Parameters: Default

Gambar 3.10 Define Load Case Gravity

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH-X

Initial Conditions: Continue from State at End of Nonlinear Case (Gravity)

Analysis Type: Nonlinear

Modal Load Case: MODAL

Load Type	Load Name	Scale Factor
UX	UX	-1
UX	UX	-1

Other Parameters: Displ Control, Multiple States, Nonlinear Parameters: Default

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control: Displacement Control

Control Displacement: Use Monitored Displacement

Monitored Displacement: DOF U1 at Joint 157

Additional Controlled Displacements: None

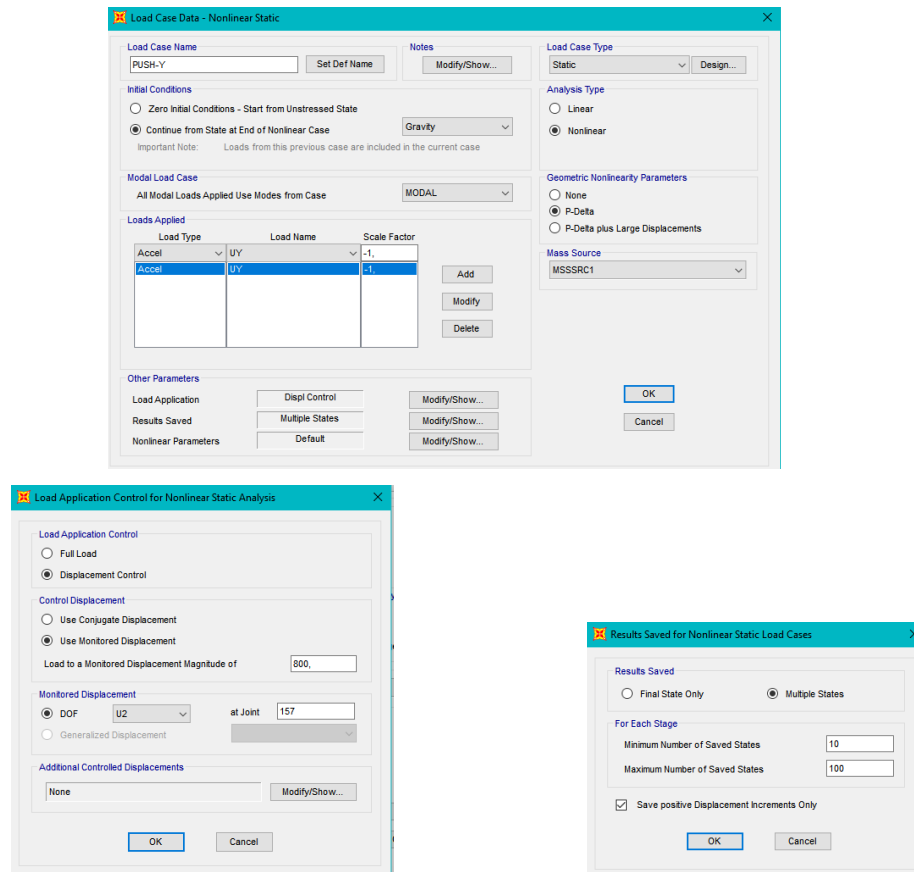
Results Saved for Nonlinear Static Load Cases

Results Saved: Multiple States

For Each Stage: Minimum Number of Saved States: 10, Maximum Number of Saved States: 100

Save positive Displacement Increments Only

Gambar 3.11 Define Load Case Pushover X



Gambar 3.12 Define Load Case Pushover Y

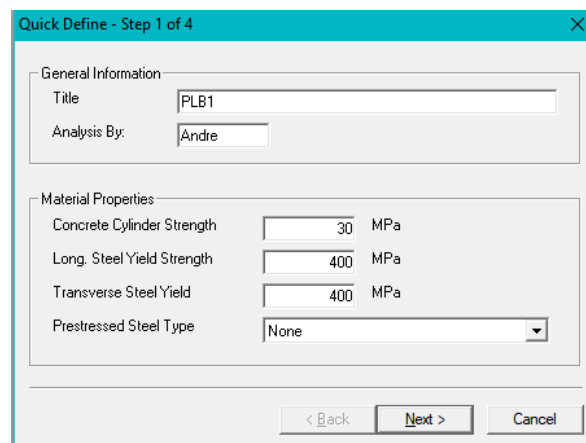
3.4.3 Mendefinisikan Karakter Sendi Plastis Pada Setiap Elemen Struktur

Prosedur selanjutnya adalah mendefinisikan karakter sendi plastis pada tiap-tiap elemen struktur. Pada elemen struktur kolom, sendi plastis didefinisikan akibat terjadinya gaya aksial, momen lokal dari sumbu 2 dan sumbu 3 (P-M2-M3). Pendefinisian karakteristik pada kolom didefinisikan secara *default* mengikuti parameter yang diberikan oleh program SAP 2000.

Karakter sendi plastis pada elemen struktur balok disebabkan oleh adanya momen lokal sumbu 3 (M3). Pada elemen balok karakteristik sendi plastis harus dihitung secara manual. Digunakan program Response 2000 sebagai alat untuk menghitung nilai momen kurvatur pada elemen balok. Nilai inilah yang nantinya akan didefinisikan secara manual pada program SAP 2000. Dalam tahapan

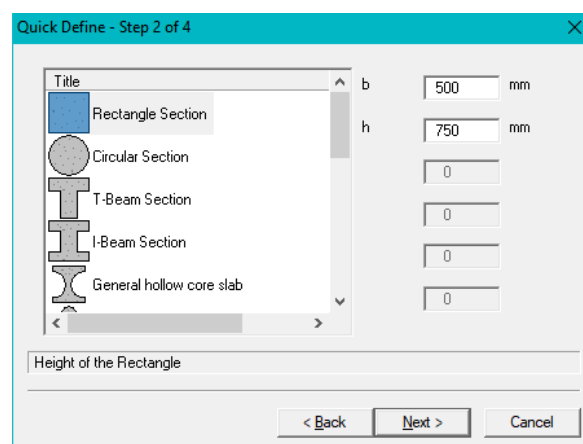
program *Response 2000* mengambil contoh balok PLB1. Berikut adalah tahapan perhitungan secara manual pada program *Response 2000* :

1. Pada tampilan awal program *Response 2000* pilih tab define, lalu pilih quick define. Masukkan jenis balok, nilai kuat tekan beton, nilai kuat tarik tulangan utama dan nilai kuat tarik tulangan sengkang. Pendefinisian material balok bisa diamati pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pendefinisian Material Balok

2. Langkah selanjutnya menetapkan ukuran penampang balok dan bentuk dari penampangnya. Penetapan penampang balok bisa diamati pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Pendefinisian Ukuran Penampang Balok

- Masukkan jumlah tulangan utama pada daerah tumpuan dan luasan per satuan tulangan untuk tulangan atas dan tulangan bawah. Data tulangan tumpuan dan luasannya bisa diamati pada Gambar 3.15.

Quick Define - Step 3 of 4

Top Non-Prestressed Reinforcement

Number of Bars: (e.g. 4)

Select bar by area

Bar Area: mm² (eg. 500 mm²)

Bottom Non-Prestressed Reinforcement

Number of Bars: (e.g. 4)

Select bar by area

Bar Area: mm² (eg. 500 mm²)

< Back Next > Cancel

Gambar 3.15 Data Jumlah Tulangan Tumpuan dan Luasan Tulangannya

- Selanjutnya masukkan parameter untuk tulangan sengkang. Pada *stirrup type* pilih *closed stirrup*. Masukkan nilai luasan per satuan tulangan sengkang, jarak sengkang dan tebal selimut beton. Parameter properti sengkang bisa diamati pada Gambar 3.16.

Quick Define - Step 4 of 4

Transverse Steel

Stirrup Type:

Select bar by area

Bar Area: mm² (eg. 100 mm²)

Spacing: mm

Clear Cover: mm

Bottom Tendons

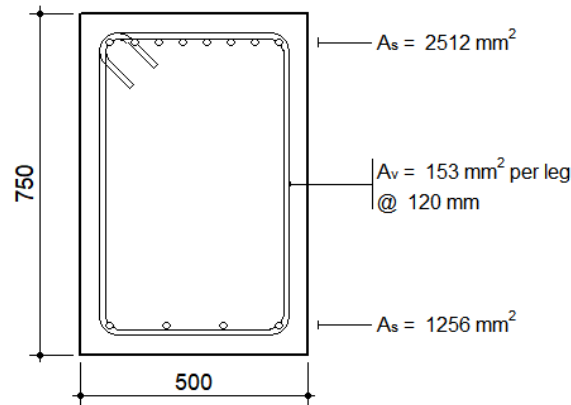
Number of 13 mm strands:

Delta-Epsilon P: mm/m

< Back Finish Cancel

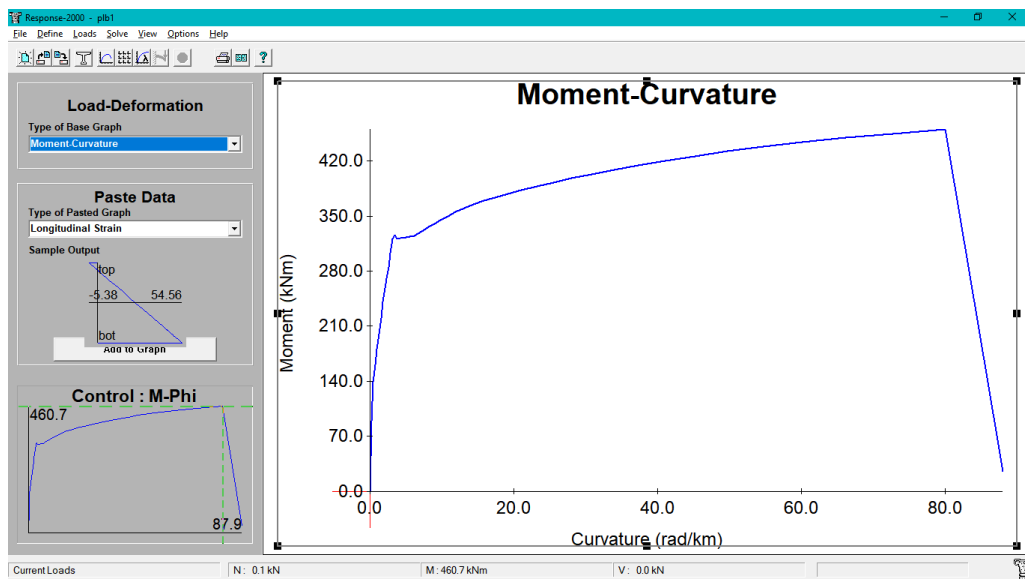
Gambar 3.16 Parameter Penulangan Sengkang

5. Pastikan bahwa potongan elemen balok sudah sesuai dengan properti balok tersebut. Bila potongan balok telah benar, pilih *solve, sectional response*. Potongan balok PLB1 bisa diamati pada Gambar 3.17.



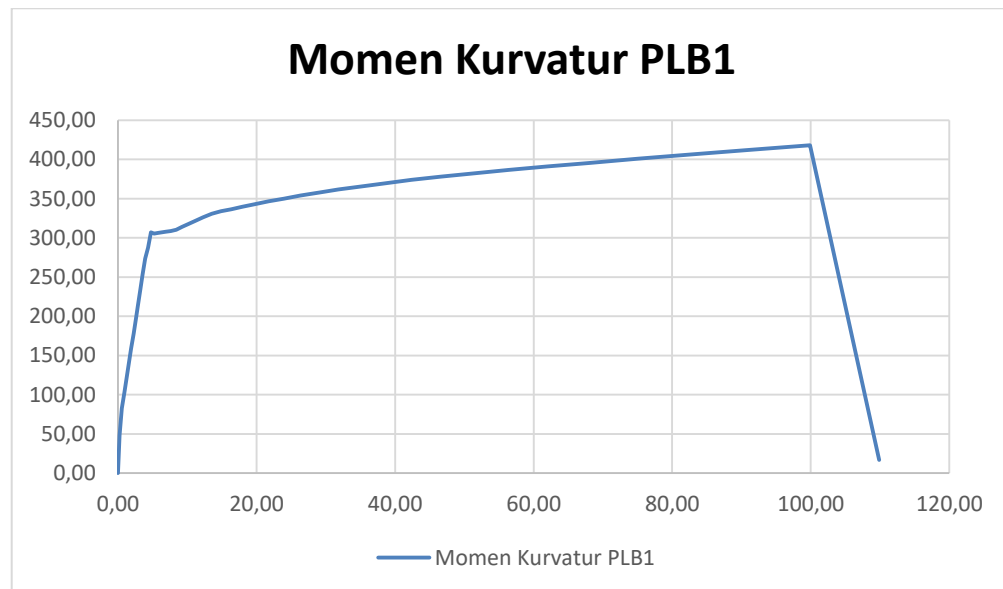
Gambar 3.17 Potongan Balok PLB1

6. Pilih menu *load deformation plot*, pada kolom *type of base graph* pilih *moment curvature*. Nilai dari momen kurvatur balok PLB1 bisa diamati dengan cara klik kanan pada daerah grafik dan pilih *view data*. Momen kurvatur pada balok B46 bisa diamati pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Hasil Momen Kurvatur Balok PLB1.

Setelah data momen kurvatur diperoleh dari program *Response 2000*, selanjutnya data-data tersebut harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan data momen kurvatur menggunakan program Microsoft Excel. Data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai momen kelelahan dan momen ultimate pada balok. Momen kelelahan atau *yield moment* diperoleh pada titik terakhir pada saat kurva grafik masih dalam kategori linear. Sedangkan momen ultimate atau *ultimate moment* dihasilkan dari titik terakhir sebelum garis kurva mengalami penurunan. Momen kurvatur pada balok PLB1 bisa diamati pada Gambar 3.19. Untuk hubungan dari nilai *curvature* (rad/km) dengan nilai momen (KN.m) pada balok bisa diamati pada Tabel 3.5.



Gambar 3.19 Momen Kurvatur Balok PLB1

Tabel 3.5 Hubungan Antara Nilai Kurvatur dan Nilai Momen

Curvature (rad/km)	Moment (kN.m)	teta (rad)	Keterangan
0,000	0,000	0	
0,221	48,100	0,0000663	
0,555	82,457	0,0001665	
0,888	102,723	0,0002664	

Curvature	Moment	teta	Keterangan
(rad/km)	(kN.m)	(rad)	
1,221	121,514	0,0003663	
1,555	140,118	0,0004665	
1,888	158,801	0,0005664	
2,221	177,582	0,0006663	
2,555	196,495	0,0007665	
2,888	215,494	0,0008664	
3,221	234,581	0,0009663	
3,555	253,720	0,0010665	
3,910	273,402	0,001173	
4,301	287,458	0,0012903	
4,731	306,980	0,0014193	YIELD
5,205	305,398	0,0015615	
5,725	306,278	0,0017175	
6,298	307,196	0,0018894	
6,927	308,067	0,0020781	
7,620	308,862	0,002286	
8,382	310,145	0,0025146	
9,220	313,865	0,002766	
10,142	317,729	0,0030426	
11,156	321,916	0,0033468	
12,272	326,259	0,0036816	
13,499	330,826	0,0040497	
14,849	333,958	0,0044547	
16,334	336,457	0,0049002	
17,968	339,715	0,0053904	
19,764	343,047	0,0059292	
21,741	346,461	0,0065223	
23,915	350,068	0,0071745	
26,306	353,801	0,0078918	

Curvature	Moment	teta	Keterangan
(rad/km)	(kN.m)	(rad)	
28,937	357,650	0,0086811	
31,831	361,640	0,0095493	
35,014	365,616	0,0105042	
38,515	369,704	0,0115545	
42,366	373,917	0,0127098	
46,603	378,068	0,0139809	
51,263	382,227	0,0153789	
56,390	386,575	0,016917	
62,029	391,057	0,0186087	
68,232	395,833	0,0204696	
75,055	400,881	0,0225165	
82,560	406,281	0,024768	
90,816	412,009	0,0272448	
99,898	417,995	0,0299694	ULTIMATE
109,888	16,699	0,0329664	

Sumber : *Response 2000*

Dari program *response 2000* diperoleh nilai kurvatur, nilai momen dan rotasi baik untuk kondisi leleh dan juga untuk kondisi *ultimate*. Parameter-parameter ini digunakan untuk mendefinisikan properti pada *hinges*. Data hasil perhitungan dari setiap titik bisa diamati pada Tabel 3.6. Properti *hinges* terdiri dari beberapa titik yang dihitung oleh beberapa persamaan dari memasukkan nilai M dan θ , persamaan-persamaan tersebut diantaranya :

1. Nilai titik A, dimana $M = 0$ dan $\theta = 0$
2. Nilai titik B, dimana $M = M_y/M_y$ dan $\theta = \theta_y$
3. Nilai titik C, dimana $M = M_u/M_y$ dan $\theta = \theta_u$
4. Nilai titik D, dimana $M = 0,200$ dan $\theta = \theta_u$
5. Nilai titik E, dimana $M = 0,200$ dan $\theta = \theta$ terakhir

Tabel 3.6 Nilai Titik *Hinge Properties* Balok PLB1

	M	teta
A	0,000	0,000
B	1,000	0,001
C	1,362	0,030
D	0,200	0,030
E	0,200	0,033

Pada proses pengolahan data kurvatur juga diperoleh nilai parameter koefisien tingkat kinerja struktur dari setiap elemen struktur balok. Nilai-nilai ini akan jadi penentu dari kinerja struktur balok itu sendiri. Nilai parameter mengacu pada ATC-40 dimana parameter tersebut terdiri dari, *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS), dan *collapse prevention* (CP). Parameter-parameter tersebut dihitung dengan persamaan-persamaan (3.1) s.d. (3.3).

$$IO = \frac{\varphi_y + (0,1(\varphi_u - \varphi_y))}{\varphi_y} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$LS = \frac{\varphi_y + (0,25(\varphi_u - \varphi_y))}{\varphi_y} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$CP = \frac{\varphi_y + (0,4(\varphi_u - \varphi_y))}{\varphi_y} \dots\dots\dots(3.3)$$

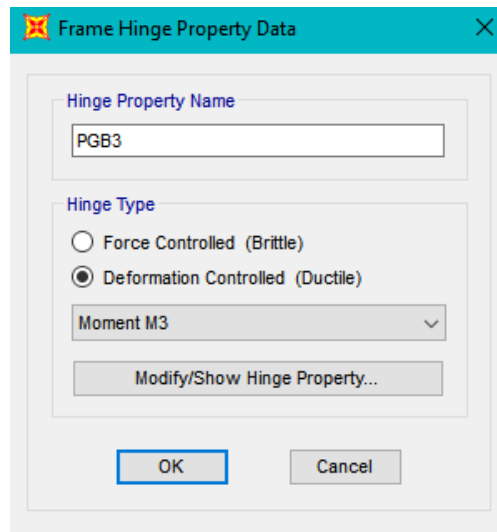
Keterangan :

φ_y : Nilai kurvatur dalam kondisi kelehan (rad/Km)

φ_u : Nilai kurvatur dalam kondisi ultimate (rad/Km)

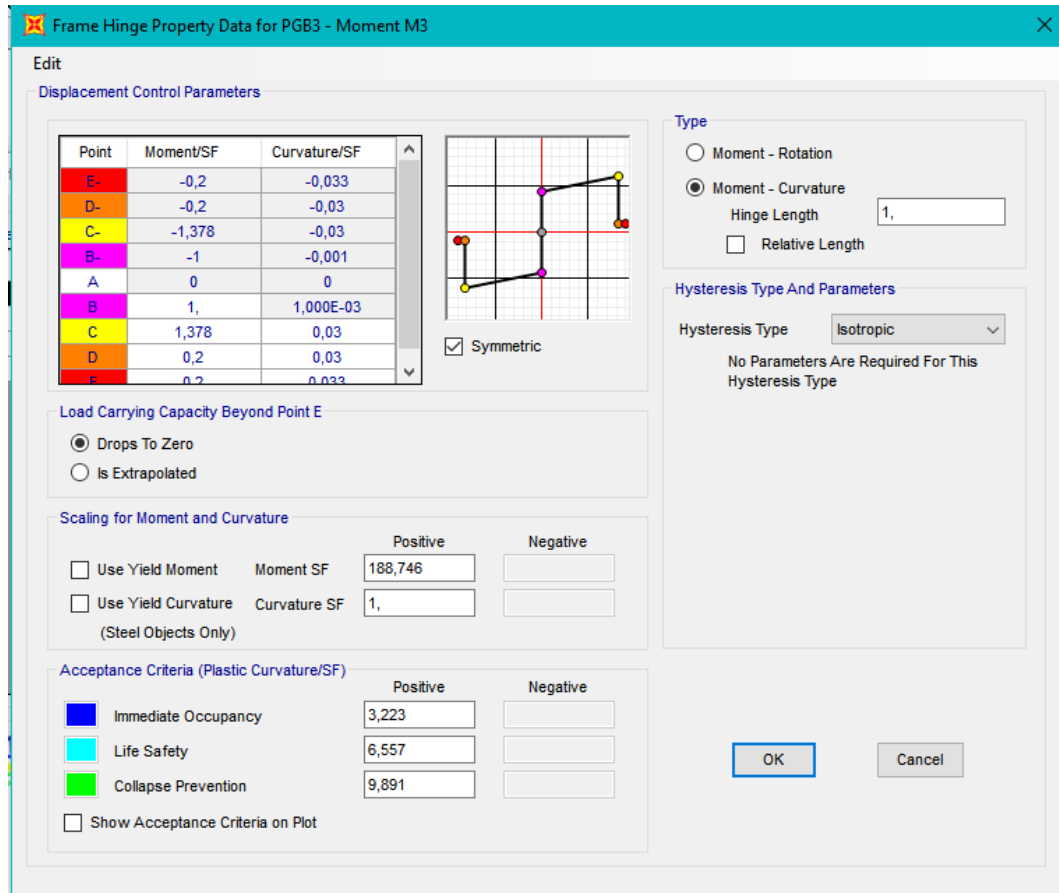
Setelah semua parameter dan nilai telah diperoleh, selanjutnya adalah memasukkan nilai titik *hinge* dan nilai IO,LS dan CP kedalam program SAP 2000. Nilai-nilai tersebut dimasukka sesuai dengan properti dari masing-masing balok. Berikut adalah tahapan pendefinisian properti *hinges* pada program SAP 2000 :

1. Pada menu awal, pilih *define*, *section properties*, dan pilih *hinge properties*. Pilih *add new property*. *User defaults for* diisikan *concrete*. Beri nama *hinge property* sesuai dengan jenis balok. Pada kolom *hinge type* pilih *deformation controlled (ductile)* dan jenisnya adalah *moment M3*. Lalu pilih *modify/show hinge property*. Pendefinisian *frame hinge property* data balok PLB1 bisa diamati pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Pendefinisian *Frame Hinge Property* Data Balok

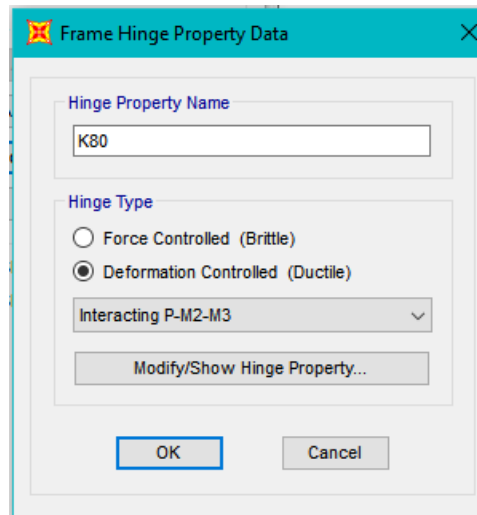
2. Selanjutnya isikan nilai momen kelelehan, nilai titik dari *hinge* dan juga kriteria parameter kinerja struktur pada setiap kolom yang sesuai. Lakukan untuk seluruh jenis balok lainnya. Pendefinisian parameter properti *hinges* balok PLB1 bisa diamati pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Pendefinisian Parameter *Hinge Properties*

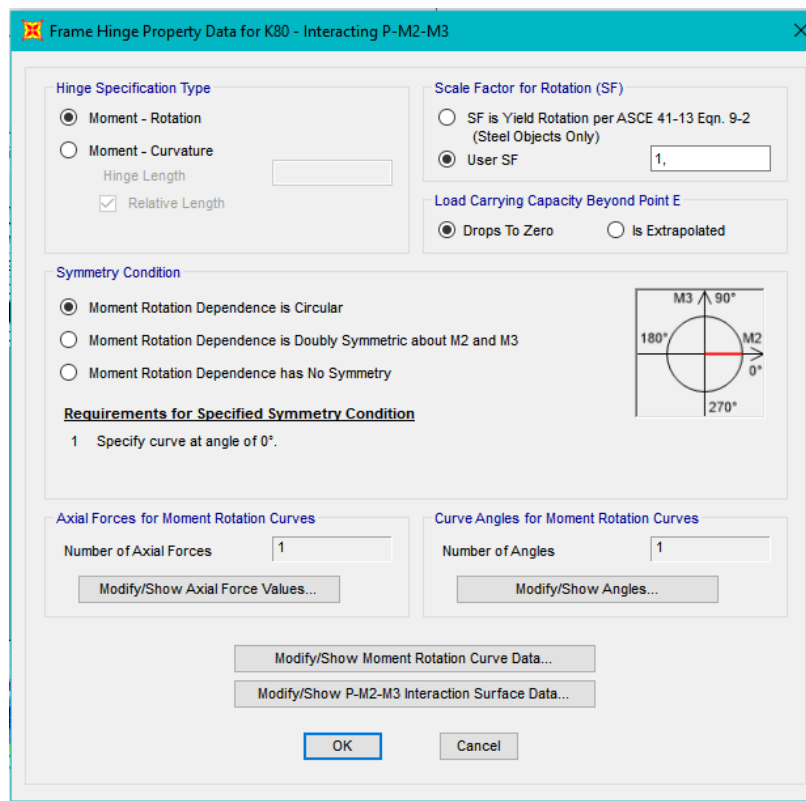
Untuk elemen struktur kolom, pendefinisian *hinge properties* dilakukan secara *auto default* dari program SAP 2000. Parameter ini akan diisikan pada seluruh jenis kolom. Kolom K80 dijadikan contoh untuk pendefinisian *hinge properties*. Langkah pendefinisian *hinge properties* pada kolom adalah sebagai berikut :

3. Pilih *define, section properties*, lalu pilih *hinge properties*. Pilih *add new property*. *User defaults for* diisikan concrete. Beri nama *hinge property* sesuai dengan jenis kolom. Pilih jenis *interacting P-M2-M3*, lalu pilih *modify/show hinge property*. Pendefinisian *frame hinge property data* kolom K80 bisa diamati pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Pendefinisian *Frame Hinge Property Data* Kolom

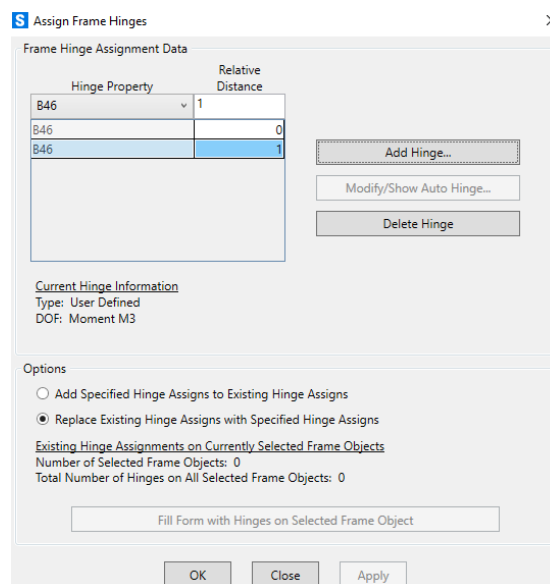
4. Pendefinisian pada karakter sendi plastis pada kolom akan diisikan secara *default* pada program SAP 2000. *Hinge properties* pada kolom bisa diamati pada Gambar 3.23.



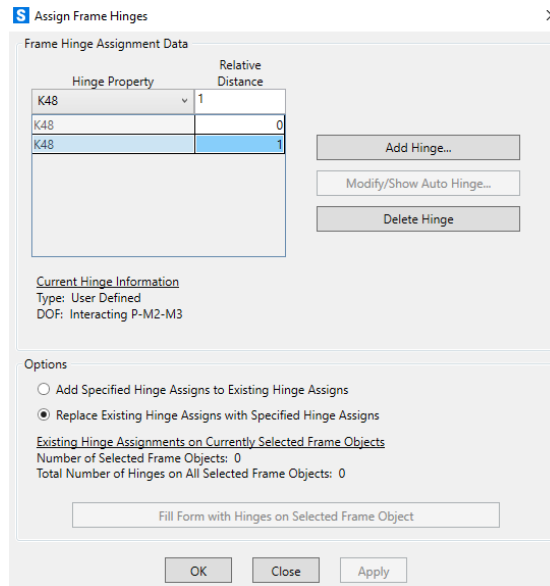
Gambar 3.23 Pendefinisian Hinge Properties Pada Kolom

Tahap akhir dalam pendefinisian karakter sendi plastis adalah memasukan *hinge properties* pada seluruh elemen balok dan kolom. Berikut adalah langkah-langkah dalam memasukkan *hinge properties* pada seluruh elemen struktur :

1. Pilih elemen frame struktur yang sejenis, kemudian pilih *assign, frame, hinges*.
2. Pilih *hinge property* sesuai dengan jenis balok ataupun kolom.
3. Angka relative distance diisi dengan nilai 0 dan 1 untuk elemen balok dan kolom. Pendefinisian *asingn frame hinges* balok PLB1 dan kolom K80 bisa diamati pada Gambar 3.24, Gambar dan 3.25.



Gambar 3.24 *Assign Hinges Frames* Pada Elemen Balok



Gambar 3.25 Assign Hinges Frames Pada Elemen Kolom

3.5. Analisis Hasil dan Pembahasan

Dalam perencanaan fasilitas hunian bertingkat, ATC-40 (1996) mengelompokkan bangunan minimal harus pada kondisi *Life Safety* (LS). Kondisi ini dimaksudkan sebagai kondisi dimana bangunan mengalami kerusakan pada fase pasca gempa, namun bangunan tidak diperbolehkan mengalami keruntuhan. Dalam fase ini bangunan harus tetap berdiri kokoh dan tidak diperbolehkan runtuh, sehingga tidak akan terjadi korban jiwa bila terjadi peristiwa gempa. Pada penelitian ini akan dilihat level kinerja bangunan sesuai dengan hasil dari permodelan struktur yang dilakukan. Sehingga apapun level kinerja yang diperoleh merupakan hasil analisis asli tanpa ada perubahan dari desain struktur untuk menghasilkan kondisi *Life Safety*.

Dari hasil perpotongan kurva *capacity spectrum* dan *demand spectrum*, menunjukkan hasil nilai titik kinerja (*performance point*). Dari nilai *performance point* dapat ditentukan level kinerja (*performance level*) sebagai representasi akibat beban gempa maksimum. Titik kinerja akan menentukan besarnya tingkat kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan, mulai dari rusak ringan, rusak berat hingga mencapai keruntuhan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Preliminary Design*

Preliminary Design elemen struktur. Dimensi awal yang dianalisis adalah kolom, balok, dan pelat.

4.1.1 Dimensi Balok

Balok akan direncanakan menjadi 3 jenis yaitu dengan tinggi minimum balok $L/8$, $L/9$, dan $L/10$. Dimensi balok direncanakan dengan bentang 6 m. Dibawah merupakan rumus tinggi minimum balok berdasarkan tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019 untuk menerus dua sisi :

$$h_{\min} = \frac{L}{8} \tag{4.1}$$

$$h_{\min} = \frac{6000}{8} = 750 \approx 750 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{9}$$

$$h_{\min} = \frac{6000}{9} = 666,7 \approx 700 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{10}$$

$$h_{\min} = \frac{6000}{10} = 600 \approx 600 \text{ mm}$$

Lebar minimum balok dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.2 disyaratkan 250 mm. Dalam menentukan dimensi balok telah dilakukan beberapa kali percobaan. Sehingga dimensi yang akan digunakan sudah terkonfirmasi aman dari analisa pada SAP 2000. Tabel untuk rekapitulasi dimensi balok dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok

Kode Balok	Bentang Balok	Rasio	h min	b min	h pakai	b pakai	Dimensi
	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	L/8	750	250	750	500	50 x 75
B2	6000	L/9	666,7	250	700	500	50 x 70
B3	6000	L/10	600	250	600	400	40 x 60

Penamaan B1, B2, dan B3 menunjukkan dimensi balok dari yang terbesar hingga terkecil. Dimensi yang digunakan untuk balok B1 adalah 500/750, B2 adalah 500/700, dan B3 adalah 400/600.

4.1.2 Dimensi Pelat

Pelat lantai akan didesain menggunakan tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019. Bentang dari pelat lantai yaitu 6x6 m. Untuk pelat dua arah tanpa *drop panel* dengan balok tepi akan digunakan persamaan dari tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019.

Untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$, hasil interpolasi dari $f_y = 280 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 420 \text{ Mpa}$:

$$h_{\min} = \frac{ln}{33,397}$$

$$h_{\min} = \frac{6000}{33,397} = 179,66 \text{ mm} \approx 190 \text{ mm}$$

4.1.3 Dimensi Kolom

Kolom akan didesain berdasarkan total beban pada kolom. Dimensi kolom yang didesain adalah kolom lantai dasar. Dimensi kolom yang digunakan dengan asumsi dimensi kolom awal paling bawah adalah 850x850 mm. Pada pemilihan dimensi kolom dilakukan analisa struktur pada program SAP 2000, sehingga dimensi yang didapat dari hasil program SAP 2000 aman. Tabel untuk perhitungan beban pada kolom paling bawah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perhitungan beban pada kolom paling bawah

Komponen Gedung	Berat		Dimensi			Jumlah	Berat (Kg)
	kg/m ³	kg/m ²	p	l	t		
Pelat atap	2.400	-	6	6	0,1	1	8.640
Pelat Lantai	2.400	-	6	6	0,19	9	147.744
Balok	2.400	-	6	0,55	0,8	20	126.720
Kolom K85	2.400	-	0,85	0,85	4	3	20.808
Kolom K80	2.400	-	0,8	0,8	4	3	18.432
Kolom K75	2.400	-	0,75	0,75	4	3	16.200
Plafond dan Penggantung	-	18	6	6	-	10	6.480
Plesteran Keramik (2 cm)	-	42	6	6	-	9	13.608
Keramik	-	24	6	6	-	9	7.776
Instalasi pipa dan listrik	-	30	6	6	-	10	10.800
Dinding Bata	-	250	12	-	5	9	108.000
Waterproofing lantai atap (1 cm)	-	22	6	6	-	1	792
Total beban mati (DL)							486.000
Penggunaan	Berat		Dimensi			Jumlah	Berat (Kg)
	kg/m ²		p	l	t		
Lantai Perkantoran	250		6	6	-	9	81.000
Lantai Atap	100		6	6	-	1	3.600
Total beban hidup (LL)							84.600

Beban (Pu) dari 9 lantai tipikal dan 1 lantai atap:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= (1,2 \times 486.000 \text{ kg}) + (1,6 \times 84.600 \text{ kg}) \\
 &= 718560 \text{ Kg} = 7049073,6 \text{ n}
 \end{aligned}$$

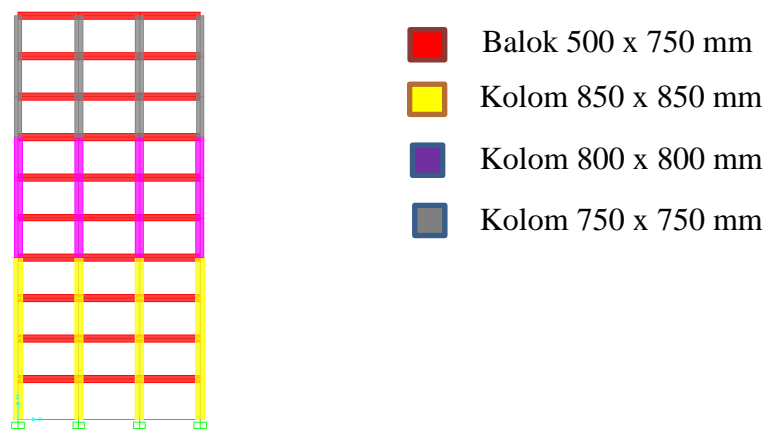
$$h = b = \sqrt{Ag} = \sqrt{\frac{3 \times P_u}{f'_c}} = \sqrt{\frac{3 \times 7049073,6}{30}} = 839,59 \text{ mm} \approx 850 \text{ mm}$$

Sehingga dimensi kolom awal dapat digunakan.

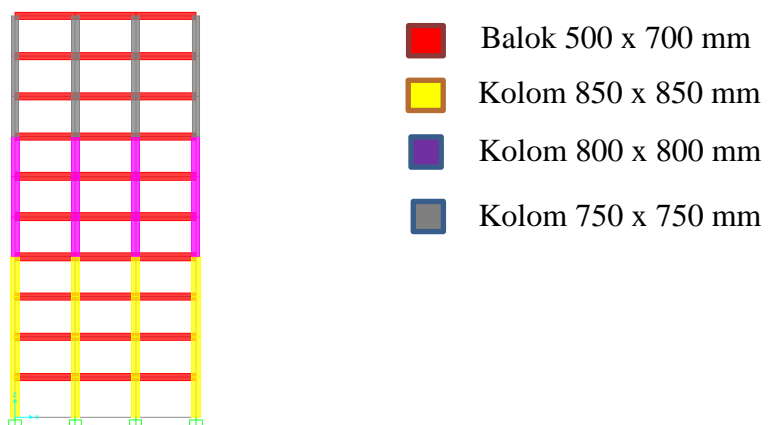
Dimensi kolom lantai dasar sampai lantai 4 adalah 850/850, kolom lantai 5 sampai lantai adalah 800/800, dan lantai 8 sampai 10 adalah 750/750.

4.2 Dimensi Desain Akhir Elemen Struktur

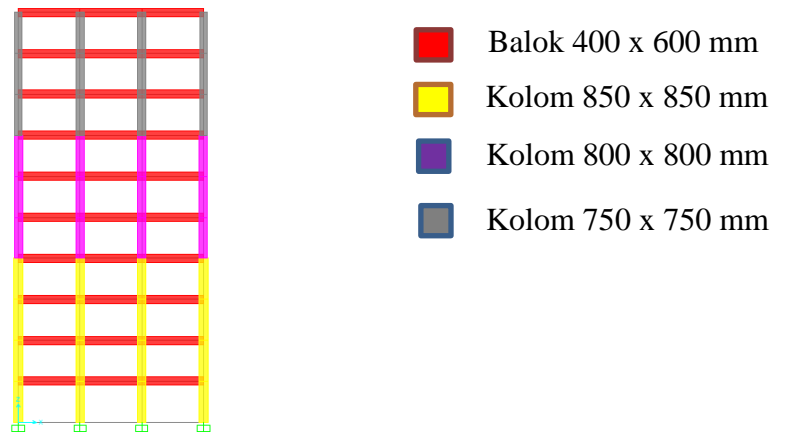
Dimensi akhir berdasarkan *check of structure* dari program SAP 2000 dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.



Gambar 4.1 Dimensi akhir gedung $\frac{L}{8}$ B1



Gambar 4.2 Dimensi akhir gedung $\frac{L}{9}$ B2



Gambar 4.3 Dimensi akhir gedung $\frac{L}{10}$ B3

4.3 Perhitungan Pembebanan

Beban gempa yang akan digunakan pada model struktur berbeda sesuai dari daerah tinjauan.

Koefisien gempa disetiap wilayah yang akan ditinjau didapatkan dari *website* Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Tabel untuk rekapitulasi koefisien gempa pada daerah gempa yang akan ditinjau dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tabel koefisien gempa

No.	Wilayah	Kelas Situs	Ss	S1
1.	Palembang	Tanah Lunak (SE)	0,2909	0,2485
2.	Jakarta	Tanah Lunak (SE)	0,7806	0,3823
3.	Palu	Tanah Lunak (SE)	1,5	0,6

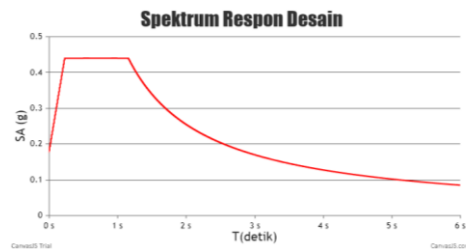
(Sumber: [Desain Spektra Indonesia \(pu.go.id\)](http://pu.go.id))

Tabel untuk parameter respons spektrum gempa yang akan di-*input* pada program dapat dilihat pada Tabel 4.4.

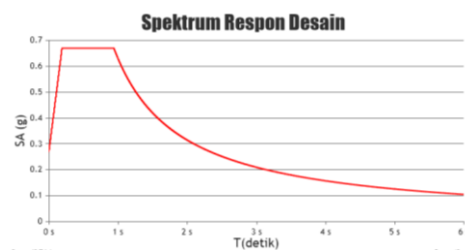
Tabel 4.4 Parameter gempa sesuai wilayah

Parameter Gempa	Wilayah		
	Palembang	Jakarta	Palu
Fa	2,2855	1,2755	0,8
Fv	3,0575	2,4708	2,0
SMs	0,6648	0,9957	1,2
SM1	0,7598	0,9446	1,2
SDS (g)	0,4432	0,6638	0,8
SD1 (g)	0,5065	0,6297	0,8
T0 (detik)	0,2286	0,1897	0,2
Ts (detik)	1,1428	0,9487	1,0
TL (detik)	20	20	12

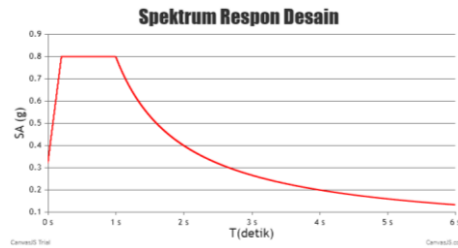
Gambar untuk grafik respon spektrum pada masing-masing wilayah dapat dilihat pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.



Gambar 4.4 Grafik respon spektrum Palembang
([Desain Spektra Indonesia \(pu.go.id\)](http://Desain Spektra Indonesia (pu.go.id)))



Gambar 4.5 Grafik respon spektrum Jakarta
([Desain Spektra Indonesia \(pu.go.id\)](http://Desain Spektra Indonesia (pu.go.id)))



Gambar 4.6 Grafik respon spektrum Palu
(Desain Spektra Indonesia (pu.go.id))

Meskipun memiliki jenis tanah atau kelas situs yang sama, parameter gempa di setiap wilayah terdapat perbedaan, hal ini disebabkan oleh parameter respon spektral percepatan yang berbeda di setiap wilayah. Wilayah Palembang memiliki percepatan tanah dengan nilai terendah, kemudian Jakarta, dan Palu yang paling tinggi.

4.4 Analisis Respon Struktur

4.4.1 Perhitungan Skala Gaya Metode Respon Spektrum

Pada program SAP, skala gaya awal akan di-*input* yang selanjutnya hasil perhitungan gaya geser statik akan disamakan dengan gaya geser dinamik. Jika $85\% V_s > V_d$, maka skala awal akan di kali dengan V_s/V_d sehingga akan didapat skala baru yang digunakan agar nilai V_s dan V_d sama. Dibawah ini merupakan contoh perhitungannya dengan mengambil model pada wilayah Palu dengan dimensi tinggi balok sebesar $L/8$ (balok 500 x 750 mm), model ini disebut PLB1. Untuk model yang lain yaitu dengan dimensi $L/9$ (balok 500 x 700 mm), disebut sebagai model PLB2 dan $L/10$ (balok 400 x 600 mm), disebut sebagai model PLB3, dikerjakan dengan cara yang sama :

Perhitungan skala gaya untuk model PLB1 :

$$\begin{aligned}
 R &= 8 && \text{(Faktor modifikasi respons)} \\
 \Omega_0 &= 3 && \text{(Faktor kuat lebih system)} \\
 C_d &= 5,5 && \text{(Faktor pembesaran defleksi)}
 \end{aligned}$$

$$SF_{awal} = g \times \frac{I_e}{R} = 9,81 \times \frac{1}{8} = 1,2263$$

Arah X :

$$V_s = 2726,684 \text{ kN}$$

$$V_d = 2211,590 \text{ kN}$$

$$85\% \times V_s = 2317,681 \text{ kN} > 2211,590 \text{ kN}$$

$$SF_{akhir} = 1,2263 \times \frac{2317,681 \text{ kN}}{2211,590 \text{ kN}} = 1,285$$

Arah Y :

$$V_s = 2726,684 \text{ kN}$$

$$V_d = 2211,590 \text{ kN}$$

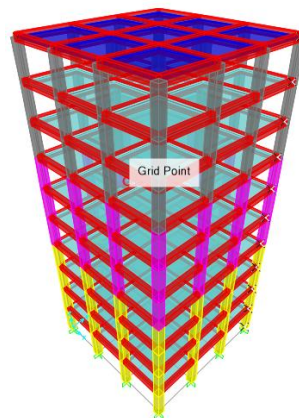
$$85\% \times V_s = 2317,681 \text{ kN} > 2211,590 \text{ kN}$$

$$SF_{akhir} = 1,2263 \times \frac{2317,681 \text{ kN}}{2211,590 \text{ kN}} = 1,285$$

4.4.2 Joint Displacement

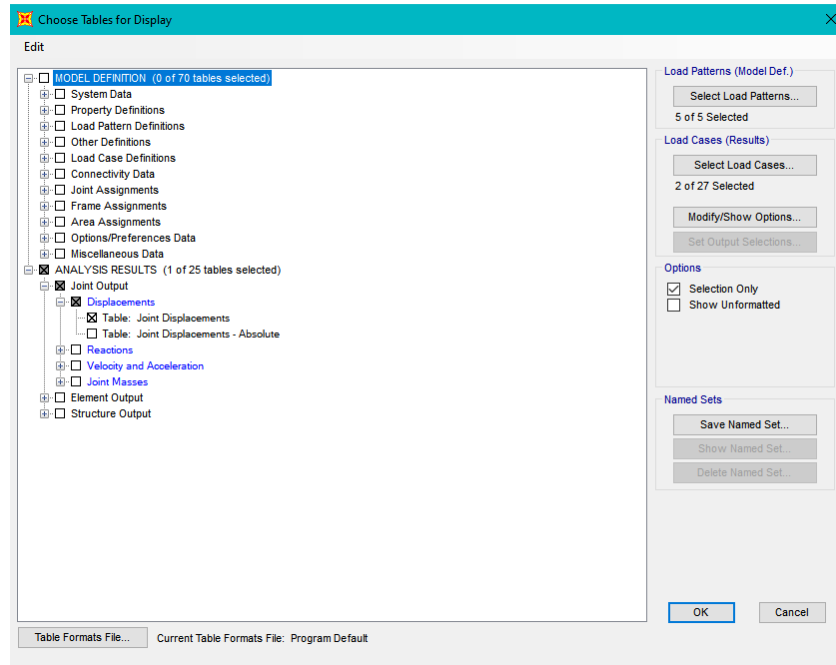
Distribusi gaya lateral (gempa) diperoleh dengan program SAP. Gaya lateral menimbulkan simpangan lateral pada struktur. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk mendapatkan *output joint displacement* pada program SAP:

1. *Run Analysis* (F5) > pilih *joint* yang akan ditinjau



Gambar 4.7 Pilih *joint*

2. Pilih *Display > Show Table (Ctrl + T) > Analysis Results > Joint Output > Displacement > Joint Displacement > tentukan Load Case > Ok*



Gambar 4.8 Menampilkan tabel *joint displacement*

Gaya geser dasar didistribusikan di tiap lantai sehingga menghasilkan gaya-gaya lateral yang akan menyebabkan defleksi atau simpangan lantai. Tabel untuk rekapitulasi *joint displacement* pada setiap model dapat dilihat pada Tabel 4.5, 4.6, dan 4.7.

Tabel 4.5 *Joint displacement* wilayah Palu

Lantai	<i>Joint displacement</i>						
	Arah	PLB1 (L/8)		PLB2 (L/9)		PLB3 (L/10)	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	DX	4,00		4,05		5,21	
1	DY		4,00		4,05		5,21
2	DX	11,79		12,15		16,44	
2	DY		11,79		12,15		16,44
3	DX	20,51		21,37		29,89	

Lantai	<i>Joint displacement</i>						
	Arah	PLB1 (L/8)		PLB2 (L/9)		PLB3 (L/10)	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
3	DY		20,51		21,37		29,89
4	DX	29,07		30,49		43,64	
4	DY		29,07		30,49		43,64
5	DX	37,16		39,12		56,77	
5	DY		37,16		39,12		56,77
6	DX	44,26		46,71		68,46	
6	DY		44,26		46,71		68,46
7	DX	50,22		53,08		78,39	
7	DY		50,22		53,08		78,39
8	DX	55,00		58,18		86,36	
8	DY		55,00		58,18		86,36
9	DX	58,27		61,67		91,99	
9	DY		58,27		61,67		91,99
Atap	DX	60,18		63,75		95,70	
Atap	DY		60,18		63,75		95,70

Tabel 4.6 *Joint displacement* wilayah Jakarta

Lantai	<i>Joint displacement</i>						
	Arah	JKB1 (L/8)		JKB2 (L/9)		JKB3 (L/10)	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	DX	3,15		3,18		4,08	
1	DY		3,15		3,18		4,08
2	DX	9,26		9,54		12,88	
2	DY		9,26		9,54		12,88
3	DX	16,10		16,76		23,40	
3	DY		16,10		16,76		23,40

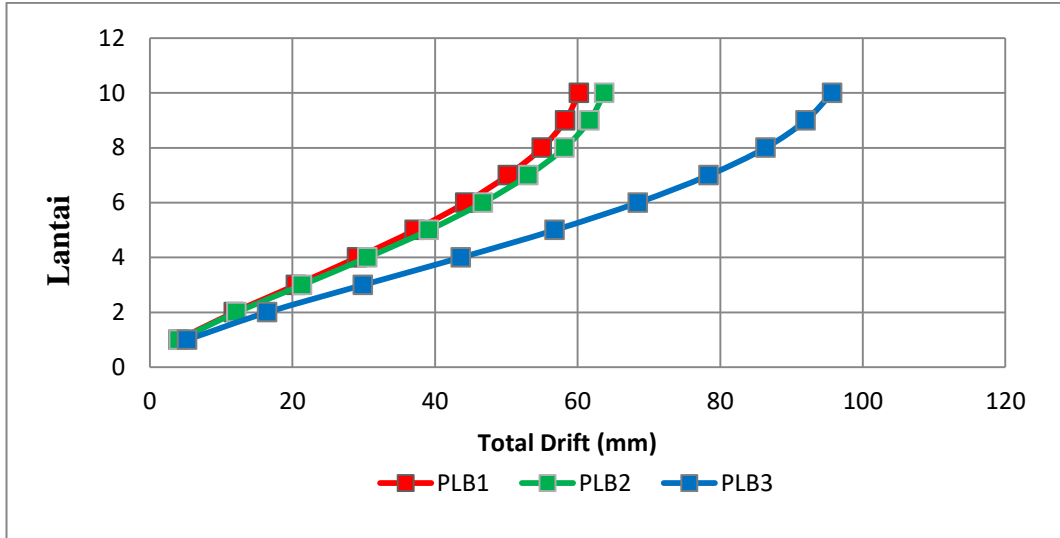
Lantai	<i>Joint displacement</i>						
	Arah	JKB1 (L/8)		JKB2 (L/9)		JKB3 (L/10)	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
4	DX	22,80		23,90		34,12	
4	DY		22,80		23,90		34,12
5	DX	29,13		30,64		44,34	
5	DY		29,13		30,64		44,34
6	DX	34,68		36,57		53,44	
6	DY		34,68		36,57		53,44
7	DX	39,34		41,55		61,17	
7	DY		39,34		41,55		61,17
8	DX	43,09		45,54		67,40	
8	DY		43,09		45,54		67,40
9	DX	45,66		48,28		71,81	
9	DY		45,66		48,28		71,81
Atap	DX	47,16		49,92		74,72	
Atap	DY		47,16		49,92		74,72

Tabel 4.7 *Joint displacement* wilayah Palembang

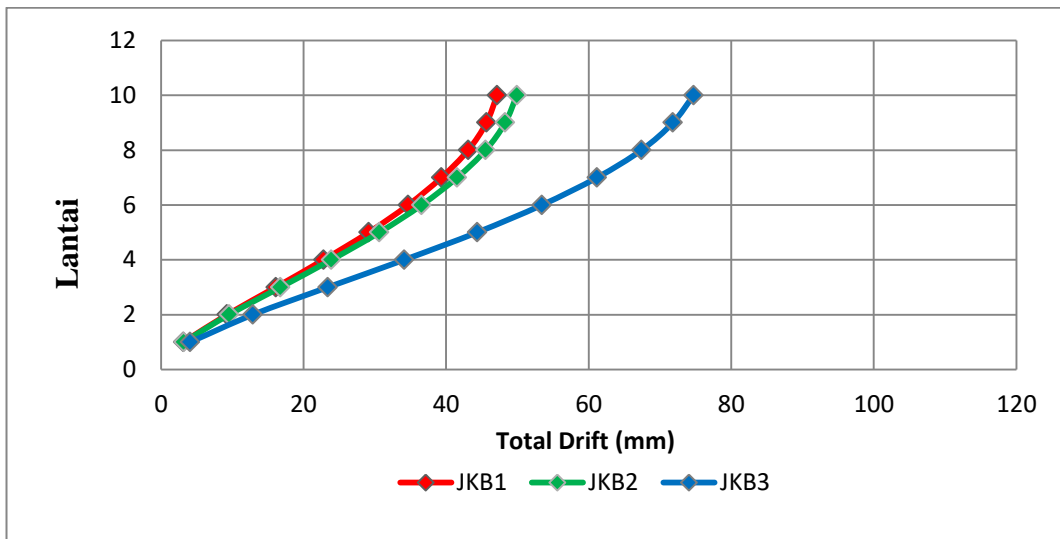
Lantai	<i>Joint displacement</i>						
	Arah	PGB1 (L/8)		PGB2 (L/9)		PGB3 (L/10)	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	DX	2,54		2,58		3,31	
1	DY		2,54		2,58		3,31
2	DX	7,49		7,73		10,48	

Lantai	<i>Joint displacement</i>						
	Arah	PGB1 (L/8)		PGB2 (L/9)		PGB3 (L/10)	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	DY		7,49		7,73		10,48
3	DX	13,05		13,61		19,09	
3	DY		13,05		13,61		19,09
4	DX	18,51		19,44		27,92	
4	DY		18,51		19,44		27,92
5	DX	23,69		24,98		36,37	
5	DY		23,69		24,98		36,37
6	DX	28,23		29,84		43,90	
6	DY		28,23		29,84		43,90
7	DX	32,04		33,92		50,29	
7	DY		32,04		33,92		50,29
8	DX	35,09		37,17		55,40	
8	DY		35,09		37,17		55,40
9	DX	37,16		39,39		58,99	
9	DY		37,16		39,39		58,99
Atap	DX	38,37		40,72		61,34	
Atap	DY		38,37		40,72		61,34

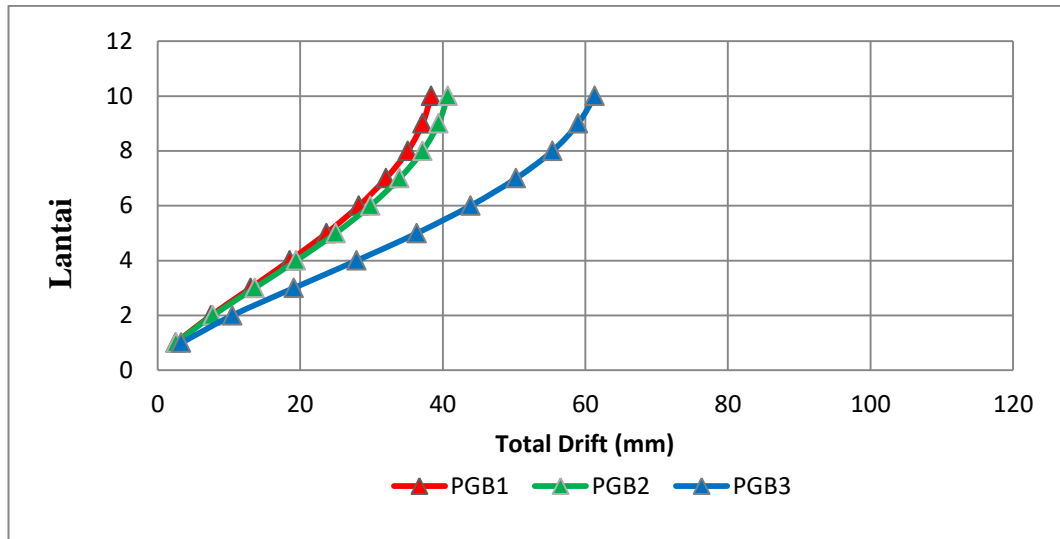
Gambar untuk grafik *joint displacement* pada setiap model dapat dilihat pada Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11.



Gambar 4.9 Joint Displacement wilayah Palu



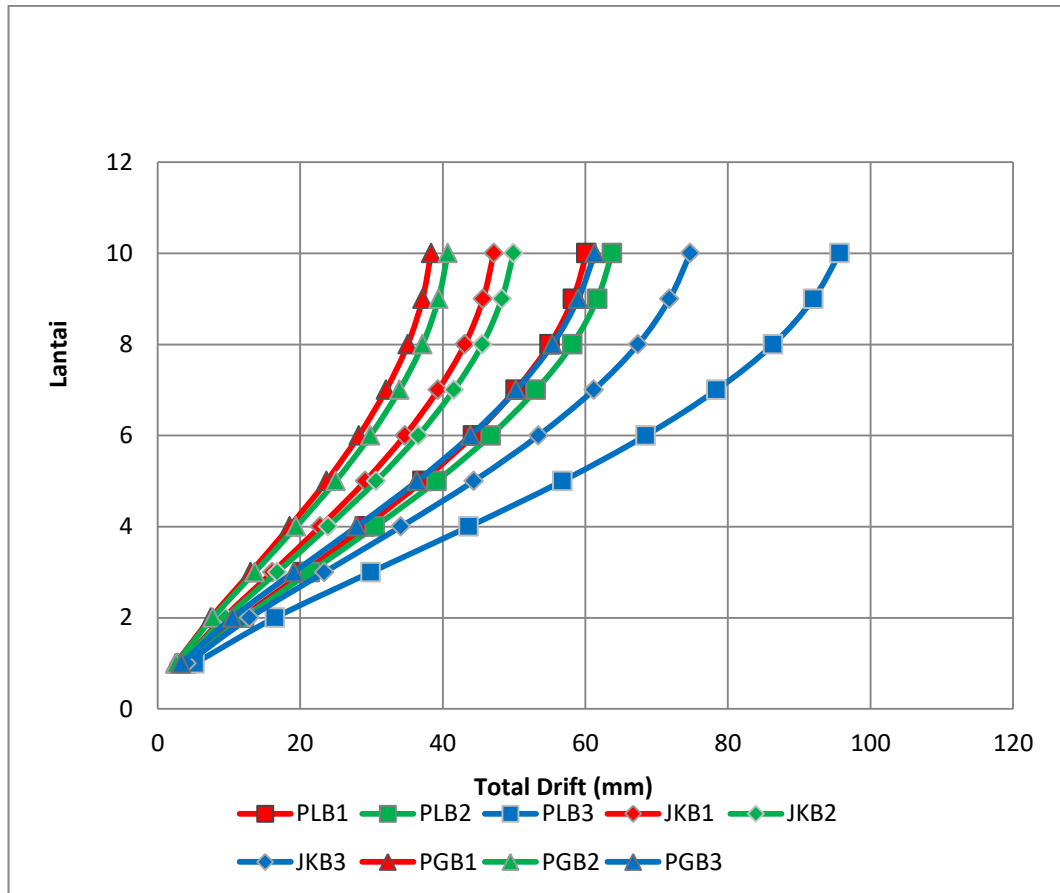
Gambar 4.10 Joint Displacement wilayah Jakarta



Gambar 4.11 *Joint Displacement* wilayah Palembang

Dari data grafik diatas dapat ditemukan fenomena yang sama di setiap wilayah gempa yaitu model struktur dengan dimensi balok yang lebih kecil akan menghasilkan *displacement* yang lebih besar. Fenomena yang sama ditunjukkan penelitian yang dilakukan oleh Jalal, A, dkk (2018), **sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi dimensi balok dapat mempengaruhi respon struktur.**

Gambar untuk grafik gabungan *joint displacement* untuk setiap model dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 *Joint Displacement* gabungan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa model struktur yang berada di wilayah gempa yang berbeda akan menghasilkan *displacement* yang berbeda. ***Displacement* terkecil terdapat pada model struktur di wilayah gempa Palembang, sedangkan yang terbesar terdapat pada model struktur di wilayah gempa Palu.** Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi wilayah gempa dapat mempengaruhi respon struktur. Wilayah dengan rawan gempa yang tinggi (diwakili wilayah Palu) menghasilkan respon struktur berupa *joint displacement* yang paling besar, wilayah rawan gempa yang sedang (diwakili wilayah Jakarta), dan wilayah rawan gempa yang rendah (diwakili wilayah Palembang). Hasil yang identik ditunjukkan pada penelitian yang membandingkan wilayah gempa di India, yang menunjukkan bahwa wilayah gempa yang rendah menghasilkan *displacement* yang lebih besar (Mohana, H. S., dkk, 2015).

Displacement terbesar terjadi pada model struktur PLB3 dengan dimensi balok terkecil dan wilayah Palu dengan beban gempa tinggi, yaitu sebesar 95,70 mm. *Displacement* terkecil terjadi pada model struktur PGB1 dengan dimensi balok terbesar dan wilayah Palembang dengan beban gempa rendah, yaitu sebesar 38,37 mm. Model struktur pada wilayah yang sama juga menghasilkan *displacement* yang berbeda, hal ini disebabkan adanya perbedaan dimensi balok pada model struktur. Model struktur JKB1 dengan dimensi balok terbesar menghasilkan *displacement* sebesar 47,16 mm. Model struktur JKB3 dengan dimensi balok terkecil menghasilkan *displacement* sebesar 74,72 mm.

Simpangan lateral diperoleh dari program SAP. Hasil simpangan lateral arah X dan Y sama dikarenakan bangunan simetris.

Simpangan lateral terbesar terdapat pada lantai teratas akibat distribusi gaya dari lantai yang ada di bawah.

4.4.3 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai dihitung menggunakan SNI 1726:2019 pasal 7.8.9. Untuk menghitung simpangan antar lantai adalah dengan membandingkan simpangan pada pusat massa yang berada diatas maupun dibawah lantai yang akan ditinjau. Dibawah ini merupakan contoh perhitungannya dengan mengambil model pada wilayah Jakarta dengan dimensi tinggi balok sebesar L/8 (balok 500 x 750 mm), model ini disebut PLB1. Untuk model yang lain yaitu dengan dimensi L/9 (balok 500 x 700 mm), disebut sebagai model PLB2 dan L/10 (balok 400 x 600 mm), disebut sebagai model PLB3, dikerjakan dengan cara yang sama :

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

$$h_{sx} = 4000 \text{ mm}$$

Wilayah Jakarta L/8 :

Contoh perhitungan lantai 4 :

$$\text{Arah X} = 22,7982 - 16,0995 = 6,6987 \text{ mm}$$

$$\text{Arah Y} = 22,7982 - 16,0995 = 6,6987 \text{ mm}$$

$$\text{Simpangan yang diperbesar arah X} = \frac{5,5 \times 6,6987}{1} = 36,84 \text{ mm}$$

$$\text{Simpangan yang diperbesar arah Y} = \frac{5,5 \times 6,6987}{1} = 36,84 \text{ mm}$$

Tingkat izin simpangan antar lantai ditentukan berdasarkan kategori resiko dan jenis struktur, yaitu:

$$\text{Simpangan antar lantai izin} = 0,02 h_{sx} = 0,02 \times 4000 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

36,8429 mm ≤ 80 mm (Aman)

Simpangan antar lantai akan di bandingkan dengan simpangan izin sebagai evaluasi keamanan. Tabel untuk rekapitulasi Simpangan antar lantai pada setiap model dapat dilihat pada Tabel 4.8, 4.9, dan 4.10.

Tabel 4.8 Simpangan antar lantai wilayah Palu

Lantai	Hsx	Δa (ijin)	PLB1	Keterangan	PLB2	Keterangan	PLB3	Keterangan
	(mm)	(mm)	Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)	
Atap	4000	80	10,51	Aman	11,47	Aman	20,41	Aman
9	4000	80	17,95	Aman	19,19	Aman	30,97	Aman
8	4000	80	26,33	Aman	28,04	Aman	43,82	Aman
7	4000	80	32,76	Aman	35,05	Aman	54,62	Aman
6	4000	80	39,04	Aman	41,72	Aman	64,26	Aman
5	4000	80	44,52	Aman	47,49	Aman	72,24	Aman
4	4000	80	47,06	Aman	50,17	Aman	75,59	Aman
3	4000	80	47,95	Aman	50,67	Aman	73,99	Aman
2	4000	80	42,84	Aman	44,55	Aman	61,79	Aman
1	4000	80	22,02	Aman	22,29	Aman	28,64	Aman
0	0	0	0,00	Aman	0,00	Aman	0,00	Aman

Tabel 4.9 Simpangan antar lantai wilayah Jakarta

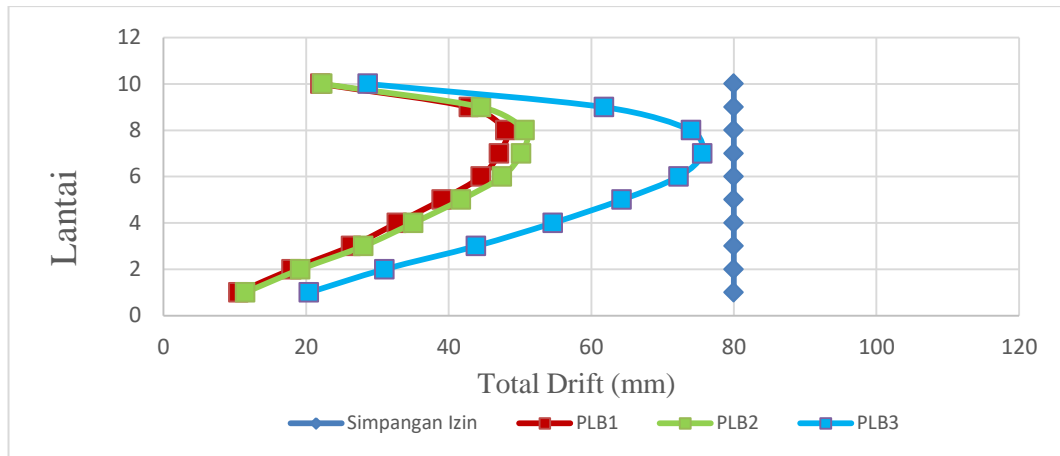
Lantai	Hsx	Δa (ijin)	JKB1	Keterangan	JKB2	Keterangan	JKB3	Keterangan
	(mm)	(mm)	Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)	
Atap	4000	80	8,27	Aman	9,02	Aman	16,04	Aman
9	4000	80	14,11	Aman	15,07	Aman	24,27	Aman
8	4000	80	20,64	Aman	21,96	Aman	34,23	Aman
7	4000	80	25,64	Aman	27,40	Aman	42,55	Aman
6	4000	80	30,52	Aman	32,59	Aman	50,00	Aman
5	4000	80	34,82	Aman	37,11	Aman	56,25	Aman
4	4000	80	36,84	Aman	39,25	Aman	58,96	Aman
3	4000	80	37,60	Aman	39,70	Aman	57,83	Aman
2	4000	80	33,64	Aman	34,96	Aman	48,39	Aman
1	4000	80	17,31	Aman	17,51	Aman	22,46	Aman
0	0	0	0,00	Aman	0,00	Aman	0,00	Aman

Tabel 4.10 Simpangan antar lantai wilayah Palembang

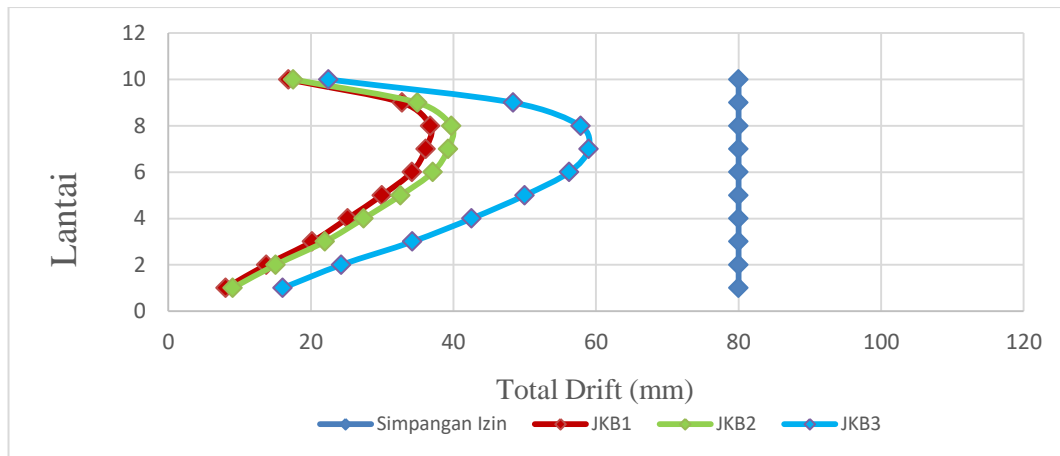
Lantai	Hsx	Δa (ijin)	PGB1	Keterangan	PGB2	Keterangan	PGB3	Keterangan
	(mm)	(mm)	Δx (mm)		Δx (mm)		Δx (mm)	
Atap	4000	80	6,66	Aman	7,27	Aman	12,95	Aman
9	4000	80	11,40	Aman	12,20	Aman	19,75	Aman
8	4000	80	16,78	Aman	17,90	Aman	28,08	Aman
7	4000	80	20,94	Aman	22,44	Aman	35,14	Aman
6	4000	80	24,98	Aman	26,75	Aman	41,40	Aman
5	4000	80	28,48	Aman	30,43	Aman	46,51	Aman
4	4000	80	30,05	Aman	32,09	Aman	48,54	Aman
3	4000	80	30,55	Aman	32,33	Aman	47,36	Aman
2	4000	80	27,23	Aman	28,36	Aman	39,42	Aman
1	4000	80	13,97	Aman	14,17	Aman	18,23	Aman
0	0	0	0,00	Aman	0,00	Aman	0,00	Aman

Dari hasil perhitungan di atas, hasil perbandingan dengan Δ_{izin} untuk setiap dimensi dan wilayah simpangan semua lantai dikategorikan aman.

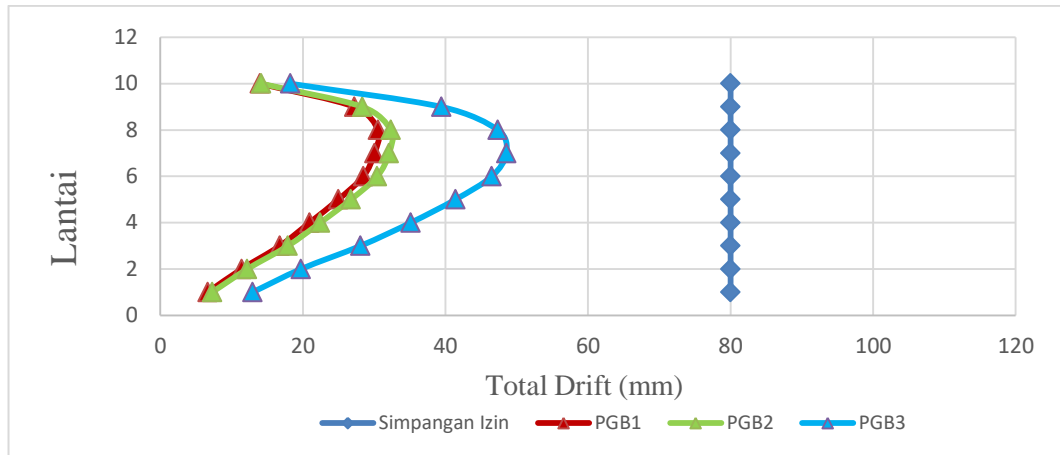
Kemudian dibuat grafik simpangan antar lantai arah X dan Y. Gambar untuk grafik simpangan antar lantai pada setiap model dapat dilihat pada Gambar 4.13, 4.14, dan 4.15.



Gambar 4.13 Diagram simpangan antar lantai wilayah Palu



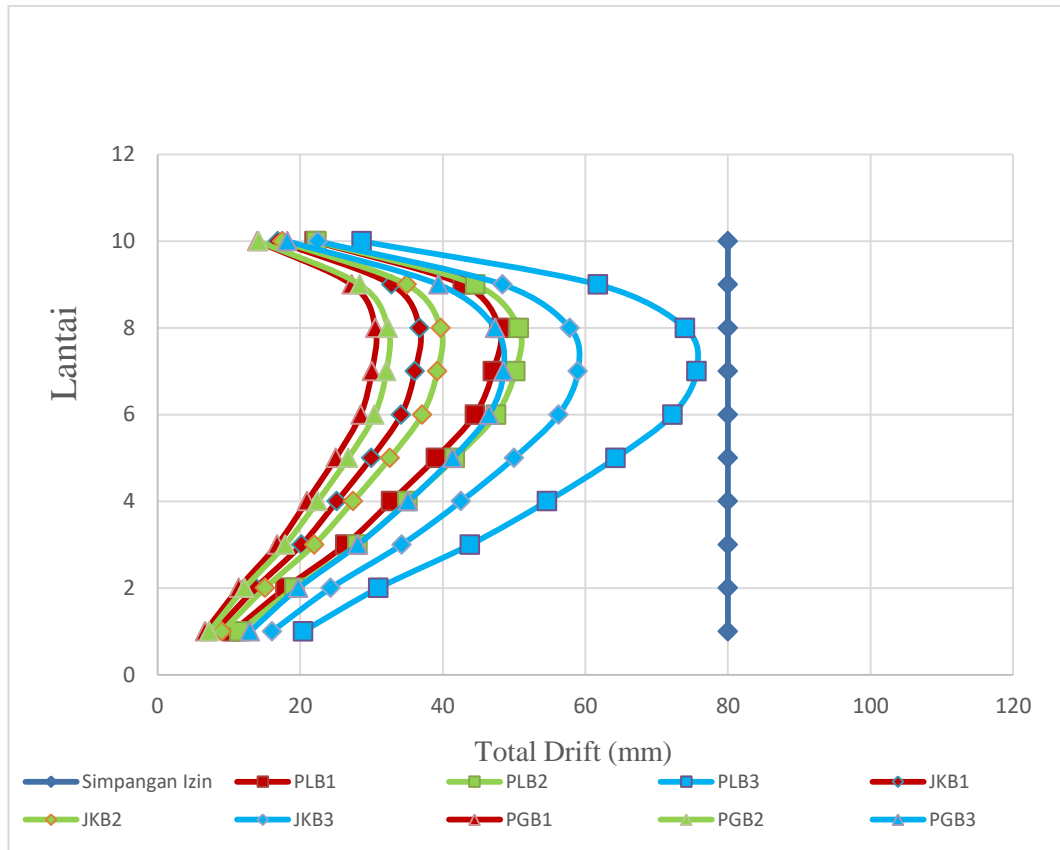
Gambar 4.14 Diagram simpangan antar lantai wilayah Jakarta



Gambar 4.15 Diagram simpangan antar lantai wilayah Palembang

Dari data grafik diatas dapat sama seperti hasil *joint displacement*, model struktur di setiap wilayah gempa, model struktur dengan dimensi balok yang lebih kecil akan menghasilkan simpangan antar lantai yang lebih besar. **Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi dimensi balok dapat mempengaruhi respon struktur.**

Gambar untuk grafik gabungan simpangan antar lantai untuk setiap model dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Diagram simpangan antar lantai gabungan

Dari hasil grafik diatas dapat dilihat bahwa di wilayah gempa yang berbeda menghasilkan simpangan antar lantai yang berbeda juga. Simpangan antar lantai terkecil terjadi di wilayah gempa Palembang dan yang terbesar di wilayah gempa Palu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi wilayah gempa dapat mempengaruhi respon struktur.

Simpangan antar lantai terbesar terjadi pada model struktur PLB3 dengan dimensi balok terkecil dan wilayah Palu dengan beban gempa tinggi, yaitu sebesar 75,59 mm. Simpangan antar lantai terkecil terjadi pada model struktur PGB1 dengan dimensi balok terbesar dan wilayah Palembang dengan beban gempa rendah, yaitu sebesar 30,55 mm. Model struktur pada wilayah yang sama juga menghasilkan simpangan antar lantai yang berbeda, hal ini disebabkan adanya perbedaan dimensi balok pada model struktur. Model struktur JKB1 dengan dimensi balok terbesar menghasilkan simpangan antar lantai sebesar 36,75 mm.

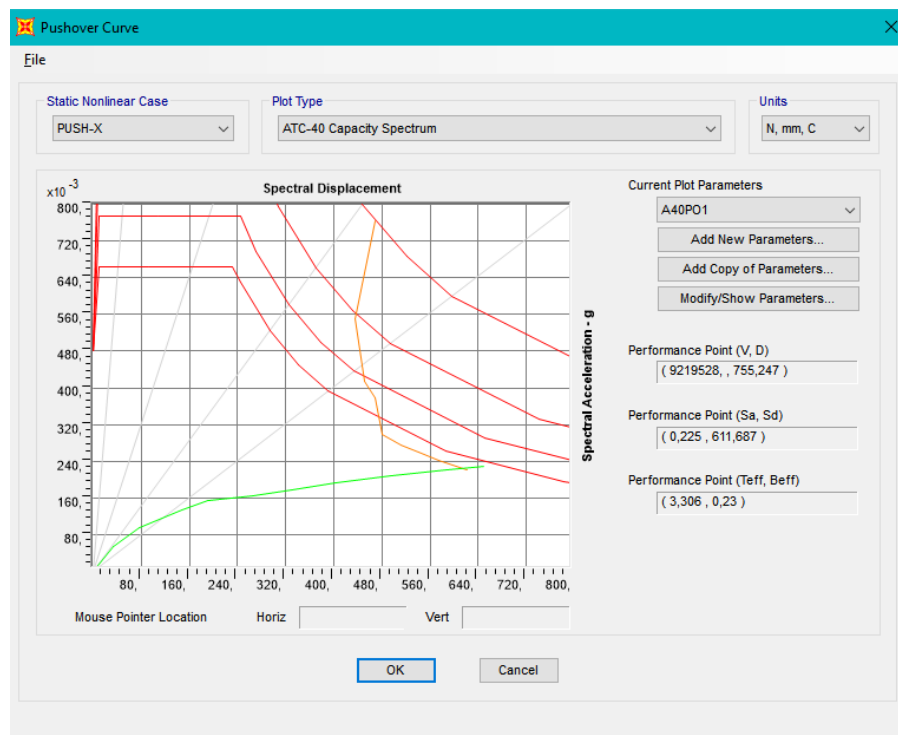
Model struktur JKB3 dengan dimensi balok terkecil menghasilkan simpangan antar lantai sebesar 57,83 mm.

4.5 Analisis Kinerja Struktur

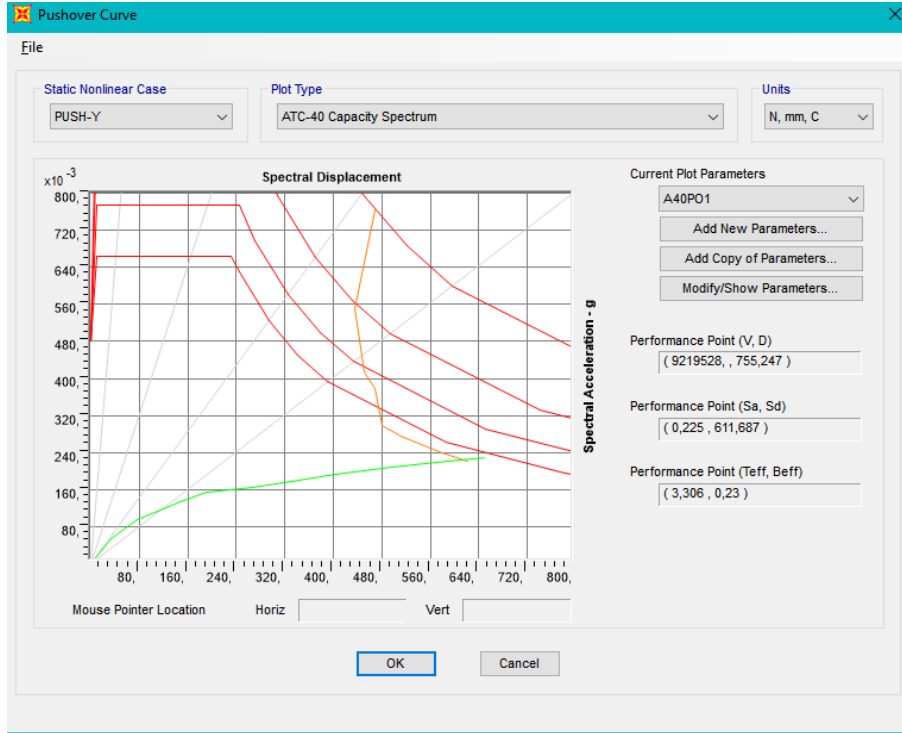
Kinerja struktur yaitu berupa *performance point* (titik kinerja) dan *performance level* (tingkat kinerja), didapatkan dari *output* pada program SAP berupa kurva kapasitas yang akan diubah menjadi spektrum kapasitas dan kurva respon spektrum yang akan diubah menjadi *demand* spektrum. Perubahan akan dilakukan otomatis oleh program SAP menjadi format ADRS.

4.5.1 Performance Point

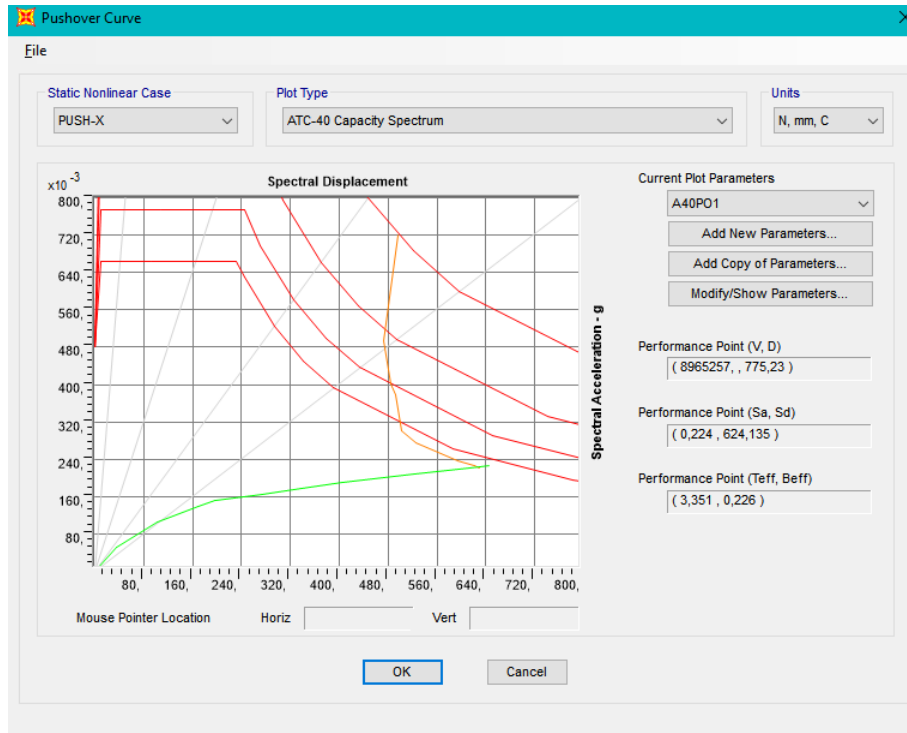
Dari titik perpotongan antara kurva spektrum dan kurva *demand* spektrum, akan didapatkan *performance point*. Gambar-gambar dibawah ini merupakan hasil *performance point* pada setiap model yang ditinjau dari Gambar 4.17 sampai Gambar 4.34.



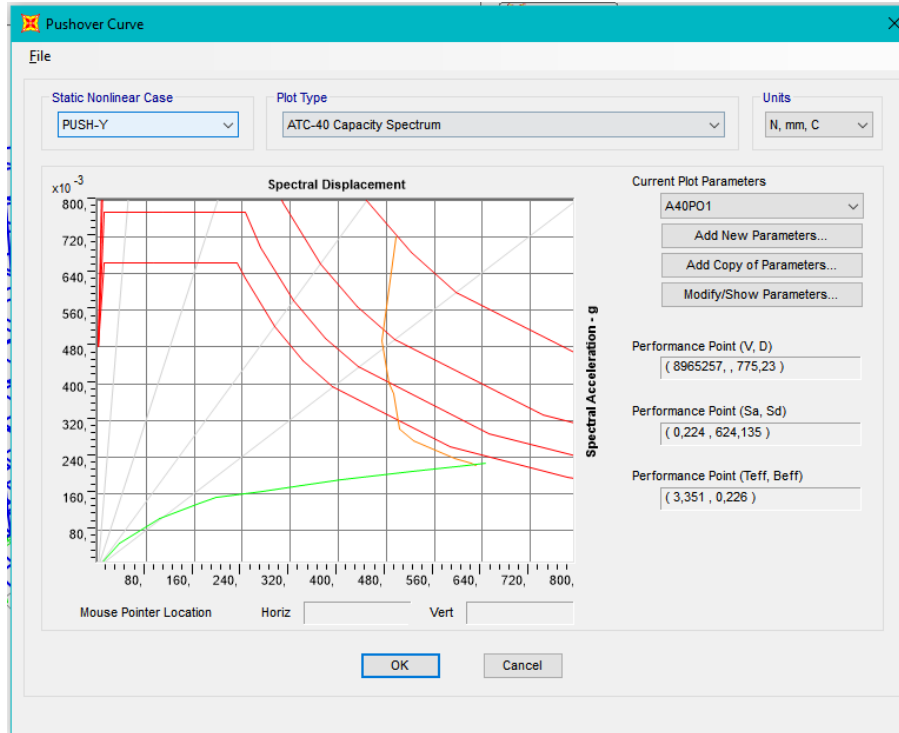
Gambar 4.17 Titik Kinerja PLB1 arah X



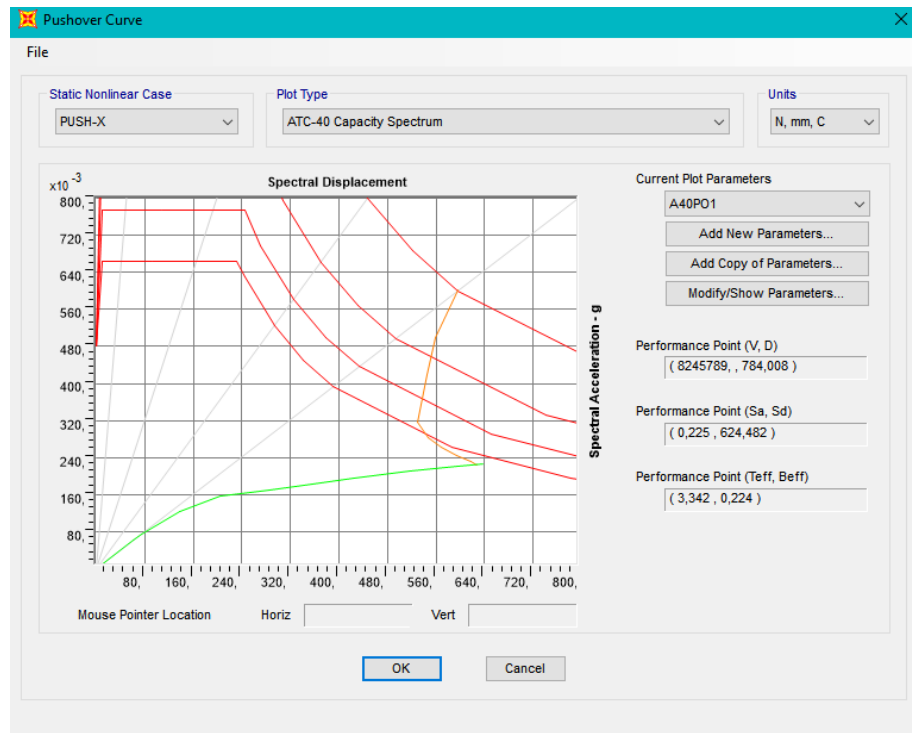
Gambar 4.18 Titik Kinerja PLB1 arah Y



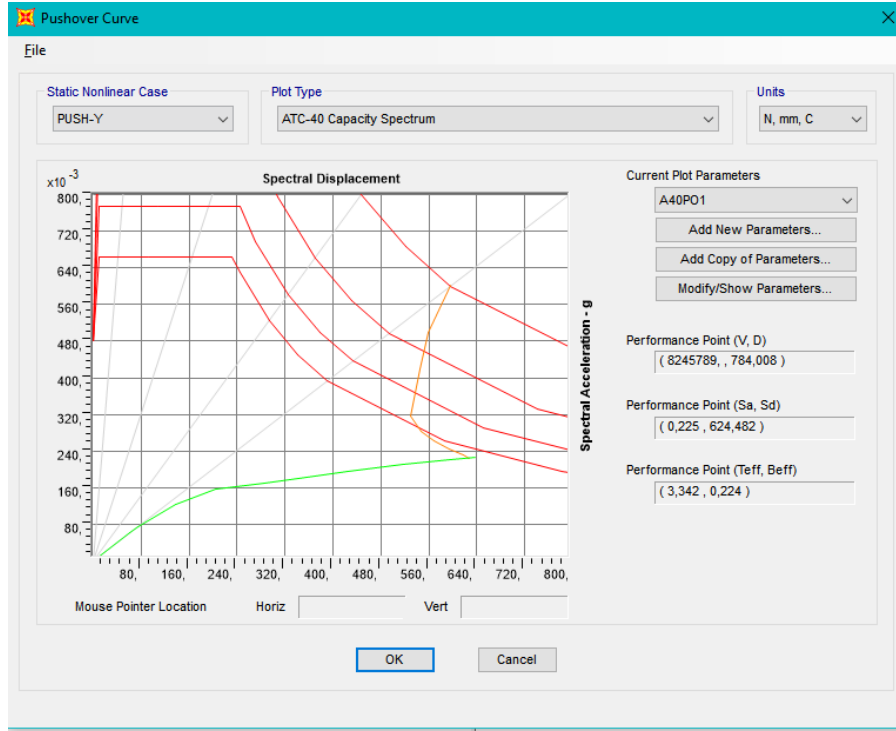
Gambar 4.19 Titik Kinerja PLB2 arah X



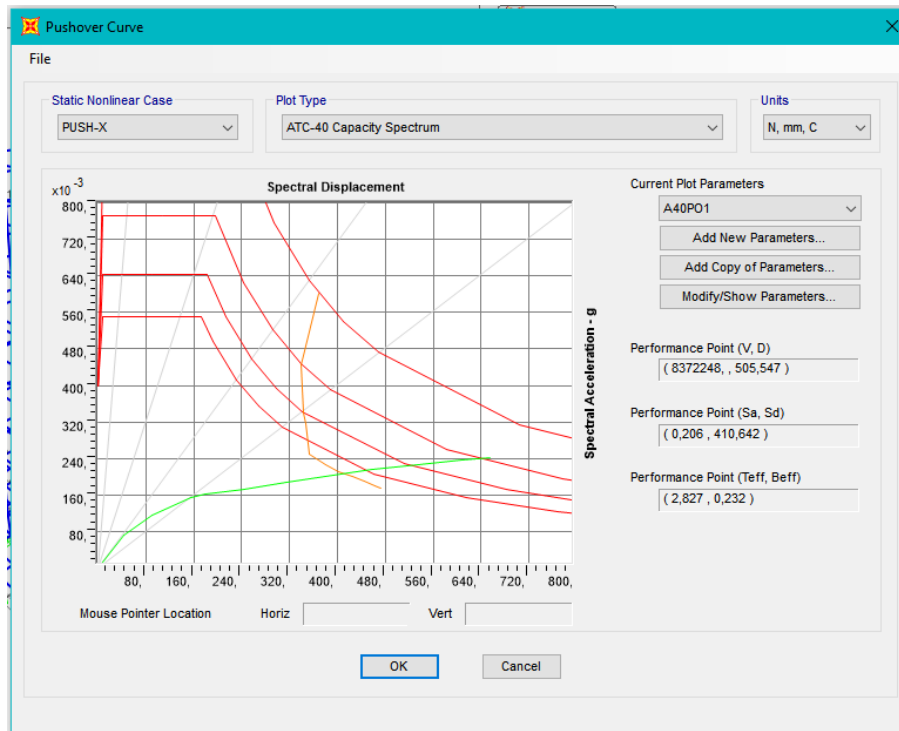
Gambar 4.20 Titik Kinerja PLB2 arah Y



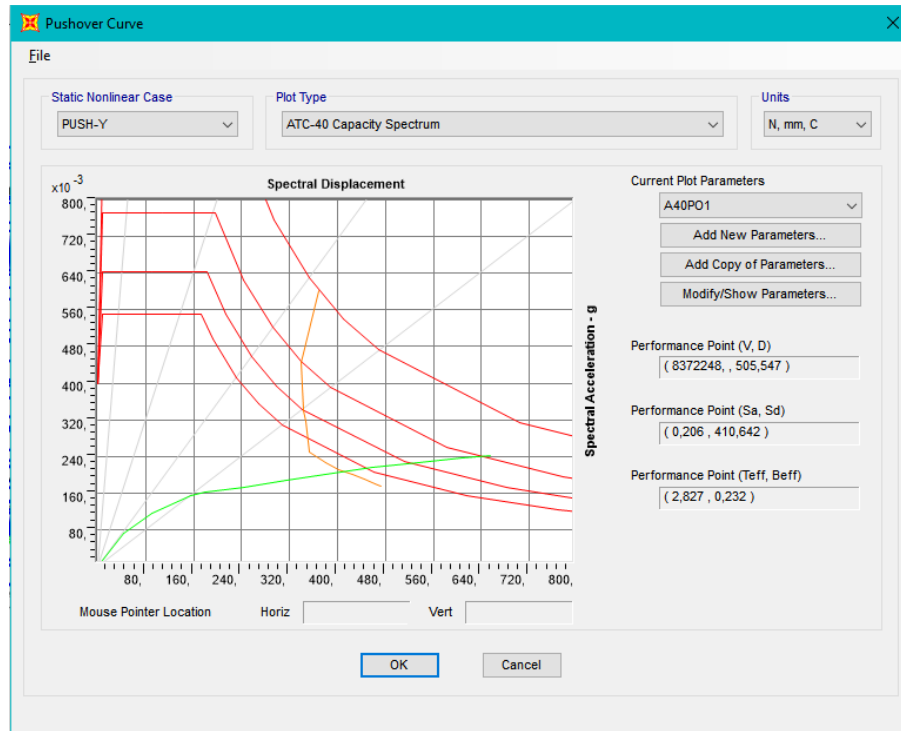
Gambar 4.21 Titik Kinerja PLB3 arah X



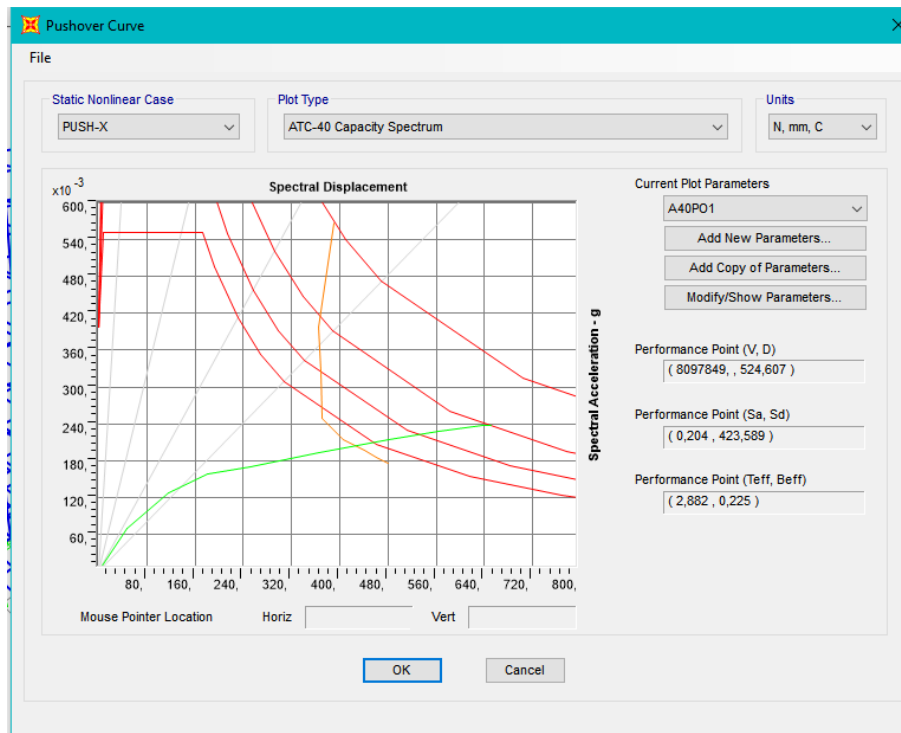
Gambar 4.22 Titik Kinerja PLB3 arah Y



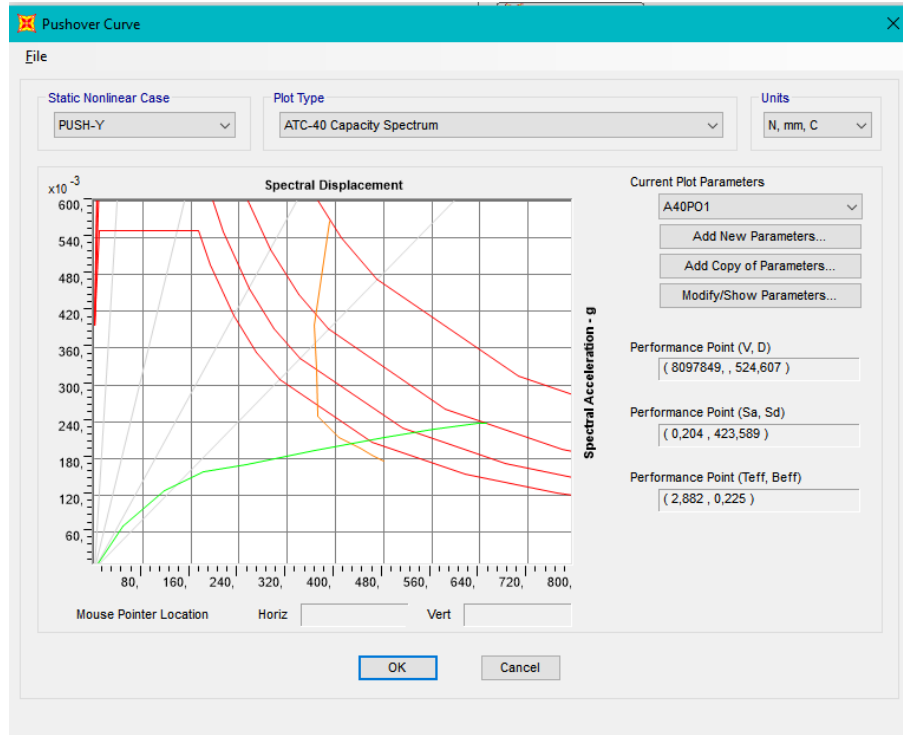
Gambar 4.23 Titik Kinerja JKB1 arah X



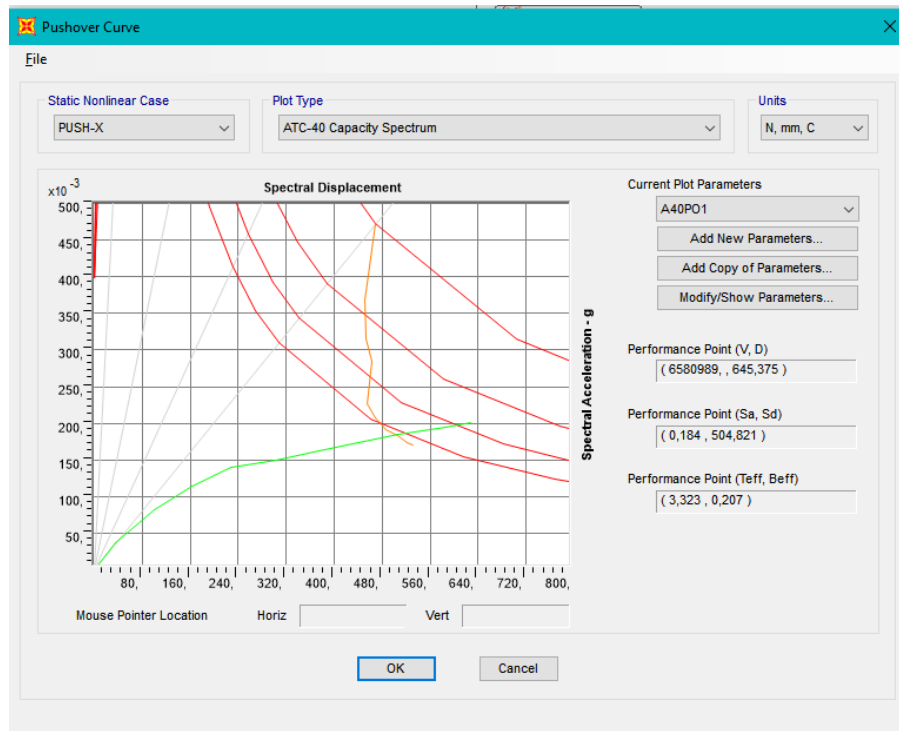
Gambar 4.24 Titik Kinerja JKB1 arah Y



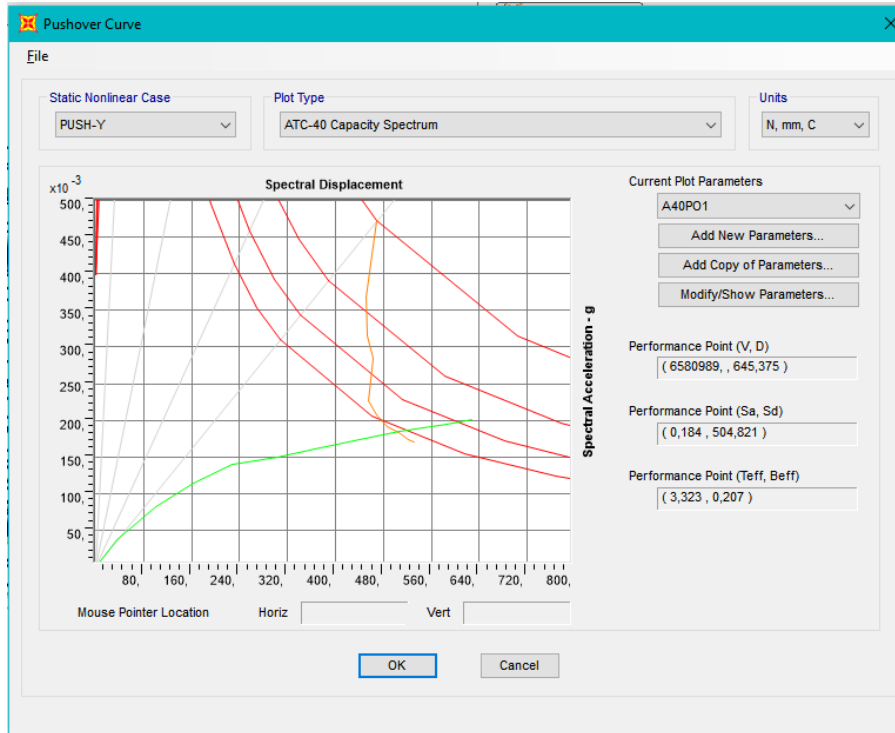
Gambar 4.25 Titik Kinerja JKB2 arah X



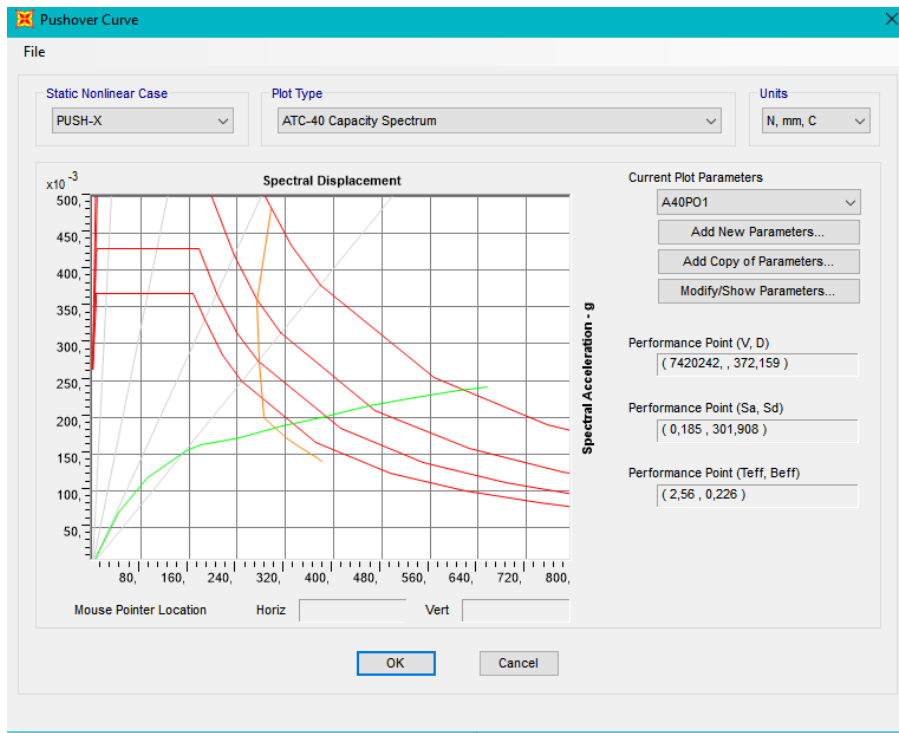
Gambar 4.26 Titik Kinerja JKB2 arah Y



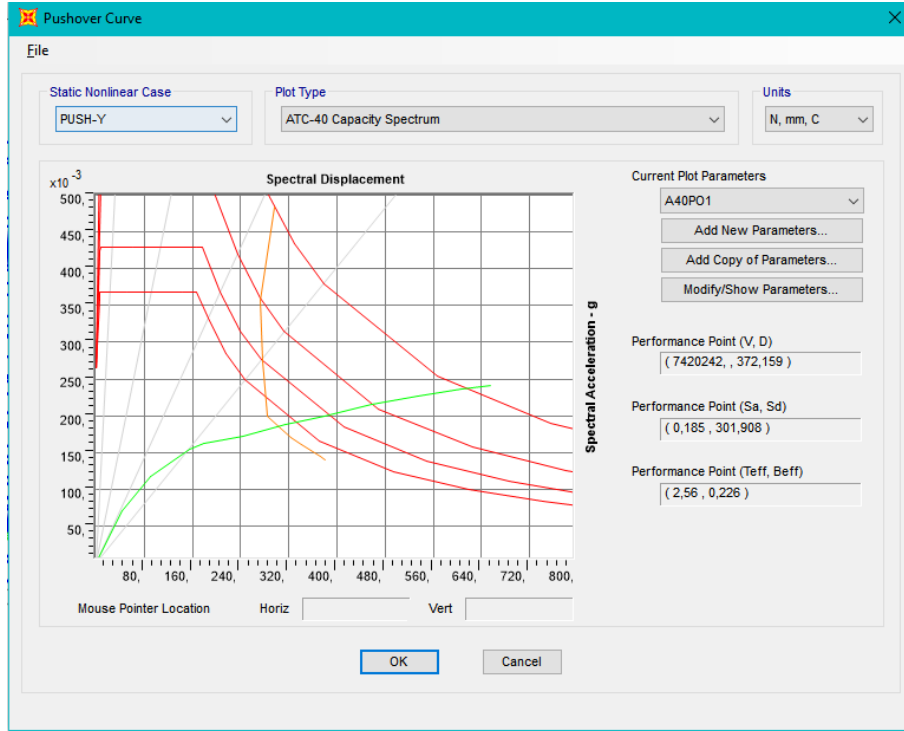
Gambar 4.27 Titik Kinerja JKB3 arah X



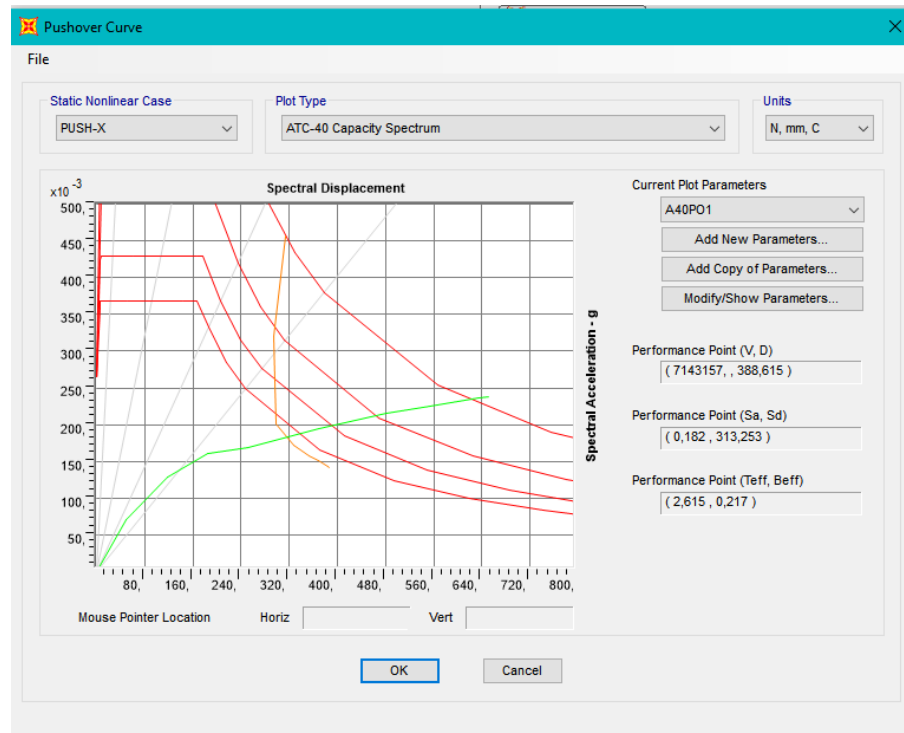
Gambar 4.28 Titik Kinerja JKB3 arah Y



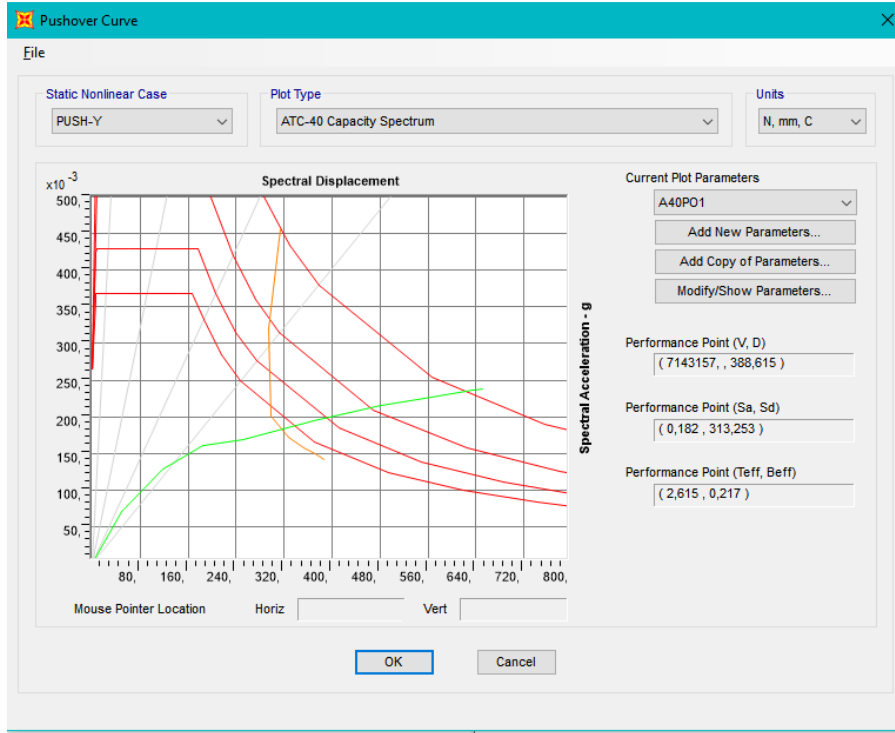
Gambar 4.29 Titik Kinerja PGB1 arah X



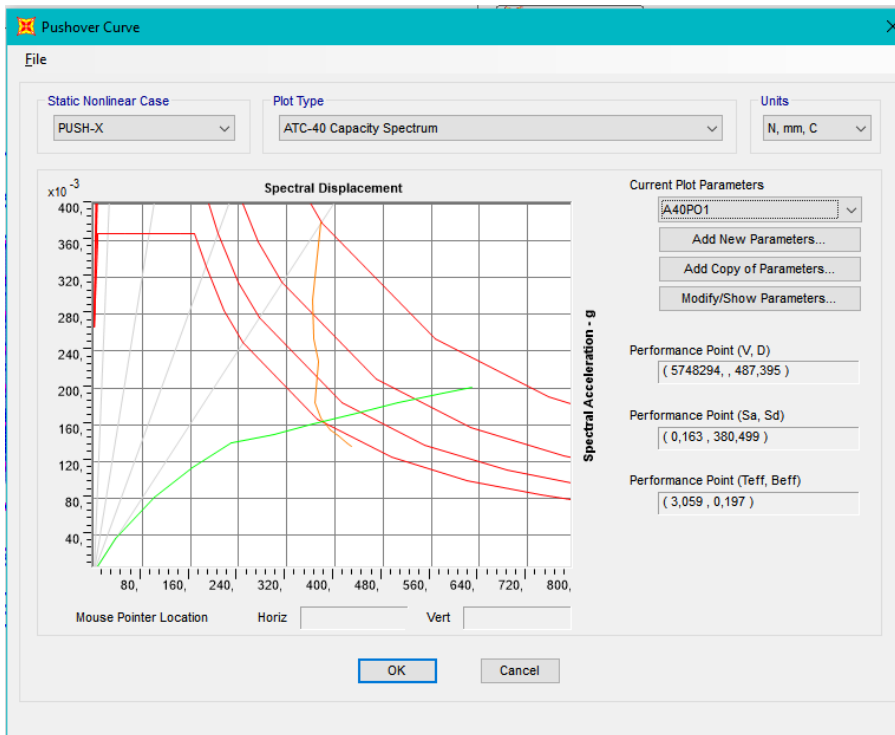
Gambar 4.30 Titik Kinerja PGB1 arah Y



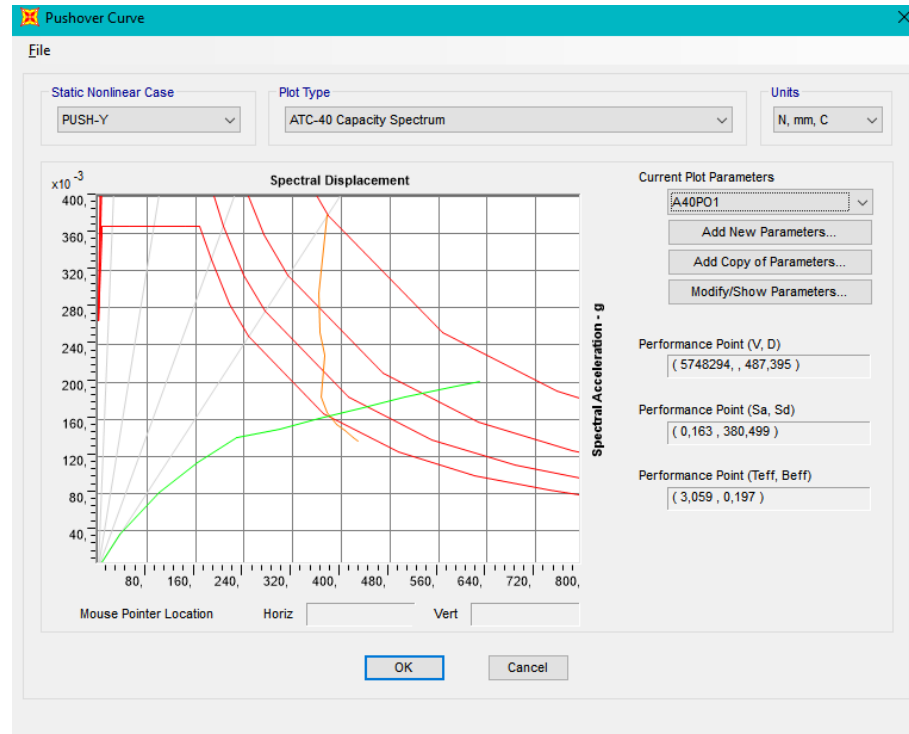
Gambar 4.31 Titik Kinerja PGB2 arah X



Gambar 4.32 Titik Kinerja PGB2 arah Y



Gambar 4.33 Titik Kinerja PGB3 arah X



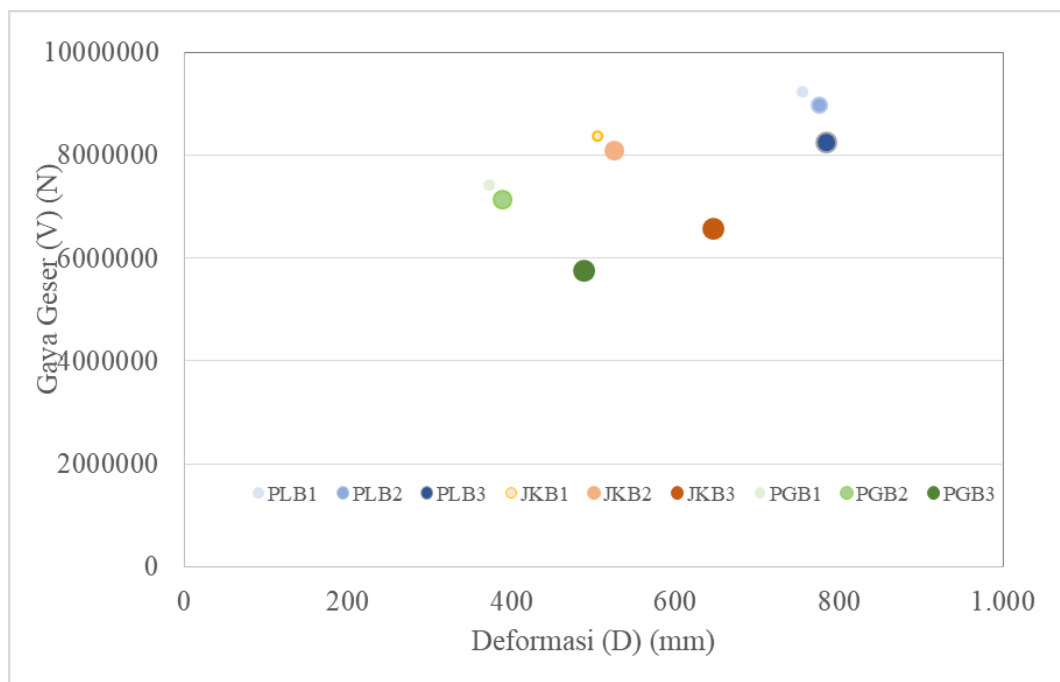
Gambar 4.34 Titik Kinerja PGB3 arah Y

Setelah didapatkan titik kinerja (*performance point*) maka akan di rekapitulasi dan dihitung untuk mendapatkan level kinerja (*performance level*) Berikut Tabel rekapitulasi titik kinerja pada model struktur yang telah ditinjau pada Tabel 4.11 dan Grafik distribusi *performance point* untuk semua model pada Gambar 4.35.

Tabel 4.11 *Performance point* arah X dan Y

Model	<i>Performance Point</i>			
	V (N)	D (mm)	Sa (g), Sd (mm)	T _{eff} (s), B _{eff} (%)
PLB1	9219528	755,247	(0,225; 611,687)	(3,306; 0,23)
PLB2	8965257	775,23	(0,224; 624,135)	(3,351; 0,226)
PLB3	8245789	784,008	(0,225; 624,482)	(3,342; 0,224)
JKB1	8372248	505,547	(0,206; 410,642)	(2,827; 0,232)

Model	<i>Performance Point</i>			
	V (N)	D (mm)	Sa (g), Sd (mm)	T _{eff} (s), B _{eff} (%)
JKB2	8097849	524,607	(0,204; 423,589)	(2,882; 0,225)
JKB3	6580989	645,375	(0,184; 504,821)	(3,323; 0,207)
PGB1	7420242	372,159	(0,185; 301,908)	(2,56; 0,226)
PGB2	7143157	388,615	(0,182; 313,253)	(2,615; 0,217)
PGB3	5748294	487,395	(0,163; 380,499)	(3,059; 0,197)



Gambar 4.35 Distribusi *Performance Point* untuk Semua Model

Dari data pada Tabel 4.12 dan grafik pada Gambar 4.35 di atas menunjukkan bahwa variasi dari dimensi balok mempengaruhi tingkat kekakuan dan daktilitas suatu struktur. Terutama pada B3 yang perbedaan dimensinya cukup jauh dibandingkan dengan B1 dan B2 yang menyebabkan *displacement* yang terjadi cukup jauh berbeda. Variasi wilayah gempa juga mempengaruhi, wilayah

gempa Palu memiliki *displacement* yang paling besar dan wilayah gempa Palembang yang terkecil.

4.5.2 Performance Level (Tingkat Kinerja)

Dari titik kinerja, dapat diketahui nilai *maximum total drift* yang dapat menentukan tingkat kinerja. Berikut contoh perhitungannya:

Performance point model PLB1 : (V, D) = 9219528 N, 755,247 mm

$$\begin{aligned} \text{Maximum Total Drift} &= \frac{D_t}{H_{tot}} \\ &= \frac{9219528 \text{ mm}}{40000 \text{ mm}} \\ &= 0,019 \quad (\text{Damage Control}) \end{aligned}$$

Dibawah ini telah direkapitulasi hasil perhitunganan *maximum total drift* beserta *performance level*-nya dalam bentuk Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Performance level* arah X dan Y

Model	Maximum Total Drift	Performance Level
PLB1	0,019	DC
PLB2	0,019	DC
PLB3	0,020	DC
JKB1	0,013	DC
JKB2	0,013	DC
JKB3	0,016	DC
PGB1	0,009	IO
PGB2	0,010	IO
PGB3	0,012	DC

Dari data diatas kebanyakan model struktur berada pada kinerja *DC* yaitu sebanyak 7 model. Level *Damage Control* dimana tingkat kerusakan yang terjadi berada diantara *IO* dan *LS*, dimana struktur memiliki kemampuan yang lebih baik

untuk memperkecil kerusakan struktural dibandingkan dengan *LS*. Untuk PGB1, dan PGB2 berada pada kinerja *IO*. Jika terjadi gempa maka bangunan dapat menahan gempa dan tidak mengalami kerusakan baik struktural maupun non struktural. Sehingga bisa segera digunakan.

Dari hasil *Performance Level* didapatkan kinerja struktur pada model di wilayah gempa Palembang lebih baik dibandingkan dengan kinerja struktur pada model di wilayah gempa Palu. Berdasarkan hasil analisis *performance level* ini dapat disimpulkan bahwa variasi wilayah gempa berpengaruh terhadap kinerja struktur.

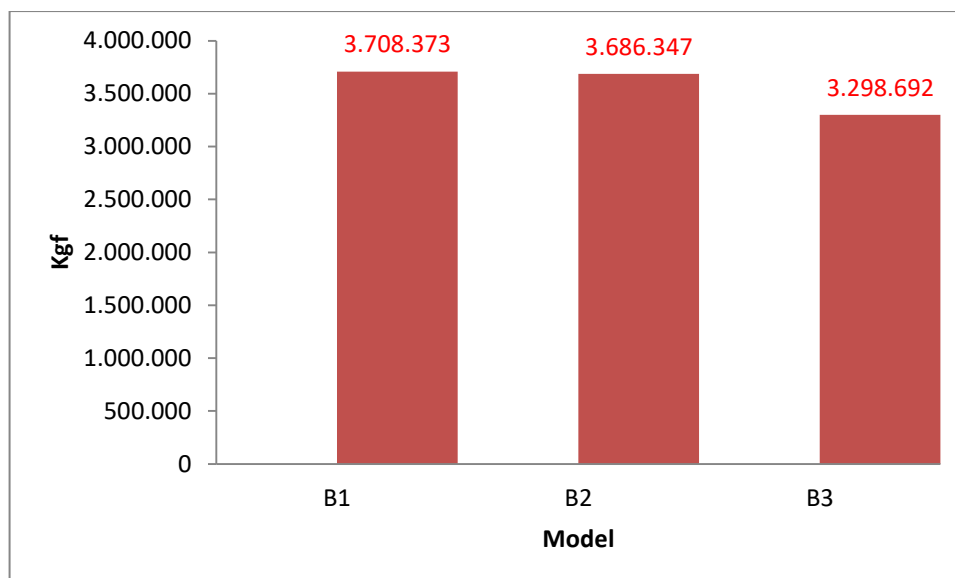
Bila ditinjau dari hasil kinerja struktur berupa *damage control* dan *immediate occupancy* dapat dinilai bahwa kinerja struktur pada model model tersebut relatif sangat aman namun kurang optimal. Hal ini disebabkan karena penggunaan dimensi elemen struktur yang relatif besar. ATC-40 (1996) mengelompokkan kondisi bangunan minimal harus pada *Life Safety* (*LS*). Kondisi ini dimana bangunan mengalami kerusakan pada fase pasca gempa, namun bangunan tidak diperbolehkan mengalami keruntuhan. Sehingga tidak akan terjadi korban jiwa. Untuk model ini pencapaian kinerja *life safety* dapat diupayakan dengan menurunkan ukuran dimensi balok dan kolomnya. Namun penggunaan dimensi elemen struktur yang lebih kecil dari dimensi yang dipakai pada analisis ini sudah dilakukan pada saat *preliminary design*, namun hasil dari analisis struktur secara elastis diperoleh hasil yang tidak aman. Untuk penelitian kedepannya bisa melakukan optimasi dengan memperkecil dimensi struktur untuk mendapatkan level kinerja *Life Safety*, sehingga struktur akan lebih efisien dan ekonomis namun tetap aman jika terjadi gempa.

4.6 Perbandingan *Masses and Weights* Struktur

Tabel dan Grafik untuk perbandingan *masses and weights* dari model-model struktur dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.36.

Tabel 4.13 *Masses and weights* model struktur

Lantai	B1	B2	B3
	Self Weight	Self Weight	Self Weight
	Kgf	Kgf	Kgf
Lantai 1	395976,19	387165,84	348400,31
Lantai 2	329898,58	387165,84	348400,31
Lantai 3	395976,19	387165,84	348400,31
Lantai 4	395976,19	387165,84	335478,47
Lantai 5	383054,35	374244	348400,31
Lantai 6	383054,35	374244	335478,47
Lantai 7	383054,35	374244	335478,47
Lantai 8	370915,65	362105,3	323339,77
Lantai 9	370915,65	362105,3	323339,77
Lantai Atap	299551,83	290741,48	251975,95
Total	3708373,33	3686347,44	3298692,14

Gambar 4.36 Perbandingan *masses and weights* model struktur

Berdasarkan Gambar 4.36, dapat disimpulkan model struktur yang paling ekonomis adalah model B3 dengan berat struktur yang paling rendah 3.298.692 kgf. Akan tetapi karena model struktur ini belum pada level kinerja yang optimal, maka berat struktur masih bisa dikurangi dengan memperkecil dimensi struktur guna mendapatkan struktur yang lebih efisien dan ekonomis dan tetap mempertahankan keamanan struktur.

4.7 Rekomendasi Dimensi Balok Berdasarkan Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI 2847-2019, rumus tinggi minimum balok adalah berdasarkan panjang bentang balok. Hal ini berlaku untuk seluruh dimensi balok pada bangunan gedung. Berdasarkan rumus tersebut pemilihan dimensi balok ditentukan oleh panjang bentang balok.

Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan variasi tinggi balok pada bentang yang sama, pada gedung sama namun di lokasi gempa yang berbeda menghasilkan respon struktur yang berbeda. Salah satu respon struktur yang dapat dijadikan acuan sebagai penentu aman tidaknya bangunan ditentukan oleh simpangan antar lantai. Simpangan antar lantai izin untuk bangunan yang dipakai untuk semua model struktur adalah sebesar 80 mm. Berikut tabulasi simpangan antar lantai maksimum pada salah satu lantainya yang ditunjukkan oleh Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Tabel simpangan antar lantai maksimum pada salah satu lantai

	B1 (L/8)	B2 (L/9)	B3 (L/10)
Palembang	30,05	32,33	48,54
Jakarta	37,60	39,70	58,96
Palu	47,95	50,67	75,59

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa penggunaan dimensi tinggi balok dengan rumus L/8 sampai dengan L/10 masih aman pada seluruh wilayah, baik Palembang, Jakarta, maupun Palu. Namun dapat juga dilihat bahwa penggunaan dimensi L/10 di wilayah Palu sudah menunjukkan kondisi ekstrim dalam

penggunaan dimensi balok karena nilai simpangan antar lantai sudah mendekati batas aman. Pada perhitungan *preliminary* dalam penelitian ini penggunaan dimensi balok dengan ketinggian balok menggunakan $L/12$ dan $L/11$ menghasilkan kondisi yang tidak aman pada wilayah kota Palu. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan dimensi balok pada wilayah Palu hanya diizinkan dengan menggunakan tinggi balok minimum sebesar $L/10$. Sedangkan untuk wilayah Palembang dan Jakarta, dimensi tinggi balok masih bisa menggunakan dimensi yang lebih kecil dari $L/10$.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan variasi struktur dimensi kolom dan wilayah gempa yang berbeda, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi dimensi balok mempengaruhi respon struktur yang berupa :
 - a. Hasil nilai simpangan lateral yang berbeda setiap variasi modelnya. dengan dimensi balok yang lebih kecil menghasilkan simpangan lateral yang lebih besar.
 - b. Simpangan lateral terkecil sebesar 38,37 mm di arah X dan Y, terjadi pada model bangunan PGB1 dengan dimensi balok terbesar yaitu di wilayah Palembang dengan beban gempa rendah.
 - c. Simpangan lateral terbesar yaitu 95,69 mm di arah X dan Y, terjadi pada model bangunan PLB3 dengan dimensi balok terkecil di wilayah Palu dengan beban gempa tinggi.
 - d. Semua nilai simpangan antar lantai yang terjadi bervariasi meningkat seiring dengan wilayah beban gempa yang menurun dan dianalisis aman dari simpangan izin.
2. Variasi dimensi balok mempengaruhi kinerja struktur yang berupa :
 - a. Hasil analisis nonlinier *pushover* pada *performance point*, menghasilkan nilai *displacement* terkecil terjadi pada model PGB1 **dengan dimensi balok terbesar yaitu di wilayah Palembang dengan beban gempa rendah** yaitu sebesar 372,159 mm di arah X dan Y
 - b. Sedangkan nilai ***displacement* terbesar terjadi pada model PLB3** dengan dimensi balok terkecil di wilayah Palu dengan beban gempa tinggi yaitu sebesar 784,008 mm di arah X dan Y.

- c. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa dimensi balok dapat menghasilkan *displacement* yang berbeda yang diakibatkan oleh dimensi balok akan mempengaruhi tingkat kekakuan gedung, sehingga gedung dengan dimensi balok yang lebih besar lebih tahan dengan beban dorong yang terjadi dari analisis *pushover*.
 - d. Dari hasil tersebut juga menunjukkan bahwa **variasi wilayah gempa juga menghasilkan *displacement* yang berbeda** yaitu wilayah dengan beban gempa yang lebih tinggi akan menghasilkan *displacement* yang lebih besar sehingga dapat disimpulkan variasi wilayah gempa berpengaruh terhadap *performance point*.
 - e. Berdasarkan hasil *performance point*, level kinerja yang didapatkan oleh model bangunan pada wilayah Palu dan Jakarta yaitu *Damage Control (DC)*, dan model bangunan pada wilayah Palembang pada model PGB1 dan PGB2 didapatkan level kinerja *Immedieate Occupancy (IO)*, untuk model PGB3 didapatkan level kinerja *Damage Control (DC)*.
3. Berat struktur model struktur B1, B2, dan B3 masing-masing adalah 3.708.373,33, 3.686.347,44, dan 3.298.692,14. Hasil ini menunjukkan bahwa model struktur B1 memiliki berat terbesar, sedangkan model struktur B3 memiliki berat terkecil. Model B3 paling ekonomis dengan berat struktur yang paling rendah 3.298.692 kgf. Akan tetapi karena model struktur ini belum pada level kinerja yang optimal, maka berat struktur masih bisa dikurangi dengan memperkecil dimensi struktur guna mendapatkan struktur yang lebih efisien dan ekonomis dan tetap mempertahankan keamanan struktur
 4. Dari hasil analisis nonlinier *pushover* dapat disimpulkan bahwa semua model struktur masih sangat aman namun kurang optimal. Hal ini disebabkan karena penggunaan dimensi elemen struktur yang relatif besar sehingga level kinerja semua struktur tidak ada yang berada di level Life Safety (LS). Jadi bisa dikatakan bahwa model struktur yang paling ekonomis adalah model struktur yang terkecil yaitu model struktur B3 di setiap wilayah gempa.

5. Dari hasil simpangan antar lantai dapat disimpulkan bahwa masih aman pada seluruh wilayah Namun dapat juga dilihat bahwa penggunaan dimensi $L/10$ di wilayah Palu sudah menunjukkan kondisi ekstrim dalam penggunaan dimensi balok karena nilai simpangan antar lantai di salah satu lantai (75,59 mm) sudah mendekati batas aman (80 mm). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan dimensi balok pada wilayah Palu hanya diizinkan dengan menggunakan tinggi balok minimum sebesar $L/10$. Sedangkan untuk wilayah Palembang dan Jakarta, dimensi tinggi balok masih bisa menggunakan dimensi yang lebih kecil dari $L/10$.

5.1 Saran

Adapun saran untuk penelitian ke depannya adalah:

1. Pada penelitian ini tidak menghitung *detailing* penulangan, untuk penelitian kedepannya dapat diperhitungkan untuk *detailing* penulangan elemen struktur.
2. Pada penelitian ini dimensi struktur yang dipakai tidak optimal, untuk penelitian kedepannya dapat melakukan optimasi dimensi struktur agar dapat menghasilkan perbandingan kinerja yang lebih optimal.
3. Untuk penelitian selanjutnya, dapat menggunakan metode analisis yang berbeda, seperti metode analisis nonlinier *time history* untuk mendapatkan perbandingan perilaku struktur dengan menggunakan rekaman gempa yang pernah terjadi sebelumnya.
4. Untuk penelitian selanjutnya, dapat melakukan optimasi pada elemen struktur, untuk mendapatkan struktur yang lebih efisien dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I. California. Seismic Safety Commission State of California.*
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727-2020.* Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2019.* Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2019.* Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Bastara, Erwin Beta. 2011. *Analisis Pengaruh Wilayah Gempa Di Indonesia Terhadap Bangunan Baja. Undergraduate Thesis,* Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987): *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987).* Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum
- Dewobroto, Wiryanto. 2007. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000.* Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2021. *Desain Spektra Indonesia,* <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>. Kementrian PUPR, Jakarta.
- Jalal, A., & Imaduddin, M. (2018). *Studi Variasi Dimensi Balok Terhadap Kinerja Struktur Dengan Analisis Pushover Berdasarkan Fema 440 Dan SNI 1726: 2012.* Rekayasa Tek. Sipil.
- Mohana, H. S., & Kavan, M. R. (2015). *Comparative Study of Flat Slab and Conventional Slab Structure Using ETABS for Different Earthquake Zones*

of India. International Research Journal of Engineering and Technology, 2(03), 1931-1936.

Rosiqin, A. A. (2017). Analisa Pengaruh Variasi Dimensi Balok pada Perencanaan Ulang Struktur Gedung Laboratorium Terpadu FMIPA Universitas Negeri Surabaya Terhadap Persyaratan Kolom Kuat Balok Lemah Pada SRPMK. *Rekayasa Teknik Sipil, (REKAT/17)*.

Zain, A. M., Rizal, A., & Setiawati, D. A. (2019). Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa pada Variasi Resiko Gempa Sulawesi Tengah. *Siimo Engineering: Journal Teknik Sipil, 3(1), 5-10.*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <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
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <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 <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi 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 publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4 – 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)

Lampiran 2. Parameter Percepatan Gempa

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2019)

Lampiran 3. Sistem Struktur

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

(Sumber : SNI 1726:2019)

Lampiran 4. Periode Alami Fundamental

Tabel 17 – Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	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)

Tabel 18 – Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	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)

Lampiran 5. Simpangan Antar Lantai Izin

Tabel 20 – Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$



KARTU ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA : ANDREAWAN RAMADHAN
NIM : 03011281722061
JURUSAN : TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
DOSEN PEMBIMBING I : DR. IR. ROSIDAWANI, S.T., M.T.
JUDUL LAPORAN : ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN
VARIASI DIMENSI BALOK DAN WILAYAH
GEMPA DENGAN METODE ANALISIS
PUSHOVER

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
1	30 Juli 2022	Asistensi model bangunan Bentang balok jadi 6 m.	
2	17 November 2022	Menambah <i>property modifier</i> pada <i>frame section</i> dan <i>area section</i>	
3	8 Desember 2022	Mengubah dimensi balok L/10, L/11, L/12 Dimensi kolom lantai 1-4 85x85 cm, lantai 5-7 80x80 cm, lantai 8-10 75x75 cm.	
4	14 Desember 2022	Usahakan luas baja tulangan/ luas penampang setiap kolom 2%-2,5%	
5	17 Desember 2022	Dimensi balok menjadi L/7,5; L/8; dan L/9. Tambahkan diagram <i>displacement</i> . Tambahkan diagram simpangan antar lantai per wilayah gempa dan gabungan. Berikan kesimpulan dari hasil analisis penelitian.	

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
6	29 Desember 2022	Mengubah beban gempa menjadi ASCE 7-16 Perbaiki keliru pada penamaan model Perbaiki penulisan pada laporan	fus
7	3 Januari 2023	Perhitungan sendi plastis menggunakan Response 2000 Input sendi plastis manual pada SAP 2000	fus
8	5 Juni 2023	Perhitungan kolom kuat balok lemah Tambahkan metode analisis <i>pushover</i> pada bab 3	fus
9	13 November 2023	Perbaiki penulisan laporan Tambahkan keterangan hasil pada Bab 4 Cari referensi jurnal Tambahkan grafik <i>performance point</i>	fus
10	27 Mar 23	Aec seminar akhir (sidang)	fus



KARTU ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA : ANDREAWAN RAMADHAN
NIM : 03011281722061
JURUSAN : TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
DOSEN PEMBIMBING II : DR. IR. SITI AISYAH NURJANNAH, S.T., M.T.
JUDUL LAPORAN : ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN
VARIASI DIMENSI BALOK DAN WILAYAH
GEMPA DENGAN METODE ANALISIS
PUSHOVER

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
1	17-11-2022	Model bangunan diubah bentang balok menjadi 6 m.	YA
2	8-12-2022	Tambah property modifier frame dan area Dimensi balok menjadi 1-4 85x85, 5-7 80x80, 8-10 75x75	YA
3	17-12-2022	Tambahkan diagram displacement dan simpangan antar lantai Kesimpulan analisis	YA
4	29-12-2022	Gunakan beban gempa ASCE 7-16 Penamaan Model keliru Perbaiki penulisan laporan	YA
5	3-1-2023	Perhitungan Sendi Plastis (Response 200) Input Sendi Plastis manual Pada SAP	YA
6	5-6-2023	Perhitungan kolom kuat balok lengkang Tambahkan Metode Analisis Pushover	YA
7	29-11-2023	Acc Sidang Sarjana	YA

SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir / Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Andreawan Ramadhan

NIM : 03011281722061

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*

Dengan ini menerangkan bahwa Laporan Tugas Akhir / Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut hingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Oleh karena itu yang bersangkutan direkomendasikan dapat mengikuti Ujian Sidang Sarjana/Komprehensif yang rencananya akan dilaksanakan pada:

Tanggal : Desember 2023

Tempat : Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Desember 2023

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
NIP. 197605092000122001

SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir / Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Andreawan Ramadhan

NIM : 03011281722061

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*

Dengan ini menerangkan bahwa Laporan Tugas Akhir / Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut hingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Oleh karena itu yang bersangkutan direkomendasikan dapat mengikuti Ujian Sidang Sarjana/Komprehensif yang rencananya akan dilaksanakan pada:

Tanggal : Desember 2023

Tempat : Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Desember 2023

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah

S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

SURAT KETERANGAN SELESAI REVISI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Penguji Tugas Akhir/Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Andreawan Ramadhan

NIM : 03011281722061

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*

Dengan ini menerangkan bahwa Revisi Tugas Akhir/Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut hingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Januari 2024

Dosen Penguji,



Dr. Ir. Maulid M. Iqbal, M.S.

NIP. 196009091988111001

SURAT KETERANGAN SELESAI REVISI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir/Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Andreawan Ramadhan
NIM : 03011281722061
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*

Dengan ini menerangkan bahwa Revisi Tugas Akhir/Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut hingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Januari 2024

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.

NIP. 197605092000122001

SURAT KETERANGAN SELESAI REVISI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir/Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Andreawan Ramadhan

NIM : 03011281722061

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*

Dengan ini menerangkan bahwa Revisi Tugas Akhir/Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut hingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Januari 2024
Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah,
S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039



**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**HASIL SEMINAR
SIDANG SARJANA/UJIAN TUGAS AKHIR**

Tanggal 21 Desember 2023

Nama Mahasiswa : Andreawan Ramadhan
NIM : 03011281722061
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok
Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah S.T., M.T.

TANGGAPAN / SARAN

Dosen Penguji : Dr. Ir. Maulid M. Iqbal, M.S.

No.	Review Dosen Penguji	Ringkasan Perbaikan Dokumen
1.	Ganti gambar dengan mengambil dari ATC-40 langsung	Gambar sudah diganti dengan gambar langsung dari ATC-40 pada halaman 8.
2.	Keterangan sumber pada gambar tidak perlu panjang, cukup nama dan tahun.	Sudah di perbaiki penulisan keterangan sumber pada setiap gambar.
3.	Tambahkan proses <i>input</i> beban gempa pada program SAP2000 di Bab 3	Sudah ditambahkan proses <i>input</i> beban gempa pada program SAP 2000 di halaman 33.
4.	Perbaiki penulisan daftar pustaka. Urutan penulisan harus sesuai abjad, penulisan tidak boleh huruf kapital semua	Sudah diperbaiki penulisan daftar pustaka di halaman 92
5.	Coba gunakan <i>tool</i> pada program SAP2000 untuk mendapatkan <i>masses and weights</i> struktur	Telah ditambahkan informasi berupa tabel dan grafik mengenai <i>masses and weights</i> struktur pada halaman 87. Kesimpulan pada Bab 5 juga ditambahkan mengenai <i>masses and weights</i> struktur.
6.	Berikan rekomendasi mengenai model struktur yang lebih ekonomis pada setiap wilayah gempa	Sudah ditambahkan Subbab mengenai rekomendasi struktur pada setiap wilayah gempa di halaman 88



**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

7.	Tambahkan saran mengenai optimasi pada model struktur untuk penelitian kedepannya	Sudah ditambahkan saran mengenai optimasi di bab 5 pada halaman 91.
8.	Perbaiki penulisan kalimat, tambahkan narasi pada gambar dan tabel, halaman jangan banyak yang kosong	Sudah diperbaiki kalimat, penambahan narasi, dan spasi pada halam telah dikurangi

Mengetahui,
Ketua Jurusan,

Palembang, Januari 2024

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Dr. Ir. Rosidawari, S.T., M.T.
NIP. 197605092000122001

Dr. Ir. Siti Aisvah Nurjannah
S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039



**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**HASIL SEMINAR
SIDANG SARJANA/UJIAN TUGAS AKHIR**

Tanggal 21 Desember 2023

Nama Mahasiswa : Andreawan Ramadhan
NIM : 03011281722061
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja Struktur Dengan Variasi Dimensi Balok
Dan Wilayah Gempa Dengan Metode Analisis *Pushover*
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

TANGGAPAN / SARAN

Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

No.	Review Dosen Penguji	Ringkasan Perbaikan Dokumen
1.	Ganti gambar dengan mengambil dari ATC-40 langsung	Gambar sudah diganti dengan gambar langsung dari ATC-40 pada halaman 8.
2.	Keterangan sumber pada gambar tidak perlu panjang, cukup nama dan tahun.	Sudah di perbaiki penulisan keterangan sumber pada setiap gambar.
3.	Tambahkan proses <i>input</i> beban gempa pada program SAP2000 di Bab 3	Sudah ditambahkan proses <i>input</i> beban gempa pada program SAP 2000 di halaman 33.
4.	Perbaiki penulisan daftar pustaka. Urutan penulisan harus sesuai abjad, penulisan tidak boleh huruf kapital semua	Sudah diperbaiki penulisan daftar pustaka di halaman 92
5.	Coba gunakan <i>tool</i> pada program SAP2000 untuk mendapatkan <i>masses and weights</i> struktur	Telah ditambahkan informasi berupa tabel dan grafik mengenai <i>masses and weights</i> struktur pada halaman 87. Kesimpulan pada Bab 5 juga ditambahkan mengenai <i>masses and weights</i> struktur.
6.	Berikan rekomendasi mengenai model struktur yang lebih ekonomis pada setiap wilayah gempa	Sudah ditambahkan Subbab mengenai rekomendasi struktur pada setiap wilayah gempa di halaman 88



**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

7.	Tambahkan saran mengenai optimasi pada model struktur untuk penelitian kedepannya	Sudah ditambahkan saran mengenai optimasi di bab 5 pada halaman 91.
8.	Perbaiki penulisan kalimat, tambahkan narasi pada gambar dan tabel, halaman jangan banyak yang kosong	Sudah diperbaiki kalimat, penambahan narasi, dan spasi pada halam telah dikurangi

Mengetahui,

Ketua Jurusan,

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Dosen Pembimbing I,

Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
NIP. 197605092000122001

Palembang, Januari 2023

Dosen Penguji,

Dr. Ir. Maulid M. Iqbal, M.S.
NIP. 196009091988111001