

TUGAS AKHIR

Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang Menggunakan Analisa *Pushover*

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Faza Tasywiqul Hilma
30.2018.00.072

Ghani Anzhari
30.2018.00.076

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2021**



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR

**Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang
menggunakan Analisa *Pushover***

Yang Diajukan Oleh :

Faza Tasywiqul Hilma

30.2018.00.072

Ghani Anzhari

30.2018.00.076

Telah disetujui oleh :

Semarang, Desember 2021
Pembimbing Utama

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D

Semarang, November 2021
Pembimbing Pendamping

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor : 03 / A.2 / SA – T / 1 / 2022

Pada hari ini, Senin tanggal 6 September 2021 berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
2. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

Nama : Faza Tasywiqui Hilma Nama : Ghani Anzhari
NIM : 30.2018.00.072 NIM : 30.2018.00.076

Judul : Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang menggunakan Analisa *Pushover*. Dengan tahapan sebagai berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	6 September 2021	ACC
2	Proposal	13 September 2021	ACC
3	Pengumpulan data	22 September 2021	ACC
4	Analisis data	22 September 2021	ACC
5	Penyusunan laporan	22 September 2021	ACC
6	Selesai laporan	13 Desember 2021	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak – pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D

Dosen Pembimbing II

M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

HALAMAN PENGESAHAN

Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang
menggunakan Analisa *Pushover*

Oleh :



Faza Tasywiquil Hilma

30.2018.00.072



Ghani Anzhari

30.2018.00.076

Telah disetujui dan disahkan di Semarang tanggal Desember 2021

Tim Penguji

1. Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D
2. M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Tanda Tangan

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Faza Tasywiqul Hilma

Nim : 30201700072

Nama : Ghani Anzhari

Nim : 30201700076

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang menggunakan Analisa Pushover”** Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Dengan surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Semarang, Desember 2021

Yang Membuat Pernyataan

Faza Tasywiqul Hilma

Ghani Anzhari



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan di bawah ini :

Nama : Faza Tasywiqul Hilma

Nim : 30201700072

Nama : Ghani Anzhari

Nim : 30201700076

Judul : Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang
menggunakan Analisa *Pushover*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Desember 2021

Yang membuat pernyataan

Faza Tasywiqul Hilma

Ghani Anzhari

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

Artinya: "Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan." (Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

لَهُ مُعَقِّبَاتٌ مِّنْ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ ۚ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنفُسِهِمْ ۚ

Artinya: "Bagi manusia ada malaikat-malaikat yang selalu mengikutinya bergiliran, dimuka dan dibelakangnya, mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri". (Q.S. Ar-Rad: 11)

وَمَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

Artinya : "Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga." (HR. Muslim, no. 2699)

مَنْ أَرَادَ الدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ, وَمَنْ أَرَادَ الْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ, وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

Artinya: "Barangsiapa yang menginginkan dunia maka hendaklah berilmu. Barangsiapa yang menginginkan akhirat, maka hendaklah dengan ilmu. Barangsiapa yang menginginkan keduanya, maka hendaklah dengan ilmu." (HR. Bukhari dan Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dan penulis mempersembahkannya kepada :

1. Kedua orang tua saya yang tercinta Bapak Fakhruddin dan Ibu Rofiqoh, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Kakak-kakak saya tersayang Ahmad Shidqul Wafa, Hiddatin Niha, Ita Mustafa, Noor Jayadi dan Khilyatin Ulin Noor, terimakasih atas semua dukungan dan doa-doanya.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., dan Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar membimbing saya dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah membekali ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya belum kami ketahui.
5. Ghani Anzhari selaku rekan seperjuangan yang telah bersama-sama berjuang dan bekerja keras dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2016, 2017, 2018 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terima kasih untuk kebersamaan kita selama 3,5 tahun ini, terima kasih atas doa, semangat dan motivasi kalian.

Faza Tasywiqul Hilma
302018000072

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dan penulis mempersembahkannya kepada :

1. Kedua orang tua saya yang tercinta Bapak Hari Dwikora Suwanto dan Ibu Ani Sulityawati, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Kakak-kakak saya tersayang Ganda Grandhitama dan Willy Randyatma, terimakasih atas semua dukungan dan doa-doanya.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., dan Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar membimbing saya dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah membekali ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya belum kami ketahui.
5. Faza Tasywiqul Hilma selaku rekan seperjuangan yang telah bersama-sama berjuang dan bekerja keras dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2016, 2017, 2018 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terima kasih untuk kebersamaan kita selama 3,5 tahun ini, terima kasih atas doa, semangat dan motivasi kalian.

Ghani Anzhari

30201800076

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah kita panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya. Tuhan semesta alam yang karena ridho-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **EVALUASI KINERJA BANGUNAN MENARA UNIVERSITAS SEMARANG MENGGUNAKAN ANALISA *PUSHOVER***. Shalawat dan salam semoga tetap terlimpah curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. beserta para sahabatnya.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Dengan selesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan masukan-masukan kepada penulis. Untuk itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik UNISSULA.
2. Yth. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.
3. Yth. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Yth. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.

5. Orang tua, keluarga, serta sahabat-sahabat dari kedua penulis atas dukungan dan serta bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan-kekurangan dari segi kualitas dan kuantitas maupun dari ilmu pengetahuan yang penyusun kuasai. Oleh karena itu, penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan laporan tugas kedepannya. dan semoga bermanfaat bagi institusi pendidikan untuk kedepannya.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Semarang, Desember 2021

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
ABSTRAK	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Definisi Gempa Bumi.....	5
2.2. Teori Pelat Tektonik.....	5
2.3. Peta Zona Gempa	7
2.4. Konsep Bangunan Tahan Gempa	9
2.5. SNI 1726 – 2019	9
2.5.1. Kategori Risiko Bangunan	9
2.5.2. Kelas Situs.....	12
2.5.3. Koefisien Kelas Situs	13
2.5.4. Desain Respon Spektrum	15
2.5.5. Desain Respon Spektrum	16
2.5.6. Waktu Getar Alami Struktur	16
2.5.7. Gaya Geser Dasar Gempa	18
2.5.8. Gaya Geser Dasar	19
2.5.9. Simpangan Antar Lantai.....	20
2.6. Peraturan SNI 1727 – 2020	21
2.6.1. Beban Mati Gedung	21
2.6.2. Beban Hidup Gedung.....	21
2.6.3. Beban Gempa	22
2.6.4. Beban Kombinasi Gedung	22
2.7. Analisis Ragam Gerak Bangunan	23
2.8. Ketidakberaturan Struktur	23
2.8.1. Ketidakberaturan Horizontal	23
2.8.2. Ketidakberaturan Vertikal	25

2.9. Analisis <i>Pushover</i>	26
2.10. <i>Pushover Analysis</i> Metode FEMA 356	27
2.10.1. Kinerja Struktur Metode FEMA 356	27
2.10.2. Titik Kinerja Struktur Metode FEMA 356	29
2.10.3. Titik Kinerja Struktur Metode FEMA 440	32
BAB III METODE ANALISIS	33
3.1. Pendahuluan	33
3.2. Pengumpulan Data	33
3.3. Tahapan Analisis Struktur	34
3.3.1. Studi Literatur	34
3.3.2. Pengumpulan Data	34
3.3.3. Keadaan dan Kondisi Tanah pada Bangunan yang Ditinjau	34
3.3.4. Pemodelan Struktur	35
3.3.5. Analisis Beban Gempa Pada Struktur	35
3.3.6. Analisis Hasil <i>Output</i> Struktur	35
3.3.7. Kontrol Struktur Gedung	36
3.3.8. Analisa <i>Pushover</i>	36
3.4. Diagram Alur	37
BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN	38
4.1. Pemodelan Struktur	39
4.2. Data Struktur Gedung	39
4.2.1. Konfigurasi Bangunan	39
4.2.2. Mutu Bahan Struktur	39
4.2.3. Data Elemen Struktur	40
4.3. Pembebanan Struktur	41
4.3.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	41
4.3.2. Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	42
4.3.3. Respon Gempa Elastis	42
4.4. Analisis Hasil <i>Output</i> Struktur	48
4.4.1. Analisis Berat Seismik Efektif Bangunan	48
4.4.2. Analisis Ragam Getak Struktur dan Waktu Getar Alami	49
4.4.3. Cek Berat Seismik Efektif Bangunan	49
4.4.4. Analisis Periode Fundamental Struktur	50
4.4.5. Perhitungan Koefisien Respon Seismik (<i>Cs</i>)	51
4.4.6. Perhitungan Gaya Geser Dasar Desain	52
4.4.7. Menentukan Profil perpindahan Rencana	52
4.4.8. Kontrol Translasi Struktur	53
4.5. Kontrol Struktur Gedung	54
4.5.1. Evaluasi Beban Gempa	54
4.5.2. Kontrol Simpangan Antar Lantai	59
4.5.3. Kontrol Stabilitas P-Delta Struktur	64
4.6. Analisa <i>Pushover</i>	68
4.6.1. Memodelkan Struktur	69
4.6.2. Hasil Analisis <i>Pushover</i>	74
4.6.3. FEMA (<i>Federal Emergency Management Agency</i>) 356	80
4.6.4. FEMA 440	85
4.6.5. Metode ASCE 41-13 NSP	87

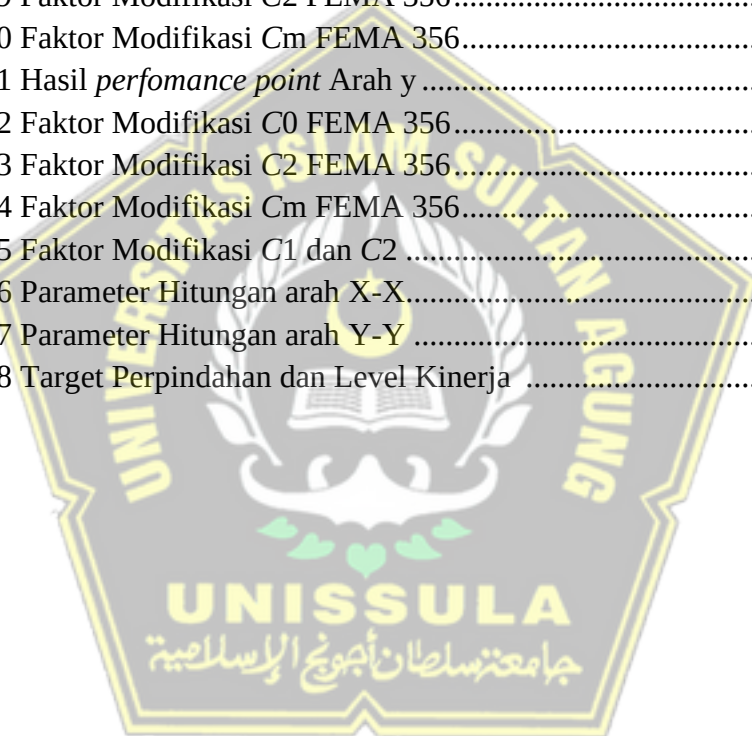
4.6.6. Perbandingan Perhitungan.....	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1 Kesimpulan.....	90
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan	10
Tabel 2.2 Faktor Daktilitas Struktur	11
Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa	12
Tabel 2.4 Klasifikasi Situs	12
Tabel 2.5 Klasifikasi Koefisien Situs F_a	14
Tabel 2.6 Klasifikasi Koefisien Situs F_v	14
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS	16
Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SD1	16
Tabel 2.9 Koefisien Pembatas (C_u)	17
Tabel 2.10 Nilai C_t dan X	17
Tabel 2.11 Simpangan Antar Tingkat Izin	20
Tabel 2.12 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung	21
Tabel 2.13 Tipe – tipe Ketidakberaturan Horizontal	23
Tabel 2.14 Tipe Ketidakberaturan Horizontal	25
Tabel 2.15 Kategori Bangunan dan Kondisi Bangunan Pasca Gempa metode FEMA 356.	28
Tabel 2.16 Faktor Modifikasi C_o FEMA 356	31
Tabel 2.17: Faktor Modifikasi C_2 FEMA 356	31
Tabel 2.18 Faktor Modifikasi C_m FEMA 356	31
Tabel 4.1 Konfigurasi Bangunan	39
Tabel 4.2 Tipe Plat Lantai	40
Tabel 4.3 Tipe Kolom	40
Tabel 4.4 Konfigurasi Bangunan	40
Tabel 4.5 Konfigurasi Bangunan	40
Tabel 4.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa	40
Tabel 4.7 Faktor Keutamaan Gempa	43
Tabel 4.8 Respon Percepatan Gempa	46
Tabel 4.9 Faktor Reduksi Gempa	47
Tabel 4.10 Berat Seismik Efektif Bangunan	48
Tabel 4.11 Ragam gerak dan Waktu Getar Alami	49
Tabel 4.12 Berat Seismik Efektif Bangunan	50
Tabel 4.13 Perhitungan Profil Perpindahan Rencana	53
Tabel 4.14 Modal <i>Direction Factor</i>	54
Tabel 4.15 Gaya Dasar Statik Ekuivalen Dan Dinamik Respon Spektrum Arah X	55
Tabel 4.16 Gaya Dasar Statik Ekuivalen Dan Dinamik Respon Spektrum Arah Y	56
Tabel 4.17 Rekapitulasi Faktor Skala	57

Tabel 4.18 Hasil Gaya Geser Gempa Design Menara Bangunan Universitas Semarang Vx dan Vy	58
Tabel 4.19 <i>maximum story displacement</i> Arah X	60
Tabel 4.20 <i>maximum story displacement</i> Arah Y	60
Tabel 4.21 <i>maximum story displacement</i> Arah X	62
Tabel 4.22 <i>maximum story displacement</i> Arah Y	63
Tabel 4.23 Stabilitas Struktur P-Delta Arah X	66
Tabel 4.24 Stabilitas Struktur P-Delta Arah Y	67
Tabel 4.25 Hasil Analisa <i>Pushover</i> Arah X-X.....	74
Tabel 4.26 Hasil Analisa <i>Pushover</i> Arah Y-Y.....	78
Tabel 4.27 Hasil <i>performance point</i> Arah x	80
Tabel 4.28 Faktor Modifikasi C0 FEMA 356.....	81
Tabel 4.29 Faktor Modifikasi C2 FEMA 356.....	81
Tabel 4.30 Faktor Modifikasi Cm FEMA 356.....	82
Tabel 4.31 Hasil <i>performance point</i> Arah y	83
Tabel 4.32 Faktor Modifikasi C0 FEMA 356.....	83
Tabel 4.33 Faktor Modifikasi C2 FEMA 356.....	84
Tabel 4.34 Faktor Modifikasi Cm FEMA 356.....	85
Tabel 4.35 Faktor Modifikasi C1 dan C2	86
Tabel 4.36 Parameter Hitungan arah X-X.....	87
Tabel 4.37 Parameter Hitungan arah Y-Y	88
Tabel 4.38 Target Perpindahan dan Level Kinerja	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Interaksi Pelat Tektonik	6
Gambar 2.2 Mekanisme Pergerakan Pelat	6
Gambar 2.3 Peta Zona Gempa Indonesia Berdasarkan PGA	7
Gambar 2.4 Peta Zona gempa Berdasarkan Parameter S_s	7
Gambar 2.5 Peta Zona Gempa Berdasarkan Parameter S_1	8
Gambar 2.6 Peta Zona Gempa Periode Panjang	8
Gambar 2.7 Desain Kurva Respon Spektrum	15
Gambar 2.8 Persamaan Waktu Getar Alami Struktur	18
Gambar 2.9 Macam- Macam Sistem Struktur	18
Gambar 2.10 Tingkat Simpangan Antar Lantai	20
Gambar 2.11 Titik Performa	27
Gambar 2.12 Kategori Tingkat Kinerja Struktur (FEMA 356).	27
Gambar 3.1 Diagram alir analisa kinerja struktur	37
Gambar 4.1 Denah Lantai 2 dan parkir Lantai 2	38
Gambar 4.2 Pemodelan Program <i>Software</i> ETABS 2018	38
Gambar 4.3 Desain Respon Spektrum Elastik Wilayah Semarang	46
Gambar 4.4 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah X	55
Gambar 4.5 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah Y	56
Gambar 4.6 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah X	57
Gambar 4.7 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah Y	58
Gambar 4.8 Hasil Gaya Geser Gempa <i>Design</i> Menara Bangunan Universitas Semarang V_x dan V_y	59
Gambar 4.9 Simpangan Antar Tingkat Arah X	62
Gambar 4.10 Simpangan Antar Tingkat Arah Y	63
Gambar 4.11 Kontrol efek P-Delta Arah X	66
Gambar 4.12 Kontrol efek P-Delta Arah Y	67
Gambar 4.13 Titik Pusat Massa	69
Gambar 4.14 Beban Gempa Arah Y-Y	69
Gambar 4.15 Beban Gempa Arah X-X	70
Gambar 4.16 <i>Gravity Nonlinier Case</i>	70
Gambar 4.17 <i>Pushover Case</i> Arah X-X	71
Gambar 4.18 <i>Pushover Case</i> Arah Y-Y	71
Gambar 4.19 Sendi Plastis Pada Balok	72
Gambar 4.20 Sendi Plastis Pada Kolom	73
Gambar 4.21 <i>Running Program</i>	73
Gambar 4.22 Tingkatan Plastifikasi sendi plastis elemen	75
Gambar 4.23. <i>Pushover</i> arah X step 2 & step 3	76
Gambar 4.24. <i>Pushover</i> arah X step 4 & step 5	76
Gambar 4.25. Kurva kapasitas arah X-X	77
Gambar 4.26. <i>Pushover</i> arah Y-Y step 1, 2 dan 3	78

Gambar 4.27. <i>Pushover</i> arah Y-Y step 4, 5 dan 6.....	78
Gambar 4.28. <i>Pushover</i> arah Y-Y step 7 dan 8.....	79
Gambar 4.29. Kurva kapasitas arah X-X	79
Gambar 4.30. Kurva <i>Pushover</i> arah X-X	80
Gambar 4.31. Kurva <i>Pushover</i> arah Y-Y	83
Gambar 4.32. Kurva <i>Pushover</i> arah X-X.....	87
Gambar 4.33. Kurva <i>Pushover</i> arah Y-Y	88



ABSTRAK

Di Indonesia bangunan Gedung dan non Gedung harus di desain mampu menahan gaya gempa, hal ini disebabkan karena Indonesia di lewati 2 lempeng yang dapat menyebabkan gempa tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo–Australia sehingga Indonesia menjadi daerah rawan. Tingkat kerusakan selama terjadi gempa tersebut menggambarkan seberapa besar kinerja dari struktur yang didesain. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menentukan kategori kinerja struktur pada Bangunan Menara Universitas Semarang selama gempa berlangsung sesuai dengan prinsip desain berbasis gaya.

Dalam Analisa menggunakan *Pushover* menggunakan software ETABS v18.0.2 didapatkan kurva kapasitas, kurva kapasitas ini adalah hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap struktur yang digunakan dalam menentukan kinerja struktur menggunakan beberapa metode. Pada Metode FEMA 356 ini target perpindahan didapatkan 0,2686 m dengan level kinerja *immediate occupancy*, FEMA 440 hasil dari target perpindahan dan level kinerja ini hasilnya sama dengan FEMA 356. Hal ini disebabkan karena nilai factor modifikasi C1 dan C2 bernilai sama. Pada metode ASCE 41-13 NSP adalah metode yang sudah masuk secara *default* terdapat pada ETABS v18.0.2 dimana untuk nilai perpindahannya adalah 0,1946 m dengan level kinerjanya adalah *immediate occupancy*.

Berdasarkan hasil yang didapat Tingkat kinerja yang dihasilkan oleh metode ASCE 41-13 NSP belum tentu aman jika dibandingkan oleh metode FEMA 356 atau FEMA 440 karena nilai *drift* yang dihasilkan oleh ASCE 41-13 NSP memiliki nilai lebih kecil jika dibandingkan dengan metode FEMA. Secara keseluruhan struktur berada pada kategori *Immediate Occupancy* yang mempunyai arti bahwa suatu kondisi dimana struktur masih aman untuk digunakan secara operasional setelah gempa itu terjadi (*damage state*).

Kata Kunci : *Pushover*, Level Kinerja, Gaya Gempa Desain.

ABSTRACT

In Indonesia, buildings and non-buildings must be designed to be able to withstand earthquake forces, this is because Indonesia is crossed by 2 plates that can cause tectonic earthquakes, namely the Eurasian plate and the Indo-Australian plate so that Indonesia becomes a vulnerable area. The level of damage during the earthquake describes how big the performance of the designed structure. The purpose of this final project is to determine the category of structural performance in the Semarang University Tower Building during an earthquake in accordance with the principle of force-based design.

In the analysis using Pushover using ETABS v18.0.2 software, the capacity curve is obtained, this capacity curve is the relationship between the basic shear force and the displacement of the roof structure which is used in determining the performance of the structure using several methods. In the FEMA 356 method, the displacement target is 0.2686 m with an immediate occupancy performance level, FEMA 440 results from the displacement target and this performance level is the same as FEMA 356. This is because the modification factor values C1 and C2 are the same. The ASCE 41-13 NSP method is a method that has been entered by default in ETABS v18.0.2 where the displacement value is 0.1946 m with the performance level being immediate occupancy.

Based on the results obtained, the performance level produced by the ASCE 41-13 NSP method is not certainly safe when compared to the FEMA 356 or FEMA 440 methods because the drift value generated by the ASCE 41-13 NSP has a smaller value when compared to the FEMA method. Overall the structure is in the Immediate Occupancy category which means that a condition where the structure is still safe for operational use after the earthquake occurs (damage state).

Keywords : Pushover, Performance Level, Design Earthquake Force.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana gempa bumi dapat menelan banyak korban jiwa. Sejarah mencatat terjadinya gempa paling luar biasa selama 50 tahun terakhir terjadi di Bio Chile pada tahun 1960 dengan ukuran gempa 9,5 Skala Richter (SR) yang disebut gempa Valvidia. Gempa paling luar biasa dalam 50 tahun yang terjadi di Indonesia berada di Aceh pada tahun 2004 yang membawa aliran deras dengan kekuatan gempa sebesar 9,1 Skala Richter (SR).

Gempa dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu gempa vulkanik dan gempa tektonik. Gempa vulkanik terjadi karena aktivitas vulkanik yang menyemburkan magma dari dalam gunung berapi. Gempa tektonik terjadi mengingat perkembangan lempeng kerak bumi atau karena garis patahan bumi. Sebagian dari lempeng kerak bumi dapat menyebabkan gempa tektonik adalah patahan san andreas, lempeng Eurasia dan lempeng Indo – Australia. Di Indonesia sendiri bangunan Gedung dan non Gedung harus di desain harus mampu menahan gaya gempa yang besar, hal ini disebabkan karena Indonesia di lewati 2 lempeng yang dapat menyebabkan gempa tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo – Australia sehingga indonesia menjadi daerah rawan terjadinya gempa. Untuk itu perlu adanya pengetahuan yang luas mengenai kegempaan dan teknologi gempa di negara - negara maju.

Desain berbasis gaya atau *force based design* adalah desain gempa yang biasanya dipakai dalam mendesain bangunan yang mampu menahan gempa yang mengutamakan kekuatan dan kontrol pada gaya. Di Indonesia konsep *force based design* diatur dalam peraturan SNI 1726:2019. Konsep desain berbasis gaya ini memiliki tujuan, jika terjadi gempa yang besar diharapkan bangunan tidak mengalami kerutuhan (*collapse*). Dalam pengembangan desain bangunan tahan gempa diperkenalkannya konsep desain berbasis kinerja (*Perfomance Based Design*). Konsep ini mengutamakan kekuatan kontrol tegangan dan mengadopsi perpindahan struktur sebagai pendekatan konsep ini.

Desain Berbasis Kinerja ini menekankan pada kinerja struktur selama terjadinya reaksi gempa. Selama terjadi respon gempa tersebut dapat mengalami kerusakan bahkan keruntuhan. Tingkat kerusakan selama respon gempa tersebut menggambarkan seberapa besar kinerja dari struktur (atau performa struktur) yang didesain. Tingkat kinerja struktur dapat dibedakan menjadi beberapa kategori sesuai dengan tingkat kerusakan struktur. Peraturan Desain Berbasis Kinerja yang umum dipergunakan yaitu ASCE 41-13 NSP, FEMA 356 dan FEMA 440.

Penulis akan menghitung nilai gaya geser dasar desain dan meramalkan berapa nilai gaya yang diberikan pada Bangunan Menara Universitas Semarang ini selama berlangsungnya gempa terjadi sesuai dengan prinsip desain berbasis gaya. Dari hasil desain yang digunakan dalam struktur, maka untuk mengetahui apakah struktur yang didesain tersebut telah mencapai kinerja yang diinginkan, struktur akan diverifikasi dengan *Pushover Analysis*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Berapakah gaya gempa *design* untuk Bangunan Menara Universitas Semarang memakai respon spectrum SNI 1726:2019 ?
2. Bagaimana kinerja struktur dari Bangunan Menara Universitas Semarang memakai Analisa *Pushover* ?

1.3 Maksud dan Tujuan

1. Untuk mengetahui gaya gempa *design* untuk Bangunan Menara Universitas Semarang dan beban gempa respon spektrum SNI 1726-2019.
2. Untuk mengetahui kurva *Pushover* yang dipakai sebagai evaluasi kinerja struktur terhadap gaya gempa rencana.
3. Untuk Menentukan tingkat kinerja pada Bangunan Menara Universitas Semarang.

1.4 Batasan Masalah

Tugas Akhir yang membahas Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang menggunakan Analisa *Pushover* ini memiliki batasan masalah berikut :

1. Struktur gedung berfungsi sebagai fasilitas pendidikan yang terdiri dari 11 lantai.
2. Peraturan yang digunakan antara lain :
 - a. Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)
 - b. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)
 - c. Persyaratan Beton Struktur untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)
3. Pembebanan gedung meliputi :
 - a. Beban mati yang terdiri dari berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung terpasang.
 - b. Beban hidup yang terdiri dari beban diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung.
 - c. Beban lateral yang terdiri dari beban gempa sesuai dengan SNI 1726-2019.
4. Struktur akan dimodelkan menggunakan bantuan *software* ETABS v18.0.2
5. Evaluasi kinerja struktur menggunakan 3 metode yaitu ASCE 41-13 NSP, FEMA 356 dan FEMA 440.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 Bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, serta sistematika laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Bab Tinjauan Pustaka akan menjelaskan mengenai teori berkaitan dengan kinerja struktur, rumus – rumus yang digunakan dalam kinerja struktur, teori dan rumus yang diperoleh dari buku dan jurnal.

BAB III METODE ANALISIS

Pada Bab Metode Analisis akan dijelaskan metode yang dipergunakan untuk mengumpulkan data - data yang di perlukan pada analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam Bab Hasil dan Pembahasan membahas tentang perhitungan beban, Analisa struktur, serta pengecekan terhadap persyaratan yang sudah ditentukan. Hasil perhitungan selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil program struktur di modelkan menggunakan ETABS v18.0.2.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari hasil analisis Gedung. Selain itu juga berisikan beberapa hal yang disarankan, khususnya untuk analisis struktur bangunan gedung menggunakan ETABS.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran kerak bumi yang menimbulkan guncangan pada bangunan atau benda yang berada di atasnya. Getaran kerak bumi dapat terjadi akibat pergerakan pelat bumi, akibat aktivitas gunung berapi dan akibat longsor tanah. Gempa yang diakibatkan gerakan pelat bumi disebut gempa tektonik. Gempa yang diakibatkan aktivitas gunung berapi disebut gempa vulkanis. Gempa yang diakibatkan longsor atau ledakan disebut gempa terban. (Dewi, 2009).

Diantara sebagian tipe gempa tersebut, gempa yang sangat luas serta besar pengaruhnya merupakan gempa tektonik. Gempa ini berlangsung akibat gesekan antara pelat bumi yang menyebabkan letupan ataupun pelepasan energi regangan. Besarnya magnitude gempa yang ditimbulkan dipengaruhi oleh besarnya energi yang dilepaskan akibat gesekan tersebut.

2.2. Teori Pelat Tektonik

Pelat tektonik adalah bagian keras dari kerak bumi yang mengapung di atas *asthenosphere* cair serta panas. Hal ini mengakibatkan pelat tektonik bebas bergerak dan berhubungan satu sama lain. Daerah perbatasan pelat tektonik ini memiliki kondisi tektonik aktif yang menyebabkan terbentuknya dataran tinggi, gunung berapi dan gempa bumi.

Menurut teori pelat tektonik, lapisan atas bumi terbagi menjadi beberapa pelat tektonik besar seperti terlihat pada Gambar 2.1, dan pelat tektonik tersebut cenderung bergerak satu dengan yang lainnya. Wujud pergerakan pelat tektonik tersebut secara garis besar dikelompokkan menjadi 3 mekanisme yaitu:

- *Convergent plate boundaries* (Saling mendekat)

Pergerakan pelat yang saling mendekat akan menimbulkan tumbukan dimana salah satu dari pelat akan tenggelam ke bawah pelat yang lain. Di zona tersebut akan terbentuk suatu palung dalam yang umumnya adalah jalan gempa bumi yang cukup kuat. Selain

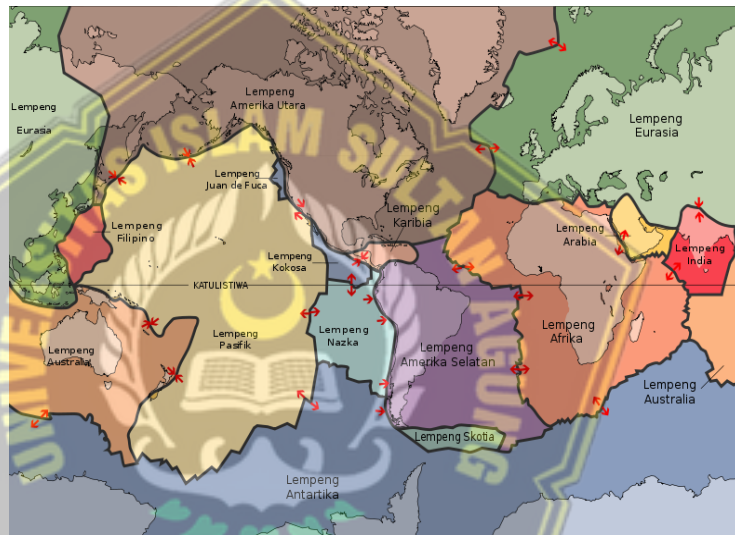
itu juga akan terbentuk rangkaian aktifitas magmatik dan pengendapan di belakang jalur tunjangan tersebut.

- *Divergent plate boundaries* (Saling Menjauh)

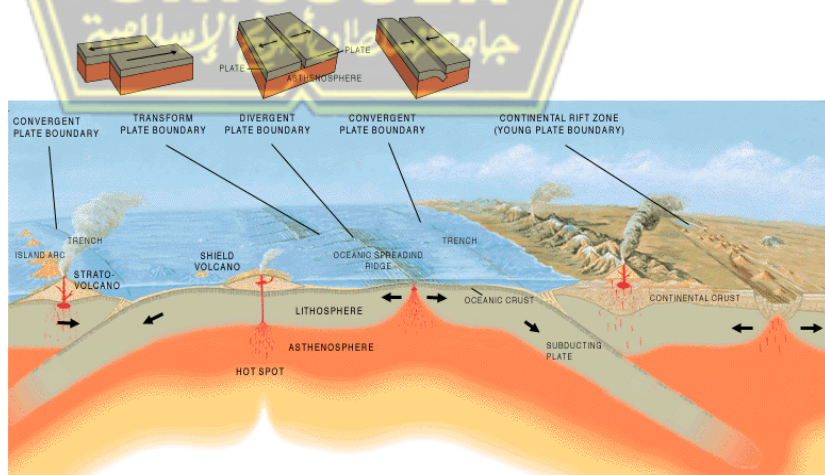
Pergerakan pelat menjauh satu sama lain mengakibatkan kerak bumi menipis dan meregang yang pada akhirnya melepaskan material baru dari mantel sehingga terbentuk jalur magma atau gunung api.

- *Transform plate boundaries* (Saling Bergeser)

Gerak sesar mendatar merupakan pergerakan pelat tektonik saling bergesekan bertentangan arah pada posisi sejajar dan sama datar.



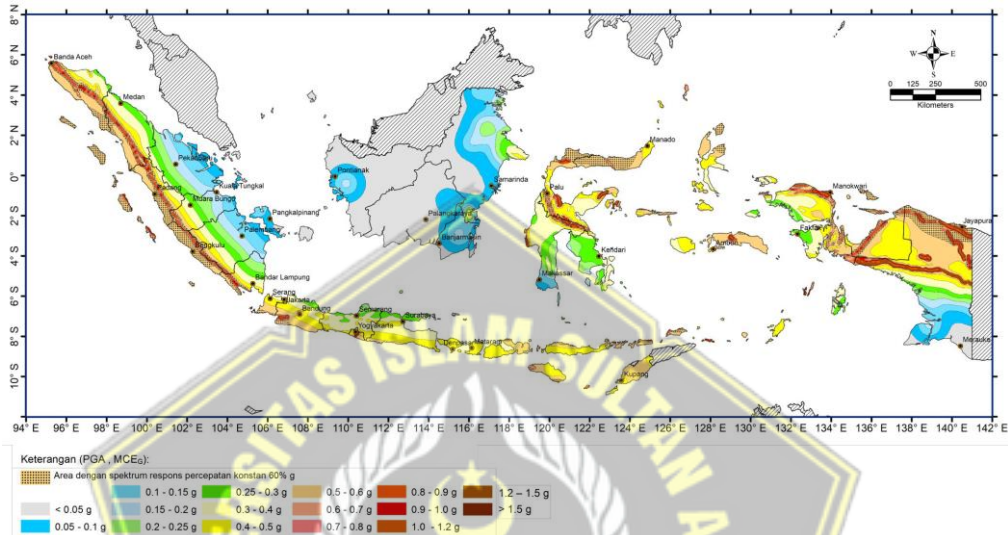
Gambar 2.1 Interaksi Pelat Tektonik



Gambar 2.2 Mekanisme Pergerakan Pelat

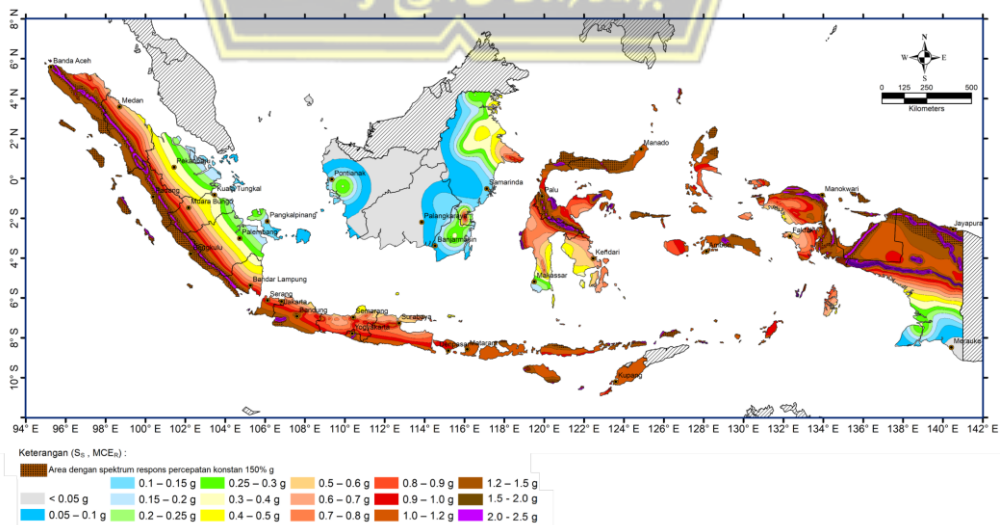
2.3. Peta Zona Gempa

Diantara acuan penting yang digunakan untuk merancang bangunan tahan gempa di Indonesia adalah peta zona gempa yang diatur pada peraturan SNI 1726-2019, peta gempa ini dipetakan berdasarkan PGA (*Peak Ground Acceleration*), seperti terlihat pada Gambar 2.3 di bawah ini

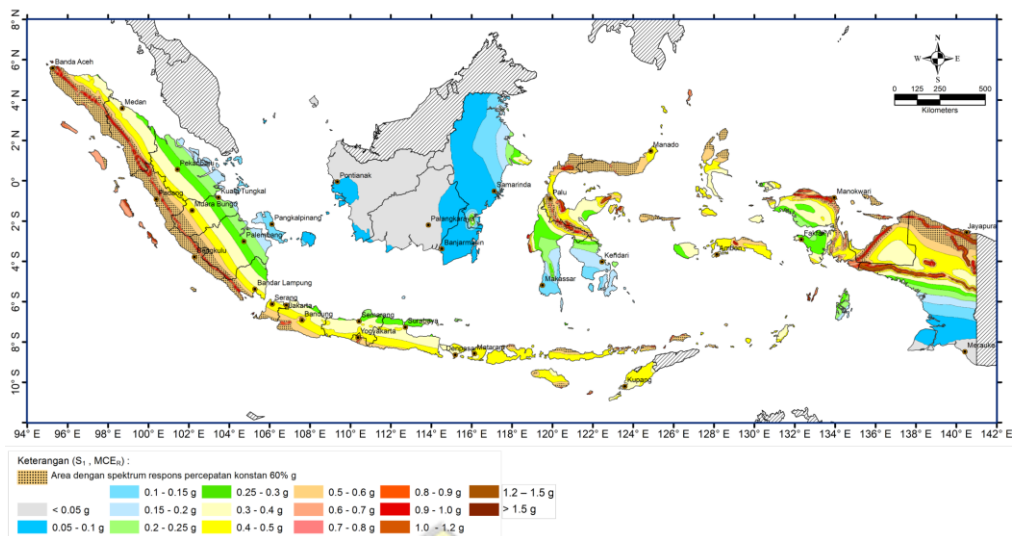


Gambar 2.3 Peta Zona Gempa Indonesia Berdasarkan PGA

Parameter S1 (percepatan respon spektral MCE periode 1 detik) dan Ss (percepatan respon spektral MCE periode pendek) menjadi salah satu penentu peta zona gempa di Indonesia sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5

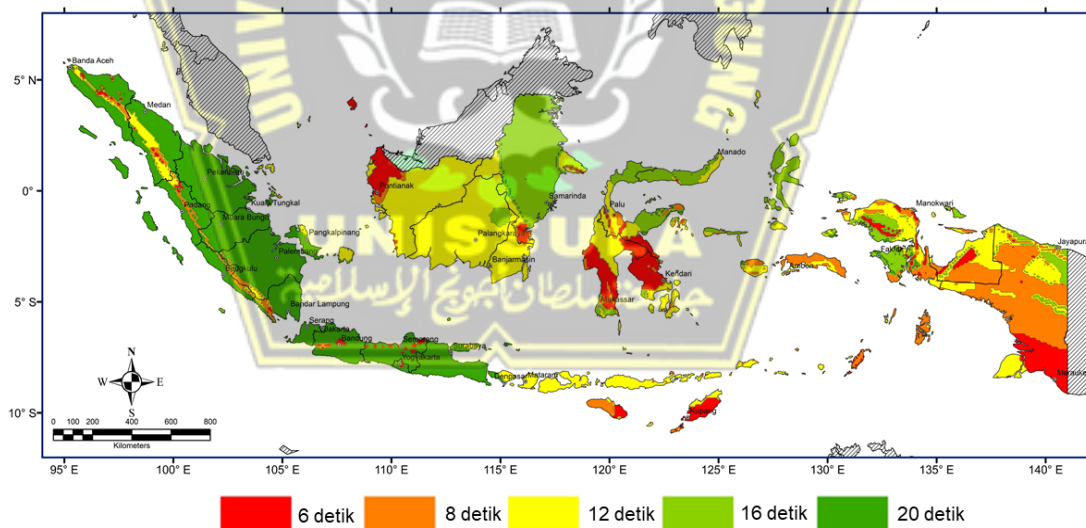


Gambar 2.4 Peta Zona Gempa Berdasarkan Parameter Ss



Gambar 2.5 Peta Zona Gempa Berdasarkan Parameter S₁

Peta zona gempa periode panjang yang terlihat pada Gambar 2.6 disusun berdasarkan analisis PSHA (*probabilistic seismic hazard analysis*) dan hazard deagregasi di spectral 2 detik dengan probabilitas 50 tahun lebih dari 2% dan redaman 5%.



Gambar 2.6 Peta Zona Gempa Periode Panjang

2.4. Konsep Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan yang di rancang untuk tahan gempa mempunyai kriteria khusus untuk dapat mencegah dan meminimalisir terjadinya kegagalan struktur (*failure*) pada saat gempa terjadi. Berikut adalah beberapa konsep mendasar dalam merencanakan bangunan yang tahan terhadap gempa:

1. Saat diterpa gempa dengan skala ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan (*servicable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen non struktural bangunan.
2. Saat diterpa gempa dengan skala medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen non struktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Saat diterpa gempa dengan skala besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan non struktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa. (Iswandi Imran & Fajar Hendrik, 2013).

2.5. SNI 1726 - 2019

Aturan khusus dalam perencanaan bangunan tahan gempa berkekuatan tinggi di Indonesia diatur dalam SNI 1726 – 2019, aturan ini dibuat untuk memastikan bangunan tidak mengalami keruntuhan serius ketika terjadi gempa sehingga dapat mengurangi resiko adanya korban jiwa.

2.5.1. Kategori Risiko Bangunan

Tingkat kategori resiko dari bangunan dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.1 yang terdapat pada SNI 1726 – 2019, dan nantinya dampak dari gempa rencana perlu direduksi menggunakan *R/I_e* yang terdapat pada Tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadamkebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	IV
---	----

Tabel 2.2 Faktor Daktilitas Struktur

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^a	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa

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

2.5.2. Kelas Situs

Klasifikasi dari kelas situs dibedakan berdasarkan V_s (*shear wave velocity*), N (*Standard Penetration Test*) dan S_u (*Undrained Shear Strength*) sebagaimana terlihat pada Tabel 2.4. Dari ketiga data tersebut harus ada minimal 2 data yang dipenuhi.

Tabel 2.4 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :			
1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $W \geq 40\%$, 3. Kuat geser nirair $S_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan / atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Untuk menghitung nilai N , V_s dan S_u sampai kedalaman 30 meter digunakan persamaan – persamaan yang ada dibawah ini :

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

d_i = ketebalan tiap lapisan diantara 0 - 30 m.

v_{si} = nilai kecepatan gelombang geser di lapisan I

$\sum_{i=1}^n d_i = 30$ meter

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

N_i = hasil uji penetrasi standar yang sesuai SNI 4153:2008

$$S_u = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{S_{ui}}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

S_{ui} = kuat geser niralir rata - rata lapisan tanah ke-i di 30 meter teratas

2.5.3. Koefisien Kelas Situs

Pada Tabel 2.5 dapat dilihat bahwa nilai S_s menjadi parameter penentu nilai koefisien situs F_a sedangkan pada tabel 2.6 terlihat bahwa parameter penentu untuk nilai koefisien situs F_v adalah nilai S_1 .

Tabel 2.5 Klasifikasi Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, SS					
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS = 1,25$	$SS \geq 1,5$
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^b					

Tabel 2.6 Klasifikasi Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_1					
	$SS \leq 1$	$SS = 0,2$	$SS = 0,3$	$SS = 0,4$	$SS = 0,5$	$SS \geq 0,6$
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^b					

Persamaan dibawah ini digunakan untuk menentukan S_{ms} (MCE spectral response acceleration for short periods) dan S_{m1} (MCE spectral response acceleration at 1 s) dengan menggunakan nilai F_a dan nilai F_v .

$$S_{ms} = F_a \times S_s \quad (2.4)$$

$$S_{m1} = F_v \times S_1 \quad (2.5)$$

S_{D1} (Design earthquake spectral response acceleration parameter at 1s), dan S_{DS} (Design earthquake spectral response acceleration parameter at short period) dapat ditentukan nilainya dengan menggunakan persamaan:

$$S_{DS} = 2/3 S_{ms} \quad (2.6)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{m1} \quad (2.7)$$

2.5.4. Desain Respon Spektrum

Berikut ini adalah beberapa persamaan yang digunakan untuk menentukan kurva respon spektrum:

Nilai $T < T_0$

$$S_a = 0,4 \times S_{DS} \quad (2.8)$$

Nilai $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \quad (2.9)$$

Nilai $T_s \leq T \leq T_L$

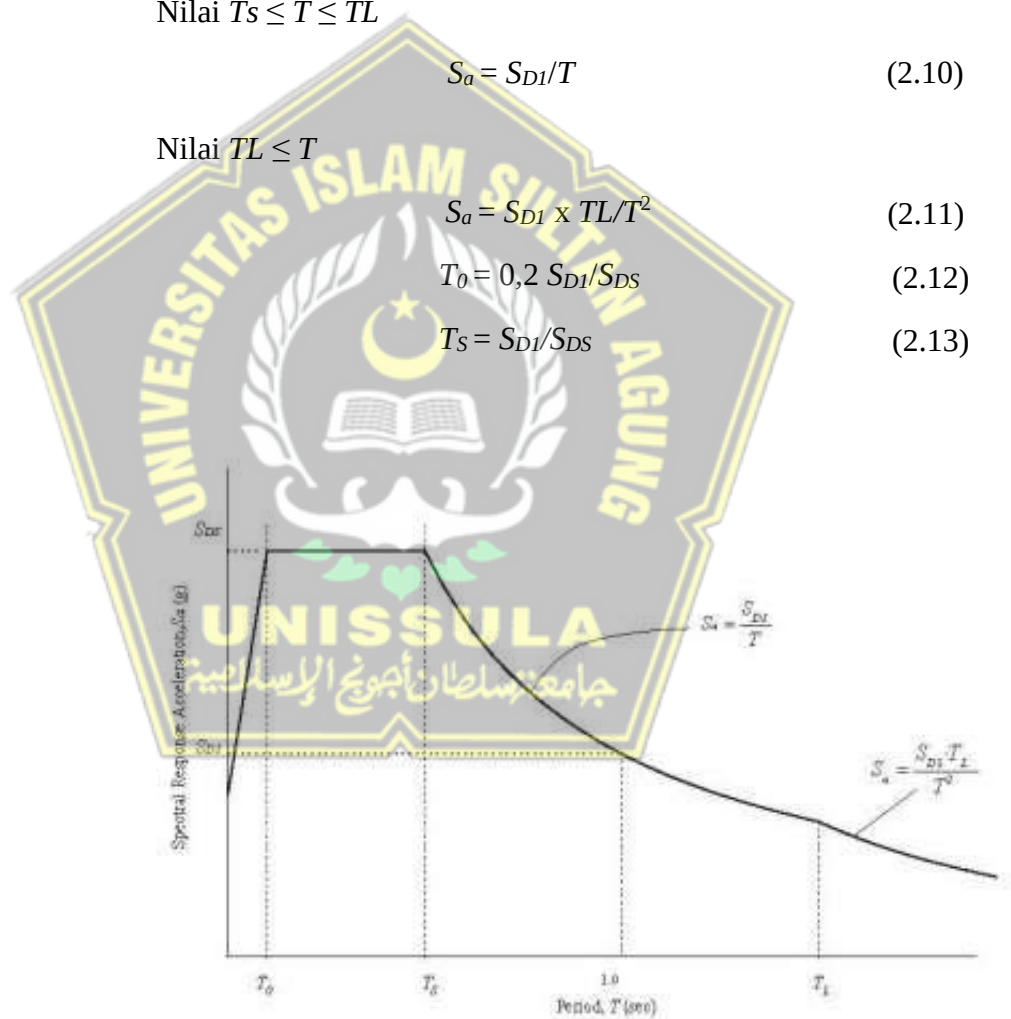
$$S_a = S_{D1}/T \quad (2.10)$$

Nilai $T_L \leq T$

$$S_a = S_{D1} \times T_L/T^2 \quad (2.11)$$

$$T_0 = 0,2 S_{D1}/S_{DS} \quad (2.12)$$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} \quad (2.13)$$



Gambar 2.7 Desain Kurva Respon Spektrum

2.5.5. Desain Respon Spektrum

Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} dengan memilih kategori risiko terberat. Semakin besar kategori risiko yang didapatkan maka semakin wajib pula resiko gempa yang harus diperhitungkan.

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

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 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

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

2.5.6. Waktu Getar Alami Struktur

Untuk perancangan bangunan tahan gempa, waktu getar alami struktur yang dapat diambil dari hasil analisis *software* seperti Etabs merupakan salah satu parameter penting yang perlu ditentukan, dengan syarat hasil kali koefisien harus lebih besar dari periode getar yang ada.

$$T < C_u \times T_a \quad (2.14)$$

Tabel 2.9 Koefisien Pembatas (C_u)

Parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien Pembatas (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Untuk struktur dengan ketinggian 12 tingkat keatas maka digunakan rumus berikut ini:

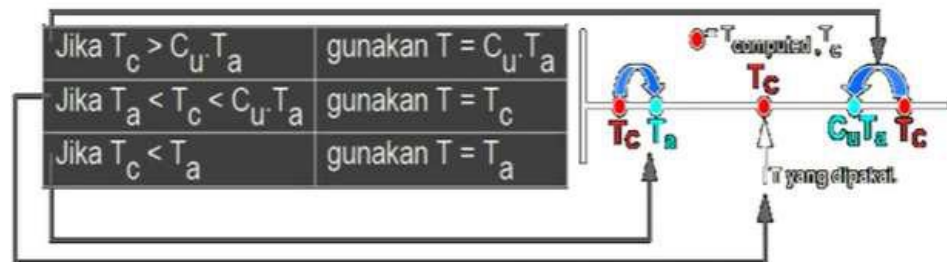
$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.15)$$

Nilai dari X dan C_t dari persamaan diatas dapat dilihat pada Tabel 2.10. yang diatur pada SNI 1726 – 2019.

Tabel 2.10 Nilai C_t dan X

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya - Rangka baja pemikul momen - Rangka Beton Pemikul Momen	0,0724 0,0466	0,8 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

Untuk mendapatkan nilai periode alami struktur yang digunakan (T) maka ditentukan dengan persamaan pada Gambar 2.8 berikut ini



Gambar 2.8 Persamaan Waktu Getar Alami Struktur

2.5.7. Gaya Geser Dasar Gempa

Gaya geser dasar gempa dapat diperhitungkan setelah jenis sistem struktur yang digunakan sudah ditentukan, diantara beberapa macam sistem struktur dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.9



Gambar 2.9 Macam- Macam Sistem Struktur

Rumus perhitungan gaya geser gempa bumi:

$$V = C_s \times W \quad (2.16)$$

Rumus perhitungan koefisien respon seismik (C_s):

$$C_s = S_{DS} / (R/I_e) \quad (2.17)$$

Menentukan nilai C_s jika $T \leq T_L$

$$C_s = S_{DS} / T(R/I_e) \quad (2.18)$$

Menentukan nilai C_s jika $T > T_L$

$$C_s = S_{DS} \cdot T_L / T^2(R/I_e) \quad (2.19)$$

Nilai C_s diatas tidak boleh kurang dari persamaan berikut ini :

$$C_s = 0,0445.S_{Ds}.I_e \geq 0,01 \quad (2.20)$$

Bila daerah struktur memiliki nilai $S_1 \geq 0,6g$, maka nilai C_s tidak diperbolehkan kurang dari persamaan berikut ini :

$$C_s = \frac{0,5.S_1}{(R/I_e)} \quad (2.21)$$

Selanjutnya gaya seismic lateral F_x (kN) disemua tingkat harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$F_x = C_{vx}.V \quad (2.22)$$

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{l=1}^n w_l h_l^k} \quad (2.23)$$

Nilai k didapat berdasarkan perhitungan berikut ini :

$$\text{Jika nilai } T < 0,5 \text{ maka nilai } k = 1 \quad (2.24)$$

$$\text{Jika nilai } T > 2 \text{ maka nilai } k = 2 \quad (2.25)$$

$$\text{Jika } 0,5 < T < 2 \text{ maka nilai } k = 0,75 + 0,5 T \quad (2.26)$$

2.5.8. Gaya Geser Dasar

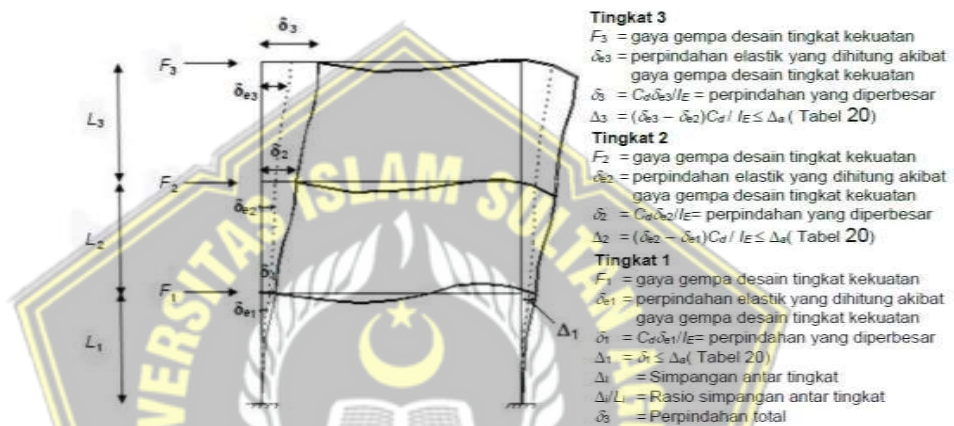
Untuk merencanakan gaya geser dasar maka perlu menggunakan pendekatan periode waktu getar alami struktur (T) yang dihitung pada setiap arah gaya lateral ekuivalen.

Apabila nilai kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) < 100% geser dasar (v), maka nilai tersebut harus dikalikan dengan V/V_t .

2.5.9. Simpangan Antar Lantai

Untuk menjamin kestabilan struktur maka simpangan antar lantai perlu diperhitungkan sehingga dapat menjamin keamanan bagi penghuni bangunan tersebut. Rumus perhitungan simpangan antar lantai yang merupakan perbandingan antara defleksi pusat massa lantai teratas dan lantai terbawah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\delta_r = \frac{C_s \delta_z}{I_e} \quad (2.27)$$



Gambar 2.10 Tingkat Simpangan Antar Lantai

Nilai dari simpangan antar lantai harus kurang dari izin simpangan antar tingkat yang telah ditetapkan sebagaimana terdapat pada Tabel 2.11 berikut :

Tabel 2.11 Simpangan Antar Tingkat Izin

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.	0,025 h_{sx}^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}^c
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

2.6. Peraturan SNI 1727 – 2020

SNI 1727 – 2020 adalah kaidah perencanaan bangunan yang mengatur pembebanan pada struktur gedung.

2.6.1 Beban Mati Gedung

Total berat keseluruhan konstruksi bangunan yang terpasang disebut sebagai beban mati, beban ini terdiri dari :

- Beban dari material konstruksi :
 - Data berat jenis dan berat material.
- Beban peralatan layan tetap :
 - Peralatan-peralatan tambahan yang terintegrasi dan selalu tersedia selama masa layan bangunan tersebut, seperti: alat plambing, ventilasi, M/E dll.

2.6.2 Beban Hidup Gedung

Beban hidup merupakan beban-beban yang disebabkan oleh aktifitas pengguna bangunan, bukan merupakan beban material gedung dan beban lingkungan seperti beban hujan, angin, gempa dll

Tabel 2.12 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					

2.6.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah suatu beban pada struktur yang mengikuti pergerakan tanah akibat gempa bumi (gempa tektonik atau gempa vulkanik). Semua kaidah perencanaan beban gempa mengacu pada SNI 1726 – 2019 diantaranya adalah faktor keutamaan gedung, percepatan puncak muka tanah, zona gempa, waktu getar alami dan faktor reduksi gempa.

2.6.4 Beban Kombinasi Gedung

Beban kombinasi gedung harus direncanakan untuk dapat menghasilkan kekuatan struktur gedung yang sanggup menahan beban terfaktor. Berikut adalah beban kombinasi gedung menurut pedoman SNI 1727 – 2020 :

- 1,4D
- $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- $1,2D + 1W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $0,9D + 1W$
- $1,2D + E_v + E_h + L + 0,2S$
- $0,9D + E_v + E_h$

2.7. Analisis Ragam Gerak Bangunan

Untuk dapat mengetahui nilai ragam getar alami suatu struktur bangunan maka analisis ragam gerak bangunan perlu dilakukan. Partisipasi massa terkombinasi pada ragam getar alami struktur adalah lebih besar dari 90% massa sebenarnya dan arah gerakannya sendiri pada 2 mode pertama adalah bertlansasi arah orthogonal dan pada mode ke-3 adalah berotasi.

2.8. Ketidakberaturan Struktur

Ketidakberaturan struktur gedung mengacu pada aturan SNI 1726 – 2019 dan ASCE 7 - 16.

2.8.1. Ketidakberaturan Horizontal

Tabel 2.13 Tipe – Tipe Ketidakberaturan Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan KDS
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D

2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakteraturan sistem nonparallel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

2.8.2. Ketidakberaturan Vertikal

Tabel 2.14 Tipe - Tipe Ketidakberaturan Vertikal

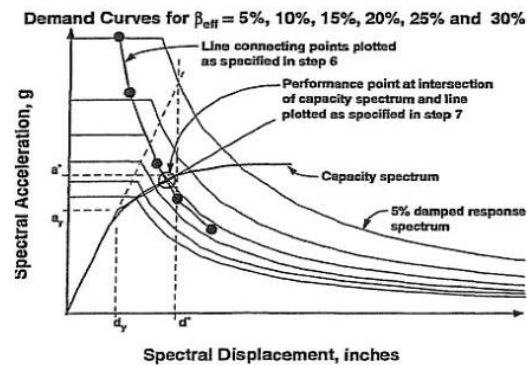
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan KDS
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16 Pasal 7.3.3.1	D, E, dan F E, dan F
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di Bawahnya	Pasal 7.3.3.3 Pasal 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, dan F D, E, dan F D, E, dan F

5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Pasal 7.3.3.1 Tabel 16	E, dan F D, E, dan F
5b	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Pasal 7.3.3.1 Pasal 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

2.9. Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* adalah suatu analisis yang tercantum kedalam konsep perencanaan berbasis kinerja. Hasil analisis ini didapatkan dengan memberikan beban statik lateral dengan nilai beban yang ditingkatkan secara bertahap sehingga dapat mencapai nilai simpangan struktur yang diharapkan atau bahkan struktur mengalami keruntuhan.

Hasil yang didapatkan dari analisis tersebut adalah gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan (*displacement*). Nilai-nilai ini divisualisasikan ke dalam kurva kapasitas untuk dapat memberikan gambaran dari perilaku struktur. Hasil dari analisis ini dapat mengkategorikan tingkat kinerja struktur berdasarkan pada titik performa (*performance point*) yang diperoleh dari titik temu antara kurva *reduce demand* dan *spectrum capacity*, selain itu juga dapat menunjukkan elemen struktur mana yang mengalami kerusakan.



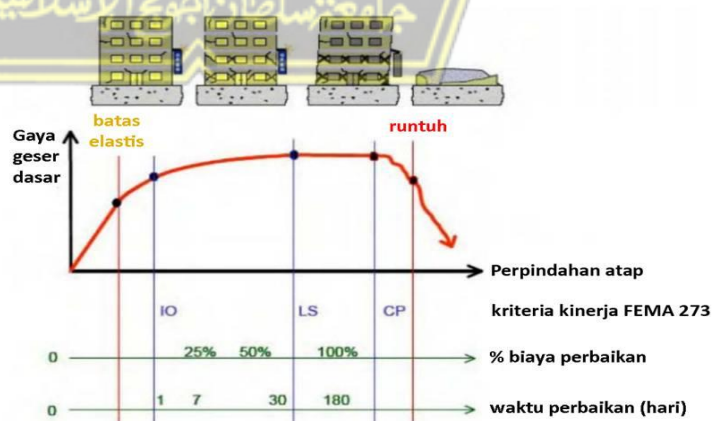
Gambar 2.11 Titik Performa

2.10. Pushover Analysis Metode FEMA 356

DCM (*Displacement Coefficient Method*) adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan kinerja suatu struktur. Konsep dasar dari Analisis *Pushover* adalah dengan memberikan beban lateral terhadap struktur dengan nilai beban yang terus meningkat secara bertahap (*incremental*) mencapai target tertentu atau struktur runtuh. Kurva kapasitas diperoleh dari analisis *pushover* yang kemudian diformulasikan dengan metode tertentu, diantaranya yaitu DCM (*Displacement Coefficient Method*).

2.10.1. Kinerja Struktur Metode FEMA 356

Menurut FEMA 356, kinerja suatu struktur bangunan saat gempa terjadi dibagi menjadi beberapa macam kategori sebagaimana terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kategori Tingkat Kinerja Struktur (FEMA 356).

Untuk kondisi bangunan dan kategori bangunan pasca gempa dapat dilihat pada Tabel 2.20 berikut ini :

Tabel 2.15 Kategori Bangunan dan Kondisi Bangunan Pasca Gempa Metode FEMA 356.

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>Operational</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non struktural. Secara spesifik hal ini ditandai dengan tidak ada pergeseran permanen pada bangunan, sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya, sedikit retak dan semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal.	
<i>Life Safety</i>	Dalam katagori ini berarti bangunan pasca gempa terjadi beberapa kerusakan komponen struktur dan kekuatan serta kekakuannya berkurang. Struktur masih mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul beban-beban yang terjadi pada ambang keruntuhan. Komponen non structural masih ada tetapi tidak dapat berfungsi dan dapat digunakan kembali apabila telah dilakukan perbaikan.	Fasilitas-fasilitas umum, Gedung perkantoran, Perumahan, Gedung dll.
<i>Immediate Occupancy</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural. Kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi sebelum struktur dilanda gempa. Pada komponen non struktural, peralatan, dan isi gedung umumnya masih aman, tetapi secara operasional tidak dapat bekerja karena kegagalan mekanik atau kurangnya utilitas.	Rumah sakit, Gudang bahan bakar/bahan berbahaya dll.

2.10.2. Titik Kinerja Struktur Metode FEMA 356

Metode perpindahan FEMA 356 memungkinkan untuk menghitung numerik langsung dari perpindahan keseluruhan maksimum dalam suatu struktur. Langkah ini dapat dilakukan dengan mengganti respon elastis sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 sehingga didapatkan total perpindahan maksimum (elastik dan inelastik) yang disebut dengan target perpindahan.

Keadaan elastik bangunan diperhitungkan dengan menetapkan waktu getar efektif (T_e) yang didapat dengan Persamaan 2.28.

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.28)$$

Dimana :

T_e = waktu getar efektif

T_1 = waktu getar elastik

K_i = kekakuan lateral elastik

K_e = kekakuan lateral efektif

Kekakuan lateral efektif ditentukan oleh perilaku struktur dan sangat bergantung pada kurva bilinear dari kurva kapasitasnya. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$K_e = \frac{0,6 \times V_y}{0,6 \times \Delta_y} \quad (2.29)$$

Dimana :

Δ_y = nilai jarak geser dasar pada saat leleh dari idealisasi kurva *pushover* ke bilinear

V_y = nilai gaya geser dasar saat leleh dari idealisasi kurva *pushover* ke bilinear

Target perpindahan diperoleh dengan memodifikasi respon elastik linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien perpindahan menggunakan Persamaan 2.30.

$$\delta_T = C_o C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2.30)$$

Dimana :

T_e = waktu getar efektif

T = target perpindahan

C_o = faktor modifikasi perpindahan spektral untuk perpindahan atap/puncak (lantai teratas tidak digunakan). Biasanya faktor partisipasi ragam pertama digunakan atau berdasarkan Tabel 2.21

C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan yang dihitung dengan perpindahan inelastik maksimum dalam respon elastik linier

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e \geq T_s \quad (2.31)$$

$$C_1 = [1,0 + (R-1) T_s/T_e] / R, \text{ untuk } T_e < T_s \quad (2.32)$$

C_2 = faktor modifikasi yang mewakili pengaruh bentuk histeresis pada perpindahan maksimum diambil berdasarkan Tabel 2.22

C_3 = koefisien yang digunakan untuk menghitung pembesaran lateral efek P-Delta. $C_3 = 1$ jika bangunan pada kondisi kekakuan pasca lelehnya memiliki kekakuan positif (kurva meningkat), sedangkan jika perilaku pasca-hasil negatif (kurva menurun) maka menggunakan persamaan:

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.33)$$

S_a = percepatan respon spektrum yang berhubungan dengan waktu getar alami efektif dari arah tinjauan

R = rasio kuat elastik terhadap kuat leleh yang dihitung

$$R = \frac{S_a}{v_y/W} C_m \quad (2.34)$$

G = percepatan gravitasi 9,81 m/detik²

C_m = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif

Tabel 2.16 Faktor Modifikasi C_o FEMA 356

<i>Values for Modification Factor C_o¹</i>			
<i>Number of Stories</i>	<i>Shear Buildings²</i>		<i>Other Buildings</i>
	<i>Triangular Load Pattern (1,1, 1,2, 1,3)</i>	<i>Uniform Load Pattern</i>	<i>Any Load Pattern</i>
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

Tabel 2.17: Faktor Modifikasi C_2 FEMA 356

<i>Values for Modification Factor C_2</i>				
<i>Structural Performance Level</i>	$T \leq 0,1 \text{ second}^3$		$T \geq T_s \text{ second}^3$	
	<i>Framing Type 1¹</i>	<i>Framing Type 2²</i>	<i>Framing Type 1¹</i>	<i>Framing Type 2²</i>
<i>Immediate Occupancy</i>	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Life Safety</i>	1,3	1,0	1,1	1,0
<i>Collapse Prevention</i>	1,5	1,0	1,2	1,0

Tabel 2.18 Faktor Modifikasi C_m FEMA 356.

<i>No. Of Stories</i>	<i>Concrete Moment Frame</i>	<i>Concrete Shear Wall</i>	<i>Concrete Pier-Spandrel</i>	<i>Steel Moment Frame</i>	<i>Steel Concentric Braced Frame</i>	<i>Steel Eccentric Braced Frame</i>	<i>Other</i>
1-2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
3 or more	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0

Catatan : C_m akan diambil sebagai 1,0 jika periode fundamental (T) > 1,0 detik.

2.10.3. Titik Kinerja Struktur Metode FEMA 440

Metode FEMA 440 secara garis besar adalah pengembangan dari metode sebelumnya yaitu FEMA 356 sehingga perhitungan di metode FEMA 440 ini sama dengan FEMA 356, yaitu untuk mencari hasil akhir nilai target perpindahan ($\delta\tau$). Perbaikan atau modifikasinya diberikan untuk mendapatkan parameter C1 dan C2. Rumus perhitungan parameter C1 dan C2 dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$C1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (2.35)$$

$$C2 = 1 + \frac{1}{800} \left[\frac{R-1^2}{T_e} \right] \quad (2.36)$$

Dimana :

α = Konstanta (nilainya) = 130,90 dan 60 untuk *site* katagori B,C dan D)

Catatan :

- a. waktu getar < 0.2 detik maka nilai C1 = 0.2. Jika waktu getar > 1.0 detik maka C1 = 1.
- b. waktu getar < 0.2 detik maka nilai C2 = 0.2 detik. Jika waktu getar > 0.7 detik maka C2 = 1.

BAB III

METODE ANALISIS

3.1 Pendahuluan

Tugas Akhir ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkatan performa atau suatu struktur pada Bangunan Menara Universitas Semarang yang berlokasi pada Jalan Arteri Soekarno Hatta Tlogosari Semarang Jawa Tengah. Dalam analisis permodelan struktur Bangunan Menara Universitas Semarang menggunakan bantuan software ETABS 2018, analisis kontrol terhadap struktur bangunan ini menggunakan acuan- acuan yang berlaku di Indonesia sebelum nantinya akan dilakukan Analisis *Pushover*. Acuan yang di pakai dalam kontrol Bangunan Menara Universitas Semarang adalah sebagai berikut :

- a. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)
- b. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)
- c. Persyaratan Beton Struktur untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)

Dalam Analisis *Pushover* ini menghasilkan kurva kapasitas struktur yang menggambarkan total gaya geser dasar akibat gempa pada struktur yang kemudian di evaluasi kinerjanya menggunakan 3 metode yaitu ASCE 41-13 NSP, FEMA 356 dan FEMA 440.

3.2 Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data Struktur Bangunan Menara Universitas Semarang ini menggunakan Data Sekunder. Dimana dalam pengumpulan data dan informasi diperoleh melalui media perantara atau secara tidak langsung. Data yang didapat adalah :

- a. Gambar Denah
- b. Gambar Dimensi Kolom dan Balok
- c. Data Wilayah Gempa pada Bangunan ini berdiri
- d. Data Pembebanan Struktur
- e. Kuat Tekan Beton (F_c')
- f. Kuat Leleh Tulangan (F_y)
- g. Metode Analisa dan Desain yang digunakan

3.3 Tahapan Analisis Struktur

Pada tahap analisis struktur ini menggunakan Analisis Pushover dengan program bantuan ETABS 2018, dimana pada pemodelan menghasilkan gaya – gaya seperti gaya aksial, momen dan gaya geser yang bekerja pada struktur tersebut akibat pembebanan yang bekerja. Adapun langkah – langkah dalam Analisis *Pushover* pada ETABS sebagai berikut :

3.3.1 Studi Literatur

Untuk studi literatur yang digunakan pada laporan berupa buku dan jurnal, seperti Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*), Acuan yang dipergunakan sebagai kontrol struktur bangunan yang di pakai di Indonesia dan jurnal yang berkaitan dengan Analisis *Pushover*.

3.3.2 Pengumpulan Data

Studi Pengumpulan data dan informasi pada Bangunan Menara Universitas Semarang yang akan diteliti berupa data sekunder. Data ini diperoleh melalui gambar *Shop Drawing* yang nanti akan dimodelkan 3D yang selanjutnya akan dianalisis.

3.3.3 Keadaan dan Kondisi Tanah pada Bangunan yang Ditinjau

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 5 dapat diketahui bahwa klasifikasi situs tanah dikategorikan SA (Batuan Keras), SB (Batuan), SC (Tanah Keras), SD (Tanah Sedang), SE (Tanah Lunak) dan SF (Tanah Khusus yang Membutuhkan Invertigasi Geoteknik Spesifik dan analisis Respon Spesifik situs). Tanah berdasarkan parameter kelas situs yaitu kecepatan rata – rata gelombang geser, tahanan penetrasi

standart kapasitas rata – rata , dan kuat geser aliran tanah rata – rata. Pada Bangunan Menara Universitas Semarang ini dikategorikan sebagai Tanah Sedang (SD).

3.3.4 Pemodelan Struktur

Pemodelan Bangunan Menara Universitas Semarang ini menggunakan ETABS 2018 dengan memasukan data – data gambar perencanaan sesuai dengan *Shop Drawing*.

3.3.5 Analisis Beban Gempa Pada Struktur

Pada analisis beban gempa pada struktur ini dilakukan setelah tahap pemodelan telah dilaksanakan. Persyaratan analisis beban gempa untuk desain bangunan tahan gempa ini tercantum pada SNI 1726:2019. Adapun langkah – langkah yang perlu dilakukan untuk sesuai dengan peraturan SNI 1726 : 2019 adalah :

- a. Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan gempa.
- b. Menentukan kelas situs.
- c. Menentukan pembebanan struktur.
- d. Parameter respon spektral dari koefisien situs.
- e. Menentukan faktor reduksi gempa

3.3.6 Analisis Hasil Output Struktur

Setelah melakukan tahap pemodelan dan analisis beban gempa menggunakan ETABS, maka akan mendapatkan data – data baru yang kemudian akan di analisis sebelum dilakukanya kontrol struktur gedung. Adapun analisis hasil output struktur yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Analisis berat seismik efektif bangunan
- b. Analisis waktu getar dan ragam getar struktur
- c. Cek berat seismik efektif bangunan
- d. Analisis periode fundamental struktur
- e. Perhitungan koefisien respon seismik
- f. Perhitungan gaya geser dasar desain
- g. Kontrol translasi struktur

3.3.7 Kontrol Struktur Gedung

Setelah proses analisis struktur dengan data output ETABS yang digunakan, maka dilakukan proses kontrol struktur gedung. Adapun proses kontrol dalam struktur gedung ini adalah:

- a. Evaluasi beban gempa
- b. Kontrol simpangan antar lantai
- c. Cek stabilitas P-delta

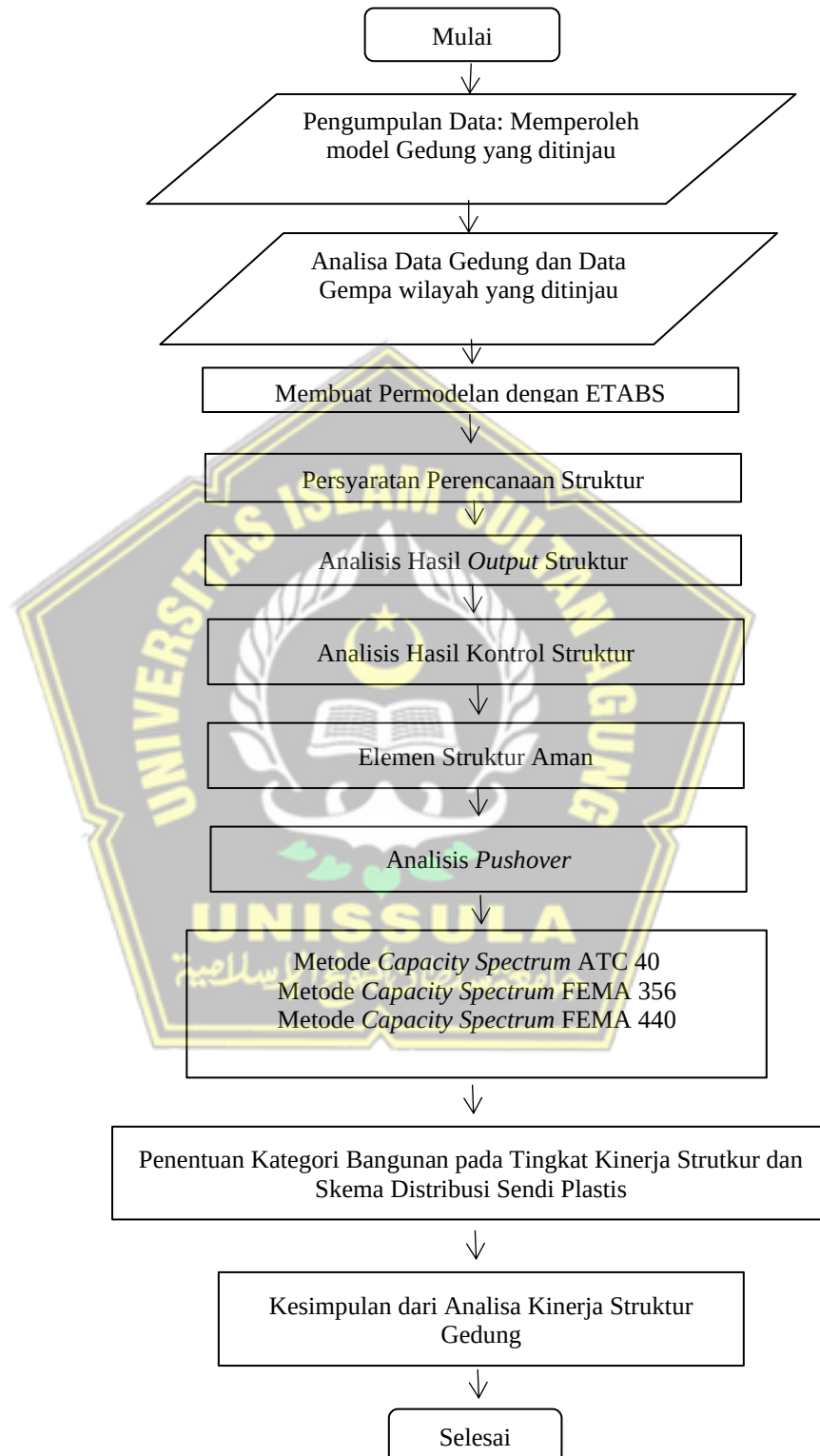
3.3.8 Analisa *Pushover*

Setelah proses analisis struktur dengan data output ETABS yang digunakan, maka dilakukan proses kontrol struktur gedung. Pada laporan Tugas Akhir ini Analisa *Pushover* menjadi tema inti dalam penulisan. Dari Analisa *Pushover* ini akan dapat diketahui kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur. Langkah-langkah dalam melakukan Analisa *Pushover* ini adalah :

- a. Menentukan kurva kapasitas pada Bangunan:
 1. Kurva Kapasitas (Arah X-X)
 2. Kurva Kapasitas (Arah Y-Y)
- b. Evaluasi struktur :
 1. Metode ASCE 41-13 NSP
 2. FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) 356
 3. FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) 440

3.4 Diagram Alur

Berikut ini adalah tahapan tersebut yang digambarkan dalam diagram alir analisa kinerja struktur Bangunan Menara Universitas Semarang.



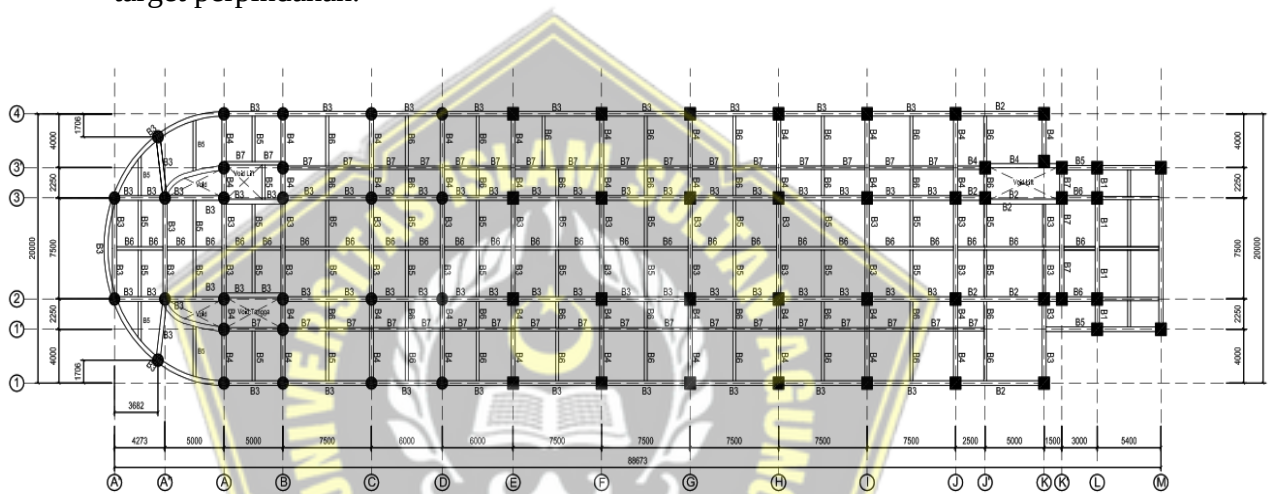
Gambar 3.1 Diagram Alir Analisa Kinerja Struktur

BAB IV

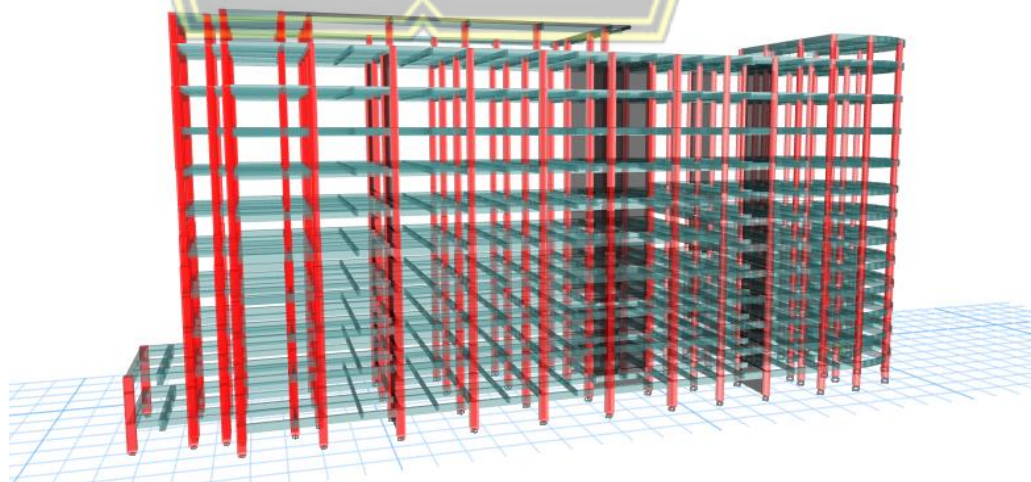
PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

Pada pemodelan proyek Bangunan Menara Universitas Semarang ini menggunakan program *software* ETABS 2018 yang mengacu pada data – data *shop drawing* pada gedung dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Pemodelan ini nantinya berfungsi untuk menggambarkan respons perilaku non linier yaitu kurva *pushover*, dimana kurva ini digunakan untuk menentukan target perpindahan.



Gambar 4.1 Denah Lantai 1 dan Parkiran Lantai 1



Gambar 4.2 Pemodelan Program *Software* ETABS 2018

4.2 Data Struktur Gedung

4.2.1 Konfigurasi Bangunan

Konfigurasi bangunan berisikan mengenai tinggi struktur yang ada, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Konfigurasi Bangunan

No.	Story	Elevation (m)
1	Atap	44,61
2	Top Floor	41,61
3	Lantai 9	37,41
4	Lantai 8	33,21
5	Lantai 7	29,01
6	Parkir Lantai 8	25,5
7	LT 6	24,81
8	Parkir Lantai 7	22,3
9	Lantai 5	20,61
10	Parkir Lantai 6	19,1
11	Lantai 4	16,41
12	Parkir Lantai LT 5	15,9
13	Parkir Lantai 4	12,7
14	Lantai 3	12,21
15	Parkir Lantai 3	9,5
16	Lantai 2	8,01
17	Parkir Lantai 2	6,3
18	Lantai 1 + Parkir Lantai 1	3,1

4.2.2 Mutu Bahan Struktur

Material beton bertulang yang digunakan memiliki ketentuan sebagai berikut :

a. Mutu Beton

- Mutu Beton, f_c' : 30 MPa (K375)
- Modulus Elastisitas Beton, E_c : $4700 \sqrt{f_c'}$: $4700 \sqrt{30}$
: 25742.9602 MPa
- Angka Poisson, ν : 0.2

b. Mutu Baja Tulangan

- Tulangan Pokok, f_y : 420 MPa ($d > 10 \text{ mm}$)
- Mutu Baja Tul. Sengkang, f_y : 280 MPa ($d < 10 \text{ mm}$)
- Modulus Elastisitas Baja, E_c : 200000 MPa

4.2.3 Data Elemen Struktur

a. Plat Lantai

Tipe plat lantai yang digunakan dalam Bangunan Menara Universitas Semarang adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tipe Plat Lantai

No.	Tipe Plat Lantai	Tebal (mm)
1	S1	150
2	S2	120

b. Kolom

Tipe kolom yang digunakan dalam Bangunan Menara Universitas Semarang sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tipe Kolom

No.	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	800 x 1000
2	K2	700 x 900
3	K3	600 x 800
4	K4	Ø 900
5	K5	Ø 800
6	K6	Ø 700

c. Dinding Geser

Tipe dinding geser yang digunakan dalam Bangunan Menara Universitas Semarang sebagai berikut :

Tabel 4.4 Tipe Dinding Geser

No.	Dinding Geser	Tebal (mm)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	SW	300	7,5	44,61

d. Balok

Tipe balok yang digunakan dalam Bangunan Menara Universitas Semarang sebagai berikut :

Tabel 4.5 Tipe Balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1	600 x 1200
2	B2	450 x 900
3	B3	450 x 800
4	B4	350 x 650
5	B5	250 x 650
6	B6	250 x 600
7	B7	250 x 450

4.3 Pembebanan Struktur

Desain pembebanan diambil sesuai dengan SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain. Untuk beban gempa desain diambil sesuai dengan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dengan wilayah gempa Semarang.

4.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati (DL) adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. (SNI 1727-2020). Berikut ini adalah beban mati yang bekerja pada struktur atas :

- Beban mati tambahan per m² pada lantai
 - Adukan 4 cm : 84 kg/m²
 - Keramik 1 cm : 24 kg/m²
 - Plafon dan penggantung : 18 kg/m²
 - MEP : 50 kg/m²
 - Total : 176 kg/m² : 1.73 kN/m²
- Beban mati balok ruangan
 - Beban balok : 250 kg/m²
 - Tinggi Dinding : 3 m
 - Total : 250 x 3 kg/m²
: 750 kg/m² : 7.358 kN/m²

- Beban mati balok atap

Beban balok	: 250 kg/m ²
Tinggi Dinding	: 1.5 m
Total	: 250 x 1.5 kg/m ²
	: 375 kg/m ² : 3.679 kN/m ²

4.3.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (LL) adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. (SNI 1727:2020). Beban hidup yang digunakan tidak dikaitkan dengan faktor reduksi. Berikut rincian beban hidup yang dibebankan pada lantai per m² :

- Berat tempat parkir : 1.92 kN/m²
- Berat ruang kelas : 3.83 kN/m²
- Berat koridor lantai pertama dan berat koridor di atas lantai pertama : 4.79 kN/m²

4.3.3 Respon Gempa Elastis

Respon Gempa pada desain berbasis kinerja ini digunakan respon gempa yang dihitung sesuai SNI 1726:2019. Pada SNI 1726:2019 respon gempa didesainkan probabilitas terjadinya gempa yaitu 2% dalam kurun waktu 50 tahun atau gempa periode ulang 500 tahun ($2/3 \times S_{ms}$). Adapun langkah – langkah perhitungan sesuai dengan SNI 1726:2019 adalah :

1. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Pada Bangunan Menara Universitas Semarang ini didesain sebagai gedung sekolah atau fasilitas pendidikan, bahwa bangunan ini dikategorikan termasuk ke dalam resiko IV dengan memiliki nilai faktor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1,50.

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 yang sesuai dengan Tabel 3 dan Tabel 4 pada SNI 1726:2019.

Tabel 4.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk tetapi tidak dibatasi untuk : - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energy dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.	IV

Tabel 4.7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I_e</i>)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2. Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 bahwa parameter kelas situs tanah adalah kecepatan rata – rata gelombang geser, tahanan penetrasi standart kapasitas rata – rata , dan kuat geser aliran tanah rata – rata. Pada lokasi Bangunan Menara Universitas Semarang ini didirikan di Kota Semarang bahwa diasumsikan jenis tanah atau kelas situs dikategorikan ke dalam tanah sedang (SD).

3. Menentukan Kombinasi Pembebanan untuk Metode Ultimit

Berdasarkan peraturan yang ditetapkan pada pasal 4.2.2.1 mengenai kombinasi beban dasar dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik yang terdapat di pasal 4.2.2.3 SNI 1726:2019, kombinasi pembebanan ini nantinya akan dimasukkan kedalam pemodelan ETABS yang akan diproses analisis. Kombinasi pembebanan yang akan dimasukkan sebagai berikut :

- $1,4D$
- $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- $0,9D + 1,0W$
- $1,2D + E_v + E_h + L$
- $0,9D - E_v + E_h$

Keterangan :

D	: Beban mati	R	: Beban hujan
L	: Beban hidup	E	: Pengaruh beban seismik
L_r	: Beban hidup tereduksi	W	: Beban angin

4. Parameter Respon Spektral

Untuk penentuan respons spektrum dapat diambil dari data yang sudah disediakan oleh Pekerjaan Umum dengan menggunakan data dari website <http://puskim.pu.go.id/> atau <http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/> dengan cara memasukan koordinasi lokasi Bangunan Menara Universitas Semarang yang sudah direncanakan. Dengan memasukan lokasi bangunan dapat diperoleh parameter gempa dan grafik Respon Spektrum seperti dibawah ini :

- Lokasi	: Semarang
- Jenis Tanah	: Tanah Sedang
- Kategori Resiko	: IV
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	: 1.50
- Perc. Batuan dasar periode 0.2 dt (S_s)	: 0,804
- Perc. Batuan dasar periode 1.0 dt (S_1)	: 0,354
- Klasifikasi Situs	: SD
- Fak. Koefisien situs periode 0.2 dt (F_a)	: 1.179
- Fak. Koefisien situs periode 1.0 dt (F_v)	: 1,946

1. Parameter respon percepatan pada periode 2.0 dt (S_{MS})

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.936 \times 0.804 = 0.947 \text{ g}$$

2. Parameter respon percepatan pada periode 1.0 dt (S_{M1})

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 0,354 \times 1.946 = 0.690 \text{ g}$$

3. Parameter spektral percepatan pada periode 0 dt (S_{DS})

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} 0.947 = 0.631 \text{ g}$$

4. Parameter spektral percepatan pada periode 1.0 dt (S_{D1})

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} 0.690 = 0.46 \text{ g}$$

5. Perhitungan spektrum percepatan (S_a)

Untuk $T < T_0$ maka, $S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0})$

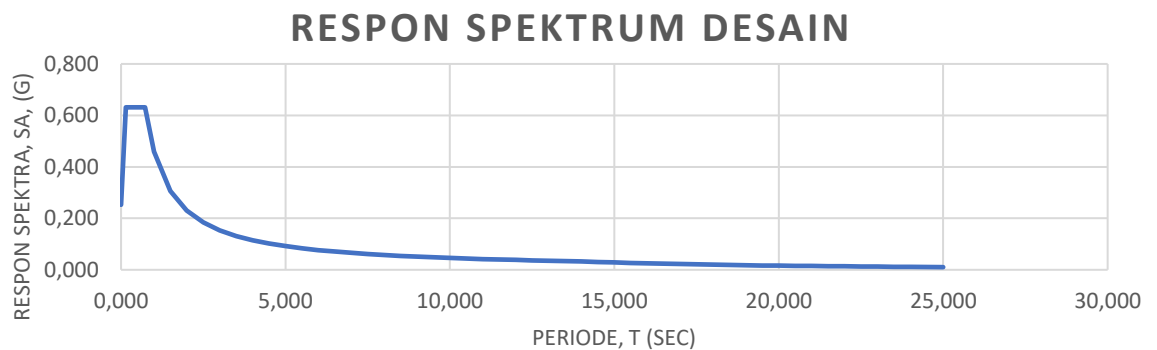
Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$ maka, $S_a = S_{DS}$

Untuk $T \geq T_s$ maka, $S_a = \frac{SD1}{T}$

Untuk penentuan respons spektrum dapat diambil dari data yang sudah disediakan oleh Pekerjaan Umum. Selanjutnya dihitung dan ditabelkan pada Tabel 4.8 dan hasil dari tabel dibuat dalam bentuk grafik Respon Spektrum yang terdapat pada Gambar 4.3.

Tabel 4.8 Respon Percepatan Gempa

T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)
0,000	0,253	5,500	0,084	11,000	0,042	16,500	0,024
0,146	0,631	6,000	0,077	11,500	0,040	17,000	0,022
0,728	0,631	6,500	0,071	12,000	0,038	17,500	0,021
1,000	0,460	7,000	0,066	12,500	0,037	18,000	0,020
1,500	0,306	7,500	0,061	13,000	0,035	18,500	0,019
2,000	0,230	8,000	0,057	13,500	0,034	19,000	0,018
2,500	0,184	8,500	0,054	14,000	0,033	19,500	0,017
3,000	0,153	9,000	0,051	14,500	0,031	20,000	0,016
3,500	0,131	9,500	0,048	15,000	0,029	20,500	0,015
4,000	0,115	10,000	0,046	15,500	0,027	21,000	0,015
4,500	0,102	10,500	0,044	16,000	0,025	21,500	0,014
5,000	0,092	11,000	0,042	16,500	0,024	22,000	0,013



Gambar 4.3 Desain Respon Spektrum Elastik Wilayah Semarang

5. Faktor Reduksi Gempa

Struktur Bangunan Menara Universitas Semarang ini dirancang menggunakan Sistem Ganda yang terdiri dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK). Adapun nilai faktor reduksi untuk Dinding Geser Beton Bertulang Khusus sesuai dengan Tabel 4.9 yang mengacu pada Tabel 12 SNI 1726:2019 adalah untuk Faktor Modifikasi Respons (R) = 7, Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω) = 2,5, dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5.

Tabel 4.9 Faktor Reduksi Gempa

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
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan.								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2 ½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7 ½	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB

4.4 Analisis Hasil Output Struktur

Setelah tahap pemodelan dan analisis menggunakan ETABS selesai maka akan menghasilkan data *output*. Dari *output* ETABS dilakukannya kontrol desain secara manual sesuai dengan persyaratan yang dijadikan acuan dalam pemodelan. Analisis – analisis yang dilakukan sebagai berikut:

4.4.1 Analisis Berat Seismik Efektif Bangunan

Analisis berat seismik bangunan ini dilakukan untuk mengetahui berat yang dimiliki oleh Bangunan Menara Universitas Semarang ini sendiri. Hasil berat ini akan digunakan untuk merencanakan beban gempa statik yang nanti digunakan dalam menganalisa lebih lanjut. Hasil berat seismik pada bangunan ini bisa dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.10 Berat Seismik Efektif Bangunan

Tingkat	Tinggi H_i (m)	Mass (kg)	Interpolasi	H^k	$W \times H^k$
Atap EL +42,96	44,61	444766,89	1,34	162,05	72075760,91
Top Floor EL +39,96	41,61	1748032,88		147,62	258049379,65
LT 9 EL +35,76	37,41	2001649,78		128,01	256233684,27
LT 8 EL +31,56	33,21	2028628,96		109,13	221393963,14
LT 7 EL +27,36	29,01	1960234,40		91,05	178486575,38
Parkir LT 8 EL +23,85	25,5	586305,21		76,61	44914954,56
LT 6 EL +23,16	24,81	1186921,42		73,84	87645456,52
Parkir LT 7 EL +20,65	22,3	601099,48		64,01	38476787,10
LT 5 EL +18,96	20,61	1216182,70		57,60	70048581,79
Parkir LT 6 EL +17,45	19,1	655878,99		52,02	34115843,66
LT 4 EL +14,76	16,41	1247293,49		42,44	52940143,68
Parkir LT 5 EL +14,25	15,9	639380,15		40,69	26013997,76
Parkir LT 4 EL +11,05	12,7	637984,78		30,11	19209566,57
LT 3 EL +10,56	12,21	1209715,15		28,56	34554006,01
Parkir LT 3 EL +7,85	9,5	673566,76		20,41	13746275,92
LT 2 EL +6,36	8,01	1305779,21		16,24	21204022,71
Parkir LT 2 EL + 4,65	6,3	732463,37		11,77	8622238,08
LT 1 EL +1,45	3,1	1933026,64		4,55	8800128,54

4.4.2 Analisis Ragam Getak Struktur dan Waktu Getar Alami

Pada Bangunan Menara Universitas Semarang ini memiliki 12 mode ragam getar dimana sudah mencukupi untuk syarat pola ragam pertama dan kedua yang diharuskan ragam gerakanya bertranslasi arah orthogonal atau sumbu X dan Y. Pada Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa ragam getar bertranslasi arah X adalah 1,182 detik, ragam getar bertranslasi arah Y adalah 1,146 detik, dan ragam getar bertranslasi arah Z adalah 1,085 detik.

Tabel 4.11 Ragam Gerak dan Waktu Getar Alami

Case	Mode	Period	U _X	U _Y	U _Z	Sum U _X	Sum U _Y	Sum U _Z
		sec						
Modal	1	1,182	68%	1%	0%	68%	1%	0%
Modal	2	1,146	1%	65%	0%	69%	66%	0%
Modal	3	1,079	0%	1%	0%	69%	67%	0%
Modal	4	0,329	16%	0%	0%	85%	67%	0%
Modal	5	0,311	0%	6%	0%	85%	74%	0%
Modal	6	0,290	0%	11%	0%	85%	84%	0%
Modal	7	0,154	6%	0%	0%	92%	84%	0%
Modal	8	0,145	0%	1%	0%	92%	86%	0%
Modal	9	0,130	0%	6%	0%	92%	91%	0%
Modal	10	0,099	2%	0%	0%	94%	91%	0%
Modal	11	0,094	0%	1%	0%	94%	92%	0%
Modal	12	0,084	0%	1%	0%	94%	93%	0%

4.4.3 Cek Berat Seismik Efektif Bangunan

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 bahwa analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing – masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Pada tabel 4.12 menunjukkan bahwa Bangunan Menara Universitas Semarang sudah memenuhi syarat partisipasi massa 90% sesuai dengan SNI 1726 : 2019 pasal 7.9.1.1

Tabel 4.12 Berat Seismik Efektif Bangunan

Case	Item type	Item	Static %	Dinamic %
Modal	Acceleration	U_X	99,98	93,99
Modal	Acceleration	U_Y	99,98	92,79
Modal	Acceleration	U_Z	0	0

4.4.4 Analisis Periode Fundamental Struktur

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui periode getar alami pada Bangunan Menara Universitas Semarang. Dari *Output* ETABS sudah mendapatkan periode getar alami namun perlu ditinjau ulang supaya sesuai dengan persyaratan kontrol yang ada. Nilai kontrol untuk waktu getar alami sebagai berikut :

$T_c < T_a$, maka nilai yang diambil adalah perhitungan manual (T_a)

$T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka bisa mengambil nilai perhitungan *software* (T_c) atau manual (T_a)

$C_u \times T_a < T_c$, maka yang diambil adalah perhitungan $C_u \times T_a$

Dari Tabel 18 SNI 1726:2019 diperoleh nilai parameter periode pendekatan C_t dan X sebagai berikut :

C_t : 0.048 (Semua Sistem Struktur Lainnya)

X : 0.75 (Semua Sistem Struktur Lainnya)

h_n : 44.61 m

T_a : $C_t \times H_n^x$
: $0.048 \times (44.61)^{0.75}$
: 0.842 detik

Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_u) bisa dilihat pada Tabel 17 SNI 1726:2019 sebagai berikut :

C_u : 1.4 (Semua Sistem Struktur Lainnya)

$T_{a \max}$: 1.4×0.842

: 1.179 detik

Dapat disimpulkan periode translasi arah X dan Y mendapatkan nilai sebagai berikut :

T_x : $1.179 < 1.182$

T_y : $0.842 < 1.146 < 1.179$

Nilai periode getar alami struktur untuk arah X diambil perhitungan T_a max karena nilai periode getar alami dari perhitungan *software* (T_c) melebihi nilai T_a max sebesar 1.179 dan untuk nilai periode getar alami struktur untuk arah Y diambil perhitungan *software* karena $T_a < T_c < T_a$ max, dimana memiliki nilai sebesar T_c : 1.146 detik dapat dilihat pada Tabel 4.11.

4.4.5 Perhitungan Koefisien Respon Seismik (C_s)

Perhitungan koefisien respon seismik ini akan digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar pada Bangunan Menara Universitas Semarang.

1. C_s arah X

Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	: 1.500	
Koefisien Modifikasi Respon (R)	: 7	
Waktu Getar Arah X (T_a)	: 1.1792	
S_{DS}	: 0.631	
S_{D1}	: 0.460	
$C_{s \max}$	: $\frac{S_{D1} \times I_e}{R \times T}$	: 2,498
$C_{s \min}$	: $0.44 \times S_{DS} \times I_e$	: 0.0416
C_s hitungan	: $\frac{S_{DS} \times I_e}{R}$	: 0.1353

Berdasarkan perhitungan koefisien respon seismik arah X maka nilai C_s yang digunakan adalah 0.1353.

2. C_s arah Y

Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	: 1.500	
Koefisien Modifikasi Respon (R)	: 7	
Waktu Getar Arah X (T_a)	: 1.146	
S_{DS}	: 0.631	
S_{D1}	: 0.460	
$C_{s \max}$	: $\frac{S_{D1} \times I_e}{R \times T}$	: 1.872
$C_{s \min}$	: $0.44 \times S_{DS} \times I_e$	: 0.0416
C_s hitungan	: $\frac{S_{DS} \times I_e}{R}$	: 0.1353

Berdasarkan perhitungan koefisien respon seismik arah Y maka nilai C_s yang digunakan adalah 0.1353.

4.4.6 Perhitungan Gaya Geser Dasar Desain (V)

Setelah menentukan angka koefisien respon seismic (C_s) dan berat seismik bangunan (W) perhitungan selanjutnya adalah gaya geser dasar desain (V) pada struktur bangunan.

1. V_s arah X

$$\begin{aligned}\text{Gaya Geser Dasar (V)} &: C_s \text{ arah X} \cdot \Sigma W \\ C_s &: 0.1353 \\ \text{Maka, V} &: 0.1353 \times 18875883,62 \\ &: 2553733,126 \text{ Kg}\end{aligned}$$

2. V_s arah Y

$$\begin{aligned}\text{Gaya Geser Dasar (V)} &: C_s \text{ arah Y} \cdot \Sigma W \\ C_s &: 0.1353 \\ \text{Maka, V} &: 0.1353 \times 18875883,62 \\ &: 2553733,126 \text{ Kg}\end{aligned}$$

4.4.7 Menentukan Profil Perpindahan Rencana

Perhitungan profil perpindahan rencana ditabelkan pada Tabel 4.13 dimana untuk nilai θ diasumsikan 0,02 (*Life Safety*).

Tabel 4.13 Perhitungan Profil Perpindahan Rencana

LEVEL	h_i (m)	$C\theta$ (m)	W (ton)	δ_i (mm)	Δ (mm)	$m_i \cdot \Delta_i$	$m_i \cdot \Delta_i^2$	$m_i \cdot \Delta_i \cdot H_i$
Atap EL +42,96	44,61	0,998	444,77	1,00	0,67	299,55	201,75	13363,00
Top Floor EL +39,96	39,96	0,998	1748,03	0,93	0,62	1091,23	681,21	43605,50
LT 9 EL +35,76	35,76	0,998	2001,65	0,85	0,58	1152,13	663,16	41200,25
LT 8 EL +31,56	31,56	0,998	2028,63	0,78	0,52	1060,85	554,77	33480,58
LT 7 EL +27,36	27,36	0,998	1960,23	0,69	0,47	914,08	426,25	25009,26
Parkir LT 8 EL +23,85	23,85	0,998	586,31	0,62	0,42	243,86	101,43	5816,15
LT 6 EL +23,16	23,16	0,998	1186,92	0,60	0,41	481,54	195,36	11152,40
Parkir LT 7 EL +20,65	20,65	0,998	601,10	0,55	0,37	220,95	81,22	4562,68
LT 5 EL +18,96	18,96	0,998	1216,18	0,51	0,34	414,86	141,51	7865,66
Parkir LT 6 EL +17,45	17,45	0,998	655,88	0,47	0,32	207,86	65,87	3627,16
LT 4 EL +14,76	14,76	0,998	1247,29	0,40	0,27	339,94	92,65	5017,54
Parkir LT 5 EL +14,25	14,25	0,998	639,38	0,39	0,26	168,76	44,54	2404,86
Parkir LT 4 EL +11,05	11,05	0,998	637,98	0,31	0,21	133,12	27,78	1471,02
LT 3 EL +10,56	10,56	0,998	1209,72	0,30	0,20	241,94	48,39	2554,84
Parkir LT 3 EL +7,85	7,85	0,998	673,57	0,22	0,15	101,76	15,37	798,78

Tabel 4.13 (Lanjutan) Perhitungan Profil Perpindahan Rencana

LEVEL	h_i (m)	$G\mathcal{D}_e$ (m)	W (ton)	δ_i (mm)	Δ (mm)	$m_i \cdot \Delta_i$	$m_i \cdot \Delta_i^2$	$m_i \cdot \Delta_i \cdot H_i$
LT 2 EL +6,36	6,36	0,998	1305,78	0,18	0,12	161,22	19,90	1025,34
Parkir LT 2 EL+ 4,65	4,65	0,998	732,46	0,14	0,09	66,78	6,09	310,51
LT 1 EL +1,45	1,45	0,998	1933,03	0,04	0,03	56,06	1,63	81,28
Jumlah			20808,910			7356,487	3368,874	203346,798

Dari Tabel 4.13 desain perpindahan tingkat MDOF harus dikonversi ke dalam sistem SDOF, dimana perpindahan maksimum merupakan ekuivalen dari desain perpindahan tingkat MDOF, sehingga dapat dihitung

$$\Delta d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{3368,874}{7356,487} = 0,4579$$

Jadi hasil dari target perpindahan rencana DDBD (*Direct displacement based design*) Δd adalah 0,4579 m

4.4.8 Kontrol Translasi Struktur

Kontrol translasi ini dilakukan untuk menghindari pemodelan struktur bangunan Menara Universitas Semarang mengalami puntir yang dapat dilihat pada mode 1 dan 2. Pada Tabel 4.14 dapat dilihat output ETABS yang digunakan sebagai kontrol adalah *modal direction factor*.

Tabel 4.14 Modal Direction Factor

Case	Mode	period (Sec)	U_x	U_y	U_z	RZ
Modal	1	1,182	0,980	0,019	0,000	0,001
Modal	2	1,146	0,018	0,966	0,000	0,017
Modal	3	1,079	0,002	0,063	0,000	0,935
Modal	4	0,329	0,999	0,000	0,000	0,000
Modal	5	0,311	0,000	0,490	0,000	0,510
Modal	6	0,290	0,001	0,687	0,000	0,313
Modal	7	0,154	1,000	0,000	0,000	0,000
Modal	8	0,145	0,000	0,302	0,000	0,698
Modal	9	0,130	0,000	0,838	0,000	0,162
Modal	10	0,099	0,999	0,000	0,000	0,000
Modal	11	0,094	0,001	0,460	0,000	0,540
Modal	12	0,084	0,000	0,610	0,000	0,390

Dari Tabel 4.14 bahwa terjadinya translasi atau arah goyang struktur yang tegak lurus antara mode 1 ke arah X dan mode 2 ke arah Y dan bisa diketahui bahwa bangunan ini tidak terjadi puntir karena struktur tersebut tidak mengalami rotasi ke arah Z.

4.5 Kontrol Struktur Gedung

Setelah analisa hasil dari *output* kontrol struktur gedung selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah analisa kontrol struktur gedung yang meliputi perbandingan beban statik ekuivalen dengan respons spektrum, evaluasi beban gempa, cek simpangan antar lantai dan cek stabilitas *P*-delta struktur.

4.5.1 Evaluasi Beban Gempa

Berdasarkan pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019 bahwa untuk perbandingan gempa statik ekuivalen dengan gempa dinamik memiliki syarat $100\% V_{\text{statik}} > \text{Respons Spektrum}$, dimana jika gaya geser dasar dinamik respon spektrum lebih kecil dari gaya geser dasar statik, maka diwajibkan untuk menambahkan angka faktor pembesaran atau dikalikan dengan faktor skala. Berikut ini adalah hasil dari perhitungan gaya dasar statik ekuivalen dan gaya geser dinamik respon spektrum dari X dan Y.

1. Gaya Geser Dasar Seismik arah X

Tabel 4.15 Gaya Dasar Statik Ekuivalen dan Dinamik Respon Spektrum Arah X
(Lampiran B-5 dan B-7)

ELEVASI	Vx Statik	Vx Dinamik
m	kN	kN
44,61	1100,15	809,01
39,96	5085,48	3342,56
35,76	9114,43	5506,62
31,56	12666,18	7174,48
27,36	15595,63	8487,47
23,85	16349,02	8817,51
23,16	17825,96	9517,82
20,65	18486,12	9834,44
18,96	19704,03	10447,01

Tabel 4.15 (Lanjutan) Gaya Dasar Statik Ekvivalen dan Dinamik Respon Spektrum Arah X

ELEVASI	Vx Statik	Vx Dinamik
m	kN	kN
17,45	20304,86	10768,80
14,76	21261,38	11299,52
14,25	21733,91	11588,51
11,05	22096,32	11812,86
10,56	22752,56	12263,17
7,85	23024,91	12462,94
6,36	23457,28	12803,75
4,65	23640,37	12956,19
1,45	23850,97	13112,41



Gambar 4.4 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah X

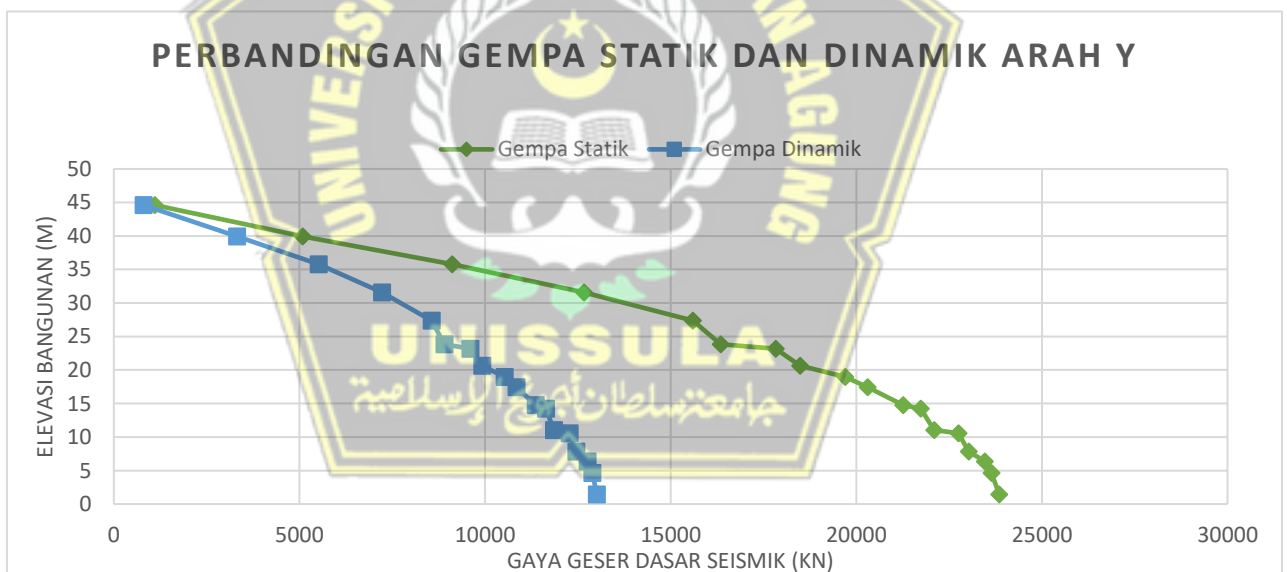
2. Gaya Geser Dasar Seismik arah Y

Tabel 4.16 Gaya Dasar Statik Ekvivalen Dan Dinamik Respon Spektrum Arah Y
(Lampiran B-6 dan B-8)

ELEVASI	100% Vy Statik	Vy Dinamik
m	kN	kN
44,61	1100,15	795,68
39,96	5085,48	3319,52
35,76	9114,43	5517,34
31,56	12666,18	7221,06
27,36	15595,63	8560,64

Tabel 4.16 (Lanjutan) Gaya Dasar Statik Ekvivalen Dan Dinamik Respon Spektrum Arah Y

ELEVASI	100% V_y Statik	V_y Dinamik
m	kN	kN
23,85	16349,02	8907,20
23,16	17825,96	9602,73
20,65	18486,12	9926,72
18,96	19704,03	10527,29
17,45	20304,86	10847,30
14,76	21261,38	11360,92
14,25	21733,91	11640,99
11,05	22096,32	11856,90
10,56	22752,56	12276,53
7,85	23024,91	12456,90
6,36	23457,28	12759,47
4,65	23640,37	12886,44
1,45	23850,97	13012,94



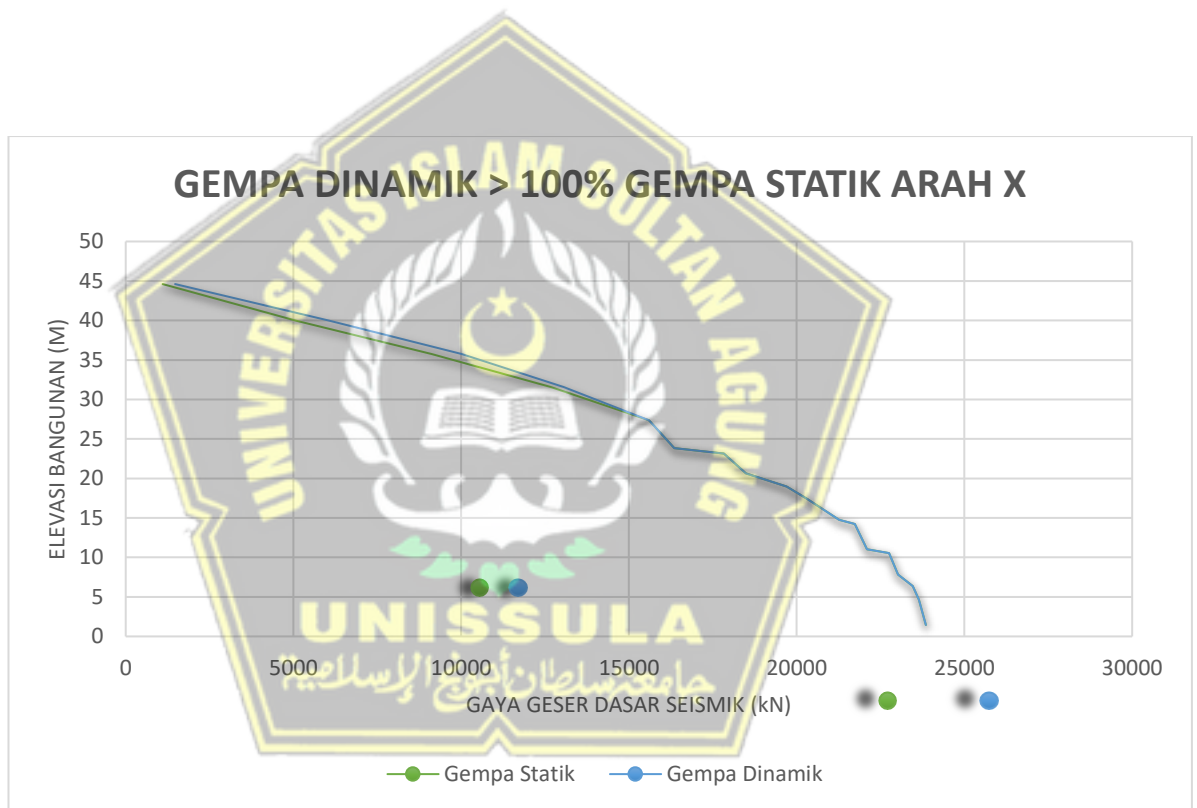
Gambar 4.5 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah Y

Pada Tabel 4.10 dan 4.11 bahwa nilai V dari dinamik respon spektrum bernilai kurang dari 100% V statik ekvivalen, Hal ini tidak sesuai pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019. Oleh karena itu, nilai V dinamik respon spektrum harus menambahkan angka faktor pembesaran atau dikalikan dengan faktor skala.

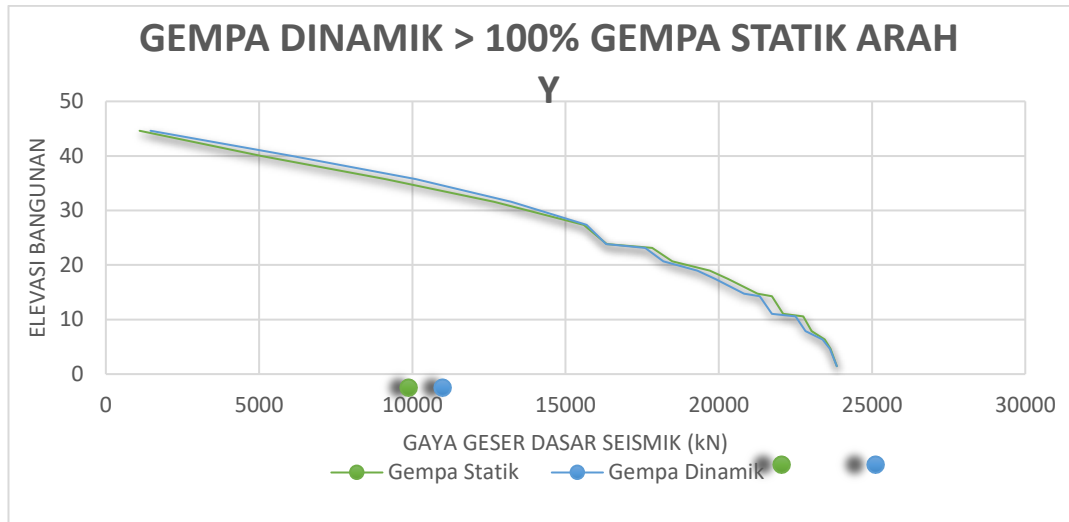
Tabel 4.17 Rekapitulasi Faktor Skala

Percepatan Gempa	Arah	Skala Faktor	Skala Faktor	Skala
		$V_{\text{spesifik}}/V_{\text{dinamik}}$	$G/(I/R)$	Koreksi
Respons Spektrum	V_x	1,819	2102,14	3823,72
Respons Spektrum	V_y	1,833	2102,14	3852,94

Dari hasil perhitungan skala faktor yang dapat dilihat pada Tabel 4.17, selanjutnya skala koreksi di *input* kedalam ETABS 2018 dan dapat diketahui perbandingan V dinamik respon spektrum > 100% V statik ekivalen dengan melihat Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah X

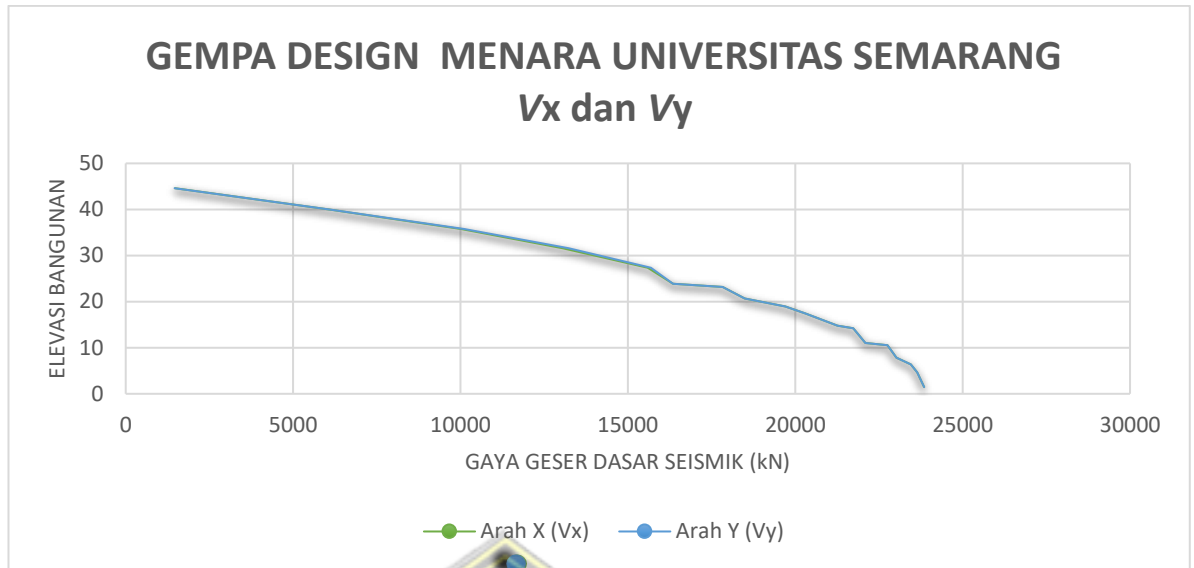


Gambar 4.7 Perbandingan Gempa Statik dan Dinamik Arah Y

Dari Gambar 4.6 dan 4.7 dan dapat diketahui perbandingan hasil gaya geser gempa perantai dengan faktor pembesar sebagai berikut :

Tabel 4.18 Hasil Gaya Geser Gempa *Design* Menara Bangunan Universitas Semarang Vx dan Vy
(Lampiran B-9 dan B-10)

ELEVASI	Vx	Vy
m	kN	kN
44,61	1471,56	1458,37
39,96	6079,98	6084,24
35,76	10016,34	10112,53
31,56	13050,11	13235,23
27,36	15595,63	15690,50
23,85	16349,02	16349,01
23,16	17825,96	17825,96
20,65	18486,12	18486,11
18,96	19704,03	19704,03
17,45	20304,86	20304,86
14,76	21261,38	21261,38
14,25	21733,91	21733,91
11,05	22096,32	22096,32
10,56	22752,56	22752,56
7,85	23024,91	23024,91
6,36	23457,28	23457,28
4,65	23640,37	23640,37
1,45	23850,97	23850,97



Gambar 4.8 Hasil Gaya Geser Gempa *Design* Menara Bangunan Universitas Semarang Vx dan Vy

4.5.2 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Kontrol simpangan ini memiliki tujuan untuk mengetahui simpangan pada setiap lantai pada struktur Bangunan Menara Universitas Semarang. Pada simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin seperti pada ketentuan Tabel 20 SNI 1726:2019 untuk semua tingkat. Berikut ini adalah perhitungan kinerja batas *displacement* arah X dan Y yang didapat dari *maximum story displacement* pada output ETABS.

Tabel 4.19 *Maximum Story Displacement* Arah X

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	X-dir (mm)	Y-dir (mm)
ATAP EL +42,96	44,61	Top	83,973	2,034
TOP FLOOR EL +39,96	41,61	Top	80,97	1,811
LT 9 EL +35,76	37,41	Top	72,615	1,53
LT 8 EL +31,56	33,21	Top	63,556	1,256
LT 7 EL +27,36	29,01	Top	53,997	0,993
PARKIR LT 8 EL +23,85	25,5	Top	45,586	0,791
LT 6 EL +23,16	24,81	Top	44,052	0,753

Tabel 4.19 (Lanjutan) *Maximum Story Displacement Arah X*

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-dir (mm)</i>	<i>Y-dir (mm)</i>
PARKIR LT 7 EL +20,65	22,3	<i>Top</i>	38,074	0,62
LT 5 EL +18,96	20,61	<i>Top</i>	34,106	0,539
PARKIR LT 6 EL +17,45	19,1	<i>Top</i>	30,718	0,468
LT 4 EL +14,76	16,41	<i>Top</i>	24,655	0,355
PARKIR LT 5 EL +14,25	15,9	<i>Top</i>	23,617	0,334
PARKIR LT 4 EL +11,05	12,7	<i>Top</i>	16,841	0,22
LT 3 EL +10,56	12,21	<i>Top</i>	15,917	0,204
PARKIR LT 3 EL +7,85	9,5	<i>Top</i>	10,812	0,125
LT 2 EL +6,36	8,01	<i>Top</i>	8,311	0,097
PARKIR LT 2 EL+ 4,65	6,3	<i>Top</i>	5,762	0,061
LT 1 EL +1,45	3,1	<i>Top</i>	1,871	0,018
<i>BASE</i>	0	<i>Top</i>	0	0

Tabel 4.20 *Maximum Story Displacement Arah Y*

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-dir (mm)</i>	<i>Y-dir (mm)</i>
ATAP EL +42,96	44,61	<i>Top</i>	1,22	82,27
<i>TOP FLOOR</i> EL +39,96	41,61	<i>Top</i>	1,209	79,13
LT 9 EL +35,76	37,41	<i>Top</i>	1,03	70,192
LT 8 EL +31,56	33,21	<i>Top</i>	0,859	60,761
LT 7 EL +27,36	29,01	<i>Top</i>	0,687	50,964
PARKIR LT 8 EL +23,85	25,5	<i>Top</i>	0,575	42,704
LT 6 EL +23,16	24,81	<i>Top</i>	0,576	41,232
PARKIR LT 7 EL +20,65	22,3	<i>Top</i>	0,482	35,355
LT 5 EL +18,96	20,61	<i>Top</i>	0,469	31,69
PARKIR LT 6 EL +17,45	19,1	<i>Top</i>	0,406	28,322
LT 4 EL +14,76	16,41	<i>Top</i>	0,357	22,669
PARKIR LT 5 EL +14,25	15,9	<i>Top</i>	0,34	21,658
PARKIR LT 4 EL +11,05	12,7	<i>Top</i>	0,278	15,414
LT 3 EL +10,56	12,21	<i>Top</i>	0,273	14,559
PARKIR LT 3 EL +7,85	9,5	<i>Top</i>	0,194	9,788
LT 2 EL +6,36	8,01	<i>Top</i>	0,165	7,513
PARKIR LT 2 EL+ 4,65	6,3	<i>Top</i>	0,109	5,102
LT 1 EL +1,45	3,1	<i>Top</i>	0,049	1,673
<i>BASE</i>	0	<i>Top</i>	0	0

Contoh Perhitungan :

C_d : 5.5 (Tabel 12 SNI 1726:2019)
 I_e : 1.5 (Tabel 4 SNI 1726 :2019)
 Δ_{ijin} : 0.010 x H (Tabel 20 SNI 1726:2019)
: 0.010 x 3000 mm
: 30 mm

Lantai Atap EL +42.96

δx : 83.97 mm

$$\Delta : \frac{C_d \times \delta}{I_e}$$

$$: \frac{5.5 \times 83,97}{1.5}$$

: 308 mm

Lantai *Top Floor* EL +39.96

δx : 81 mm

$$\Delta : \frac{C_d \times \delta}{I_e}$$

$$: \frac{5.5 \times 81}{1.5}$$

: 297 mm

Δx : Δ lantai atap – Δ *top floor*

: 308 – 297 mm

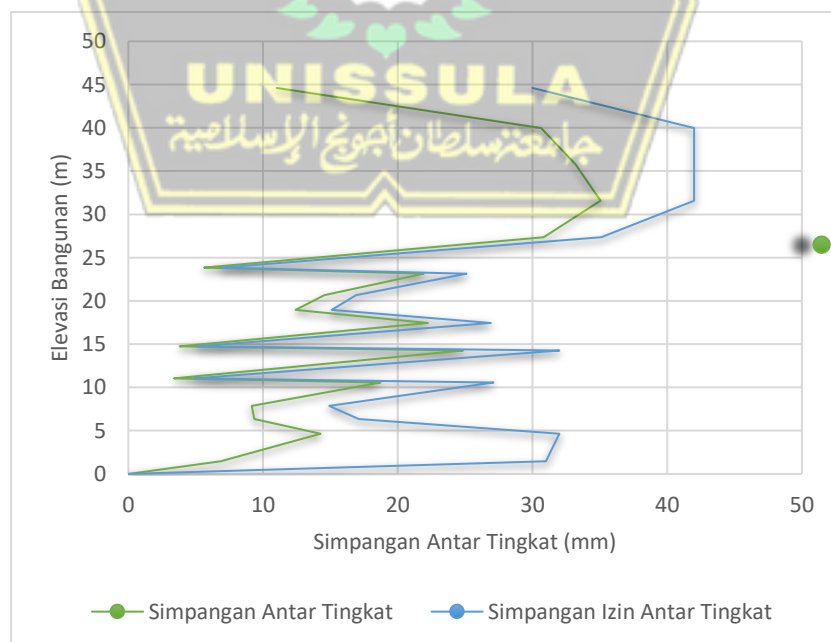
: 11 mm

Kontrol simpangan : $11 < 30$ (sesuai syarat SNI 1726:2019)

Berikut ini adalah hasil perhitungan simpangan arah X dan Y untuk Bangunan Menara Universitas Semarang :

Tabel 4.21 Maximum Story Displacement Arah X

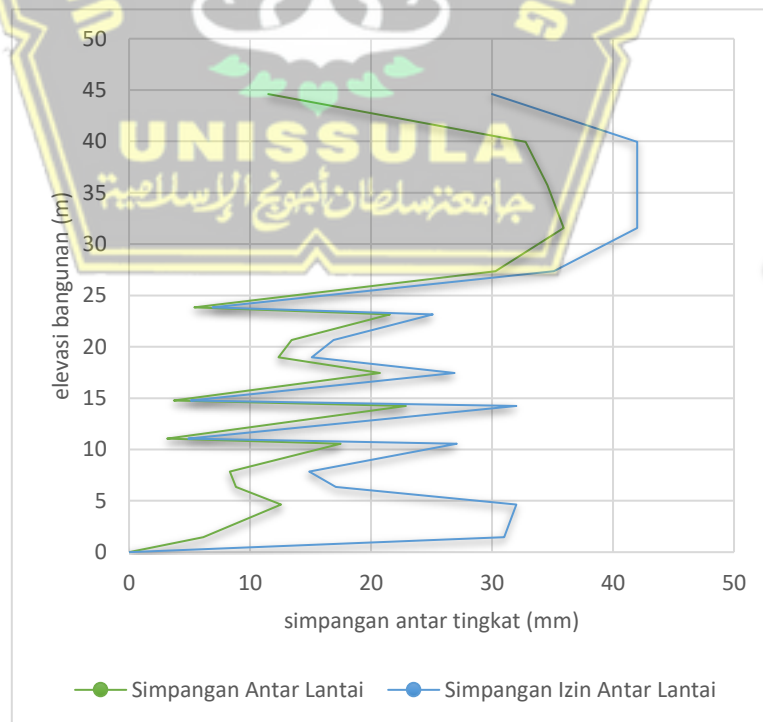
ELEVASI LANTAI	H_{sx}	H	δ	Δ	Δx	Δ_{ijin}	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
ATAP EL +42,96	44610	3000	83,97	307,90	11,01	30,00	DIIZINKAN
TOP FLOOR EL +39,96	41610	4200	80,97	296,89	30,64	42,00	DIIZINKAN
LT 9 EL +35,76	37410	4200	72,62	266,26	33,22	42,00	DIIZINKAN
LT 8 EL +31,56	33210	4200	63,56	233,04	35,05	42,00	DIIZINKAN
LT 7 EL +27,36	29010	3510	54,00	197,99	30,84	35,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 8 EL +23,85	25500	690	45,59	167,15	5,62	6,90	DIIZINKAN
LT 6 EL +23,16	24810	2510	44,05	161,52	21,92	25,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 7 EL +20,65	22300	1690	38,07	139,60	14,55	16,90	DIIZINKAN
LT 5 EL +18,96	20610	1510	34,11	125,06	12,42	15,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 6 EL +17,45	19100	2690	30,72	112,63	22,23	26,90	DIIZINKAN
LT 4 EL +14,76	16410	510	24,66	90,40	3,81	5,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 5 EL +14,25	15900	3200	23,62	86,60	24,85	32,00	DIIZINKAN
PARKIR LT 4 EL +11,05	12700	490	16,84	61,75	3,39	4,90	DIIZINKAN
LT 3 EL +10,56	12210	2710	15,92	58,36	18,72	27,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 3 EL +7,85	9500	1490	10,81	39,64	9,17	14,90	DIIZINKAN
LT 2 EL +6,36	8010	1710	8,31	30,47	9,35	17,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 2 EL + 4,65	6300	3200	5,76	21,13	14,27	32,00	DIIZINKAN
LT 1 EL +1,45	3100	3100	1,87	6,86	6,86	31,00	DIIZINKAN
BASE	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	DIIZINKAN



Gambar 4.9 Simpangan Antar Tingkat Arah X

Tabel 4.22 Maximum Story Displacement Arah Y

ELEVASI LANTAI	H_{sx} (mm)	H (mm)	δ (mm)	Δ (mm)	Δx (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Keterangan
ATAP EL +42,96	44610	3000	82,27	301,66	11,51	30,00	DIIZINKAN
TOP FLOOR EL +39,96	41610	4200	79,13	290,14	32,77	42,00	DIIZINKAN
LT 9 EL +35,76	37410	4200	70,19	257,37	34,58	42,00	DIIZINKAN
LT 8 EL +31,56	33210	4200	60,76	222,79	35,92	42,00	DIIZINKAN
LT 7 EL +27,36	29010	3510	50,96	186,87	30,29	35,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 8 EL +23,85	25500	690	42,70	156,58	5,40	6,90	DIIZINKAN
LT 6 EL +23,16	24810	2510	41,23	151,18	21,55	25,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 7 EL +20,65	22300	1690	35,36	129,64	13,44	16,90	DIIZINKAN
LT 5 EL +18,96	20610	1510	31,69	116,20	12,35	15,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 6 EL +17,45	19100	2690	28,32	103,85	20,73	26,90	DIIZINKAN
LT 4 EL +14,76	16410	510	22,67	83,12	3,71	5,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 5 EL +14,25	15900	3200	21,66	79,41	22,89	32,00	DIIZINKAN
PARKIR LT 4 EL +11,05	12700	490	15,41	56,52	3,14	4,90	DIIZINKAN
LT 3 EL +10,56	12210	2710	14,56	53,38	17,49	27,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 3 EL +7,85	9500	1490	9,79	35,89	8,34	14,90	DIIZINKAN
LT 2 EL +6,36	8010	1710	7,51	27,55	8,84	17,10	DIIZINKAN
PARKIR LT 2 EL + 4,65	6300	3200	5,10	18,71	12,57	32,00	DIIZINKAN
LT 1 EL +1,45	3100	3100	1,67	6,13	6,13	31,00	DIIZINKAN
BASE	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	DIIZINKAN



Gambar 4.10 Simpangan Antar Tingkat Arah Y

4.5.3 Kontrol Stabilitas P-Delta Struktur

Efek *P*-delta terjadi bila simpangan lateral akibat beban gempa menyebabkan beban tambahan yang terjadi oleh gravitasi yang mengakibatkan gedung mengalami deformasi serta mengalami momen guling tambahan maka dari itu stabilitas struktur ini sangat penting, dimana jika terjadi ketidakstabilan struktur pada Bangunan Menara Universitas Semarang ini terjadi maka analisa selanjutnya tidak bisa dilanjutkan.

Arah X

1. Menentukan *story drift* awal lantai 1

$$\Delta 1 : \delta 1 - \delta 0 = \delta 1 - 0 = \delta 1$$

$$\delta 1 : \frac{cd \cdot \delta}{I_e}$$
$$: \frac{1,9 \cdot 5,5}{1,5}$$

$$\text{Sehingga } \Delta 1 = 7 \text{ mm}$$

Jika nilai θ (koefisien stabilitas) lebih dari 0.1 maka berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.7.8.7 bahwa *story drift* awal akan di perbesar dengan faktor pengali $1.0/(1-\theta)$.

2. Menentukan efek P-delta berdasarkan nilai θ (koefisien stabilitas)

$$P : 208526 \text{ kN}$$

$$\Delta 1 : 7 \text{ mm}$$

$$I_e : 1.5 \text{ (Tabel 20 SNI 1726 :2019)}$$

$$Hs1 : 3100 \text{ kN}$$

$$Cd : 5,5 \text{ (Tabel 12 SNI 1726:2019)}$$

$$\theta : \frac{P1.\Delta.I_e}{v1.hs1.cd}$$
$$: \frac{208526.7.1,5}{23851.3100.5,5}$$

$$: 0,0053 \text{ (tidak perlu perlu pembesaran karena } < 0,1)$$

Periksa terhadap :

$$\theta \text{ ijin} : \frac{0,5}{(\frac{1}{cd})} \leq 0,25$$

$$: \frac{0,5}{\left(\frac{1}{5,5}\right)} \leq 0,25$$

$$: 0,091 \leq 0,25$$

$$\theta < \theta \text{ ijin}$$

$$0,0053 < 0,091, \text{ OKE !!!}$$

Arah Y

1. Menentukan *story drift* awal lantai 1

$$\Delta 1 : \delta 1 - \delta 0 = \delta 1 - 0 = \delta 1$$

$$\delta 1 : \frac{cd \cdot \delta}{Ie}$$

$$: \frac{1,67 \cdot 5,5}{1,5}$$

$$\text{Sehingga } \Delta 1 = 6 \text{ mm}$$

Jika nilai θ (koefisien stabilitas) lebih dari 0.1 maka berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.7.8.7 bahwa *story drift* awal akan di perbesar dengan *faktor pengali* $1.0/(1-\theta)$.

2. Menentukan efek *P*-delta berdasarkan nilai θ (koefisien stabilitas)

$$P : 208526 \text{ kN}$$

$$\Delta 1 : 6 \text{ mm}$$

$$Ie : 1.5 \text{ (Tabel 20 SNI 1726 :2019)}$$

$$Hs1 : 3100 \text{ kN}$$

$$Cd : 5,5 \text{ (Tabel 12 SNI 1726:2019)}$$

$$\theta : \frac{P1 \cdot \Delta 1 \cdot Ie}{v1 \cdot Hs1 \cdot cd}$$

$$: \frac{208526 \cdot 6 \cdot 1,5}{23851 \cdot 3100 \cdot 5,5}$$

$$: 0,0047 \text{ (tidak perlu perlu pembesaran karena } < 0,1)$$

Periksa terhadap :

$$\theta \text{ ijin} : \frac{0,5}{\left(\frac{1}{cd}\right)} \leq 0,25$$

$$: \frac{0,5}{\left(\frac{1}{5,5}\right)} \leq 0,25$$

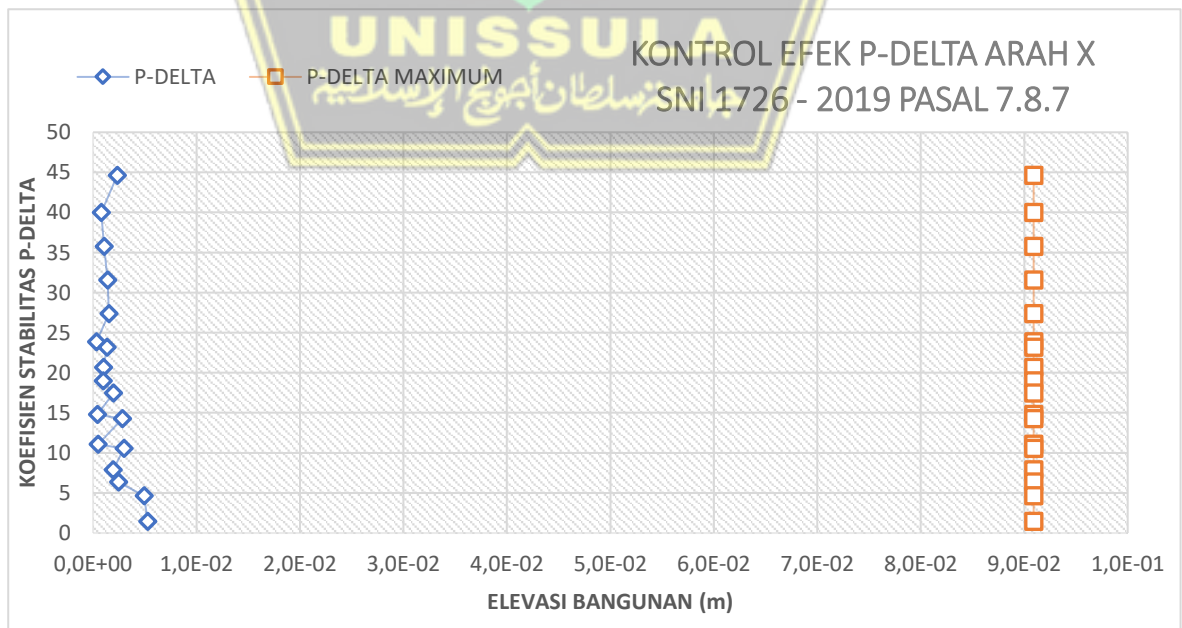
$$: 0,091 \leq 0,25$$

$$\theta < \theta \text{ ijin}$$

$$0,0047 < 0,091, \text{ OKE !!!}$$

Tabel 4.23 Stabilitas Struktur P-Delta Arah X

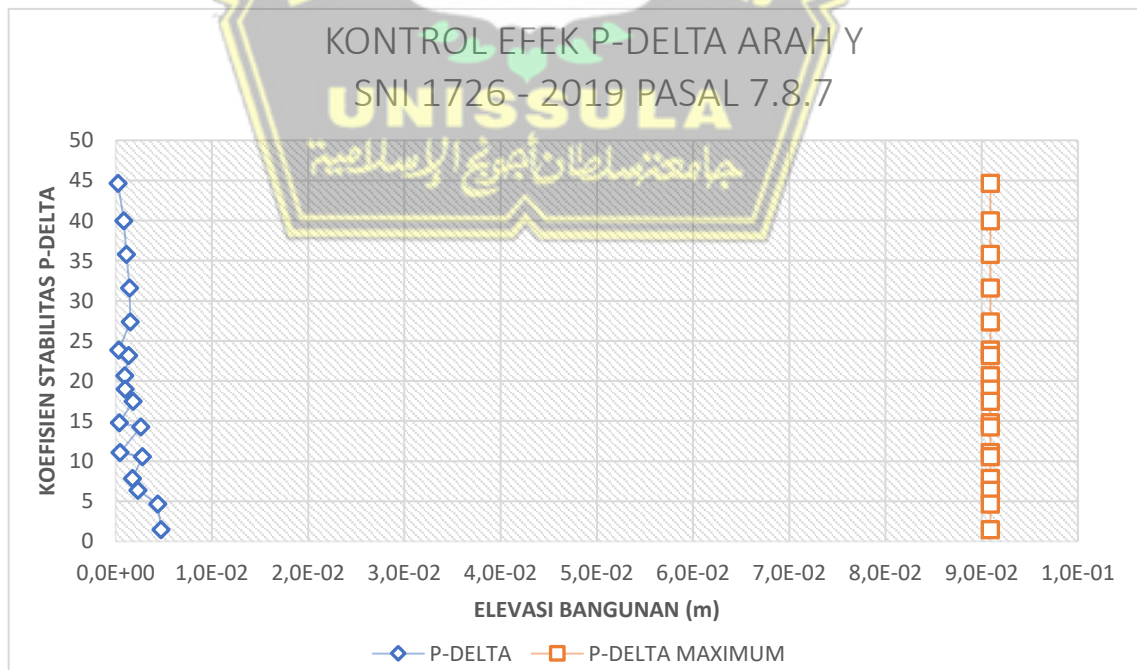
STABILITAS STRUKTUR P-DELTA ARAH X							
SNI 1729 - 2019 PASAL 7.8.7							
STORY	H_{sx}	Δx	P	VX	θ	θ ijin	Keterangan
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	Koefisien Stabilitas	Koefisien Stabilitas ijin	
Atap EL +42,96	44610	11,01	5075,96	1471,56	0,0023	0,091	STABIL
Top Floor EL +39,96	41610	30,64	24081,72	6079,98	0,0008	0,091	STABIL
LT 9 EL +35,76	37410	33,22	44138,53	10016,34	0,0011	0,091	STABIL
LT 8 EL +31,56	33210	35,05	64250,52	13050,11	0,0014	0,091	STABIL
LT 7 EL +27,36	29010	30,84	82943,19	15595,63	0,0015	0,091	STABIL
Parkir LT 8 EL +23,85	25500	5,62	87420,54	16349,02	0,0003	0,091	STABIL
LT 6 EL +23,16	24810	21,92	100050,10	17825,96	0,0014	0,091	STABIL
Parkir LT 7 EL +20,65	22300	14,55	105779,75	18486,12	0,0010	0,091	STABIL
LT 5 EL +18,96	20610	12,42	117742,09	19704,03	0,0010	0,091	STABIL
Parkir LT 6 EL +17,45	19100	22,23	125202,20	20304,86	0,0020	0,091	STABIL
LT 4 EL +14,76	16410	3,81	136079,22	21261,38	0,0004	0,091	STABIL
Parkir LT 5 EL +14,25	15900	24,85	144237,20	21733,91	0,0028	0,091	STABIL
Parkir LT 4 EL +11,05	12700	3,39	148686,84	22096,32	0,0005	0,091	STABIL
LT 3 EL +10,56	12210	18,72	162207,15	22752,56	0,0030	0,091	STABIL
Parkir LT 3 EL +7,85	9500	9,17	168025,18	23024,91	0,0019	0,091	STABIL
LT 2 EL +6,36	8010	9,35	181163,77	23457,28	0,0025	0,091	STABIL
Parkir LT 2 EL + 4,65	6300	14,27	189441,61	23640,37	0,0049	0,091	STABIL
LT 1 EL +1,45	3100	6,86	208525,69	23850,97	0,0053	0,091	STABIL



Gambar 4.11 Kontrol efek P-Delta Arah X

Tabel 4.24 Stabilitas Struktur P-Delta Arah Y

STABILITAS STRUKTUR P-DELTA ARAH Y							
SNI 1729 - 2019 PASAL 7.8.7							
STORY	H_{sx}	Δx	P	VX	θ	θ ijin	Keterangan
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	Koefisien Stabilitas	Koefisien Stabilitas Ijin	
Atap EL +42,96	44610	11,51	5075,96	1458,37	0,0002	0,091	STABIL
Top Floor EL +39,96	41610	32,77	24081,72	6084,24	0,0009	0,091	STABIL
LT 9 EL +35,76	37410	34,58	44138,53	10112,53	0,0011	0,091	STABIL
LT 8 EL +31,56	33210	35,92	64250,52	13235,23	0,0014	0,091	STABIL
LT 7 EL +27,36	29010	30,29	82943,19	15690,50	0,0015	0,091	STABIL
Parkir LT 8 EL +23,85	25500	5,40	87420,54	16349,01	0,0003	0,091	STABIL
LT 6 EL +23,16	24810	21,55	100050,10	17825,96	0,0013	0,091	STABIL
Parkir LT 7 EL +20,65	22300	13,44	105779,75	18486,11	0,0009	0,091	STABIL
LT 5 EL +18,96	20610	12,35	117742,09	19704,03	0,0010	0,091	STABIL
Parkir LT 6 EL +17,45	19100	20,73	125202,20	20304,86	0,0018	0,091	STABIL
LT 4 EL +14,76	16410	3,71	136079,22	21261,38	0,0004	0,091	STABIL
Parkir LT 5 EL +14,25	15900	22,89	144237,20	21733,91	0,0026	0,091	STABIL
Parkir LT 4 EL +11,05	12700	3,14	148686,84	22096,32	0,0005	0,091	STABIL
LT 3 EL +10,56	12210	17,49	162207,15	22752,56	0,0028	0,091	STABIL
Parkir LT 3 EL +7,85	9500	8,34	168025,18	23024,91	0,0017	0,091	STABIL
LT 2 EL +6,36	8010	8,84	181163,77	23457,28	0,0023	0,091	STABIL
Parkir LT 2 EL + 4,65	6300	12,57	189441,61	23640,37	0,0044	0,091	STABIL
LT 1 EL +1,45	3100	6,13	208525,69	23850,97	0,0047	0,091	STABIL



Gambar 4.12 Kontrol efek P-Delta Arah Y

4.6 Analisa *Pushover*

Analisa *Pushover* diperlukan untuk memberikan gambaran perilaku struktur terhadap beban lateral gempa berdasarkan kurva kapasitas, selanjutnya dari kurva kapasitas tersebut dapat ditentukan level kinerja struktur dengan 3 metode yaitu ASCE 41 – 13 NSP, FEMA 356 dan FEMA 440.

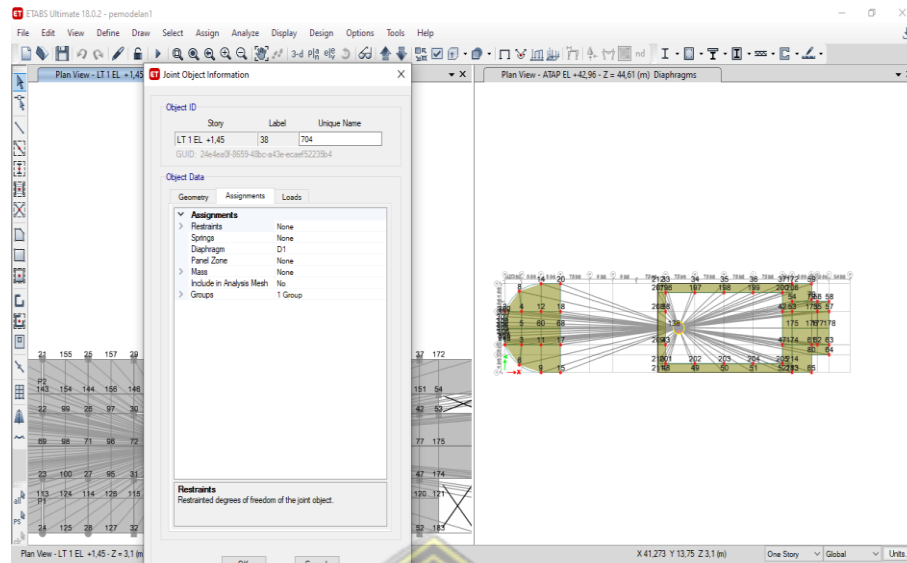
Langkah perhitungan Analisa *Pushover* ini dilakukan dengan memberikan beban static lateral terhadap desain struktur tiga dimensi secara bertahap dan dengan nilai pembebanan yang terus meningkat sampai struktur tersebut mengalami keruntuhan atau nilai simpangan yang diinginkan sudah tercapai. Berikut adalah beberapa langkah analisa *Pushover* menggunakan *software* ETABS :

4.6.1 Memodelkan Struktur

Permodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan program ETABS 2018 dengan rincian desain struktur berdasarkan data-data perencanaan yang sudah ada pada proyek pembangunan menara USM. Kemudian setelah semua data-data sudah dimasukkan kedalam desain maka dilakukan langkah-langkah lanjutan sebelum melakukan running Analisis *Pushover*, yaitu:

1. Membuat Titik Pusat Massa

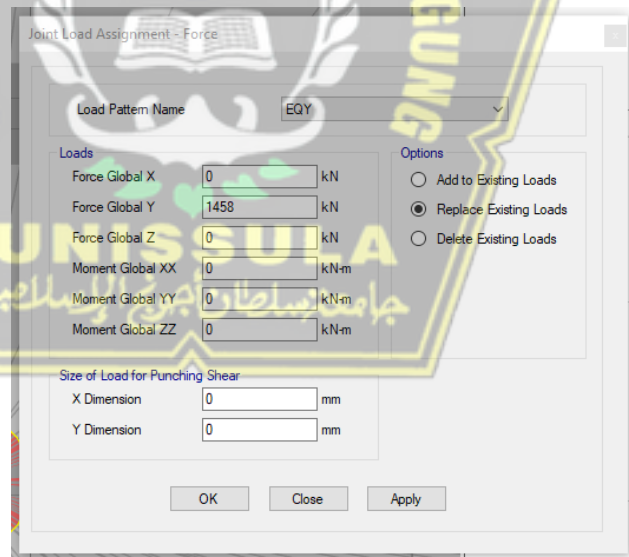
Titik pusat massa yang merupakan posisi pusat kuat massa bangunan ditetapkan untuk menginput beban gempa yang diterima struktur pada tiap lantai. Titik ini menjadi dasar untuk program menghitung deformasi struktur yang terjadi pada puncak bangunan.



Gambar 4.13 Titik Pusat Massa

2. *Input* Beban Gempa Arah Y-Y

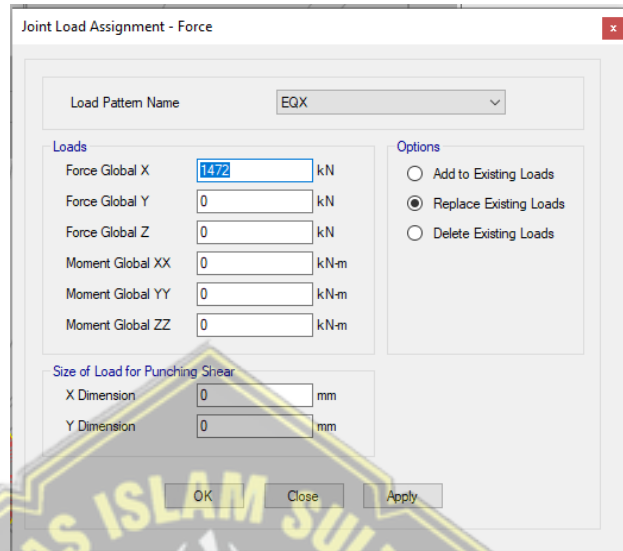
Beban gempa arah Y-Y pada struktur bangunan ini adalah 1458 kN.



Gambar 4.14 Beban Gempa Arah Y-Y

3. Input Beban Gempa Arah X-X

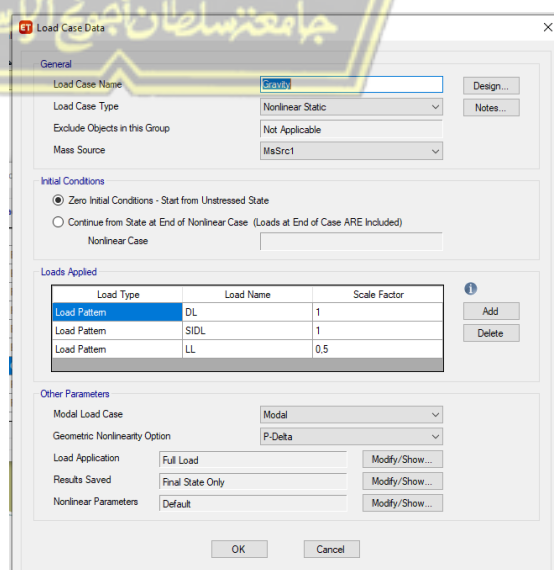
Beban gempa arah X-X pada struktur bangunan ini adalah 1472 kN.



Gambar 4.15 Beban Gempa Arah X-X

4. Menentukan *Gravity Nonlinier Case*

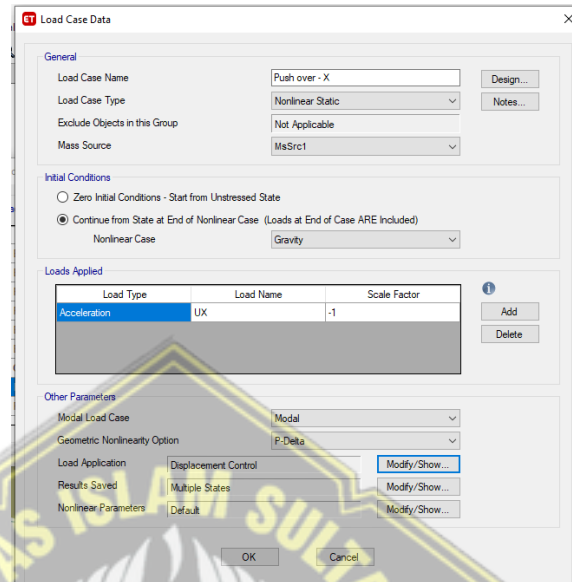
Skala faktor yang digunakan yaitu beban mati (DL) = 1, beban mati tambahan (SIDL) = 1 dan beban hidup = 0,5. Efek *P-Delta* perlu ditambahkan karena pada analisa *Pushover displacement* akan terus bertambah seiring dengan ditambahkan beban *lateral static*.



Gambar 4.16 Gravity Nonlinier Case

5. Menentukan *Nonlinier Pushover Case* Arah X-X

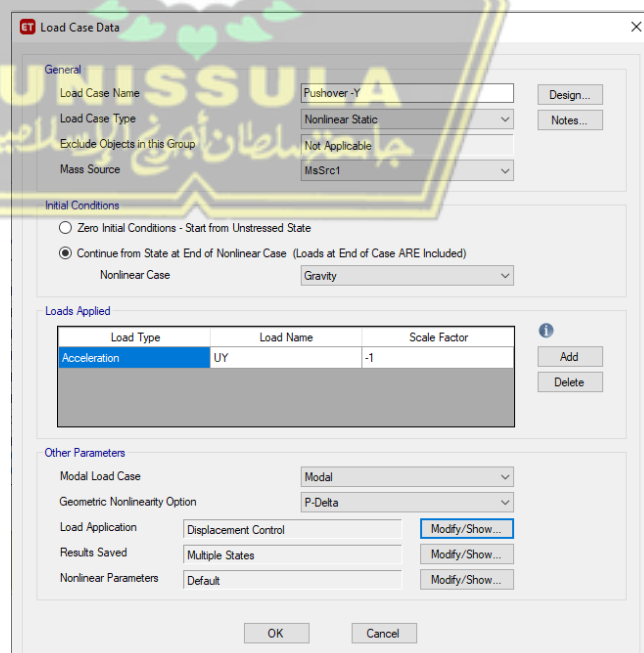
Nilai yang diinput pada *pushover case* arah X-X dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 *Pushover Case* Arah X-X

6. Menentukan *Nonlinier Pushover Case* Arah Y-Y

Nilai yang diinput pada *pushover case* arah Y-Y dapat dilihat pada Gambar 4.18.



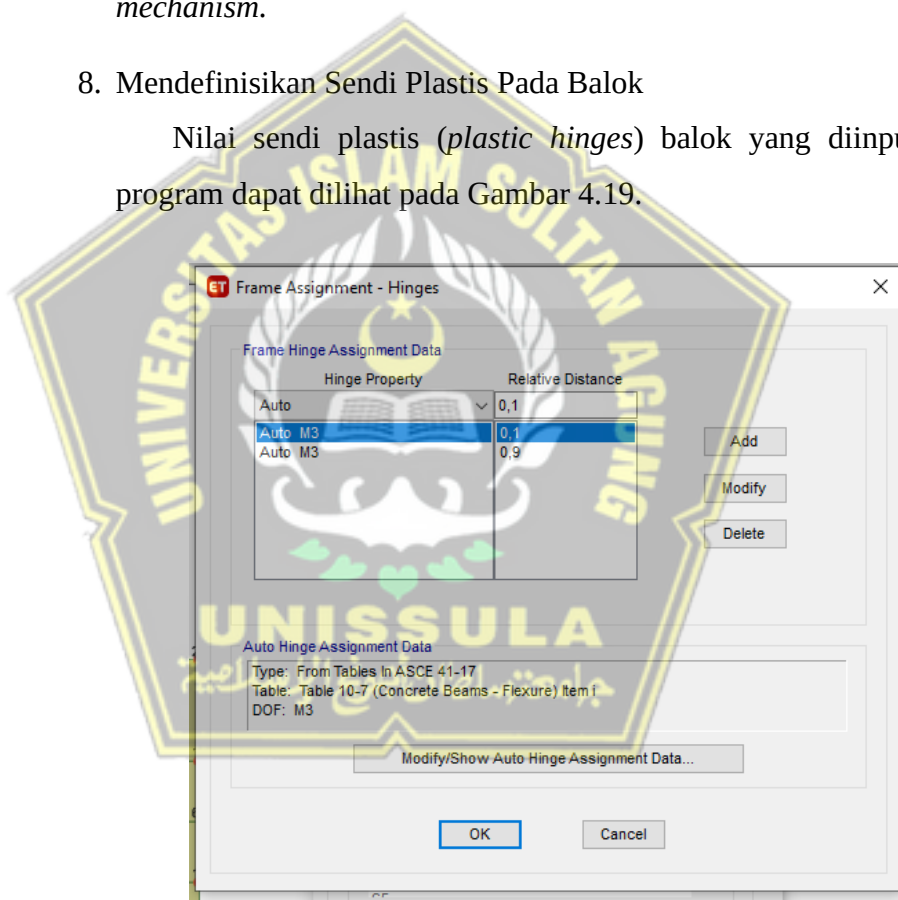
Gambar 4.18 *Pushover Case* Arah Y-Y

7. Memodelkan Sendi Plastis

Permodelan sendi plastis (*plastic hinges*) elemen struktur perlu dilakukan pada Analisa *Pushover* karena perilaku struktur berpengaruh pada jenis struktur yang digunakan, dan permodelan sendi plastis ini didasarkan pada perilaku struktur tersebut. Pada permodelan ini balok akan mengalami kelelahan terlebih dahulu pada ujung ujungnya ketika struktur diberikan beban lateral dan kemudian berlanjut pada kelelahan pada pangkal kolom dan pada pangkal dinding geser, perilaku struktur ini disebut sebagai *sawy mechanism*.

8. Mendefinisikan Sendi Plastis Pada Balok

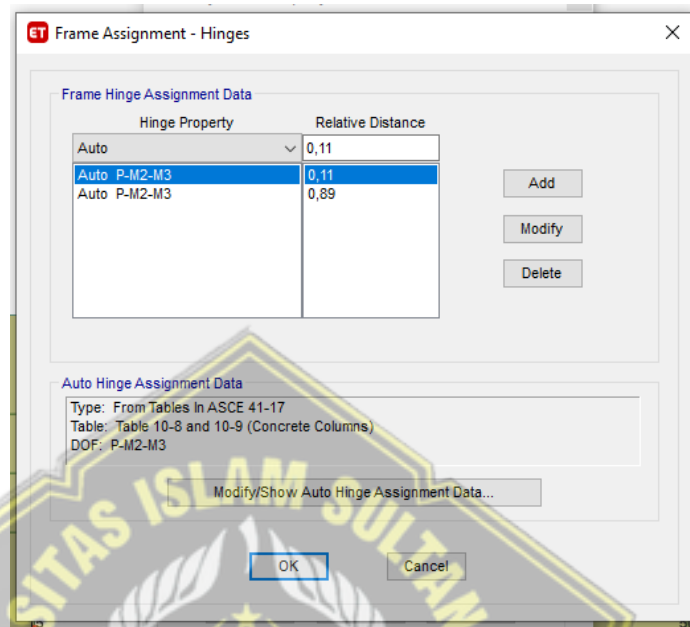
Nilai sendi plastis (*plastic hinges*) balok yang diinput ke program dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Sendi Plastis Pada Balok

9. Mendefinisikan Sendi Plastis Pada Kolom

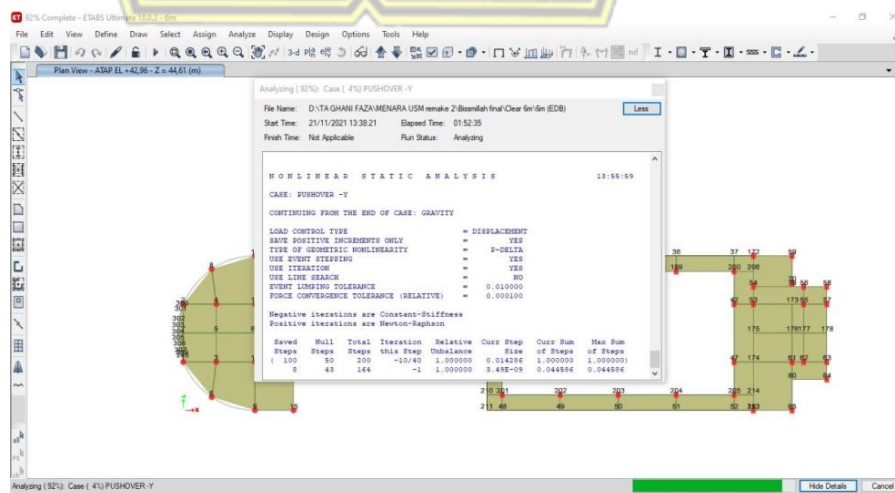
Berbeda dengan balok, nilai sendi plastis (*plastic hinges*) yang diinput ke program dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Sendi Plastis Pada Kolom

10. Running Program

Pada saat menjalankan running, biasanya program akan memakan waktu agak lama, sebagaimana pada permodelan ini waktu yang dibutuhkan untuk running program hingga selesai adalah ± 2 jam.



Gambar 4.21 Running Program

4.6.2 Hasil Analisis *Pushover*

Dari hasil analisa *Pushover* menggunakan *software* ETABS didapatkan beberapa *output* diantaranya adalah kurva kapasitas. Kurva kapasitas adalah hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan pada atap (Δ_{atap}) struktur, selanjutnya dari kurva kapasitas tersebut dapat digunakan untuk menentukan tingkat kinerja struktur berdasarkan beberapa metode yang digunakan diantaranya yaitu FEMA 356, FEMA 440 dan ASCE 41-13 NSP.

Kurva kapasitas untuk masing – masing arah pada struktur Bangunan Menara Universitas Semarang ditunjukkan dalam Sub Bab 4.6.2.1 dan 4.6.2.2.

4.6.2.1 Kurva Kapasitas Sistem Ganda arah X-X

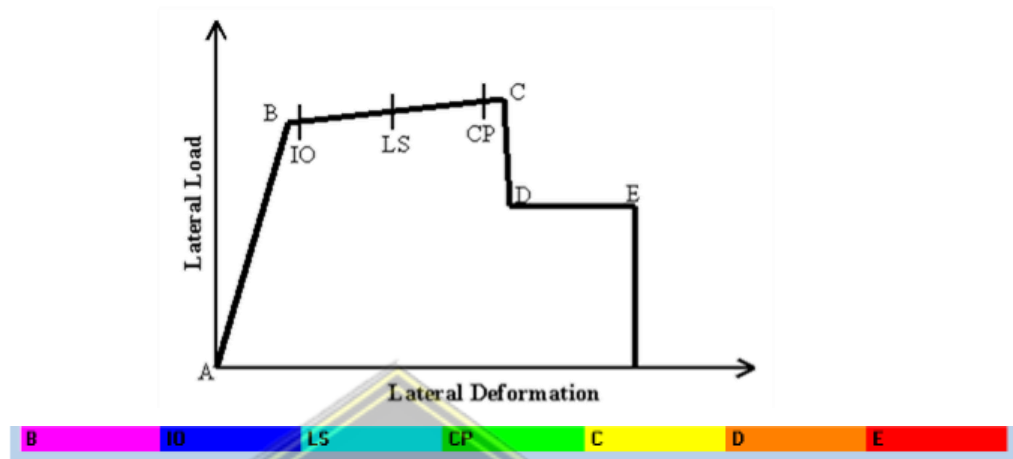
Hasil *running Pushover Analysis* untuk arah X-X didapatkan 5 *steps* pola beban dorong yang diberikan pada struktur sebelum akhirnya struktur mengalami keruntuhan. 5 *step* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil Analisa *Pushover* Arah X-X

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	6874	0	0	0	0	6874	0	0	0	6874
1	71,429	38787,9618	6874	0	0	0	0	6874	0	0	0	6874
2	78,721	42652,898	6872	2	0	0	0	6874	0	0	0	6874
3	150,174	79226,7092	6719	147	8	0	0	6858	4	4	8	6874
4	222,132	111263,5919	6279	577	14	0	4	6844	12	0	18	6874
5	224,257	112093,3534	6261	595	14	0	4	6844	12	0	18	6874

Pada Tabel 4.25 dapat dilihat nilai gaya yang diberikan pada struktur dan nilai perpindahan yang terjadi pada masing-masing *step*. Pada kolom paling kanan (total) merupakan jumlah total seluruh elemen struktur pada struktur yang dimodelkan. Pada kolom (A-B,B-C,C-D, D-E, >E, A-IO, IO-LS, LS-CP, >CP) merupakan tingkatan yang terjadi pada sendi plastis di elemen struktur atau tingkat plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur.

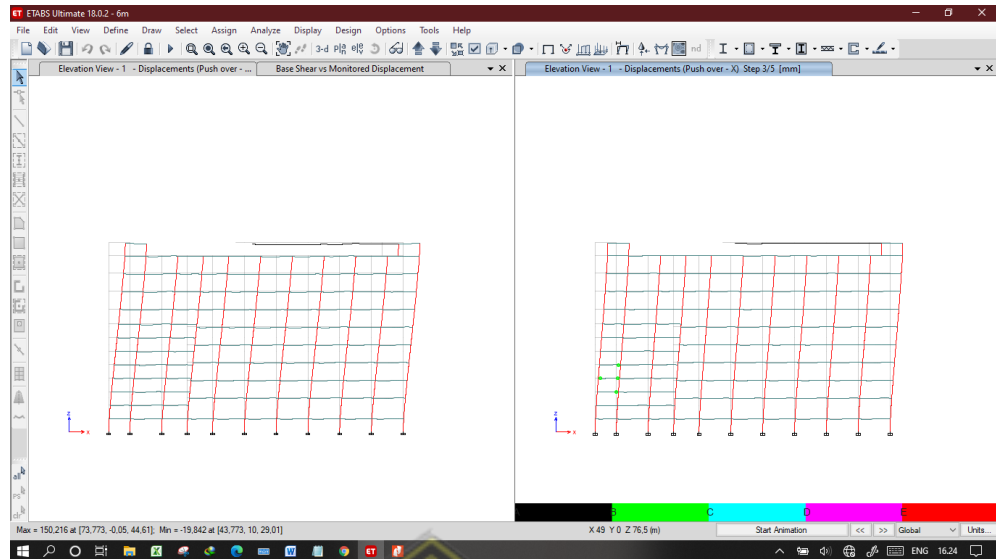
Tingkatan kondisi plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.22



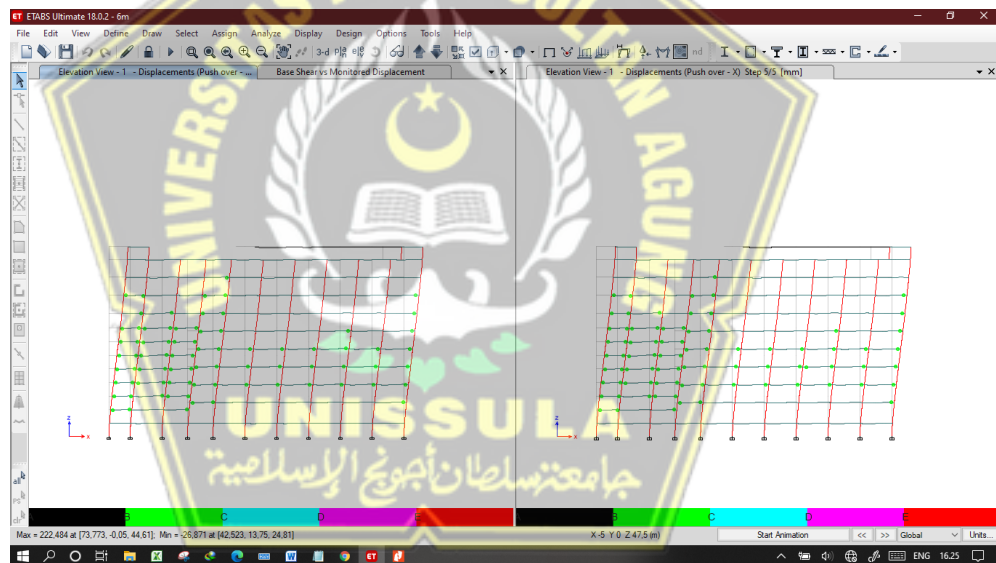
Gambar 4.22 Tingkatan Plastifikasi Sendi Plastis Elemen

Pada Gambar 4.22 dapat dijelaskan bahwa :

- A = Kondisi dimana belum ada pembebanan sehingga belum terjadi plastifikasi pada sendi plastis
- B = Kondisi dimana elemen mulai mengalami leleh untuk pertama kali
- IO = Merupakan tahap setelah leleh (plastis) dengan dengan tingkat kinerja pada elemen *immediately occupancy*
- LS = Elemen pada level kinerja *Life Safety*
- CP = Elemen pada level kinerja *Collapse Prevention* (kondisi hamper runtuh)
- C = Merupakan kapasitas ultimit dari elemen
- D = Merupakan kondisi dimana hanya terdapat kekuatan sisa dari elemen struktur
- E = Merupakan batas dimana elemen sudah mengalami keruntuhan



Gambar 4.23. Pushover Arah X Step 2 & Step 3

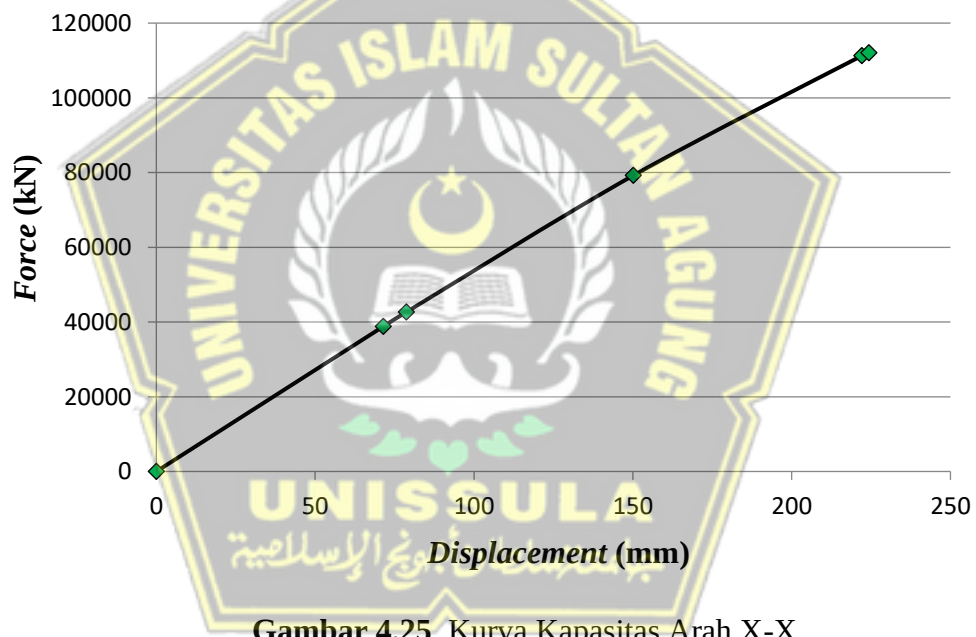


Gambar 4.24. Pushover Arah X Step 4 & Step 5

Setiap step pola beban dorong akan memiliki tingkat plastifikasi yang berbeda pada masing-masing elemen strukturnya. Pada *step* ke 1&2 semua elemen masih berada pada kondisi A-IO dan pada *step* ke 3 jumlah elemen pada kondisi A-IO berkurang menjadi 6858 dan sebagian sudah berada pada kondisi IO-LS = 4 elemen, LS-CP = 4 elemen dan > CP = 8 elemen. Pada Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa struktur mengalami kondisi sendi plastis untuk pertamakali pada balok lantai 3,4 dan 5 di *step* ke 3, dan pada

step-step selanjutnya terjadi penambahan sendi plastis pada elemen-elemen lainnya hingga struktur mengalami keruntuhan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada setiap kenaikan beban dorong yang diberikan maka kondisi plastifikasi pada elemen juga akan meningkat secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan.

Dari Tabel 4.20 Dapat dibuat grafik hubungan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan pada atap (Δ_{atap}) struktur untuk setiap *step* beban dorong yang diberikan. Grafik tersebut dinamakan Kurva Kapasitas struktur dan dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Kurva Kapasitas Arah X-X

4.6.1.2 Kurva kapasitas sistem ganda arah y-y

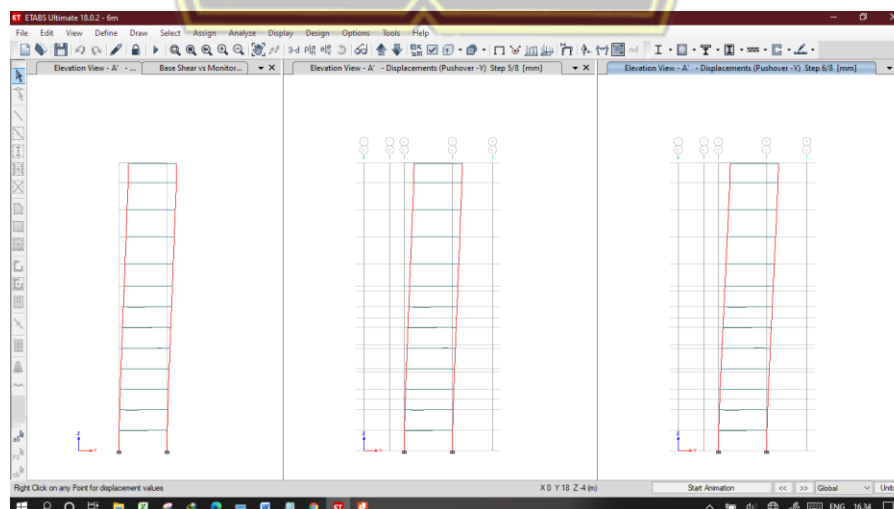
Untuk hasil Analisis *Pushover* arah Y-Y didapatkan 8 *step* pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan seperti terlihat pada table 4.21

Tabel 4.26 Hasil Analisa *Pushover* Arah Y-Y

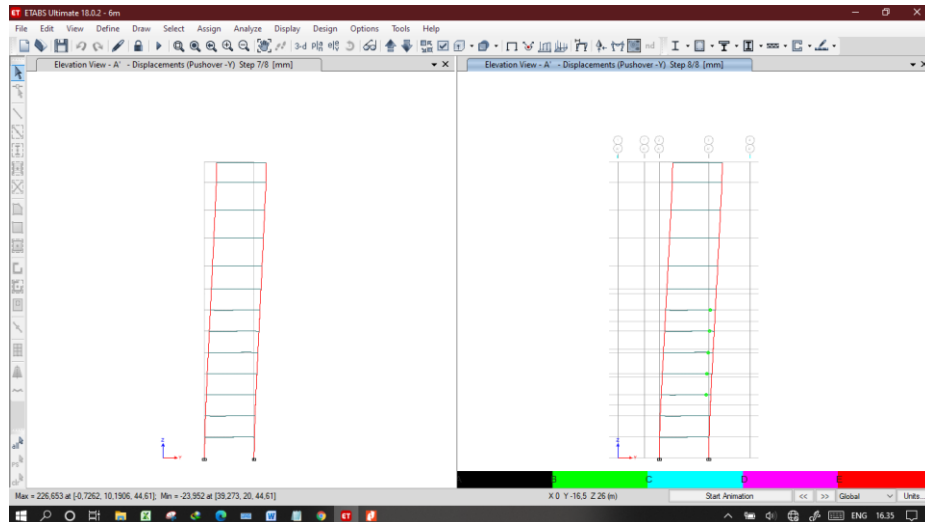
Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	6874	0	0	0	0	6874	0	0	0	6874
1	71,429	40491,8253	6873	1	0	0	0	6874	0	0	0	6874
2	71,429	40491,8528	6873	0	1	0	0	6873	0	0	1	6874
3	143,312	78852,8949	6770	86	18	0	0	6851	3	2	18	6874
4	148,329	81372,9631	6754	102	17	0	1	6851	3	2	18	6874
5	150,223	81349,2114	6745	110	18	0	1	6850	3	2	19	6874
6	180,598	95929,0019	6656	195	18	0	5	6835	14	2	23	6874
7	180,602	94656,1173	6647	204	18	0	5	6835	14	2	23	6874
8	222,932	112828,9045	6390	451	24	0	9	6820	21	0	33	6874



Gambar 4.26. *Pushover* Arah Y-Y Step 1, 2 dan 3



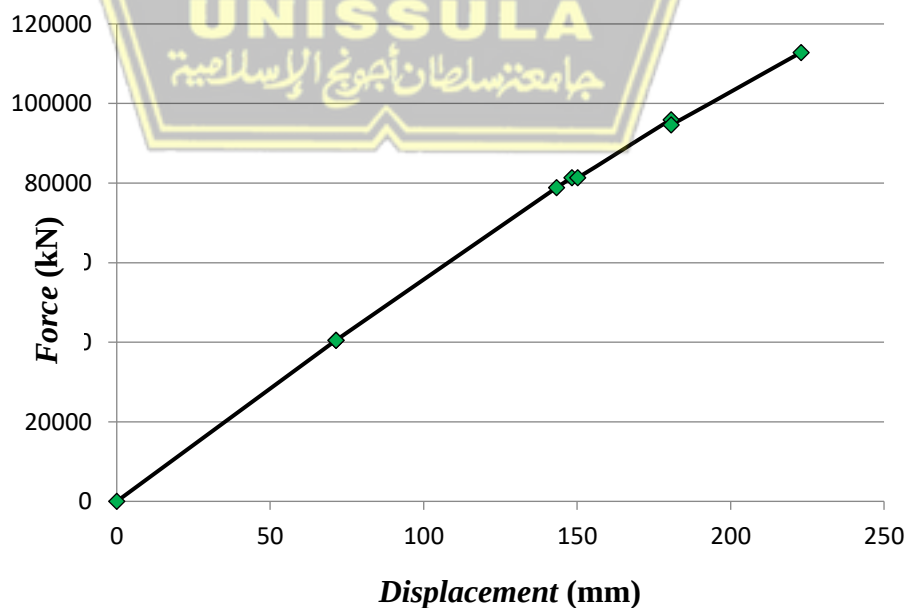
Gambar 4.27. *Pushover* Arah Y-Y Step 4, 5 dan 6



Gambar 4.28. Pushover Arah Y-Y Step 7 dan 8

Sebagaimana terlihat pada Tabel 4.23 pada *step* 1 hanya ada satu elemen struktur yang berada di kondisi B-C dan elemen lainnya masih berada pada kondisi A-B, sedangkan pada *step* ke 3 kondisi A-B sebanyak 6770 elemen dari total 6874 elemen dan elemen lainnya berada di kondisi B-C = 86 elemen dan C-D = 18 elemen. Kondisi sendi plastis pertama kali pada struktur ini terletak pada balok 3,4,5,6 dan 7 di *step* terakhir yaitu *step* ke 8.

Kurva kapasitas yang didapatkan dari *Analisis Pushover* arah Y-Y dapat dilihat pada Gambar 4.29 dibawah ini.

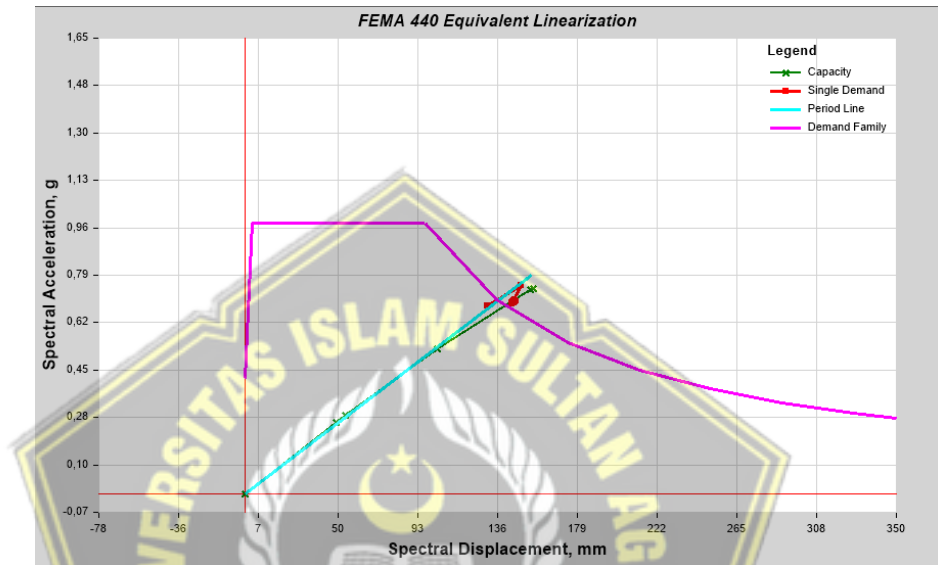


Gambar 4.29. Kurva Kapasitas Arah X-X

4.6.3 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 356

Pada metode FEMA 356 diambil perhitungan untuk arah X-X dengan menggunakan kurva idealis bilinear (kurva biner *pushover*) yang diambil dari kurva kapasitas. Kurva biner *pushover* arah X-X dapat dilihat pada Gambar 4.13.

4.6.3.1 Kurva kapasitas sistem ganda arah X-X



Gambar 4.30. Kurva *Pushover* arah X-X

Dari kurva pada Gambar 4.30 diatas maka dapat diketahui hasil *performance point* yang ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.27 Hasil *Performance Point* Arah X

Gedung	<i>Performance Point Found</i>	Keterangan
Menara Universitas Semarang 44,61 m	<i>Sd</i>	144,553
	<i>Sa</i>	0,698712
	<i>T secant</i>	0,911
	<i>T efective</i>	1,016

1. Menentukan Nilai C_0

Nilai C_0 ditentukan berdasarkan Tabel 3-2 Fema 356 dan dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Faktor Modifikasi C_0 FEMA 356

Table 3-2 Values for Modification Factor $C_0$¹			
Number of Stories	Shear Buildings²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Maka nilai C_0 diambil nilai 1,5 karena untuk bangunan lebih dari 10 lantai.

2. Menentukan Nilai C_1

Untuk menentukan nilai C_1 maka terlebih dahulu hitung nilai T_s sebagai berikut :

$$T_s = \frac{SD1}{SDs} = \frac{0,460}{0,631} = 0,728 \text{ det}$$

$$T_e = 0,878 \text{ det}$$

Maka $T_e \geq T_s$, sehingga $C_1 = 1,0$

3. Menentukan Nilai C_2

Nilai C_2 ditentukan berdasarkan Tabel 3-3 Fema 356 yang dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Faktor Modifikasi C_2 FEMA 356

Table 3-3 Values for Modification Factor C_2				
Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}^3$		$T \geq T_s \text{ second}^3$	
	Framing Type 1¹	Framing Type 2²	Framing Type 1¹	Framing Type 2²
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical, piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.
2. All frames not assigned to Framing Type 1.
3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T .

Dari Tabel 4.21 maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai $T_e \geq T_s$, dan digunakan *Framing Type 2* sehingga nilai $C_2 = 1$

4. Menentukan Nilai C_3

Untuk menentukan nilai C_3 maka terlebih dahulu hitung parameter – parameter sebagai berikut :

$$S_a = \frac{SD1}{T_e} = \frac{0,460}{0,878} = 0,524 \text{ det}$$

Menentukan faktor modifikasi C_m berdasarkan Tabel 3-1 FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Faktor Modifikasi C_m FEMA 356

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1. C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T , is greater than 1.0-second.

Dari Tabel 4.21 maka untuk bangunan lebih dari 3 lantai menggunakan sistem kombinasi antara dinding geser dan system rangka, maka nilai $C_m = 1$

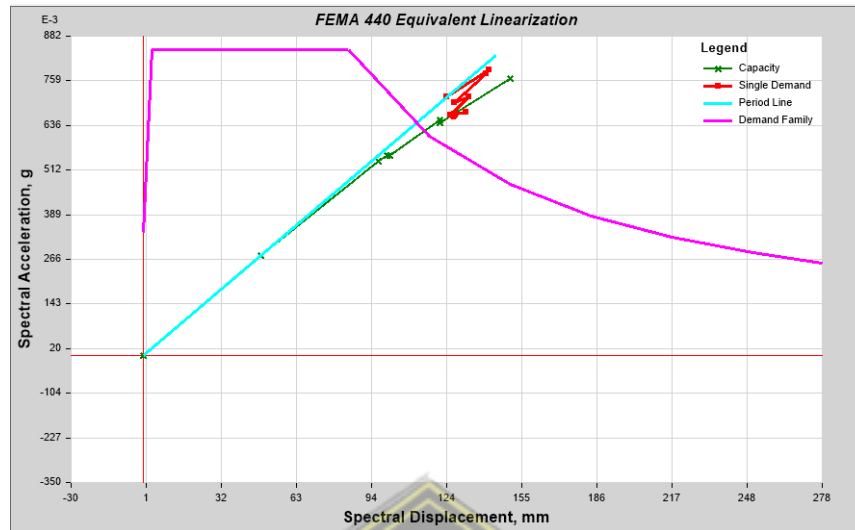
$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \times C_m = \frac{0,524}{58800,102 / 206503,4037} \times 1 = 1,8402$$

Jika gedung pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka untuk nilai C_3 adalah 1, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya adalah negatif (kurva menurun) maka perlu dihitung menggunakan rumus yang tersedia.

Menghitung Target Perpindahan :

$$\begin{aligned} \delta x &= C_0.C_1.C_2.C_3.S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= 1,5.1.1.1.0,6987 \frac{1,016^2}{4\pi^2} . 9,81 \\ &= 0,2686 \text{ m} \end{aligned}$$

4.6.3.2 Kurva kapasitas sistem ganda arah Y-Y



Gambar 4.31. Kurva *Pushover* arah Y-Y

Dari kurva pada Gambar 4.31 diatas maka dapat diketahui hasil *performance point* yang ditunjukkan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Hasil *Performance Point* Arah Y

Gedung	<i>Performance Point Found</i>	Keterangan
Menara Universitas Semarang 44,61 m	Sd	127,152
	Sa	0,664833
	<i>T secant</i>	0,877
	<i>T efective</i>	0,903

1. Menentukan Nilai C_0

Nilai C_0 ditentukan berdasarkan Tabel 3-2 Fema 356 dan dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Faktor Modifikasi C_0 FEMA 356

Number of Stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Maka nilai C_0 diambil nilai 1,5 karena untuk bangunan lebih dari 10 lantai.

2. Menentukan Nilai C_1

Untuk menentukan nilai C_1 maka terlebih dahulu dihitung nilai T_s sebagai berikut :

$$T_s = \frac{SD1}{SD_s} = \frac{0,460}{0,631} = 0,728 \text{ det}$$

$$T_e = 0,903 \text{ det}$$

Maka $T_e \geq T_s$, sehingga $C_1 = 1,0$

3. Menentukan Nilai C_2

Nilai C_2 ditentukan berdasarkan Tabel 3-3 FEMA 356 yang dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Faktor Modifikasi C_2 FEMA 356

Table 3-3 Values for Modification Factor C_2				
Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}^3$		$T \geq T_s \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.

2. All frames not assigned to Framing Type 1.

3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T .

Dari Tabel 4.21 maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai $T_e \geq T_s$, dan digunakan *Framing Type 2* sehingga nilai $C_2 = 1$.

4. Menentukan Nilai C_3

Untuk menentukan nilai C_3 maka terlebih dahulu hitung parameter – parameter sebagai berikut :

$$S_a = \frac{SD1}{T_e} = \frac{0,460}{0,903} = 0,509 \text{ det}$$

Menentukan faktor modifikasi C_m berdasarkan Tabel 3-1 FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Faktor Modifikasi C_m FEMA 356

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1. C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T , is greater than 1.0 second.

Dari Tabel 4.34 maka untuk bangunan lebih dari 3 lantai menggunakan sistem kombinasi antara dinding geser dan sistem rangka, maka nilai $C_m = 1$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \times C_m = \frac{0,509}{58800,102/206503,4037} \times 1 = 1,7875$$

Jika gedung pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka untuk nilai C_3 adalah 1, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya adalah negatif (kurva menurun) maka perlu dihitung menggunakan rumus yang tersedia.

Menghitung Target Perpindahan :

$$\begin{aligned} \delta x &= C_0.C_1.C_2.C_3.S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= 1,5.1.1.1.0,6648 \frac{0,903^2}{4\pi^2} . 9,81 \\ &= 0,201 \text{ m} \end{aligned}$$

4.6.4 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 440

Pada metode FEMA 440 ini merupakan metode pengembangan dari metode koefisien perpindahan FEMA 356 dengan kata lain metode ini adalah metode yang diperbaiki. Secara garis besar metode ini sama dengan metode pendahulunya FEMA 356 dengan menggunakan kurva biner *pushover* yang dapat dilihat pada Tabel 4.30 untuk arah X-X dan Tabel 4.35 untuk arah Y-Y dengan hasil dari perhitungan ini adalah target perpindahan. Perbaikan dari FEMA 356 adalah pada letak

perhitungan nilai faktor modifikasi C_1 dan factor modifikasi C_2 yang dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Faktor Modifikasi C_1 dan C_2 (Berdasarkan FEMA 440 Tabel 10-1)

Table 10-1 Coefficients for Use in Equations for Effective Damping			
<i>Coefficient</i>	<i>Current Specification</i>	<i>Modification</i>	<i>Purpose of Coefficient</i>
C_1	1.0 for $T_e \geq T_s$ [1.0 + (R-1) T_s/T_e]/R for $T_e < T_s$	$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT^2}$ where a = 130 for site class B 90 for site class C 60 for site class D	Convert max. elastic displacement to estimate for inelastic system
C_1 (with short T "cap")	1.5 for $T_e < 0.1s$ interpolating to 1.0 for $T_e \geq T_s$	Not recommended	
C_2 (degrading systems)	Immediate Occupancy 1.0 Life Safety 1.3 for $T \leq 0.1$ interpolating to 1.1 for $T \geq T_s$ Collapse Prevention 1.5 for $T \leq 0.1$ interpolating to 1.2 for $T \geq T_s$	$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left[\frac{R-1}{T} \right]^2$ recommended only for structures with significant stiffness and/or strength degradation	Hysteretic pinching Cyclic degradation
C_2 (non-degrading systems)	1.0	1.0	
C_3	$1.0 + \frac{ \alpha (R-1)^{3/2}}{T_e}$	Eliminate in favor of strength limit	$P-\Delta$ In-cycle degradation

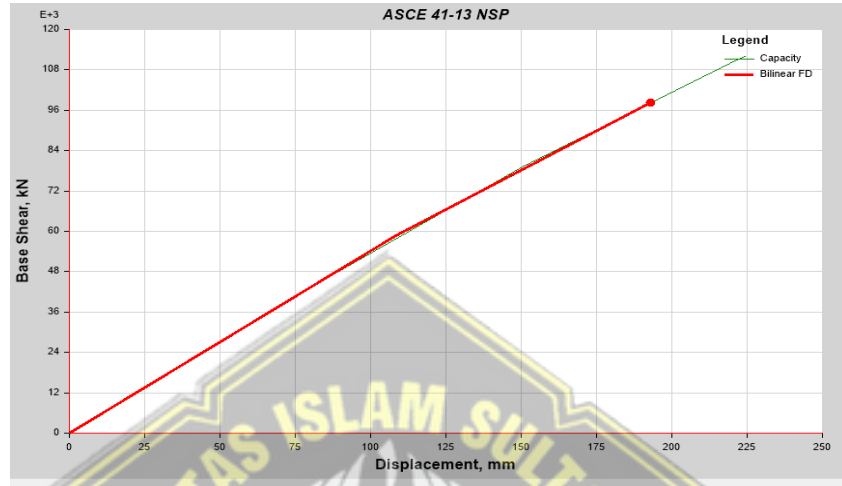
Dari perhitungan dihasilkan :

$$T_s = \frac{SD1}{SDs} = \frac{0,460}{0,631} = 0,728 \text{ det}$$

Maka $T_e \geq T_s$, sehingga $C_1 = 1,0$ dan C_2 adalah 1,0, sehingga nilai faktor C_1 dan C_2 sama dengan FEMA 356, sehingga target dari perpindahannya juga sama.

4.6.5 Metode ASCE 41-13 NSP

ASCE 41-13 NSP adalah metode bawaan dalam program ETABS versi 2018 yang digunakan untuk menentukan nilai target perpindahan (δ_T), dapat dilihat pada hasil dari kurva arah X-X pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32. Kurva *Pushover* arah x-x

Dari kurva biner *pushover* (kurva idealis bilinear) arah X-X dapat diketahui nilai-nilai yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan menentukan target perpindahan. Pada ASCE 41-13 NSP dalam menentukan nilai C_0 , C_1 , C_2 dan nilai S_a dapat diketahui secara otomatis terprogram menghitung sendiri dari program ETABS yang digunakan. Berikut adalah nilai-nilai dari *output* metode ASCE 41-13 NSP.

Tabel 4.36 Parameter Hitungan Arah X-X

Gedung	Calculated Parameters	Keterangan
Menara Universitas Semarang 44,61 m	C_0	1,445657
	C_1	1,030065
	C_2	1
	S_a , g	0,680641
	T_e (sec)	0,878
	V_y (kN)	58800,102
	Weight (kN)	206503,4037
	C_m	1

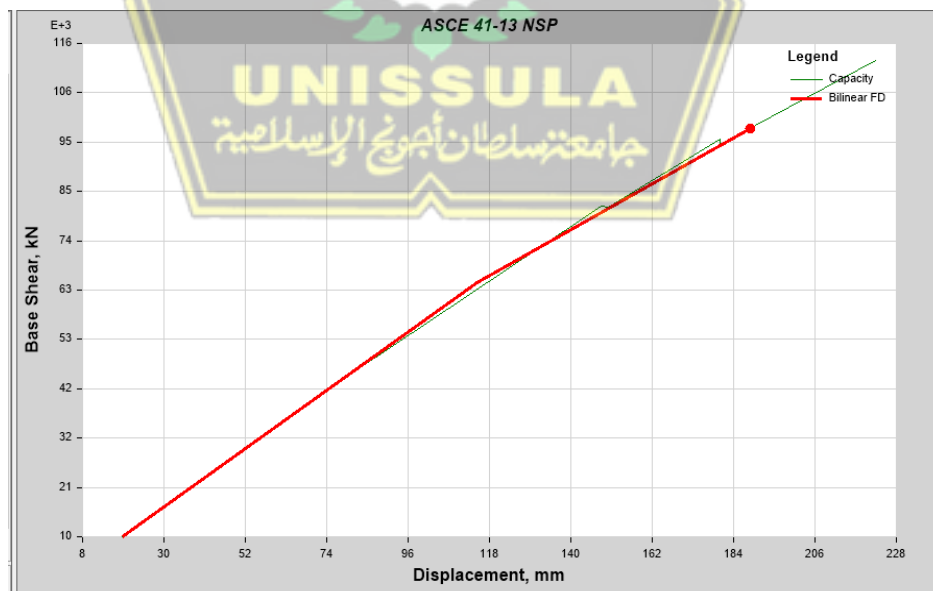
Dari nilai Tabel 4.36, parameter akan dihitung nilai target perpindahan seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned}\delta x &= C_0.C_1.C_2.C_3.Sa \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= 1,45.1,03.1.1.0,68 \frac{0,88^2}{4\pi^2} . 9,81 \\ &= 0,1946 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk arah Y-Y dengan menggunakan cara yang sama didapatkan nilai-nilai target perpindahan sebesar 0,1898 m, dengan parameter perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.37 dan kurva idealis arah Y-Y bisa dilihat pada Gambar 4.33.

Tabel 4.37 Parameter Hitungan arah Y-Y

Calculated Parameters	Keterangan
C_0	1,4831
C_1	1,0303
C_2	1,0000
S_a, g	0,7142
Periode Efektif, T_e (sec)	0,8370
$V_{base} \text{ Yield}, V_y$ (kN)	64937,4709
Weight (kN)	206503,40
C_m	1,00
$\delta y = C_0 * C_1 . * C_2 . * C_3 . * S_a * (T_e^2 / (4 * \pi^2)) * g$	0,1898



Gambar 4.33. Kurva *Pushover* arah Y-Y

4.6.6 Perbandingan Perhitungan

Dari perhitungan diatas dapat ditabelkan nilai target perpindahan atau *performance point* dan level kinerjanya dari beberapa metode perhitungan yang digunakan sebagaimana ditunjukkan dalam pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Target Perpindahan dan Level Kinerja

Arah	Parameter	<i>Direct Displacement Based Design</i>	Hasil Analisis Pushover		
			FEMA 356	FEMA 440	ASCE 41-13 NSP
arah x-x	Targer Perpindahan	0,2290	0,2686000	0,2686000	0,1946
	Drift aktual	-	0,0047	0,0047	0,004328357
	Level kinerja	<i>Life Safety</i>	<i>Immediate occpancy</i>	<i>Immediate occpancy</i>	<i>Immediate occpancy</i>
arah y-y	Targer Perpindahan	0,2290	0,20100	0,20100	0,1894
	Drift aktual	-	0,00500	0,00500	0,004231585
	Level kinerja	<i>Life Safety</i>	<i>Immediate occpancy</i>	<i>Immediate occpancy</i>	<i>Immediate occpancy</i>

Dapat dilihat pada Tabel 4.38 bahwa Tingkat kinerja yang dihasilkan oleh metode ASCE 41-13 NSP belum tentu aman jika dibandingkan oleh metode FEMA 356 atau FEMA 440 karena nilai drift yang dihasilkan oleh ASCE 41-13 NSP memiliki nilai lebih kecil jika dibandingkan dengan metode FEMA.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

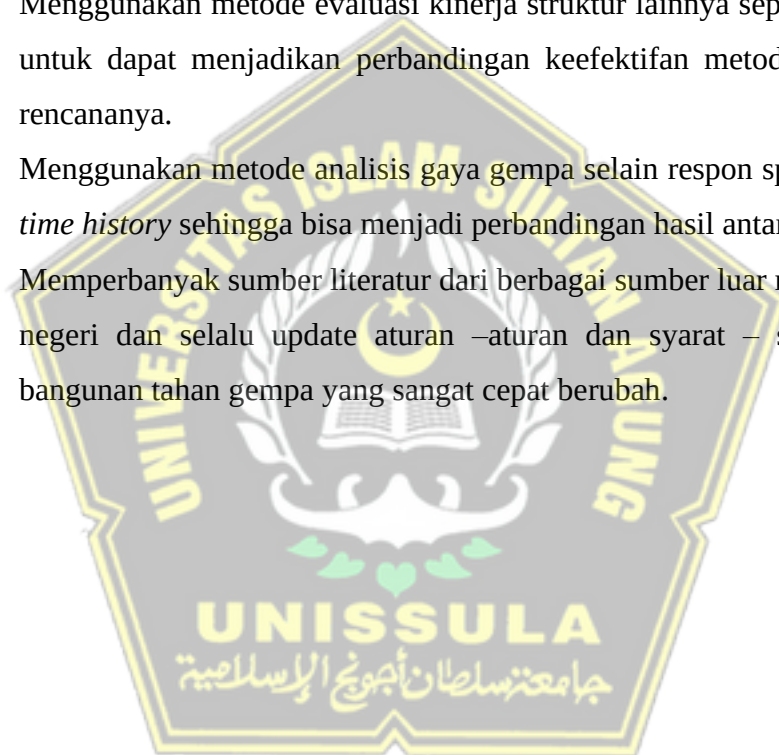
Berdasarkan hasil perhitungan analisa pada laporan tugas akhir dengan judul **“Evaluasi Kinerja Bangunan Menara Universitas Semarang Menggunakan Analisa Pushover”** dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada analisis struktur ini Periode Getar Alami yang sesuai dengan persyaratan kontrol yang tercantum oleh pada pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019 bahwa Periode Getar Alaminya untuk arah X yaitu 1,179 detik dan untuk arah Y Periode Getar Alaminya yaitu 1,146 detik.
2. Gaya gempa rencana yang digunakan adalah gaya gempa respons spektrum yang telah dilakukan kontrol terhadap gaya gempa statik ekuivalen sesuai peraturan SNI 1726:2019 sehingga nilai Gaya Gempa Respons Spektrum $\geq 100\%$ Statik Ekuivalen sehingga mendapatkan gaya geser terbesar, gaya gempa rencana terbesar terletak pada lantai 1 sebesar 23850,97 kN untuk arah X dan untuk arah Y, gempa rencana terbesar terletak pada lantai 1 karena sebagai dasar memikul beban gempa terbesar.
3. Pada Bangunan Menara Universitas Semarang syarat simpangan izin terbesar adalah 42 mm dengan simpangan arah X terbesarnya adalah 35,048 mm dan untuk arah Y simpangan terbesarnya adalah 35,923 mm.
4. Pada analisis stabilitas koefisien (θ) pengecekan efek $P-\Delta$ pada masing masing lantai tidak adanya koefisien pengecekan efek $P-\Delta$ yang melebihi izin maksimum (θ izin) sebesar 0,091, dimana untuk stabilitas koefisien (θ) terbesar arah X adalah 0,0053 dan untuk stabilitas koefisien (θ) terbesar arah Y adalah 0,0047 sehingga kondisi Bangunan Menara Universitas Semarang ini stabil dan tidak perlu untuk dilakukannya desain ulang.
5. Evaluasi kinerja pada Bangunan Menara Universitas Semarang menghasilkan secara keseluruhan struktur berada pada kategori *Immediate Occupancy* yang mempunyai arti bahwa suatu kondisi dimana struktur masih aman untuk digunakan secara operasional setelah gempa itu terjadi (*damage state*).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan pada laporan tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang bisa jadi pertimbangan dimasa depan jika ada penelitian lebih lanjut mengenai *Pushover Analysis*, diantara saran – saran tersebut adalah:

- a. Dikarenakan dalam proses *running Pushover Analysis* cukup membutuhkan waktu yang lama maka diharapkan menggunakan komputer dengan spesifikasi yang bagus sehingga dapat mempercepat proses *running* tersebut.
- b. Menggunakan metode evaluasi kinerja struktur lainnya seperti ATC – 40 untuk dapat menjadikan perbandingan keefektifan metode dan kinerja rencananya.
- c. Menggunakan metode analisis gaya gempa selain respon spektrum yaitu *time history* sehingga bisa menjadi perbandingan hasil antara keduanya.
- d. Memperbanyak sumber literatur dari berbagai sumber luar maupun dalam negeri dan selalu update aturan – aturan dan syarat – syarat tentang bangunan tahan gempa yang sangat cepat berubah.



DAFTAR PUSTAKA

ATC-40. 1996. *SEISMIC EVALUATION AND RETROFIT OF CONCRETE BUILDINGS*. Vol.1 California: Applied Technology Council”

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *PERSYARATAN BETON STRUKTURAL UNTUK BANGUNAN GEDUNG DAN PENJELASAN (SNI 2847:2019)*. Jakarta: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *TATA CARA PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK STRUKTUR GEDUNG DAN NON GEDUNG (SNI 1726:2019)*. Jakarta: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. 2020. *BEBAN DESAIN MINIMUM DAN KRITERIA TERKAIT UNTUK BANGUNAN GEDUNG DAN STRUKTUR LAIN (SNI 1727:2020)*. Jakarta: BSN.

Dewobroto, Wiryanto, 2017. *EVALUASI KINERJA STRUKTUR BAJA TAHAN GEPA DENGAN ANALISA PUSHOVER*. Fakultas Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan. Tangerang.

FEMA 356. 2000. *PRESTANDART AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. Wasington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

FEMA 440. 2005. *IMPROVEMENT OF NONLINIER STATIC SEISMIC ANAYSIS PROCEDURES*. Wasington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

Geraldi, Richard dkk, 2019. *EVALUASI STRUKTUR GEDUNG DENGAN SISTEM RANGKA BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS BERBASIS KINERJA*. Fakultas Teknik Universitas Tarumanegara, Jakarta.

Istiono, Heri dan Azhar Yusuf Ramadhan, 2020. *ANALISIS PENGARUH P-DELTA EFFECT TERHADAP PERBEDAAN KETINGGIAN STRUKTUR GEDUNG TAHAN GEMPA (STUDI KASUS: NON-HIGHRISE BUILDING)*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya.

Manalip, H dkk, 2014. *ANALISIS PUSHOVER PADA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT TIPE PODIUM*. Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Manalip, H dkk, 2015. *PENEMPATAN DINDING GESER PADA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN ANALISA PUSHOVER*. Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Palupi, Arum Seto, 2015. *STUDI KINERJA STRUKTUR GEDUNG SUPERMALL PAKUWON MANSION PHASE-1 SURABAYA MENGGUNAKAN METODE ANALISA PUSHOVER*. Fakultas Teknik Universitas Jember, Jember.

Pangemanan, Syanne dan Helen G. Mantiri, 2017. *ANALISIS PUSHOVER PERILAKU SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT : STUDI KASUS BANGUNAN RUKO*. Fakultas Teknik Politeknik Negeri Manado, Manado.

Saputro, Rindho Adi dan Riski Widiya Irawan, 2019. *ANALISA KINERJA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG 5, 10 DAN 20 TINGKAT BERDASARKAN SNI 1726 TAHUN 2012*). Fakultas Teknik Universitas Islam Sutan Agung, Semarang.

Tavio dan Usman Wijaya. (2018). *DESAIN REKAYASA GEMPA BERBASIS KINERJA (PERFOMANCE BASED DESIGN) Edisi 2*. Yogyakarta: Andi Offset.