

**ANALISIS PUSHOVER TERHADAP KETIDAKBERATURAN
STRUKTUR GEDUNG UNIVERSITAS 9 LANTAI**

TUGAS AKHIR



**YULINDA TIMUR LARESI
1132004013**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA
2017**

**ANALISIS PUSHOVER TERHADAP KETIDAKBERATURAN
STRUKTUR GEDUNG UNIVERSITAS 9 LANTAI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Bakrie**



**YULINDA TIMUR LARESI
1132004013**

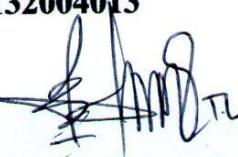
**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA
2017**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Yulinda Timur Laresi

NIM : 1132004013

Tanda Tangan : 

Tanggal : Agustus 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Yulinda Timur Laresi
NIM : 1132004013
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Judul Skripsi : Analisis *Pushover* Terhadap Ketidakberaturan Struktur
Gedung Universitas 9 Lantai

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Pengaji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D

(

Pembimbing II : Dr. M. Ihsan, ST., MT., M.Sc

(

Pengaji I : Jouvan Chandra P. ST., M.Eng

(

Pengaji II : Safrilah, ST., M.Sc

(

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : Agustus 2017

UNGKAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah. Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas rahmat dan hidayah-Nya. Nikmat iman dan sehat yang Allah Subhanahu wa Ta'ala berikan kepada saya atas segala limpahan rezeki dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Shalawat serta salam juga senantiasa penulis ucapkan kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW.

Tugas akhir berjudul “Analisis *Pushover* Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai” ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Bakrie.

Selama penggeraan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak kendala. Akan tetapi, hal ini dapat diselesaikan dengan adanya bantuan, bimbingan, saran, dan motivasi dari pihak-pihak terkait. Adapun pihak-pihak terkait yang membantu penulis dalam menyusun tugas akhir ini, diantaranya:

1. Ibu Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc. Ph.D. selaku Rektor Universitas Bakrie, sekaligus Dosen Pembimbing I tugas akhir yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan selama penulis melakukan tugas akhir.
2. Bapak Dr. M. Ihsan, ST., MT., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam proses penyusunan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ade Asmi, ST. M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil sekaligus pembimbing akademik penulis yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan bagi penulis selama masa kuliah.
4. Bapak Jouvan Chandra P. ST., M.Eng sebagai Dosen penguji I yang telah memberikan banyak masukan dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Ibu Safrilah, ST., M.Sc sebagai Dosen penguji II yang telah memberikan banyak masukan dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang juga telah memberikan pengetahuan-pengetahuan dalam bidang ilmu teknik sipil sehingga membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir.

7. Mbak Nia Nurliani, S.E., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil yang senantiasa membantu penulis dalam mengurus kebutuhan administrasi penulis selama masa perkuliahan.
8. PT. Wiratman, khususnya Divisi Struktur dan Divisi Human Capital yang telah memberikan kesempatan yang luar biasa kepada penulis untuk melakukan magang serta membantu dalam penyusunan tugas akhir.
9. Mamah, Ayah, adik-adik dan keluarga besar tercinta yang senantiasa mendoakan penulis agar selalu sehat, selamat, dan sukses serta senantiasa menasehati dan memberikan motivasi kepada penulis.
10. Annisa Basse Simpurupura dan Adinda Tiffany sebagai sahabat dan partner selama mengerjakan skripsi juga yang telah membantu, memotivasi, dan memberikan saran kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman-teman Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil angkatan 2013, Nisa, Dinda, Ajat, Ghifari, Puput, Ridwan dan Chan, yang senantiasa berbagi dan menghabiskan waktu bersama penulis serta saling mendukung dan memberikan motivasi satu sama lain. Kalian yang sudah ku anggap sebagai keluarga. Semoga silahturahim kita terus terjaga, aamiin.
12. Kakak-kakak angkatan 2012 khususnya, kak Nindy, kak Indah, kak Resa, kak Adies, kak Fendi dan kak Fadhiil yang selalu menyemangati dan memberi nasihat kepada kami angkatan 2013, kalian juga yang sudah ku anggap seperti keluarga. Serta adik adik junior angkatan 2014 hingga angkatan 2016 yang telah memberikan motivasi, masukan, dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
13. Sahabat-sahabat tercinta, Nanda, Dwi, Nita, Ulfa, Wina dan Iwin yang selalu memberi *support* dan selalu medoakan agar tugas akhir ini segera cepat selesai. Elok Putri, Nurul, Sukae dan Suciati yang sudah memotivasi dan selalu mendoakan dalam pengerajan tugas akhir ini.
14. Kak Zahra, kak Nindy, kak Maryam, Esa, Pipit, Fathimah, Aisyah, dek Zizah, dek Nafisah, dek Intan dan lainnya yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
15. Keluarga besar BASMALA Universitas Bakrie.

16. Para keluarga Sahabiyah yang selalu mengirimkan do'a kepada penulis.
17. Seluruh keluarga besar KM-UB serta pihak yayasan Universitas Bakrie yang telah mendukung dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh jalur pendidikan Sarjana S1 di Universitas Bakrie
18. Semua pihak yang telah memberikan dukungan, motivasi, dorongan, dan bantuan kepada penulis selama pembuatan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah disebutkan di atas karena atas bantuan, motivasi, dan doa mereka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun. Penulis berharap apa yang telah dituliskan dalam tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak terkait.

Jakarta, Agustus 2017

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yulinda Timur Laresi
NIM : 1132004013
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Nonekslusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

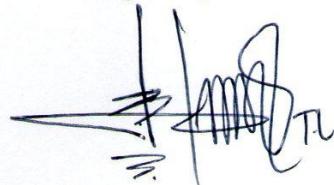
ANALISIS PUSHOVER TERHADAP KETIDAKBERATURAN STRUKTUR GEDUNG UNIVERSITAS 9 LANTAI

Dengan Hak Bebas Royalti Non-ekslusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 30 Juli 2017

Yang menyatakan



(Yulinda Timur Laresi)

ANALISIS PUSHOVER TERHADAP KETIDAKBERATURAN STRUKTUR GEDUNG UNIVERSITAS 9 LANTAI

Yulinda Timur Laresi¹

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa. Gempa bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi merupakan penyebab terbesar dari gempa yang akan menimbulkan kerusakan pada struktur gedung. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia sering kali memakan korban jiwa. Namun, dapat dipastikan bahwa penyebab adanya korban jiwa bukan diakibatkan secara langsung oleh gempa, tetapi diakibatkan oleh rusaknya bangunan yang menyebabkan keruntuhan pada bangunan tersebut.

Tujuan penulisan tugas akhir adalah menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung universitas dari hasil nilai *performance point* menggunakan *code ATC-40*, memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil perhitungan program *software*, mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui *joint-joint* yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran serta membandingkan hasil dari analisis respon spektra dengan analisis *pushover*.

Dari hasil penelitian, Struktur bangunan mampu memberikan perilaku *nonlinear* yang ditunjukkan fase awal dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kriteria *Immediate Occupancy* yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan bangunan dapat segera digunakan kembali.

Kata kunci : *pushover*, *nonlinear*, sendi *plastis*

¹ Mahasiswa Sarjana Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie

**PUSHOVER ANALYSIS OF UNIVERSITY BUILDING STRUCTURES
UNIVERSITY 9 FLOOR**

Yulinda Timur Laresi²

ABSTRACT

Indonesia is an area prone to earthquakes. Earthquakes caused by the movement of the earth's plates are the biggest cause of earthquakes that will cause damage to the building structure. Earthquakes occurring in Indonesia often cost lives. However, it is certain that the cause of the loss of life is not directly caused by the earthquake, but caused by the destruction of the building that caused the collapse in the building.

The purpose of writing the final task is to determine the performance criteria of the university building's seismic performance from the performance point value using the ATC-40 code, showing the melamine scheme (plastic joint distribution) occurring from the calculation of the software program, knowing the collapse pattern of the building so it can be known the joints Suffered damage and suffered destruction and compared the results of spectral response analysis with pushover analysis.

From the results of the study, the structure of the building is able to provide nonlinear behavior indicated by the initial phase and the majority of plastic joints occur in new beam elements and then column elements. The performance level of the structure enters the criterion of Immediate Occupancy which means that minor structural and building damage can be reused immediately.

Keywords: pushover, nonlinear, plastic joints

² Undergraduate Student at Civil Engineering Department Bakrie University

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UNGKAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.5.1 Bagi Mahasiswa	3
1.5.2 Bagi Universitas	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa Bumi	6
2.2 Ketentuan Umum Bangunan Gedung Tahan Gempa	8
2.2.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan.....	8
2.2.3 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons.....	10
2.2.4 Parameter Percepatan Spektral Desain.....	13
2.2.5 Kategori Desain Seismik.....	13
2.3 Pembebanan.....	14
2.3.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	14
2.3.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	15
2.3.3 Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>)	15
2.4 Daktilitas	19
2.5 Ketidakberaturan Struktur	20

2.6	Analisis <i>Pushover</i>	22
2.7	Sendi Plastis	24
2.8	Kriteria Struktur Tahan Gempa.....	26
2.9	Penelitian Terkait	27
2.10	Kesimpulan.....	31
	BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1	Data Struktur Gedung.....	32
3.2	Tahapan Analisis	32
3.2.1	Studi Literatur	32
3.2.2	Pengumpulan Data	32
3.2.3	Pemodelan 3D	33
3.2.4	Perhitungan Pembebatan	33
3.2.5	Analisa Respon Spektrum	33
3.2.6	Perhitungan Beban Gempa.....	34
3.2.7	Penentuan Sendi Plastis	37
3.2.8	Analisis Pembebanan <i>Nonlinier Pushover</i>	37
3.2.9	Analisis Kinerja Struktur Dari Hasil Analisis <i>Pushover</i>	38
3.2.10	Pembahasan Hasil Analisis <i>Pushover</i> Dari Program <i>Software</i>	38
3.2.11	Diagram Alir Penelitian.....	38
	BAB IV PEMODELAN STRUKTUR	40
4.1	Data & Denah Struktur Bangunan Gedung	40
4.2	Spesifikasi Material	42
4.2.1	Mutu Bahan	42
4.2.2	Data Elemen Struktur	42
4.3	Pembebatan.....	44
4.3.1	Pembebatan Gravitasi.....	44
4.3.2	Beban Gempa	46
4.3.3	Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan	47
	BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	48
5.1	Spektrum Respons Desain.....	48
5.2	Analisis Statik Ekivalen	51
5.2.1	Approksimasi Periode Fundamental	51

5.2.2	Pola Ragam Getar	55
5.2.3	<i>Modal Participating Mass Ratio (MPMR)</i>	56
5.2.4	Story Shear	57
5.2.5	Story Drift	58
5.3	Analisis Ketidakberaturan	58
5.3.1	Ketidakberaturan Horizontal	58
5.3.2	Ketidakberaturan Vertikal	65
5.4	Level Kinerja Stuktur	74
5.4.1	Evaluasi Kinerja Stuktur Arah X	74
5.4.2	Evaluasi Kinerja Stuktur Arah Y	75
5.5	Diagram Interaksi Kolom	75
5.6	Grafik Simpangan Struktur Terhadap Beban Gempa	76
5.7	Hasil Analisis Pushover.....	78
5.7.1	Kurva Kapasitas	78
5.7.2	Kurva Kapasitas Spektrum.....	79
5.8	Distribusi Sendi Plastis.....	80
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	82
6.1	Kesimpulan.....	82
6.2	Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83	
Lampiran 1 Denah Balok Lantai 1	85	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pergerakan Permukaan Tanah	6
Gambar 2.2 Skema Pergeseran/Benturan Antar Plat Tektonik.....	7
Gambar 2.3 S_1 , (MCE_R), kelas situs SB	11
Gambar 2.4 S_S , (MCE_R), kelas situs SB	11
Gambar 2.5 Batas Bawah Spektrum Respons MCE_R Deterministik	19
Gambar 2.6 Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada Program ETABS Sumber : Aplikasi Rekayasa Konstruksi, Wiryanto Dewobroto	24
Gambar 2.7 Posisi sumbu lokal kolom struktur pada program ETABS	25
Gambar 2.8 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom	26
Gambar 2.9 Kurva kriteria kinerja	26
Gambar 2.10 Ilustrasi keruntuhan gedung	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.3 Software 3D View	40
Gambar 4.4 Software 3D View : XY	41
Gambar 4.5 Software 3D View : XZ	41
Gambar 4.6 Software 3D View : YZ	42
Gambar 5.1 Peta <i>respons spectra</i> percepatan 1.0 detik (S_1) di batuan dasar (S_D)	49
Gambar 5.2 Peta Respon Spektra percepatan 0.2 detik (S_S) di batuan dasar (S_B)	49
Gambar 5.3 Grafik respons spektrum desain wilayah gempa Jakarta	51
Gambar 5.4 Distribusi Gaya Geser Tingkat Berdasarkan Gaya Lateral Statik Ekivalen.....	54
Gambar 5.5 Pola ragam getar <i>mode</i> pertama transalasi arah Y dengan periode 1,4248	55

Gambar 5.6 Pola ragam getar <i>mode</i> kedua transalasi arah X dengan periode 1,4023	55
Gambar 5.7 Pola ragam getar <i>mode</i> ketiga transalasi arah rotasi dengan periode 1,2284.....	56
Gambar 5.8 Perbandingan Story Shear Arah X	57
Gambar 5.9 Perbandingan Story Shear Arah Y	58
Gambar 5.10 Ketidakberaturan Torsi.....	59
Gambar 5.11 Ketidakberaturan Sudut Dalam	61
Gambar 5.12 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma.....	62
Gambar 5.13 Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang	63
Gambar 5.14 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	63
Gambar 5.15 Soft Story	65
Gambar 5.16 Ketidakberaturan Massa	67
Gambar 5.17 Ketidakberaturan Geometri	70
Gambar 5.18 Diskontinuitas Elemen Vertikal	72
Gambar 5.19 <i>Weak Story</i>	73
Gambar 5.20 Diagram Interaksi Kolom Story 2	76
Gambar 5.21 <i>Displacement</i> Akibat Beban Gempa Arah X	76
Gambar 5.22 <i>Displacement</i> Akibat Beban Gempa Arah Y	77
Gambar 5.23 <i>Story Drift</i> Akibat Beban Gempa Arah X	77
Gambar 5.24 <i>Story Drift</i> Akibat Beban Gempa Arah Y	78
Gambar 5.25 Kurva <i>Dispacement vs Base Shear</i>	79
Gambar 5.26 Kurva Kapasitas Spektrum.....	79
Gambar 5.27 Step 0 Terjadi Sendi Plastis.....	80
Gambar 5.28 Step 1 Terjadi Sendi Plastis.....	80
Gambar 5.29 Step 7 Terjadi Sendi Plastis.....	81

Gambar 5.30 Step 17 Terjadi Sendi Plastis..... 81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	8
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa	10
Tabel 2.3 Koefisien Situs, F_a	12
Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_v	12
Tabel 2.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter	14
Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter	14
Tabel 3.1 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung	34
Tabel 3.2 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x	35
Tabel 4.1 Konfigurasi Gedung.....	40
Tabel 4.2 Tipe Balok Struktur Universitas 9 Lantai	42
Tabel 4.3 Tipe Kolom Struktur Universitas 9 Lantai.....	43
Tabel 4.4 Pembebanan Gravitasi.....	44
Tabel 4.5 Kombinasi Pembebanan.....	46
Tabel 4.6 Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan.....	47
Tabel 5.1 Perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal	53
Tabel 5.2 Perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal	53
Tabel 5.3 Periode Numerik dan (MPMR) berdasarkan SNI 1726:2012.....	56
Tabel 5.4 Story Drift Ratio	58
Tabel 5.5 Ketidakberaturan 1a dan 1b	59
Tabel 5.6 Ketidakberaturan Sudut Dalam	61
Tabel 5.7 Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	62
Tabel 5.8 Pengecekan Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	63
Tabel 5.9 Simpulan Ketidakberaturan Horizontal	64

Tabel 5.10 Perhitungan <i>Vertical Irregularity</i> 1a&1b.....	66
Tabel 5.11 <i>Vertical Irregularity</i> 2	67
Tabel 5.12 <i>Vertical Irregularity</i> 1a,1b, atau 2 <i>Exception</i>	69
Tabel 5.13 <i>Vertical Irregularity</i> 3	71
Tabel 5.14 Perhitungan <i>Weak Story</i>	73
Tabel 5.15 Batasan Ratio <i>Drift</i> Atap ATC 40.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah Balok Lantai 1	85
---------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang berada pada jalur gempa pasifik dan jalur gempa asia. Hal ini menyebabkan Indonesia sering mengalami gempa bumi. Gempa bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi merupakan penyebab terbesar dari gempa yang akan menimbulkan kerusakan pada struktur gedung. Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yangterjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Menurut Suharjanto dalam buku (Rekayasa Gempa) gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifahrya lebih halus atau berupa getaran kecil-kecil yang sulit dirasakan manusia. Contoh getaran kecil adalah getaran yang disebabkan oleh lalu lintas, mobil, kereta api, tiupan angin pada pohon dan lain-lain. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia sering kali memakan korban jiwa. Namun, dapat dipastikan bahwa penyebab adanya korban jiwa bukan diakibatkan secara langsung oleh gempa, tetapi diakibatkan oleh rusaknya bangunan yang menyebabkan keruntuhan pada bangunan tersebut dan berakibat adanya korban jiwa.

Hal yang terjadi tersebut diminimalisir dengan membuat suatu struktur bangunan tahan gempa. Yaitu bangunan yang ketika terjadi gempa tidak mengalami kerusakan yang berat pada strukturnya ataupun apabila struktur bangunan mengalami keruntuhan, mampu menunjukkan perilaku nonlinear pada kondisi *pasca-elastic*, sehingga lebih terjamin tingkat keamanannya pada bangunan terhadap gempa serta meminimalisir adanya korban jiwa. Desain struktur bangunan tahan gempa harus berdasarkan kriteria serta peraturan-peraturan yang berlaku. Struktur bangunan tahan gempa didesain menggunakan metode analisis *pushover*.

Arum Seto Palupi (2015) menyatakan analisa *pushover* atau analisa statik beban dorong adalah metode analisis nonlinear statik dengan meninjau beban statik monotonic yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Dalam proses *pushover*, satu sendi plastis akan mencapai kondisi leleh pertama yang kemudian diikuti dengan kondisi leleh pada sendi-sendi plastis lainnya. Hal ini terus berlanjut sampai akhirnya, simpangan pada puncak struktur memasuki kondisi tidak stabil.

Tugas akhir ini dilakukan menggunakan model struktur bangunan gedung universitas lantai menggunakan struktur rangka beton bertulang dan berfungsi sebagai sarana pendidikan dengan kondisi tanah dibawah bangunan adalah tanah lunak. Jenis system rangka pemikul momen yang digunakan adalah SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Didesain sesuai Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012) dan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a) Bagaimana hasil output analisis *pushover* pada penggunaan program *software*?
- b) Bagaimana pola keruntuhan gedung setelah dianalisis dengan *pushover*?
- c) Apakah hasil analisis pushover menunjukkan bahwa struktur gedung mampu berperilaku linear menjadi nonlinear saat terjadi keruntuhan?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Jenis pemanfaatan struktur gedung sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, termasuk dalam kategori risiko IV. Terdiri dari 9 lantai.
2. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang, meliputi :
 - a. Struktur portal beton bertulang

- b. Pelat lantai beton bertulang
3. Pembebaan gedung meliputi :
 - a. Beban mati (berupa berat sendiri struktur).
 - b. Beban hidup (berupa beban akibat fungsi bangunan sesuai dengan SNI 1726-2012).
 - c. Beban lateral (berupa beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, tanpa memperhitungkan beban angin).
 - d. Peraturan pembebaan berdasarkan Peraturan Pembebaan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 1727:2013.
4. Analisis perencanaan ketahanan gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012.
5. Studi kinerja struktur ditinjau dalam 3 dimensi menggunakan bantuan *software*.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung universitas dari hasil nilai *performance point* menggunakan *code ATC-40*.
2. Memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil perhitungan program *software*.
3. Mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran.
4. Membandingkan hasil dari analisis respon spektra dengan analisis *pushover*

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi Mahasiswa

1. Menambah pengetahuan dan pengalaman Penulis dalam bidang ilmu teknik sipil

2. Mengembangkan pengetahuan mengenai penggunaan *software*
3. Memberikan pemahaman tentang analisis *pushover*
4. Mengetahui pengaruh gempa bumi yang diberikan terhadap gedung
5. Memahami peraturan serta mendapatkan gambaran optimasi menggunakan metode analisis *pushover*

1.5.2 Bagi Universitas

Hasil penelitian ini akan menjadi tambahan referensi bagi mahasiswa lain khususnya di Universitas Bakrie yang ingin melakukan studi lanjutan yang berkaitan dengan Analisis Pushover Terhadap Gedung Universitas 9 Lantai.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun menggunakan sistematika penulisan yang baku agar memudahkan proses penyusunan. Adapun rincian sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari,

BAB I PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir dari penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori yang digunakan adalah teori tentang konsep dasar mekanisme gempa, pembebana, kriteria struktur tahan gempa dan analisis *pushover*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas mengenai data struktur mengenai penelitian, metode penelitian, teknik pengumpulan data, metode pengolahan data dan sistematika penelitian.

BAB IV : PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini menyajikan uraian tentang modelisasi struktur, beban-beban yang bekerja pada struktur, dan kombinasi pembebanan yang digunakan.

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil perhitungan dan analisa struktur yang dimodelkan dengan program komputer numerik serta pembahasan mengenai interaksi tanah dan struktur

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran secara menyeluruh dari hasil analisa berdasarkan batasan-batasan yang ada dalam Tugas Akhir

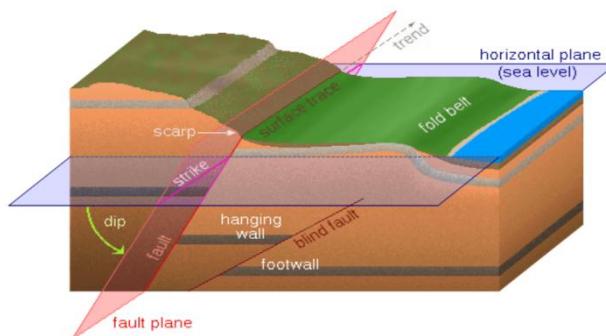
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi adalah pelepasan energi pada muka bumi, merambat melalui permukaan tanah. Terjadinya gempa bumi disebabkan oleh benturan/gesekan antara plat tektonik (lempeng bumi) atau amblesnya dasar laut. Lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar bertumbukan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan dan geseran. Pada batas elastisitas lempeng terlampaui maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa.

Pergeseran/benturan antar plat tektonik menyebabkan plat tektonik bergerak. Pergerakan plat tektonik mengakibatkan permukaan tanah bergeser, sebagaimana pada gambar 2.1.



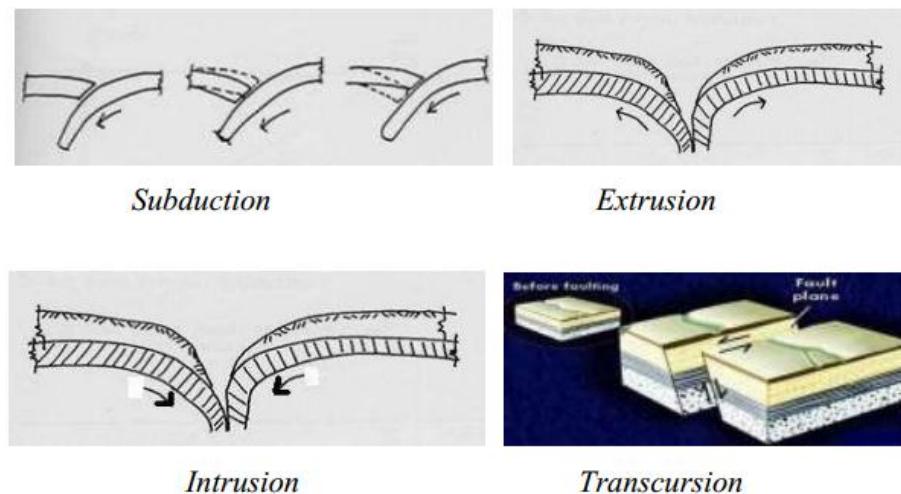
Gambar 2.1 Skema Pergerakan Permukaan Tanah

Sumber : WordPress.com, blog mengenai geologi

Mekanisme pergeseran/benturan antar plat tektonik adalah sebagai berikut :

1. *Subduction*, yaitu plat tektonik yang satu membelok ke bawah, sedangkan plat tektonik yang lainnya sedikit terangkat.
2. *Extrusion*, yaitu kedua plat tektonik saling bergerak keatas kemudian saling menjauh.
3. *Intrusion*, yaitu kedua plat tektonik saling mendekat dan saling bergerak kebawah.
4. *Transcursion*, yaitu plat tektonik yang satu bergerak vertikal/horisontal terhadap yang lain.

Ilustrasi pergeseran/benturan antar plat tektonik sebagaimana pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Skema Pergeseran/Benturan Antar Plat Tektonik

Sumber : WordPress.com, blog mengenai geologi

Bila gempa bumi terjadi, maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa. Selanjutnya struktur bangunan akan merespons gempa tersebut. Struktur akan beresonansi memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya gempa < gaya dalam struktur, maka struktur akan kuat dan aman menahan beban gempa. Sebaliknya bila gaya gempa > gaya dalam struktur, maka struktur tidak kuat dan tidak aman menahan beban gempa selanjutnya bisa jadi struktur runtuh.

2.2 Ketentuan Umum Bangunan Gedung Tahan Gempa

2.2.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.2. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - 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 non gedung 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	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk,</p> <p>tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya 	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

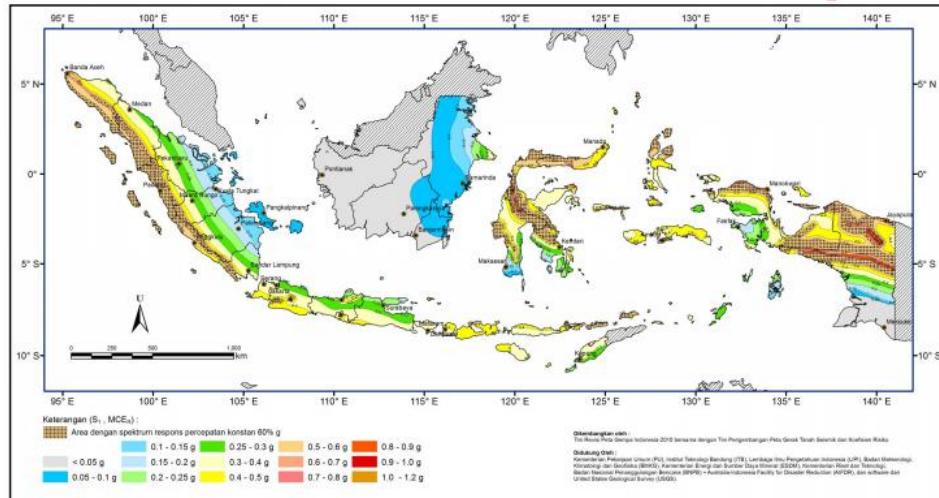
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

2.2.3 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

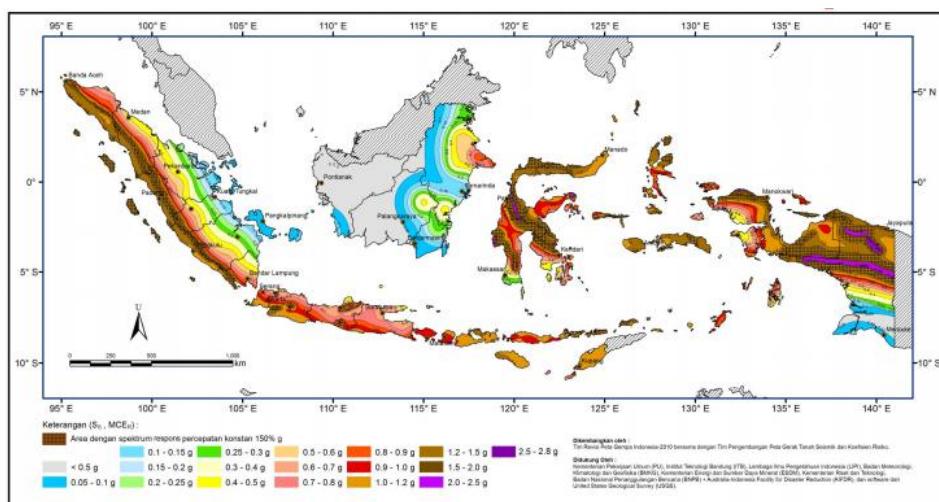
Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila S_1

$\leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan.



Gambar 2.3 S₁, (MCE_R), kelas situs SB

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012



Gambar 2.4 S₈, (MCE_R), kelas situs SB

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periода 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada

getaran perioda pendek F_a dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik F_v . Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek S_{MS} dan perioda 1 detik S_{M1} yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Koefisien Situs, F_a

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

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(b) S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1	
	$S_1 \leq 0,5$	$S_1 \geq 0,75$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S₁				
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,4	S ₁ ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

2.2.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan, maka nilai S_{DS} harus ditentukan dan nilai S_{D1} tidak perlu ditentukan.

2.2.5 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke

dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.5 atau 2.1, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Tabel 2.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter

respons percepatan pada perioda pendek

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

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter

respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

2.3 Pembebanan

2.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang bekerja akibat gravitasi dan tetap dalam posisinya selama bangunan itu berdiri. Beban mati biasanya diakibatkan oleh berat struktur itu sendiri.

2.3.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup merupakan beban yang dihasilkan oleh manusia maupun barang-barang yang berpindah tempat serta peralatan lain yang dapat berpindah pindah yang sifatnya tidak tetap.

2.3.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas merupakan bagian struktur yang terletak di atas muka tanah. Struktur atas meliputi balok, kolom, dan *shear wall*. Sedangkan struktur bawah terletak di bawah muka tanah yang meliputi basement atau pondasi. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung", suatu struktur bangunan harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur bangunan menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Kombinasi-kombinasi pembebanan untuk metoda ultimit adalah sebagai berikut:

$$1. 1,4D \quad (2.5)$$

$$2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.6)$$

$$3. 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.7)$$

$$4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.8)$$

$$5. 1,2D + 1,0E + L \quad (2.9)$$

$$6. 0,9D + 1,0W \quad (2.10)$$

$$7. 0,9D + 1,0E \quad (2.11)$$

Sedangkan pada kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi berdasarkan metoda tegangan ijin meliputi:

$$1. D \quad (2.12)$$

$$2. D + L \quad (2.13)$$

$$3. D + (L_r \text{ atau } R) \quad (2.14)$$

$$4. D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.15)$$

$$5. D + (0,6W \text{ atau } 0,7E) \quad (2.16)$$

$$6. D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.17)$$

$$7. 0,6D + 0,6W \quad (2.18)$$

$$8. 0,6D + 0,7E \quad (2.19)$$

Sedangkan untuk kombinasi beban gempa harus dikombinasikan dengan beban mati dan beban hidup sesuai dengan peraturan yang sudah ditetapkan. SNI 1726:2012 diterangkan bahwa pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horisontal dan vertikal. Sehingga semua elemen struktur harus didesain menggunakan pengaruh beban gempa. Perhitungan pengaruh beban gempa adalah sebagai berikut:

Pada kombinasi beban,

$$1. 1,2D + 1,0E + L \quad (2.20)$$

$$2. D + (0,6W \text{ atau } 0,7E) \quad (2.21)$$

$$3. D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.22)$$

Maka persamaan gempa yang digunakan yaitu:

$$E = E_h + E_v \quad (2.23)$$

Untuk kombinasi beban,

$$1. 0,9D + 1,0E \quad (2.24)$$

$$2. 0,6D + 0,7E \quad (2.25)$$

Maka persamaan gempa yang digunakan yaitu:

$$E = E_h - E_v \quad (2.26)$$

Pengaruh beban gempa horizontal, E_h harus diperhitungkan dengan persamaan,

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.27)$$

Sedangkan, pengaruh beban gempa vertikal, E_v diperhitungkan dengan persamaan,

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2.28)$$

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan yaitu:

$$1. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + \rho Q_E + L \quad (2.29)$$

$$2. (0,9 - 0,2 S) D + \rho Q_E + 1,6 H \quad (2.30)$$

Besarnya geser dasar seismik dalam arah yang ditetapkan ditentukan dengan persamaan,

$$V = C_S W \quad (2.31)$$

Koefisien respons dinamik diperhitungkan dengan persamaan

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.32)$$

Dan C_s tidak harus kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.33)$$

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik

dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periода 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor implifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan persamaan,

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.34)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.35)$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar dengan mengikuti ketentuan,

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.36)$$

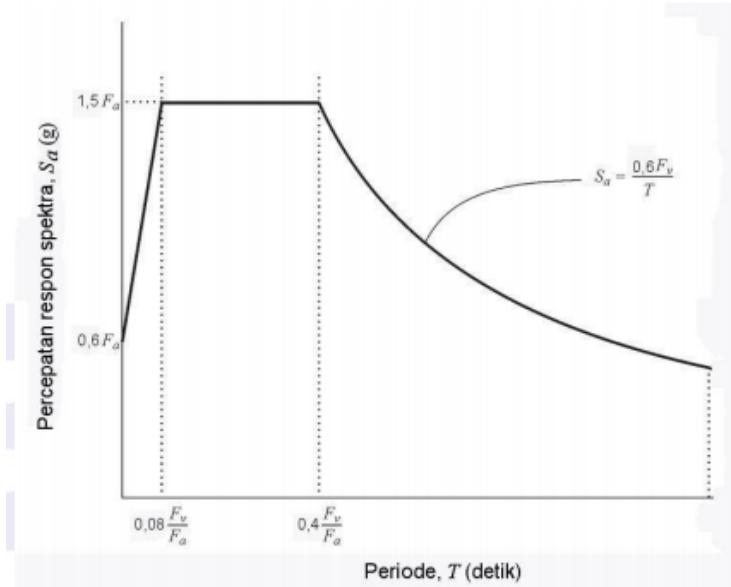
2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons prcepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk perioda lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.37)$$

Dimana

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.38)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.39)$$



Gambar 2.5 Batas Bawah Spektrum Respons MCE_R Deterministik

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

2.4 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban diatas beban gempa yang menyebabkan terjadinya peleahan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dankekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Faktor daktilitas struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya peleahan pertama.

2.5 Ketidakberaturan Struktur

Struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai beraturan dan tidak beraturan berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung. Konfigurasi bangunan hakekatnya adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam, dan penempatan struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan bagian pengisi. Dalam SNI 1726-2012 pasal 7.3.2 struktur bangunan gedung diklasifikasikan sebagai berikut:

A. Ketidakberaturan horizontal pada struktur antara lain:

1. Ketidakberaturan torsi; Yaitu jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat ratarata di kedua ujung struktur. Dan hanya berlaku untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.
2. Ketidakberaturan torsi berlebihan; Yaitu jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat ratarata di kedua ujung struktur. Dan hanya berlaku untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.
3. Ketidakberaturan sudut dalam; Yaitu jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.
4. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma; Yaitu jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.

5. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang; Yaitu jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.
6. Ketidakberaturan sistem non-paralel. Yaitu jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.

B. Ketidakberaturan vertikal pada struktur antara lain:

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak; Yaitu jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang 80% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya.
2. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan; Yaitu jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang 70% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya.
3. Ketidakberaturan berat (massa); Yaitu jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat didekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
4. Ketidakberaturan geometri vertikal; Yaitu jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa disemua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.
5. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal; Yaitu jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan ditingkat di bawahnya.
6. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat; Yaitu jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

7. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan; Yaitu jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau. Sebaliknya jika suatu bangunan tidak termasuk dalam syarat yang berlaku dalam SNI 1726-2012 pasal 7.3.2 dianggap gedung beraturan.

2.6 Analisis *Pushover*

Analisis 22nelas non linier pushover (ATC 40, 1997) merupakan salah satu komponen *performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari analisis pushover sebenarnya sangat sederhana yaitu memberikan pola beban 22nelas tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui nilai-nilai gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu. Nilai-nilai yang didapatkan tersebut kemudian dipetakan menjadi kurva kapasitas dari struktur. Selain itu, analisis pushover juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Meskipun dasar dari analisis ini sangat sederhana, tetapi informasi yang dihasilkan akan menjadi berguna karena mampu menggambarkan respons 22nelastic bangunan ketika mengalami gempa. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah-masalah analisis maupun desain, tetapi merupakan suatu langkah maju dengan memperhitungkan karakteristik respons non-linier yang dapat dipakai sebagai ukuran *performance* suatu bangunan pada waktu digoncang gempa kuat. Prosedur perhitungan dengan *analisis pushover* (ATC 40, 1997) adalah sebagai berikut :

- Pembuatan model komputer struktur yang akan dianalisis secara dua atau tiga dimensi
- Dimensi suatu kriteria *performance*, seperti batas ijin simpangan pada lantai atap pada titik sendi tertentu, dan lain-lain
- Pembebanan struktur dengan gaya gravitasi sesuai dengan rencana
- Pembebanan dengan pola beban statik tertentu yang didapatkan dari standar yang berlaku di masing-masing negara
- Penentuan Titik Kendali tertentu untuk memantau perpindahan, biasanya titik pada lantai atap
- Struktur didorong (*push*) dengan pola pembebanan yang ditentukan sebelumnya secara bertahap hingga mencapai batas ijin simpangan atau mencapai keruntuhan yang direncanakan
- Penggambaran kurva kapasitas, yaitu kurva hubungan antara Gaya Geser Dasar dengan Perpindahan pada Titik Kendali.

Wiryanto Dewobroto (2006) menyatakan Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu :

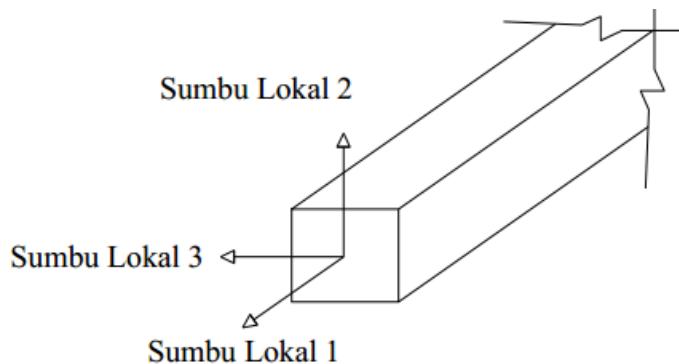
- Hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik.
- Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisis adalah sangat penting.
- Untuk membuat model analisis nonlinier akan lebih rumit dibanding model analisis linier. Analisis nonlinier harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek $P-\Delta$.

2.7 Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut (Gambar 2.8). Sendi plastis merupakan bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain *kolom kuat balok lemah*. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.

1. *Hinge* propertis balok

Data hinge properties dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 2.6.



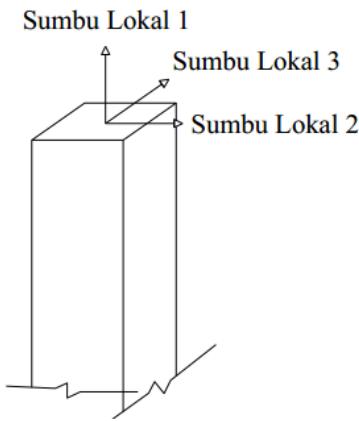
Gambar 2.6 Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada Program ETABS

Sumber : Aplikasi Rekayasa Konstruksi, Wiryanto Dewobroto

2. *Hinge* Propertis Kolom

Data hinge properties untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan

yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.7.

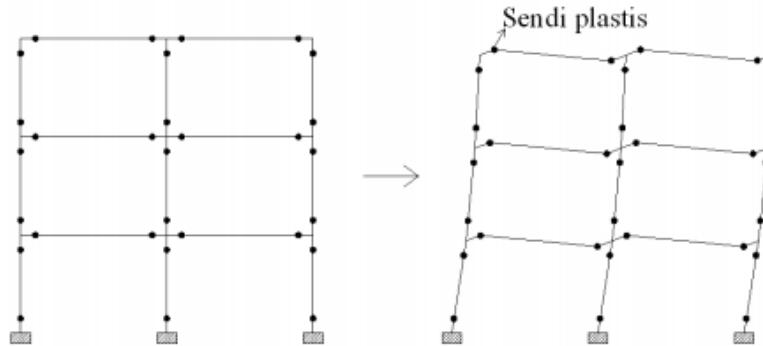


Gambar 2.7 Posisi sumbu lokal kolom struktur pada program ETABS

Sumber : Aplikasi Rekayasa Konstruksi, Wiryanto Dewobroto.

3. Penentuan letak sendi plastis

Setelah pendefinisian data hinge propertis balok dan kolom adalah penentuan latakan tarjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok.

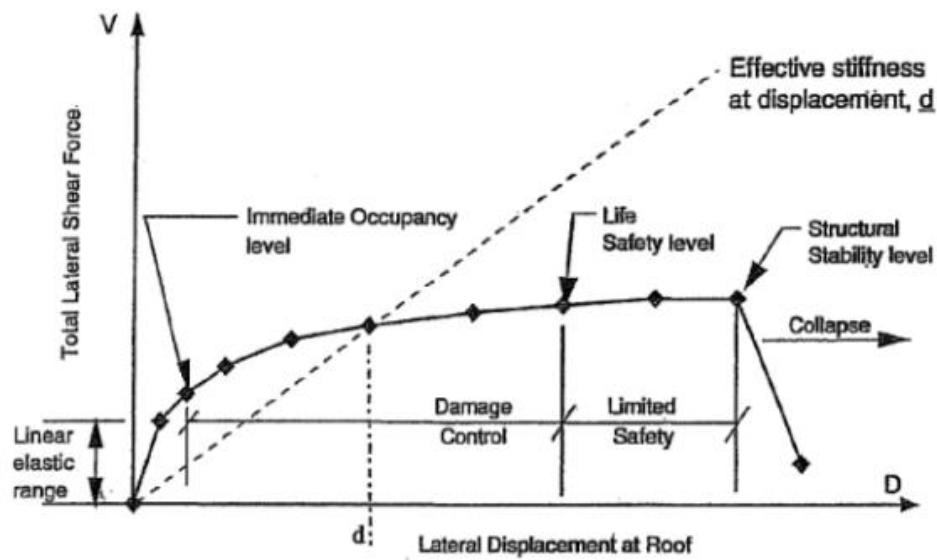


Gambar 2.8 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom

Sumber : Jurnal tentang Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa, Wiryanto Dewobroto.

2.8 Kriteria Struktur Tahan Gempa

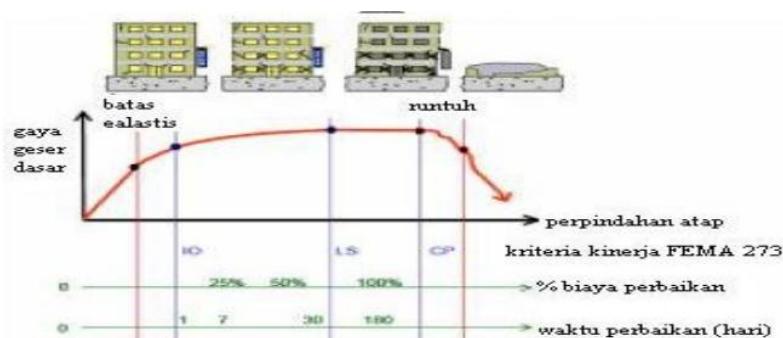
Menurut ATC-40, kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Kurva kriteria kinerja

Sumber : ATC 40

1. *Immediate Occupancy (IO)* Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga dapat langsung dipakai.
2. *Life Safety (LS)* Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal/berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.
3. *Collapse Prevention (CP)* Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.
4. *Structural Stability (SS)* adalah kondisi dimana struktur telah mengalami kerusakan parsial ataupun total, kerusakan yang terjadi telah menyebabkan degradasi kekuatan dankekakuan pada sistem penahanan gaya lateral.



Gambar 2.10 Ilustrasi Keruntuhan Gedung

Sumber : Jurnal tentang Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa, Wiryanto Dewobroto.

2.9 Penelitian Terkait

1. Nama : Ary Marwanto, Agus Setiya Budi dan Agus Supriyadi
(Jurnal tahun 2014)
- Judul : Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Pushover Terhadap Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Surakarta)

Kesimpulan:

Penelitian ini menggunakan analisis nonlinier pushover dengan program ETABS. Metode penelitian diawali dengan pemodelan struktur 3 dimensi dengan menggunakan *software* ETABS sesuai *shopdrawing*. Setelah pemodelan dilakukan analisis perhitungan pembebanan pada struktur tersebut berupa beban mati, beban hidup dan beban tambahan. Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dan pola yang kedua memberi beban secara berangsur-angsur adalah sesuai dengan mode pertama struktur. Hasil *pushover* disimpan secara *multiple statis* dengan jumlah minimum 5 *steps* dan maksimum 1001 *steps*. Hasil analisis diperoleh nilai *drift* pada arah x adalah 0,00312 dan pada arah y adalah 0,00298. Nilai maksimal *in-elastic drift* pada arah x adalah 0,00310 dan arah y adalah 0,00297. Menurut ATC-40, nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*.

2. Nama : Nissa Zahra Rachman, Edy Purwanto dan Agus Suptiyadi
(Jurnal tahun 2012)

Judul : Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel Di Semarang)

Kesimpulan:

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja gedung berdasarkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Metode yang digunakan adalah analisis statik *nonlinier pushover* dengan menggunakan program ETABS. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi pushover pada arah x sebesar 557,867 ton. Nilai *displacement* adalah 0,112 m. *Displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* yang diijinkan, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Maksimum total *drift* adalah

0,0035 m dan maksimum *In-elastic drift* adalah 0,0034 m, Sehingga gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

3. Nama : Wibowo, Edy Purwanto dan Dwi Yanto (Jurnal Tahun 2010)
Judul : Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa

Kesimpulan:

Tujuan dari kajian ini adalah untuk menjawab secara ilmiah permasalahan tentang tingkat keamanan struktur gedung beton bertulang pasca serangan gempa (kasus gempa Jogja pada tahun 2006). Metode yang digunakan adalah dengan observasi langsung dilapangan, mengumpulkan data perencanaan, data *asbuilt drawing*, membuat model struktur dan melakukan analisis *pushover*. Sampel yang digunakan adalah sebuah gedung perkantoran di wilayah kota Surakarta. Hasil kajian menunjukkan bahwa secara struktural, gedung yang menjadi sampel kajian, masuk kategori *Immediate Occupancy* (IO) yang berarti belum terjadi kerusakan struktur yang berarti akibat gempa terjadi, namun harus dilakukan perbaikan terhadap beberapa kerusakan agar tidak menjadi kerusakan lebih besar akibat gaya gravitasi dan beban layan gedung.

4. Nama : Hizkia Yehezkiel Mamesah, Steenie E. Wallah & Reky Stenly Windah (Jurnal Tahun 2014)

Judul : Analisis Pushover Pada Bangunan dengan Soft First Story

Kesimpulan :

Dari hasil analisis dan pembahasan terhadap 3 tipe bangunan yaitu bangunan *Non Soft Story*, *Soft First Story 1*, *Soft First Story 2*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya geser maksimum terjadi pada gedung *Non Soft Story* yaitu sebesar 2.334 ton. Gaya geser terkecil terjadi pada gedung *Soft First Story 2* yaitu sebesar 1.359 ton. Sedangkan simpangan maksimum terjadi pada gedung

Non Soft Story yaitu sebesar 0,34 m dan yang paling kecil pada gedung *Soft First Story 2* yaitu sebesar 0,26 m.

2. Simpangan maksimum yang terjadi sebelum keruntuhan pada setiap bangunan memenuhi syarat yang diberlakukan oleh SNI 1726-2012.
 3. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 menunjukkan bahwa pada ketiga model bangunan tersebut berada pada level *Damage Control* dimana kondisi gedung belum mengalami kerusakan berarti dan dapat difungsikan kembali.
 4. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Spektrum Kapasitas ATC-40 menunjukkan bahwa ketiga model bangunan tersebut berada pada level *Immediate Occupancy* dimana kondisi gedung hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan dapat digunakan kembali.
 5. Distribusi sendi plastis sesuai yang diharapkan, yaitu sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah, karena terjadi keruntuhan pada balok dulu kemudian diikuti pada kolom.
5. Nama : Adrian Fredrick C. Dya & Andres Winston C. Oretaa
(Jurnal Tahun 2015)
- Judul : Seismic Vulnerability Assessment Of Soft Story Irregular Buildings Using Pushover Analysis

Kesimpulan :

Setelah analisis hasil pemodelan untuk bangunan *soft story*, dapat dilihat bahwa penyebab utama bangunan *soft story* lebih rentan terhadap gempa bumi adalah lokalisasi kekuatan seismik. Meskipun total permintaan pada bangunan lebih kecil karena tinggi bangunan yang berbeda, permintaan yang tidak merata pada area bangunan menyebabkan bahaya lokal. Kekuatan terkonsentrasi pada segmen bangunan dimana ada pengurangan kekakuan yang berada di lokasi *soft story*. Hal ini dapat

diamati melalui pengembangan *plastic hinges, story drift* bangunan, serta disain. Parameter seismik ini menunjukkan lokalisasi permintaan seismik.

Risiko bangunan meningkat karena meningkatnya bahaya pada area tertentu. Kenaikan risiko juga tergantung pada jumlah atau tingkat keparahan *soft story* bangunan dan dengan demikian pengubah ketidakteraturan *soft story* dikategorikan lebih lanjut untuk mempertimbangkan tingkat keparahannya.

Diketahui bahwa setiap bangunan yang dirancang dengan benar akan mampu menahan eksitasi seismik tanpa menimbulkan kerusakan yang cukup besar. Perancang bangunan struktural harus memperhatikan dengan seksama daerah ini saat merancang bangunan *soft story*.

2.10 Kesimpulan

Pertimbangan penulis memilih gedung universitas 9 lantai sebagai obyek penelitian karena terdapat beberapa ketidakberaturan struktur yang sangat kompleks yang dimana itu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan struktur itu sendiri serta berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya membahas satu atau dua ketidakberaturan dari suatu struktur dengan pemodelan struktur sederhana. Metode yang digunakan penulis disini adalah dengan analisis *pushover* menggunakan program software, metode ini bukanlah metode yang baru atau yang lebih akurat di dunia teknik sipil, metode ini sebagai pendekatan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisa non linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), dengan memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Terdapat metode yang lebih akurat dari analisis *pushover* yaitu analisis *time history*, namun karena analisis *time history* memerlukan data rekaman percepatan tanah yang lebih spesifik dan data tanah ini baru beberapa daerah saja yang ada. Untuk daerah Jakarta sendiri belum ada data rekaman percepatan tanah yang spesifik, oleh karena itu penulis memilih metode analisis *pushover*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Struktur Gedung

Pada penelitian ini dilakukan pada gedung universitas yang berada di kota Jakarta. Struktur gedung beton bertulang dengan ketinggian 9 lantai. Fungsi utama bangunan adalah sebagai fasilitas pendidikan. Lokasi gedung di daerah kota Jakarta dengan kategori risiko gempa IV (SNI 1726-2012) yang berdiri pada kondisi tanah lunak. Denah gedung dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

3.2 Tahapan Analisis

Metode penelitian ini menggunakan analisis *nonlinier pushover*. Analisis menggunakan program *software*. Untuk mewujudkan uraian diatas maka langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam analisis *nonlinier pushover*. Mempelajari semua yang berhubungan dengan analisis *nonlinier pushover*. Buku acuan yang dipakai antara lain 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dan non Gedung, Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 1727-2013, *Applied Technology Council for Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume-1(ATC-40)*, *Federal Emergency Management Agency for Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings* (FEMA-356) dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis *pushover*.

3.2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi gedung universitas yang diteliti, baik data sekunder maupun data primer. Data yang didapat adalah *Shop Drawing* gedung universitas. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya

dianalisis dengan bantuan *software*. Data tanah yang digunakan berdasarkan data tanah yang sudah ada.

3.2.3 Pemodelan 3D

Pembuatan model struktur bangunan gedung universitas X dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari *shop drawing* gedung universitas X. *Software* mengasumsikan bahwa sumbu global Z selalu merupakan sumbu vertikal, dimana sumbu global Z merupakan sumbu vertikal yang memiliki arah ke atas. Bidang X-Y merupakan suatu bidang horizontal.

3.2.4 Perhitungan Pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasar pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam program *software* dimasukkan dalam *load case DEAD*, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program *software* dalam *load case Super Dead*. Perhitungan berat sendiri ini dalam program *software* yang untuk *dead* adalah 1 , sedangkan *super dead* adalah 0, dimana beban untuk *dead* telah dihitung secara otomatis oleh program *software*, sedangkan untuk beban *Super dead* bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada. Beban hidup yang dimasukkan dalam program *software* dinotasikan dalam *live*.

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

3.2.5 Analisa Respon Spektrum

Menganalisis Model struktur dengan Respon Spektrum untuk mendapat kurva *respon spectrum* sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program *software*. Data yang dibutuhkan dalam analisa respon spectrum adalah nilai C_a dan

nilai C_v . Dimana nilai C_a (*Peak Ground Acceleration*) didapat dari percepatan muka tanah maksimum pada suatu wilayah.

3.2.6 Perhitungan Beban Gempa

Dalam menganalisis elemen struktur bangunan yang ditinjau, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen pada tiap lantainya. Dalam subbab ini diuraikan mengenai prosedur statik ekuivalen untuk mendapatkan distribusi gaya lateral gempa tiap lantainya.

1. Perhitungan waktu getar alami struktur (T_a). Perhitungan waktu getar struktur ini dihitung secara empiris dengan rumus :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.1)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur,

dan koefisien

C_t dan x ditentukan dari Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

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

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Tabel 3.2 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

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

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan T_a , dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1/N \quad (3.2)$$

Keterangan:

N = jumlah tingkat

2. Distribusi vertikal gaya gempa

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

$$F_x = C_{vx}V \quad (3.3)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.4)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

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

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang,

$k = 1$ untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3. Distribusi horisontal gaya gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.5)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i , dinyatakan dalam kilo newton (kN)

Geser tingkat desain gempa (V_x) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

3.2.7 Penentuan Sendi Plastis

Pemasukan data sendi plastis pada model struktur bangunan sesuai dengan penentuan tempat terjadinya sendi plastis. Sendi plastis diharapkan terjadi pada balok utama dan kolom. Untuk balok dikenakan beban momen arah sumbu lokal 3 (M3), sedangkan pada kolom dikenakan beban gaya aksial (P) dan momen (M) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 (PM2M3).

3.2.8 Analisis Pembebanan *Nonlinier Pushover*

Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dalam analisis ini beban gravitasi yang digunakan adalah beban mati dengan koefisien 1 dan beban hidup dengan koefisien 1 (dianggap analisis tanpa dipengaruhi koefisien apapun). Setelah kondisi pertama selesai dijalankan, pembebanan bangunan dilanjutkan dengan kondisi kedua yakni akibat beban lateral. Pola beban lateral yang mewakili gaya inersia akibat gempa pada tiap lantai, yang diperoleh dari pembebanan dengan pola beban mengikuti *mode* pertama struktur. Arah pembebanan lateral dilakukan searah dengan sumbu utama bangunan.

Pada *static pushover case* untuk beban gravitasi, dipilih *push to load level defined by pattern*, karena beban gravitasi yang bekerja sudah diketahui besarnya melalui perhitungan. Pada analisis ini *pushover case* untuk beban gravitasi diberi nama GRAV.

Untuk beban lateral digunakan *push to displacement magnitude* yang artinya proses *pushover* dilakukan hingga target *displacement* tercapai. Pola pembebanan yang diberikan secara berangsur-angsur adalah sesuai dengan mode pertama struktur. Keadaan awal untuk kondisi pembebanan ini diambil dari kondisi *pushover* sebelumnya yaitu *pushover case GRAV*. Hasil *pushover* disimpan secara *multiple states* dengan jumlah minimum 5 *steps* dan maksimum 1001 *steps*. Pada penelitian ini *pushover case* untuk beban lateral akibat gempa diberi nama PUSH.

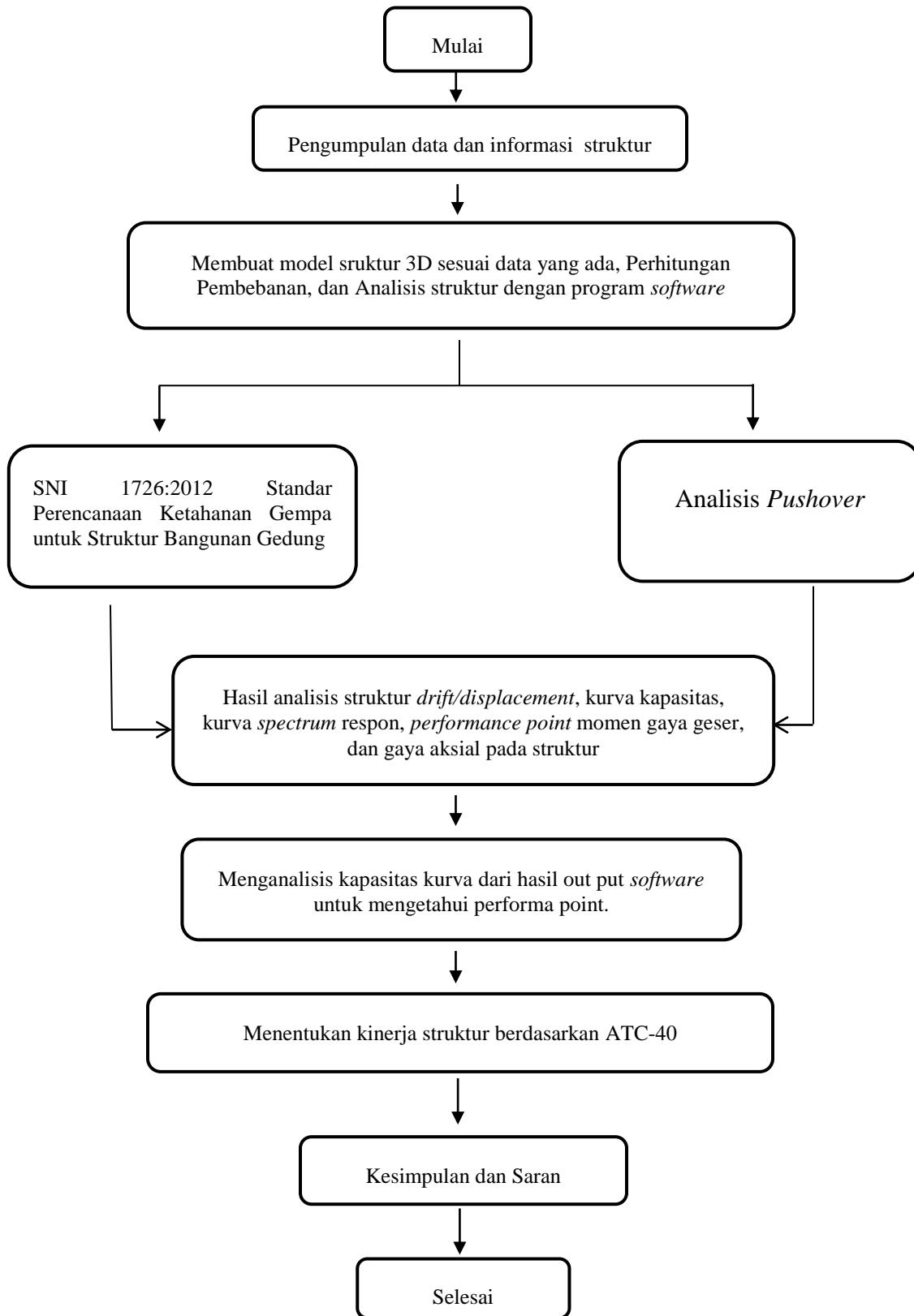
3.2.9 Analisis Kinerja Struktur Dari Hasil Analisis *Pushover*

Pada program *software*, hasil analisis didapat *pushover* kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu, kurva respon spektrum yang sesuai dengan wilayah gempa yang ada, diagram leleh sendi plastis pada balok dan kolom.

3.2.10 Pembahasan Hasil Analisis *Pushover* Dari Program *Software*

Dari *performance point* didapatkan nilai *displacement* efektif, gaya geser dasar, waktu getar efektif dan *damping* efektif. Dari nilai *displacement* akan diketahui kriteria kinerja *seismik* struktur berdasarkan ATC-40. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3.2.11 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

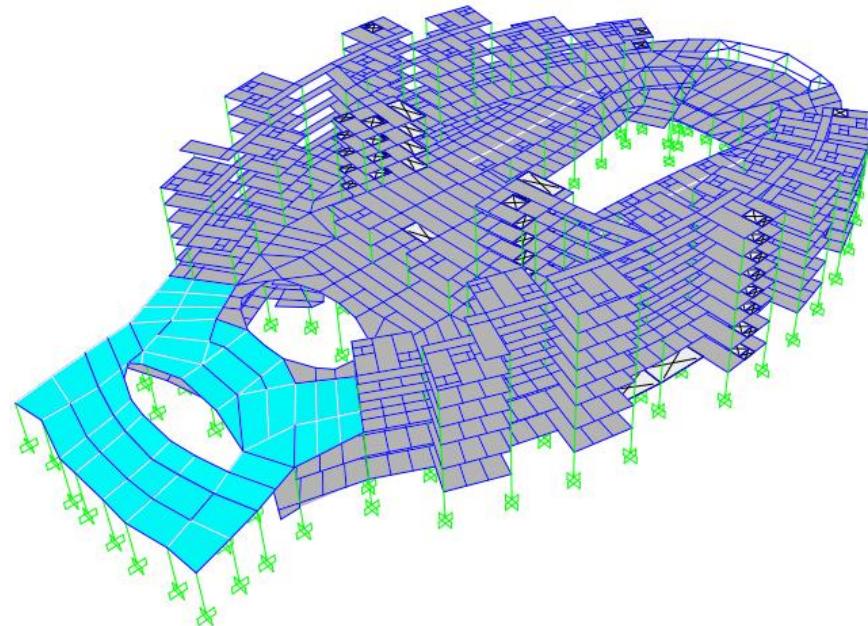
BAB IV

PEMODELAN STRUKTUR

4.1 Data & Denah Struktur Bangunan Gedung

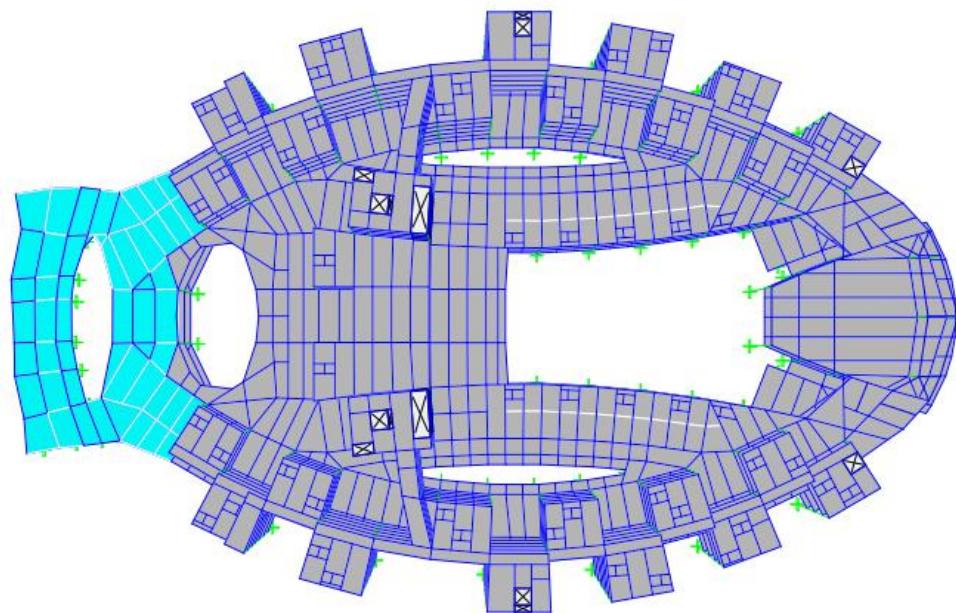
Tabel 4.1 Konfigurasi Gedung

Konfigurasi Gedung		
Lantai	Tinggi lantai (m)	Tinggi bangunan (m)
Lantai Atap	3.6	33
Lantai 8	3.6	29.4
Lantai 7	3.6	25.8
Lantai 6	3.6	22.2
Lantai 5	3.6	18.6
Lantai 4	5	15
Lantai 3	5	10
Lantai 2	5	5

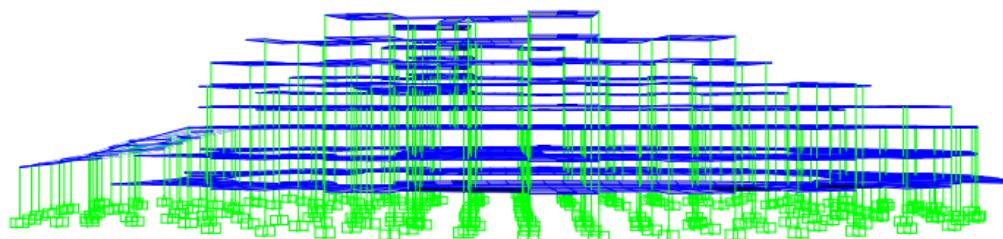


Gambar 4.1 Software 3D View

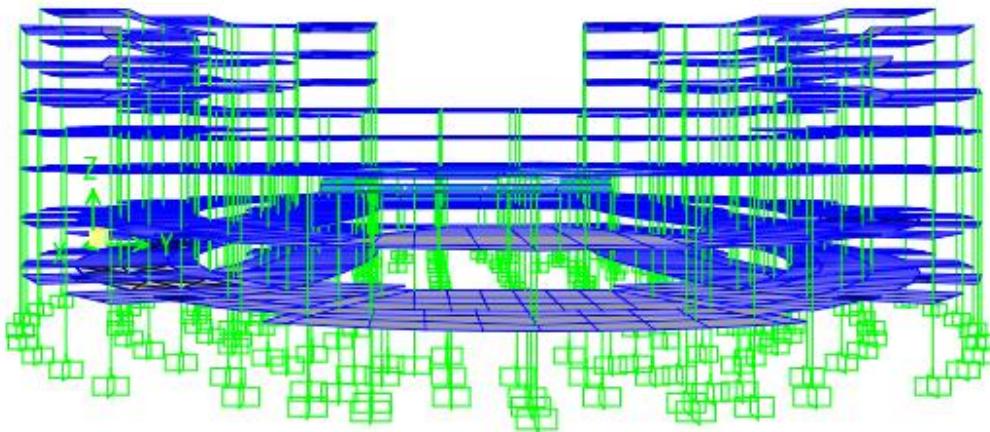




Gambar 4.2 Software 3D View : XY



Gambar 4.3 Software 3D View : XZ



Gambar 4.4 Software 3D View : YZ

4.2 Spesifikasi Material

4.2.1 Mutu Bahan

Mutu beton pada kolom f'_c = 45 MPa

balok f'_c = 35 MPa

Mutu baja tulangan f_y = 400 MPa

4.2.2 Data Elemen Struktur

a. Pelat Lantai

- Tebal pelat, $t = 20 \text{ cm}, 18 \text{ cm}, 15 \text{ cm}, 13 \text{ cm}$

b. Tipe Balok

Balok yang dipakai sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tipe Balok Struktur Universitas 9 Lantai

No.	Section	No.	Section	No.	Section
1	T6090L9B	35	T3570L7B	69	L4080L9C
2	T6090L11B	36	T3570L5C	70	L4080L9B
3	T6080L9B	37	T3570L5B	71	L4080L7C

No.	Section	No.	Section	No.	Section
4	T60130L11B	38	T3570L3B	72	L4080L7B
5	T60120L11C	39	T3570L1B	73	L4080L5C
6	T5080L9C	40	T3560L7B	74	L4080L3B
7	T5080L9B	41	T3560L3B	75	L4080L1B
8	T5080L7C	42	T3550L3B	76	L3570L9C
9	T5080L7B	43	T3550L1B	77	L3570L9B
10	T5080L5B	44	T3070L3C	78	L3570L7C
11	T5080L3C	45	T3070L3B	79	L3570L7B
12	T5080L3B	46	T3070L1C	80	L3570L5C
13	T50100L9B	47	T3070L1B	81	L3570L5B
14	T50100L3C	48	T3060L3C	82	L3570L3B
15	T50100L11C	49	T3060L3B	83	L3570L1B
16	T4590L11B	50	T3060L1B	84	L3070L9C
17	T4090L9C	51	T3050L7C	85	L3070L9B
18	T4090L9B	52	T3050L5B	86	L3070L5B
19	T4090L11C	53	T3050L3B	87	L3060L7B
20	T4080L9C	54	T3050L1B	88	L3060L5B
21	T4080L9B	55	T2540L3B	89	L3060L3B
22	T4080L7C	56	T2540L1B	90	L3060L1B
23	T4080L7B	57	L6090L9C	91	L3050L5B
24	T4080L5C	58	L6090L9B	92	L3050L3B
25	T4080L5B	59	L6080L9B	93	L2540L5B
26	T4080L3C	60	L6080L7B	94	L2540L3C
27	T4080L3B	61	L5090L9B	95	L2540L3B
28	T4080L1B	62	L5080L9C	96	L2540L1B
29	T4060L7B	63	L5080L9B	97	B6090
30	T4060L3C	64	L5080L7B	98	B4080
31	T3570L9C	65	L5080L5B	99	B3570
32	T3570L9B	66	L5080L3B	100	B1540
33	T3570L9A	67	L50100L9B	101	B1530
34	T3570L7C	68	L4590L9B		

c. Tipe Kolom

Tipe kolom yang dipakai sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tipe Kolom Struktur Universitas 9 Lantai

No.	Section	No.	Section
-----	---------	-----	---------

No.	Section	No.	Section
1	K1000/1000	22	K20-100/100-32D25
2	K10-110-110-52D25	23	K20-80/80-24D25
3	K11-100/100-32D25	24	K21-70/100-24D25
4	K11-80/80-24D25	25	K21-80/100-30D25
5	K12-70/100-24D25	26	K22-70/70-24D25
6	K12-80/100-30D25	27	K23-40/80-22D25
7	K13-100/100-36D25	28	K2-40/70-20D25
8	K14-110/110-36D25	29	K3-60/80-20D25
9	K14-90/90-28D25	30	K4-50/50-20D25
10	K15-70/100-24D25	31	K5-60/60-20D25
11	K15-80/100-30D25	32	K5A-60/60-24D25
12	K16-100/100-36D25	33	K5B-60/60-28D25
13	K16-80/80-24D25	34	K6-70/70-32D25
14	K1-70/70-20D25	35	K6A-60/60-24D25
15	K17-80/80-28D25	36	K7-75/75-22D25
16	K17A-80/80-40D25	37	K7-80/80-24D25
17	K1-80/80-24D25	38	K8-70/70-20D25
18	K18-100/100-36D25	39	K8-80/80-22D25
19	K18-80/80-24D25	40	K9-70/70-20D25
20	K19-70/100-24D25	41	K9-80/80-22D25
21	K19-80/100-30D25		

4.3 Pembebatan

4.3.1 Pembebatan Gravitasi

Tabel 4.4 Pembebatan Gravitasi

Location	Slab Thickness (mm)	Slab Weight 1	Partition 2	Finishing (+screed) 3	Ceiling & Ducting 4	Total Dead Load 5 = 1 + 2 + 3 + 4	Live Load (Kg/m ²) Live Load for slab & secondary beams 6	
Ground Floor								
Car Park & Drive way	300	720	0	Floor Hardener	50	30	800	400
Lift Lobby	300	720	0	Marmer/Carpet	140	30	890	500
Stairs	300	720	0	Ceramic	120	0	840	500
M&E Room Light	300	720	0	Ceramic	120	30	870	600
Hall	300	720	0	Ceramic	120	30	870	500
Mushola	300	720	0	Ceramic	120	30	870	300

Location	Slab Thickness (mm)	Slab Weight 1	Partition 2	Finishing (+screed) 3	Ceiling & Ducting 4	Total Dead Load 5 = 1 + 2 + 3 + 4	Live Load (Kg/m ²) Live Load for slab & secondary beams 6	
Toilet	300	720	0	Ceramic	120	30	870	200
Café/Restaurant	300	720	0	Marmer/Carpet	140	50	910	500
Office	300	720	0	Ceramic	120	30	870	250
Classroom	300	720	50	Ceramic	120	30	920	250
Landscape & Garden Area	300	720	0	Floor Hardener + soil	3000	50	3770	500
2&3 Floor								
Lift Lobby	130	312	0	Marmer/Carpet	140	30	482	400
Stairs	180	432	0	Ceramic	120	0	552	500
M&E Room Light	150	360	0	Ceramic	120	30	510	600
Hall	150	360	0	Ceramic	120	30	510	500
Mushola	130	312	0	Ceramic	120	30	462	300
Toilet	130	312	0	Ceramic	120	30	462	200
Laboratory	150	360	50	Ceramic	120	50	560	300
Office	130	312	0	Ceramic	120	50	462	250
Classroom	130	312	50	Ceramic	120	30	512	250
Balcony Area	130	360	0	Ceramic	120	30	530	400
4-8 Floor								
Residential	130	312	50	Ceramic	120	30	512	200
Lift Lobby	130	312	0	Marmer/Carpet	140	30	482	400
stairs	180	432	0	Ceramic	120	0	552	500
M&E Room Light	150	360	0	Ceramic	120	30	510	600
Hall	150	360	0	Ceramic	120	30	510	500
Mushola	130	312	0	Ceramic	120	30	462	300
Toilet	130	312	0	Ceramic	120	30	462	200
Balcony Area	150	360	0	Ceramic	120	50	530	400
Landscape & Garden Area	250	600	0	Floor Hardener + soil	3000	50	3650	500
Swimming Pool	250	600	0	Ceramic	120	30	750	1500
Gymnasium	200	480	50	Ceramic	120	30	680	500
Roof								
Lift Lobby	130	312	0	Ceramic	120	30	462	500
stairs	180	432	0	Ceramic	120	0	552	500
M&E Room Light	150	360	0	Ceramic	120	30	510	600
Hall	150	360	0	Ceramic	120	30	510	500

Location	Slab Thickness (mm)	Slab Weight 1	Partition 2	Finishing (+screed) 3		Ceiling & Ducting 4	Total Dead Load $5 = 1 + 2 + 3 + 4$	Live Load (Kg/m ²) Live Load for slab & secondary beams 6
Mushola	130	312	0	Ceramic	120	30	462	300

Sumber : PT. Wiratman (2016)

Tabel 4.5 Kombinasi Pembebanan

LOAD COMBINATION								
Kombinasi	Koefisien	DL	Koefisien	LL	Koefisien	QE _x	Koefisien	QE _y
Comb 1	1.4	DL						
Comb 2	1.2	DL	1.6	LL				
Comb 3	1.321	DL	1	LL	0.3	QE _x	1	QE _y
Comb 4	1.321	DL	1	LL	-0.3	QE _x	-1	QE _y
Comb 5	1.321	DL	1	LL	0.3	QE _x	-1	QE _y
Comb 6	1.321	DL	1	LL	-0.3	QE _x	1	QE _y
Comb 7	1.321	DL	1	LL	1	QE _x	0.3	QE _y
Comb 8	1.321	DL	1	LL	-1	QE _x	-0.3	QE _y
Comb 9	1.321	DL	1	LL	1	QE _x	-0.3	QE _y
Comb 10	1.321	DL	1	LL	-1	QE _x	0.3	QE _y
Comb 11	0.779	DL			0.3	QE _x	1	QE _y
Comb 12	0.779	DL			-0.3	QE _x	-1	QE _y
Comb 13	0.779	DL			0.3	QE _x	-1	QE _y
Comb 14	0.779	DL			-0.3	QE _x	1	QE _y
Comb 15	0.779	DL			1	QE _x	0.3	QE _y
Comb 16	0.779	DL			-1	QE _x	-0.3	QE _y
Comb 17	0.779	DL			1	QE _x	-0.3	QE _y
Comb 18	0.779	DL			-1	QE _x	0.3	QE _y
Comb 19	1	DL	1	LL	1	LLCONS		
ENVE	COMBO 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18							

Sumber : PT. Wiratman (2016)

4.3.2 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban statik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bagian dari gedung tersebut yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Beban gempa yang direncanakan berdasarkan parameter-parameter kegempaan sesuai dengan jenis tanah di mana gedung tersebut dibangun. Desain beban gempa menggunakan respons spektra rencana .

4.3.3 Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan

Tabel 4.6 Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan

No.	Story	Beban Total (Ton.f)	g (m/s ²)	Massa Bangunan
1	STORYROOF	1853.368875	9.81	18181.54867
2	STORY8	3006.590174	9.81	29494.6496
3	STORY7	3622.272704	9.81	35534.49522
4	STORY6	5820.583692	9.81	57099.92601
5	STORY5	5567.822915	9.81	54620.3428
6	STORY4	18464.2961	9.81	181134.7447
7	STORY3	13432.97324	9.81	131777.4675
8	STORY2	11353.84155	9.81	111381.1856
	JUMLAH	63121.74925	9.81	619224.3602

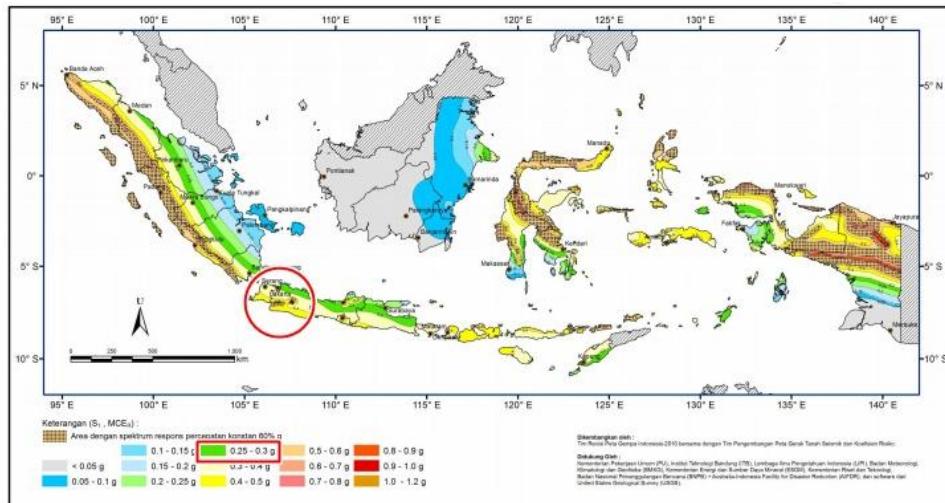
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Spektrum Respons Desain

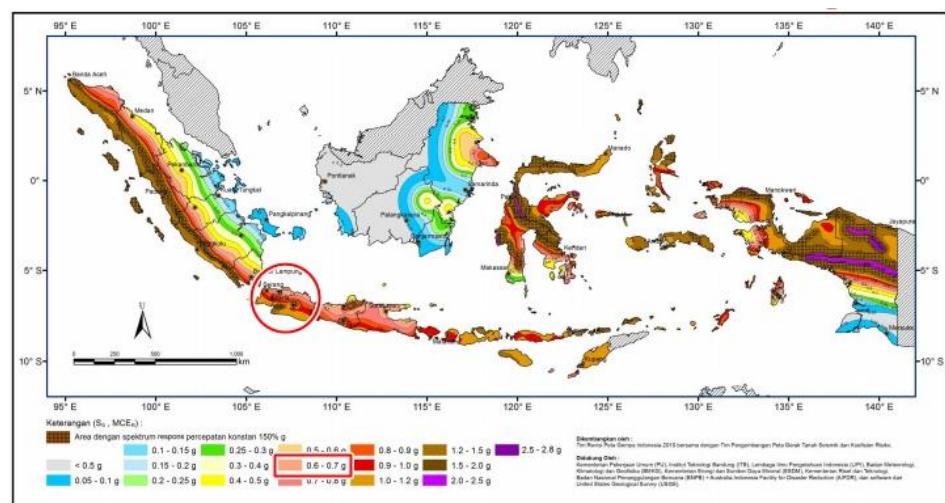
Berdasarkan SNI 1726:2012, spektrum respons gempa rencana desain harus dihitung terlebih dahulu. Adapun perhitungannya dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan kategori pemanfaatan (*Occupancy Category*) bangunan berdasarkan tabel untuk jenis pemanfaatan bangunan. Struktur gedung universitas yang direncanakan ini termasuk ke dalam kategori gedung dan fasilitas pendidikan memiliki kategori pemanfaatan IV.
2. Menentukan faktor keutamaan (*Importance Factors*) bangunan Berdasarkan tabel untuk *occupancy category* IV maka diperoleh faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,50$.
3. Jakarta merupakan daerah yang mayoritas memiliki jenih tanah yang berupa tanah lunak. Selain itu hasil penyelidikan tanah pada lokasi struktur bangunan yang akan dibangun juga memiliki kriteria yang sama dengan peraturan SNI 1726:2012 yang menunjukkan bahwa klasifikasi kelas situs pada proyek gedung 9 lantai yaitu SE (tanah lunak).
4. Menentukan besarnya parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan pada perioda 1 detik (S_{DI}). Nilai S_{DS} dan S_{DI} diperoleh berdasarkan peta gempa Indonesia. Seperti yang tercantum dalam peraturan SNI bahwa nilai S_{DS} dan S_{DI} tergantung pada dimana lokasi bangunan tersebut dibangun. Berikut nilai S_S (parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek) dan S_1 (parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1,0 detik) yang terdapat pada laporan *Site Specific Response Spectrum*. Berdasarkan laporan yang ada, untuk daerah Jakarta didapatkan besarnya nilai $S_S = 0.6\text{--}0.7 \text{ g}$ dan $S_1 = 0.25\text{--}0.3 \text{ g}$.



Gambar 5.1 Peta *Respon Spektra Percepatan 1.0 Detik (S₁) di Batuan Dasar (S_D)*

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012



Gambar 5.2 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_B)

Sumber : Standar Nasional Indonesia 1726:2012

Berdasarkan peta zonasi gempa untuk kota Jakarta diperoleh:

$$S_s = 0,68 \text{ g}$$

$$S_I = 0,29 \text{ g}$$

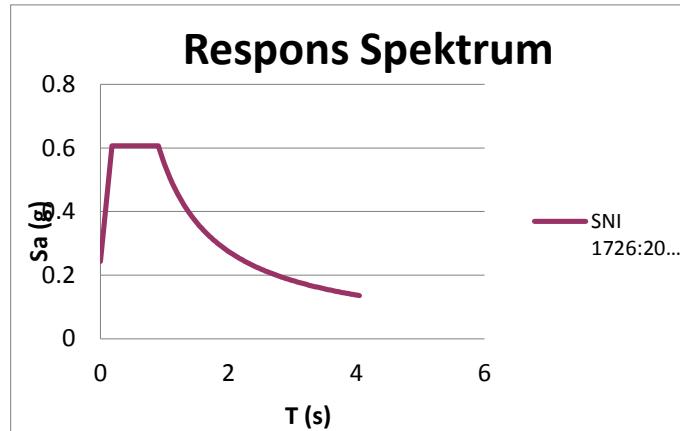
5. Menentukan Koefisien Situs (*Site Coefficient*), F_a dan F_V
 - a. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6.3 hal.22 dengan $S_s = 0,68$ untuk site class E didapatkanlah besar koefisien situs, $F_a = 1,34$
 - b. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6.3 hal.22 dengan $S_I = 0,29$ untuk site class E didapatkanlah besar koefisien situs, $F_V = 2,84$

6. Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 6.3 hal.23 Menentukan Maximum Considered Earthquake (MCE) Spectral Respons Acceleration pada periode $S_{DS} = 2/3 (F_a \cdot S_S) = 2/3 (1,34 \times 0.68) = 0.607 \text{ g}$
7. Menentukan Maximum Considered Earthquake (MCE) Spectral Respons Acceleration pada periode 1,0 detik, S_{D1}
 $S_{D1} = 2/3 (F_v \cdot S_1) = 2/3 (2,84 \times 0,29) = 0.549 \text{ g}$
8. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6.5 hal. 24-35 Tabel 6 & 7, menentukan Kategori Desain Seismik-KDS (*Seismic Design Category-SDC*). Pada site class E dengan $S_{DS} = 0.607 \text{ g}$ dan $S_{D1} = 0.549 \text{ g}$ diperoleh Kategori Desain Seismic-KDS (*Seismic Design Category-SDC*) adalah D (resiko gempa tinggi/ *high seismic risk*).
9. Menentukan Nilai T_o dan T_s
 $T_s = S_{D1}/S_{DS} = 0.549/0.607 = 0,904$
 $T_0 = 0.2 (S_{D1}/S_{DS}) = 0.2 (0.549/0.607) = 0.1808$
10. Menentukan nilai S_a
 - a. Untuk periode ulang lebih kecil dari T_o , spectrum respons percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$
 - b. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
 - c. Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spectrum respons desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Adapun grafik spektrum respons gempa desain untuk wilayah gempa Jakarta adalah sebagai berikut :



Gambar 5.3 Grafik Respons Spektrum Desain Wilayah Gempa Jakarta

11. Faktor reduksi gempa diambil dari tabel nilai $R = 8$, $\Omega_0 = 3$ dan $C_d = 5,5$ SNI 1726-2012, nilai faktor reduksi gempa dengan jenis sistem rangka penahan momen dengan rangka momen beton bertulang khusus adalah 8.

5.2 Analisis Statik Ekivalen

5.2.1 Approksimasi Periode Fundamental

Periode fundamental (T) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 hal. 55 adalah sebagai berikut:

$$1. \quad T_{\text{minimum}} = C_t \cdot h_n^x$$

Dimana :

C_t dan x = Koefisien pendekatan sesuai dengan Tabel 15 SNI 1726:2012

h_n = Ketinggian struktur

sehingga, berdasarkan tabel 15 SNI 1726:2012 nilai dari C_t dan x untuk tipe struktur Rangka Beton Pemikul Momen adalah 0.0488 dan 0.75

$$T_{\text{minimum arah X}} = (0.0488)(33)^{0.75} = 0,6719 \text{ detik}$$

$$T_{\text{minimum arah Y}} = (0.0488)(33)^{0.75} = 0,6719 \text{ detik}$$

$$2. \quad T_{\text{maksimum}} = C_u \cdot T_{\text{minimum}}$$

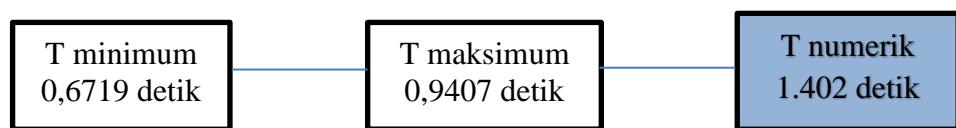
Berdasarkan tabel 14 SNI 1726:2012 nilai dari C_u untuk nilai $S_{D1} \geq 0.4$ adalah 1.4

$$T_{\text{maksimum arah X}} = (1.4) (0,6719) = 0,9407 \text{ detik}$$

$$T_{\text{maksimum arah X}} = (1.4) (0,6719) = 0,9407 \text{ detik}$$

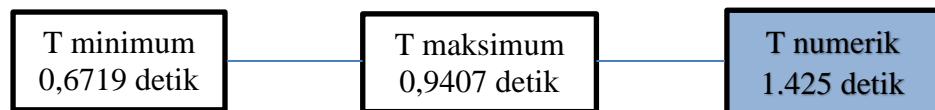
T yang diperoleh dari analisis vibrasi 3 dimensi numeric *software*, yaitu 1.425 detik untuk arah Y dan 1.402 detik untuk arah X.

Dengan demikian T yang digunakan untuk arah X adalah:



Nilai T yang digunakan adalah 0,9407 detik karena nilai T numerik melebihi batasan T maksimum.

Dengan demikian T yang digunakan untuk arah Y adalah:



Nilai T yang digunakan adalah 0,9407 detik karena nilai T numerik melebihi batasan T maksimum.

3. Menentukan besarnya respons seismik C_s berdasarkan peraturan yang telah ditetapkan pada SNI 1726:2012.

$$C_s = S_{DS} / R \times I_e = (0.607/8) \times 1.5 = 0.1138$$

$$C_{s\max} = S_{DS}/(T_{\max} \times R) \times I_e = 0.607/(1.425 \times 8) \times 1.5 = 0.072$$

$$C_{s\min} = 0.044 S_{DS} I_e = 0.044 \times 0.607 \times 1.5 = 0.04 \geq 0.01$$

Berdasarkan ketetapan yang telah ditentukan pada peraturan SNI 1726:2012, maka nilai koefisien Respons seismik yang digunakan yaitu $C_{smaks} = 0.072$.

Adapun perhitungan gaya geser dasar static untuk masing-masing model struktur pada arah yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:

Berat total dari struktur adalah 63121.74925 ton.f sehingga, nilai gaya lateral ekivalen adalah:

$$V \text{ arah X} = C_s \cdot W_t = (0.072) (63121.74925) = 4544,766 \text{ Ton}$$

$$V \text{ arah Y} = C_s \cdot W_t = (0.072) (63121.74925) = 4544,766 \text{ Ton}$$

4. Distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal gaya gempa

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i$$

Adapun tabulasi perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal gaya gempa adalah sebagai berikut :

Tabel 5.1 Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Horizontal

Gaya Gempa Arah X

EQUIVALENT LATERAL FORCE (STATIC ANALYSIS)					
No.	Story	Story Weight, W_i	$W_i H_i^k$	Fx Static	$V_{\text{STATIC}} (V_{\text{ELF}})$
		[tonf]	[tonf]		[tonf]
1	STORYROOF	1853.369	296198.586	397.287	397.287
2	STORY8	3006.590	406345.164	545.025	942.312
3	STORY7	3622.273	405023.858	543.253	1485.564
4	STORY6	5820.584	523302.622	701.898	2187.462
5	STORY5	5567.823	387225.437	519.380	2706.842
6	STORY4	18464.296	939810.992	1260.555	3967.397
7	STORY3	13432.973	379613.501	509.170	4476.567
8	STORY2	11353.842	117345.592	157.394	4633.961

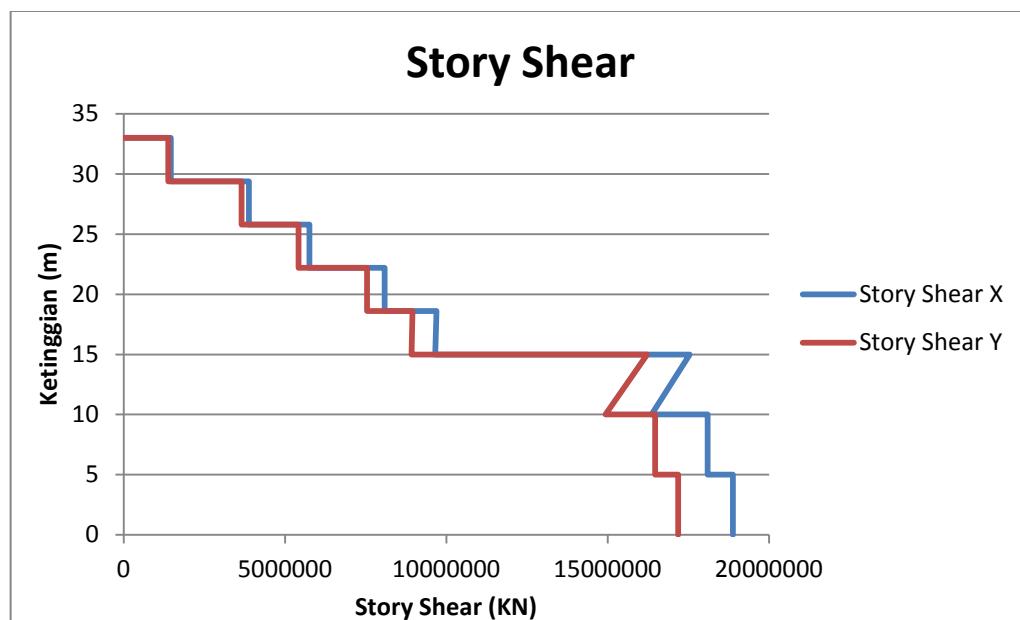
Tabel 5.2 Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Horizontal

Gaya Gempa Arah Y

EQUIVALENT LATERAL FORCE (STATIC ANALYSIS)
--

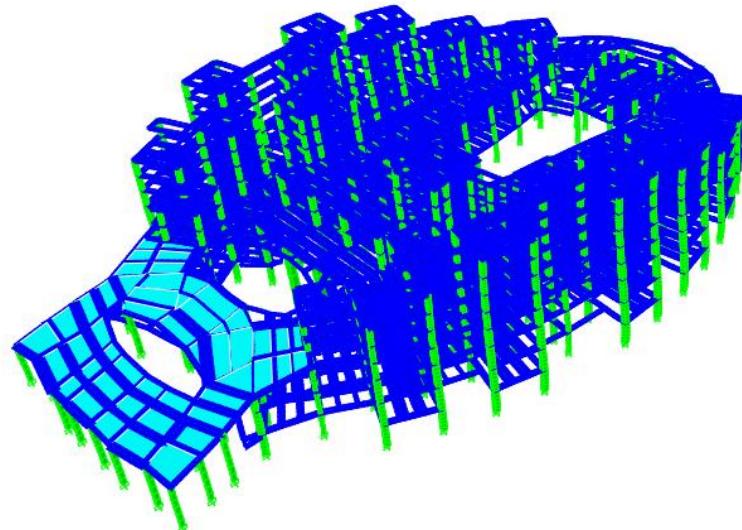
No.	Story	Story Weight, W_i	$W_i H_i^k$	Fy Static	$V_{\text{STATIC}} (V_{\text{ELF}})$
		[tonf]	[tonf]		[tonf]
1	STORYROOF	1853.369	308107.810	401.257	401.257
2	STORY8	3006.590	422132.940	549.755	951.013
3	STORY7	3622.273	420141.137	547.084	1498.097
4	STORY6	5820.584	541915.651	705.652	2203.748
5	STORY5	5567.823	400199.339	521.117	2724.865
6	STORY4	18464.296	968946.444	1261.707	3986.571
7	STORY3	13432.973	389597.041	507.311	4493.882
8	STORY2	11353.842	119494.239	155.599	4649.481

Untuk memudahkan interpretasi secara visual, berikut ini merupakan tampilan diagram distribusi gaya geser model struktur universitas berdasarkan gaya lateral statik ekivalen SNI 1726:2012 :

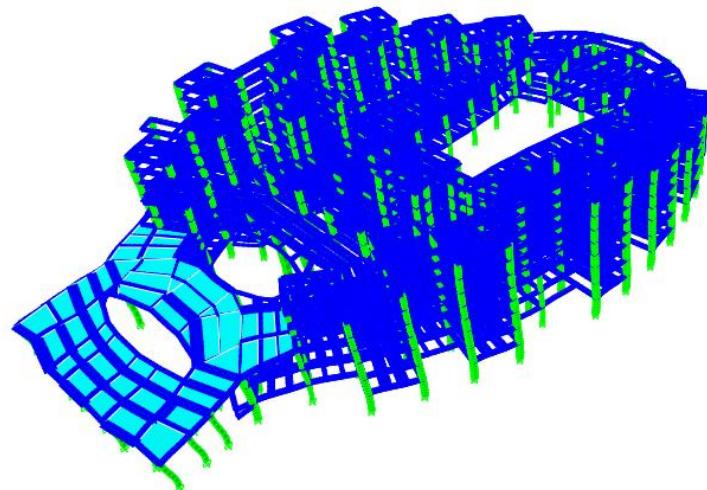


Gambar 5.4 Distribusi Gaya Geser Tingkat Berdasarkan Gaya Lateral Statik Ekivalen

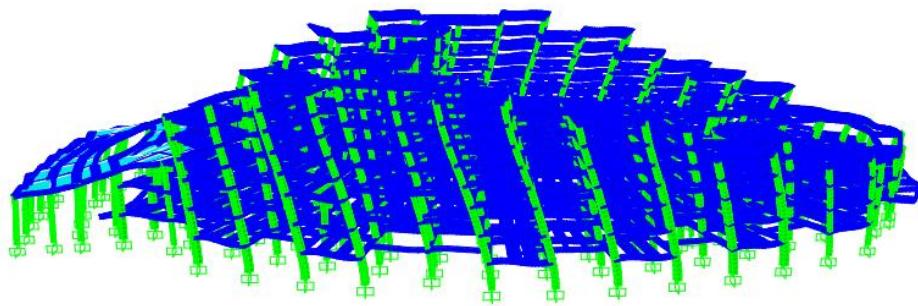
5.2.2 Pola Ragam Getar



Gambar 5.5 Pola Ragam Getar *Mode Pertama Transalasi Arah Y dengan Periode 1,4248*



Gambar 5.6 Pola Ragam Getar *Mode Kedua Transalasi Arah X dengan Periode 1,4023*



Gambar 5.7 Pola Ragam Getar Mode Ketiga Transalasi Arah Rotasi dengan Periode 1,2284

5.2.3 *Modal Participating Mass Ratio (MPMR)*

Sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1, jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus mencakup partisipasi massa paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing masing arah horisontal orthogonal.

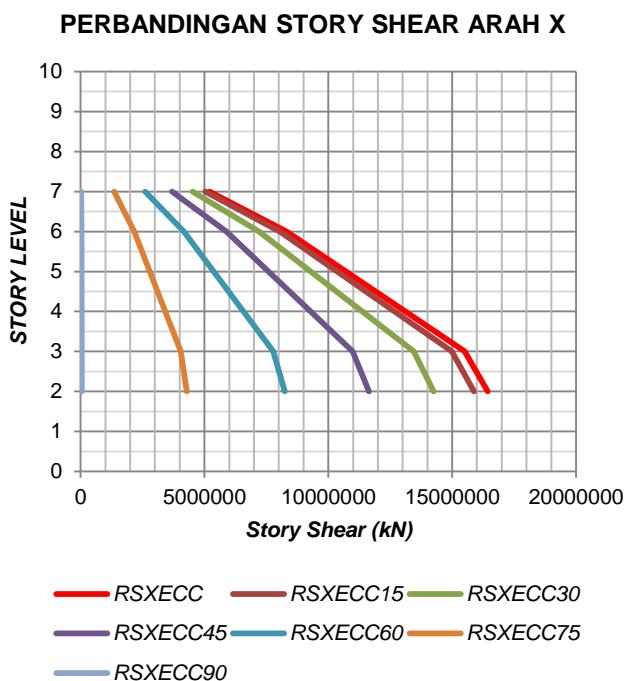
Tabel 5.3 Periode Numerik dan (MPMR) Berdasarkan SNI 1726:2012

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO							
Mode	Period	UX	UY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.424887	0.0001	75.302	0.0063	98.4593	0.0002	0.0063
2	1.402339	78.1953	0.0002	0.0013	98.4595	99.4095	0.0077
3	1.22842	0.0001	0.239	69.4376	98.9771	99.4097	69.4453
4	0.820701	0.2025	0	0	98.9771	99.4308	69.4454
5	0.771398	0.0001	2.516	3.1719	99.2253	99.4308	72.6172
6	0.69896	0.0008	5.9127	0.0027	99.3635	99.4308	72.62
7	0.686828	0.4138	0.0033	0.0012	99.3636	99.4336	72.6212
8	0.624852	1.4437	0.2705	10.6507	99.3831	99.4363	83.2719
9	0.622164	8.3657	0.042	1.8305	99.3875	99.4505	85.1024
10	0.584633	0.0996	0.0001	0.0008	99.3875	99.4526	85.1032
11	0.549447	0.0005	3.5213	0.2047	99.398	99.4526	85.3078
12	0.52441	0.1335	0.0013	0.0017	99.398	99.4555	85.3095
13	0.493498	0.0001	1.0064	1.4017	99.4174	99.4555	86.7112
14	0.4325	0	0.0805	0.0293	99.5841	99.4555	86.7405
15	0.426892	0.1001	0.0001	0.0001	99.5842	99.4645	86.7405
16	0.382807	0.0098	0.003	0.0618	99.5861	99.4699	86.8023
17	0.381118	0.0016	0.0225	0.3905	99.5979	99.4709	87.1928
18	0.36134	0.0001	1.7254	1.4462	99.6108	99.4709	88.639
19	0.337205	0.5317	0.0022	0.0066	99.6109	99.4715	88.6455
20	0.322617	0.009	0.1445	1.6913	99.6134	99.4719	90.3368
21	0.319339	2.3076	0	0.0224	99.6134	99.5821	90.3593

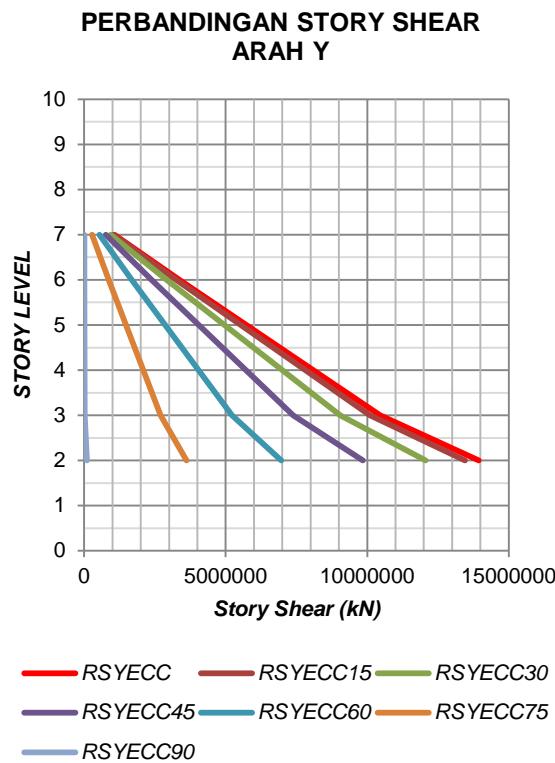
MODAL PARTICIPATING MASS RATIO							
Mode	Period	UX	UY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
22	0.312317	0.0017	1.116	0.1825	99.6556	99.5822	90.5418

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa struktur gedung untuk *mode* pertama pada periode 1,4248 mengalami translasi ke arah X, *mode* kedua pada periode 1,4023 mengalami translasi ke arah Y, dan pada *mode* ketiga mengalami rotasi. Selain itu terlihat bahwa 90% massa baru tercakup dalam 1 modes pertama untuk arah-X dan 2 modes pertama untuk arah-Y dan 20 modes untuk rotasi Z.

5.2.4 Story Shear



Gambar 5.8 Perbandingan Story Shear Arah X

**Gambar 5.9 Perbandingan Story Shear Arah Y**

5.2.5 Story Drift

Tabel 5.4 Story Drift Ratio

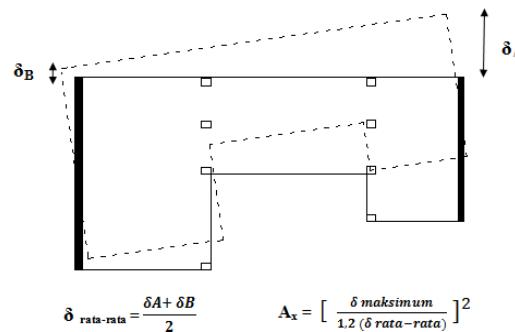
Story	Story height (m)	Story drift ratio		Design story drift		Allowable story drift (mm)	Story drift check	
		h	X-dir (m)	Y-dir (m)	Δx (mm)		X-dir	Y-dir
STORY ROOF	3.6	0.005187	0.005728	18.6732	20.6208	36	OK	OK
STORY8	3.6	0.006964	0.007375	25.0704	26.55	36	OK	OK
STORY7	3.6	0.008249	0.008994	29.6964	32.3784	36	OK	OK
STORY6	3.6	0.009237	0.009501	33.2532	34.2036	36	OK	OK
STORY5	3.6	0.009069	0.009201	32.6484	33.1236	36	OK	OK
STORY4	5	0.00887	0.009367	44.35	46.835	50	OK	OK
STORY3	5	0.00945	0.009588	47.25	47.94	50	OK	OK
STORY2	5	0.005567	0.005605	27.835	28.025	50	OK	OK

5.3 Analisis Ketidakberaturan

5.3.1 Ketidakberaturan Horizontal

1a) Ketidakberaturan Torsi

Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1.2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.



Gambar 5.10 Ketidakberaturan Torsi

- Ketidakberaturan Horizontal 1a terjadi apabila $\Delta_{\text{max}}/\Delta_{\text{ave}} > 1,2$
- Ketidakberaturan Horizontal 1b terjadi apabila $\Delta_{\text{max}}/\Delta_{\text{ave}} > 1,4$
- Tidak terjadinya Ketidakberatruan Horizontal 1 apabila $\Delta_{\text{max}}/\Delta_{\text{ave}} < 1,2$

Tabel 5.5 Ketidakberaturan 1a dan 1b

STORY	Height	Floor Dimension		Point				Torsional Irregularity X-Direction		Torsional Irregularity Y-Direction	
		L _x (m)	L _y (m)					Torsional irregularity		Torsional irregularity	
Akibat Rigid D1											
STORY6	3.60	124	100	2560	2611	2456	2512	NO	NO	NO	NO
STORY5	3.60	124	100	2560	2611	2456	2519	NO	NO	NO	NO
STORY4	5.00	154	100	2560	2611	2456	2519	NO	NO	NO	NO
STORY3	5.00	154	100	2560	2611	2453	2519	NO	NO	NO	NO
STORY2	5.00	154	100	2560	2611	2456	2519	NO	NO	NO	NO
Akibat Rigid D1B											
STORYROOF	3.60	40.8	13	2574	2603	3009	2592	NO	NO	NO	NO
STORY8	3.60	40.8	13	2562	2898	3009	2592	NO	NO	NO	NO
STORY7	3.60	40.8	13	4071	2611	3009	2592	NO	NO	NO	NO
Akibat Rigid D1A											
STORYROOF	3.60	40.8	13	2471	2798	2464	2496	NO	NO	NO	1a
STORY8	3.60	40.8	13	2471	2798	2464	2496	NO	NO	NO	1a
STORY7	3.60	40.8	13	2471	2798	2464	2496	NO	NO	NO	NO

Setelah dilakukan pengecekan, terjadi ketidakberaturan pada 1a, jika terjadi ketidakberaturan 1a, berarti terkena pasal referensi Tabel 13 pada SNI 1726:2012. Desain gedung 9 lantai ini termasuk dalam KDS D dan untuk karakteristik struktur termasuk kedalam semua struktur lainnya serta dianalisis menggunakan *spectrum respons* ragam pasal 7.9 yang artinya diijinkan adanya ketidakberaturan 1a.

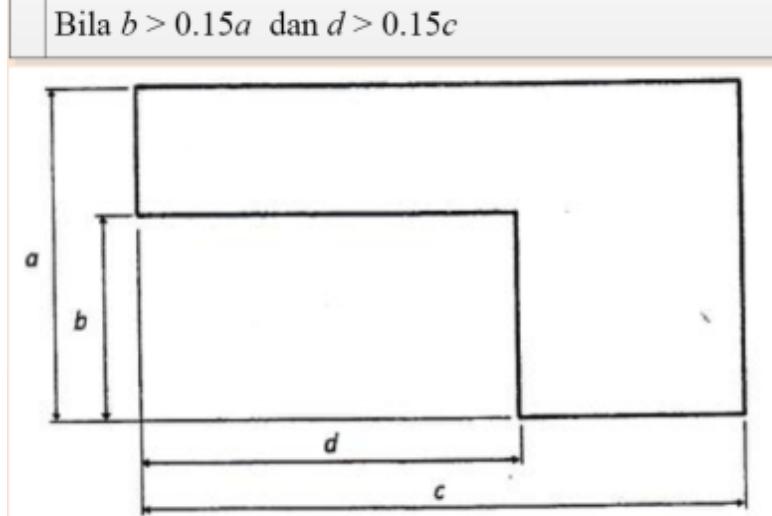
1b) Ketidakberaturan Torsi Berlebihan

Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1.4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata dikedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

Setelah dilakukan pengecekan, tidak terdapat ketidakberaturan pada struktur gedung 9 lantai ini.

2) Ketidakberaturan Sudut Dalam

Didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Ketidakberaturan ini ada bila $p_y > 0.15L_y$ dan $p_x > 0.15L_x$

**Gambar 5.11 Ketidakberaturan Sudut Dalam**

Sumber : Aplikasi SNI Gempa 1726:2012

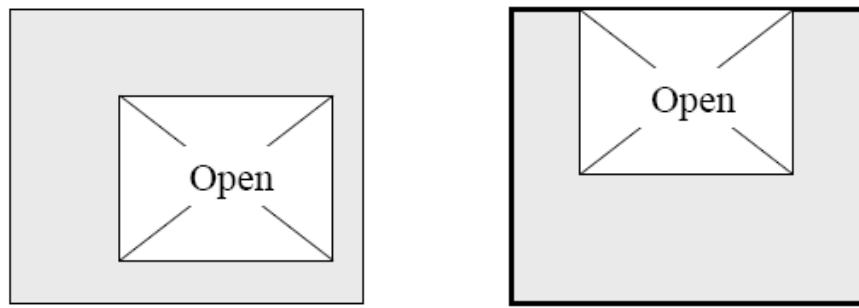
Tabel 5.6 Ketidakberaturan Sudut Dalam

Irregularity Horizontal 2								
Lantai	a (m)	b (m)	b/a	c (m)	d (m)	d/c	izin (b/a); (d/c)	Cek Irregularity
LT 2-4	102.4	25	0.2441	177.00	10.00	0.0565	0.15	No Irregularity
LT 5-9	102.4	33	0.3223	130.00	106.00	0.8154	0.15	Irregularity

Setelah dilakukan pengecekan, diketahui bahwa gedung 9 lantai ini tidak mempunyai ketidakberaturan sudut dalam pada lantai 1-4, namun terjadi pada lantai 5 sampai lantai atap. Desain gedung 9 lantai ini terkena pasal referensi poin 7.3.3.4 dan tabel 13 pada SNI. Pada (7.3.3.4) adalah gaya desain yang ditentukan harus ditingkatkan 25 persen untuk elemen-elemen sistem penahan gempa.

3) Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan ini ada bila luas bukaan > 0.5 kali luas lantai atau bila kekakuan diafragma efektif antara satu lantai dengan lantai berikutnya bervariasi melebihi 50%.

**Gambar 5.12 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma**

Sumber : Aplikasi SNI Gempa 1726:2012

Tabel 5.7 Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

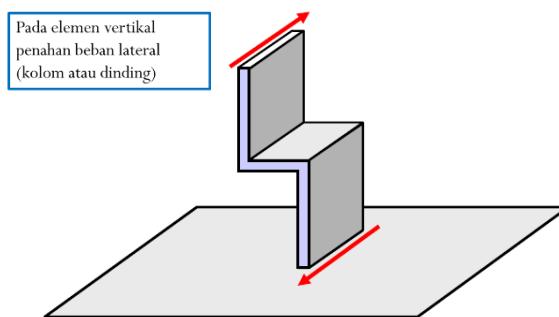
Irregularity Horizontal 3				
Denah	Area Total (m ²)	Area Openning (m ²)	Area Ratio Openning %	Cek Irregularity
LT 2	16320	4563	27.96%	No Irregularity
LT 3	16320	6500.0	39.83%	No Irregularity
LT 4	16320	1225.0	7.51%	No Irregularity
LT 5	13260	750.0	5.66%	No Irregularity
LT 6	13260	400.0	3.02%	No Irregularity
LT 7	13260	400.0	3.02%	No Irregularity
LT 8	13260	400.0	3.02%	No Irregularity
LT ROOF	13260	400.0	3.02%	No Irregularity

Setelah dilakukan pengecekan, diketahui bahwa gedung 9 lantai ini tidak terdapat ketidakberaturan struktur.

4) Ketidakberaturan Pergeseran Melintang terhadap Bidang

Didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal. Setelah

dilakukan pengecekan, diketahui bahwa gedung 9 lantai ini terdapat ketidakberaturan struktur horizontal pada kolom lantai 4.

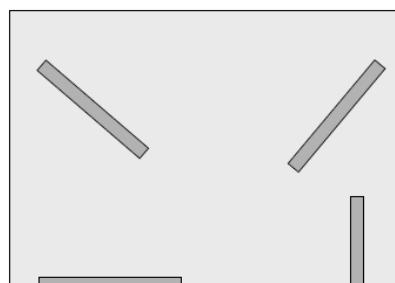


Gambar 5.13 Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang

Sumber : Aplikasi SNI Gempa 1726:2012

5) Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.



Gambar 5.14 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Sumber : Aplikasi SNI Gempa 1726:2012

Tabel 5.8 Pengecekan Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

STORY	ELEV	DIAPH	Struktur memiliki sistem vertikal tidak paralel atau tidak simetris terhadap sumbu ortogonal utama
STORYROOF	3.6	D1A	Tidak
STORYROOF	3.6	D1B	Tidak
STORY8	3.6	D1A	Tidak

STORY	ELEV	DIAPH	Struktur memiliki sistem vertikal tidak paralel atau tidak simetris terhadap sumbu ortogonal utama
STORY8	3.6	D1B	Tidak
STORY7	3.6	D1A	Tidak
STORY7	3.6	D1B	Tidak
STORY6	3.6	D1	Tidak
STORY5	3.6	D2	Tidak
STORY4	5	D3	Tidak
STORY3	5	D4	Tidak
STORY2	5	D5	Tidak

Setelah dilakukan pengecekan, diketahui bahwa gedung 9 lantai ini tidak terdapat ketidakberaturan struktur.

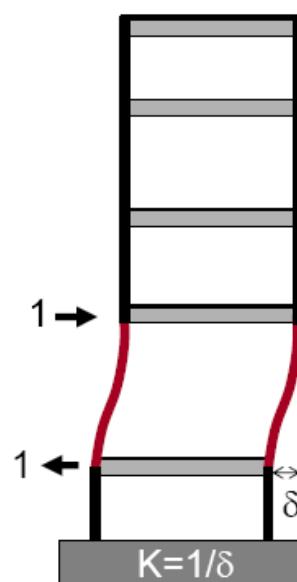
Tabel 5.9 Simpulan Ketidakberaturan Horizontal

Simpulan Ketidakberaturan Horizontal			Pasal Referensi SNI 1726:2012
Ketidakberaturan Horizontal		Cek	
1a	Ketidakberaturan Torsi	√	Pasal 7.3.3.4, 7.7.3, 7.8.4.3, 7.12.1, Tabel 13, 12.2.2
1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan	-	No Need
2	Ketidakberaturan Sudut Dalam	√	Pasal 7.3.3.4, Tabel 13
3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	-	No Need
4	Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang	√	Pasal 7.3.3.4, 7.7.3.3, 7.3.1, Tabel 13, 12.2.2
5	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	-	No Need

5.3.2 Ketidakberaturan Vertikal

Berdasarkan SNI 1726:2012 pada pasal 7.3.2.2 struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam Tabel 11 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic sebagaimana yang terdaftar dalam Tabel 11 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk pada tabel itu.

1). Ketidakberaturan 1a Tingkat Lunak dan 1b Tingkat Lunak Berlebih



Gambar 5.15 Soft Story

Sumber : FEMA-451-B

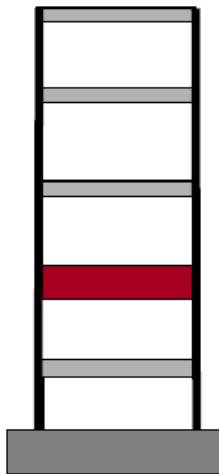
Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada tingkat 2 mengalami soft story atau ketidakberaturan tingkat lunak. Jika diaplikasikan pada gedung universitas untuk pemeriksaan ketidakberaturan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebih adalah sebagai berikut:

Tabel 5.10 Perhitungan Vertical Irregularity 1a&1b

STORY	Vertical Irregularity 1a and 1b												X Check	Y Check		
	Story Shear		DRIFT			Stiffness (K)	Stiffness Ratio				1,00					
	Vx (Ton)	Vy (Ton)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	Kx (T/m)	Ky (T/m)	K _{xn} K _{x(n+1)}	K _{xn} (K _{x(n+1)+K_x(n+2)+K_x(n+3)})/3	K _{yn} K _{y(n+1)}	K _{yn} (K _{y(n+1)+K_y(n+2)+K_y(n+3)})/3						
STORY ROOF	1003.5507	946.78262	18.67	20.62	53.74284	45.91396										
STORY8	2665.3679	2510.6894	25.07	26.55	106.3153	94.56457	1.98		2.06							
STORY7	3952.9484	3720.6313	29.70	32.38	133.112	114.9109	1.25		1.22							
STORY6	5561.8821	5181.7884	33.25	34.20	167.2586	151.4983	1.26	1.71	1.32	1.78	No Irregularity	0	No Irregularity			
STORY5	6640.2601	6132.0841	32.65	33.12	203.387	185.1273	1.22	1.50	1.22	1.54	No Irregularity	0	No Irregularity			
STORY4	11245.916	10265.937	44.35	46.84	253.572	219.1937	1.25	1.51	1.18	1.46	No Irregularity	0	No Irregularity			
STORY3	12443.409	11327.016	47.25	47.94	263.3526	236.2748	1.04	1.27	1.08	1.28	No Irregularity	0	No Irregularity			
STORY2	12980.961	11818.267	27.84	28.03	466.3539	421.7044	1.77	1.94	1.78	1.97	No Irregularity	0	No Irregularity			

Berdasarkan tabel 4.2.1 telah dilakukan pengecekan ketidakberaturan 1a dan 1b dan hasilnya adalah tidak ditemukan ketidakberaturan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebih sehingga *penalty* dari ketidakberaturan ini berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.3.1 (terlampir) dan tabel 13 (terlampir) tidak berlaku.

2). Ketidakberaturan Massa



Gambar 5.16 Ketidakberaturan Massa

Sumber : FEMA-451-B

Berdasarkan contoh gambar di atas, dapat dilihat bahwa terjadi ketimpangan massa pada tingkat 3. Jika diaplikasikan pada pengecekan ketidakberaturan massa gedung universitas adalah sebagai berikut:

Tabel 5.11 Vertical Irregularity 2

STORY	Weight	Weight Ratio		Check
	(tonf)	$W_{(n)}/W_{(n+1)}$	$W_{(n)}/W_{(n-1)}$	
STORYROOF	1853.369			
STORY8	3006.59			
STORY7	3622.273	1.20	0.62	No Irregularity
STORY6	5820.584	1.61	1.05	Vertical Irregularity 2
STORY5	5567.823	0.96	0.30	No Irregularity
STORY4	18464.3	3.32	1.37	Vertical Irregularity 2
STORY3	13432.97	0.73	1.18	No Irregularity

STORY2	11353.84	0.85	0.00	No Irregularity
--------	----------	------	------	-----------------

Berdasarkan tabel 4.2.2 dapat dilihat terjadi ketidakberaturan massa pada *story* 6 dan *story* 4. Hal ini terjadi akibat adanya ketimpangan massa pada *story* 4 yang massanya sangat besar dan *story* 7 yang massanya tiba-tiba menurun. Oleh sebab itu, maka *penalty* untuk ketidakberaturan massa harus diaplikasikan pada bangunan struktur. Adapun *penalty* untuk ketidakberaturan ini yaitu tercantum dalam pada Tabel 13 (terlampir).

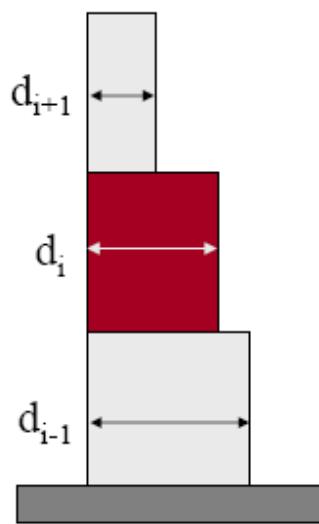
Akan tetapi, berdasarkan FEMA 451 terdapat tambahan pengecekan yang harus dilakukan yaitu Ketidakberaturan 1a, 1b dan 2 tidak berlaku bila tidak satupun rasio *drift* (simpangan) setiap tingkat lebih besar dari 1,3 kali rasio *drift* tingkat diatasnya. Oleh sebab itu, dilakukan pengecekan *drift* pada gedung universitas sebagai berikut:

Tabel 5.12 Vertical Irregularity 1a,1b, atau 2 Exception

Vertical Irregularity 1a,1b, atau 2 Exception							
Story	Height (m)	Interstory Drift Ratio (IDR)		Keberlakuan pengecekan Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2			
		X-dir (m)	Y-dir (m)	IDR _{x(n)/IDR_{x(n+1)}}	Check	IDR _{y(n)/IDR_{y(n+1)}}	Check
STORY ROOF	3.6	0.00519	0.00573				
STORY8	3.6	0.00696	0.00738	1.34	Check Vertical Irregularity 1a,1b and 2	1.29	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2
STORY7	3.6	0.00825	0.00899	1.18	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2	1.22	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2
STORY6	3.6	0.00924	0.0095	1.12	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2	1.06	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2
STORY5	3.6	0.00907	0.0092	0.98	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2	0.97	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2
STORY4	5	0.00887	0.00937	0.98	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2	1.02	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2
STORY3	5	0.00945	0.00959	1.07	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2	1.02	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2
STORY2	5	0.00557	0.00561	0.59	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2	0.58	No Vertical Irregularity 1a,1b and 2

Berdasarkan tabel 4.2.3 dapat dilihat bahwa tidak ada ketidakberaturan 1a, 1b,dan 2 yang berlaku pada struktur gedung universitas. Meskipun pada *story* 8 diharuskan melakukan perhitungan ketidakberaturan 1a, 1b, dan 2, akan tetapi perhitungan ketidakberaturan tersebut telah dilakukan pada poin 4.2.3.1 dan 4.2.3.2 sehingga secara tidak langsung bahwa gedung universitas tidak mengalami ketidakberaturan tingkat lunak, tingkat lunak berlebih, dan ketidakberaturan massa.

3). Ketidakberaturan Geometri Vertikal



Gambar 5.17 Ketidakberaturan Geometri

Sumber : FEMA-451-B

Berdasarkan gambar 5.11 dapat dilihat bahwa (d_i) mengalami perbesaran arah horizontal sebesar 130% dari d_{i-1} dan d_{i+1} sehingga terjadi ketidakberaturan geometri. Jika dilakukan pengecekan ketidakberaturan geometri pada gedung universitas maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

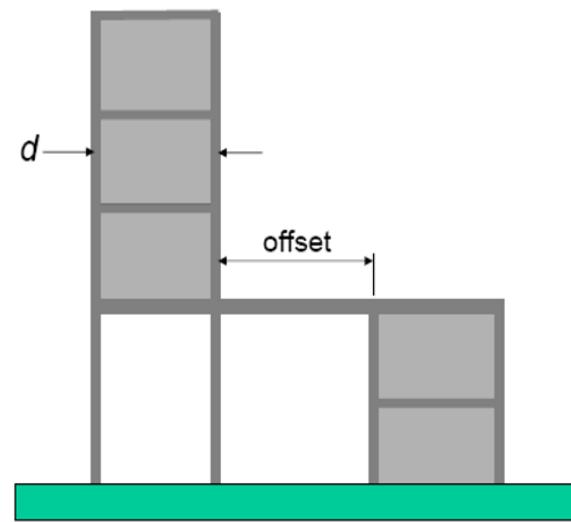
Tabel 5.13 Vertical Irregularity 3

Lantai		Irregularity Vertical 3																	
		Dimensi Kolom																	
	K1	K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8		K9			
	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	B (mm)	H (mm)	
Lt 2 - Lt 4	1000	1000	800	1000	1100	1100	1300	700	1100	1100	700	1200	800	800	700	1200	800	1200	
Lt 5 - Lt Roof	800	800	700	1000	1100	1100	1200	700	1000	1000	600	1200	700	700	600	1200	700	1200	
Rasio dimensi	125%	125%	114%	100%	100%	100%	108%	100%	110%	110%	117%	100%	114%	114%	117%	100%	114%	100%	
Lt 5 - Lt Roof	800	800	700	1000	1100	1100	1200	700	1000	1000	600	1200	700	700	600	1200	700	1200	
Lt. 5 - Lt. 10	500	1100	600	1200	600	1200	1200	600	950	950	500	1100	700	700	600	1200	600	1200	
Rasio dimensi	160%	73%	117%	83%	183%	92%	100%	117%	105%	105%	120%	109%	100%	100%	100%	100%	117%	100%	
Lt. 5 - Lt. 10	500	1100	600	1200	600	1200	1200	600	950	950	500	1100	700	700	600	1200	600	1200	
Lt. 11 - Lt. 21	450	1000	500	1100	500	1100	1100	500	800	800	450	1000	600	600	500	1100	500	1100	
Rasio dimensi	111%	110%	120%	109%	120%	109%	109%	120%	119%	119%	111%	110%	117%	117%	120%	109%	120%	109%	
Lt. 11 - Lt. 21	450	1000	500	1100	500	1100	1100	500	800	800	450	1000	600	600	500	1100	500	1100	
Lt. 22 - Lt. ROOF	400	900	400	900	400	900	1000	400	700	700	400	900	500	500	500	900	500	900	
Rasio dimensi	113%	111%	125%	122%	125%	122%	110%	125%	114%	114%	113%	111%	120%	120%	100%	122%	100%	122%	

Berdasarkan perhitungan pada tabel 4.2.4 dapat dilihat bahwa perbandingan dimensi kolom tidak ada yang mencapai 130% sehingga *penalty* untuk ketidakberaturan ini tidak berlaku.

4). Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan

Gaya Lateral Vertikal



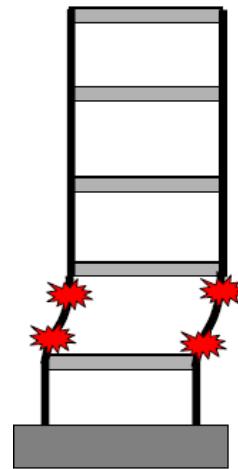
Gambar 5.18 Diskontinuitas Elemen Vertikal

Sumber : FEMA-451-B

Diskontinuitas elemen vertikal adalah elemen struktur vertikal yang tidak menerus dari lantai bawah sampai lantai atas. Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat terdapat *offset* antara elemen struktur vertikalnya dan ketidakberaturan ini berlaku jika dimensi *offset* elemen vertikal lebih besar dari dimensi elemen vertikal tersebut (d).

Berdasarkan *section* dari desain gedung universitas tidak ditemukan adanya *offset* yang lebih besar dari dimensi elemen vertikalnya. Sehingga ketidakberaturan ini tidak berlaku.

5) Ketidakberaturan 5a Kuat Lateral Tingkat dan 5b Kuat Lateral Tingkat Berlebih



Gambar 5.19 Weak Story

Sumber : FEMA-451-B

Perhitungan untuk ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan kuat lateral tingkat berlebih adalah sebagai berikut :

Tabel 5.14 Perhitungan Weak Story

Story	V_x CQC	V_y CQC	$V_{x(n)}/V_{x(n+1)}$	$V_{y(n)}/V_{y(n+1)}$	Check	
	(ton)	(ton)			X - Direction	Y - Direction
STORYROOF	273.70	258.21				
STORY8	726.92	684.73				
STORY7	1078.08	1014.72	1.48	1.48	No Irregularity	No Irregularity
STORY6	1516.88	1413.22	1.41	1.39	No Irregularity	No Irregularity
STORY5	1817.14	1677.79	1.20	1.19	No Irregularity	No Irregularity
STORY4	3289.55	3041.45	1.81	1.81	No Irregularity	No Irregularity
STORY3	3393.66	3089.19	1.03	1.02	No Irregularity	No Irregularity
STORY2	3540.26	3223.16	1.04	1.04	No Irregularity	No Irregularity

Berdasarkan tabel 5.10 perhitungan *weak story* tidak terdapat ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebih sehingga, *penalty* untuk ketidakberaturan ini yang ada pada pasal 7.3.3.1 (terlampir), 7.3.3.2 (terlampir), dan tabel 13 (terlampir).

5.4 Level Kinerja Stuktur

Tabel 5.15 Batasan Ratio Drift Atap ATC 40

Parameter	<i>Perfomance Level</i>			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
<i>Maksimum Total Drift</i>	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	$0,33 \frac{v_i}{p_i}$
<i>Maksimum Total Inelastik Drift</i>	0,005	0,005 s.d 0,015	<i>No limit</i>	<i>No limit</i>

Sumber : ATC 40

Persamaan yang digunakan :

$$\text{Maksimal Drift} = \frac{Dt}{H_{total}}$$

$$\text{Maksimal In-elastic Drift} = \frac{Dt - D1}{H_{total}} S$$

Keterangan :

Dt = *displacement* atap (paling atas)

D1 = *displacement* lantai 1 (lantai diatas penjepitan lateral)

5.4.1 Evaluasi Kinerja Stuktur Arah X

Batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi dengan analisis ragam spektrum respons pada gedung, dengan parameter maksimum total *drift* dan maksimum inelastik *drift*, maka :

$$\text{Maksimal Drift} = \frac{0,00519}{33} = 0,0001573$$

$$\text{Maksimal In-elastic Drift} = \frac{0,00519 - 0,00}{33} = 0,0001573$$

5.4.2 Evaluasi Kinerja Stuktur Arah Y

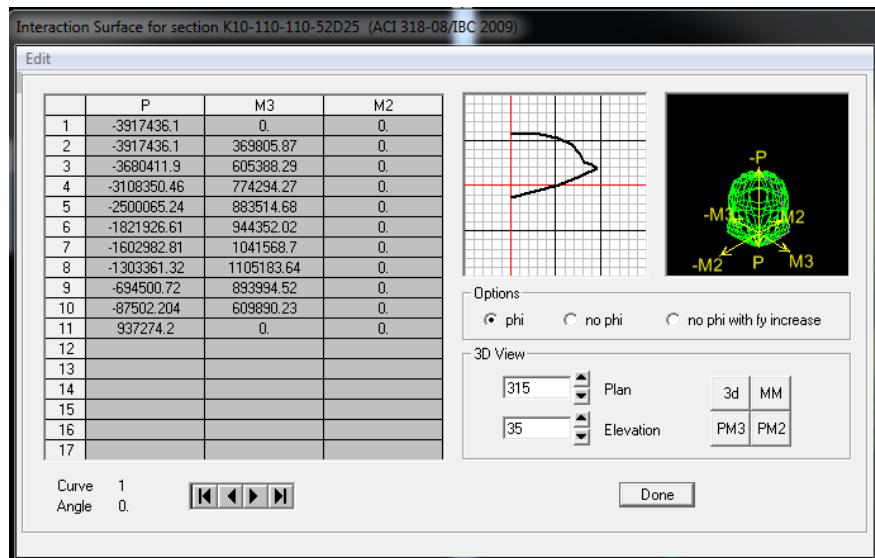
$$\text{Maksimal } Drift = \frac{0,00573}{33} = 0,0001736$$

$$\text{Maksimal } In-elastic \ Drift = \frac{0,00573 - 0,00}{33} = 0,0001736$$

Hasil evaluasi level kinerja struktur sesuai *Applied Technology Council 40* pada struktur arah X dan Y, untuk nilai maksimum total *drift* dan nilai maksimum total inelastik *drift* pada arah X maupun Y termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy (IO)* yakni struktur bangunan aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/beroperasi kembali.

5.5 Diagram Interaksi Kolom

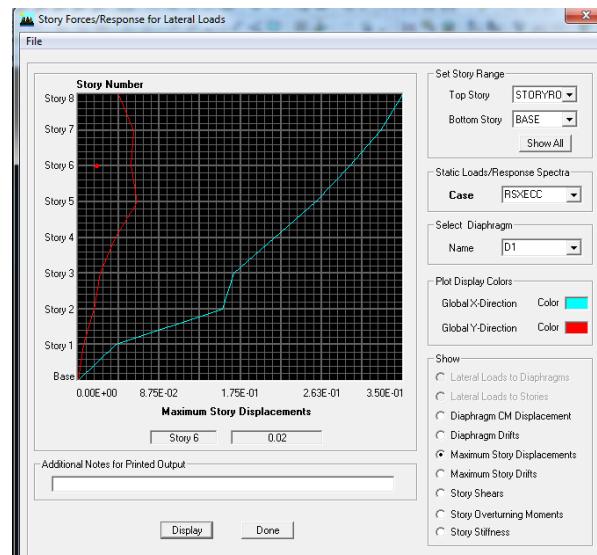
Kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam suatu bentuk kurva interaksi antara kedua gaya tersebut, disebut diagram interaksi P–M kolom. Berikut gambar diagram interaksi P–M kolom :



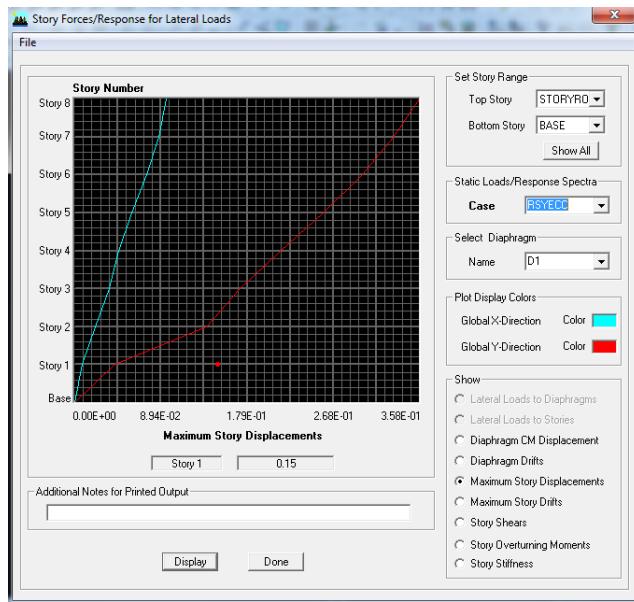
Gambar 5.20 Diagram Interaksi Kolom Story 2

5.6 Grafik Simpangan Struktur Terhadap Beban Gempa

Displacement maksimum dan *story drift* maksimum akibat beban gempa dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini :

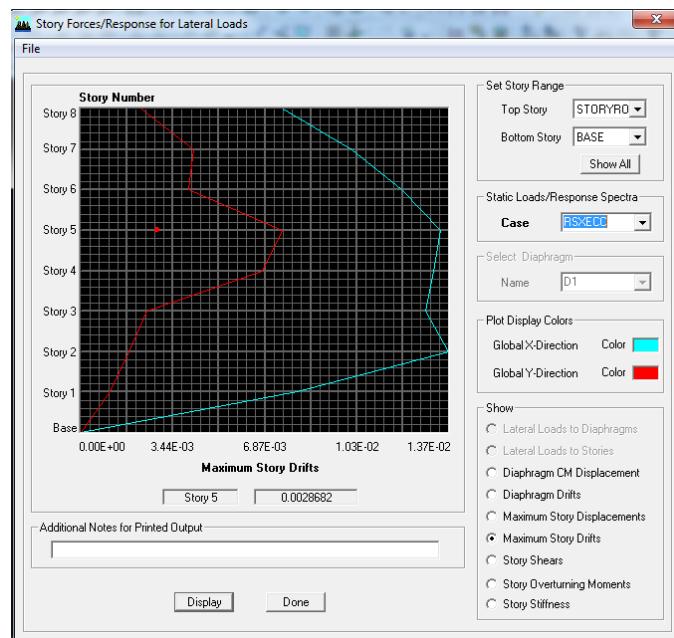


Gambar 5.21 Displacement Akibat Beban Gempa Arah X

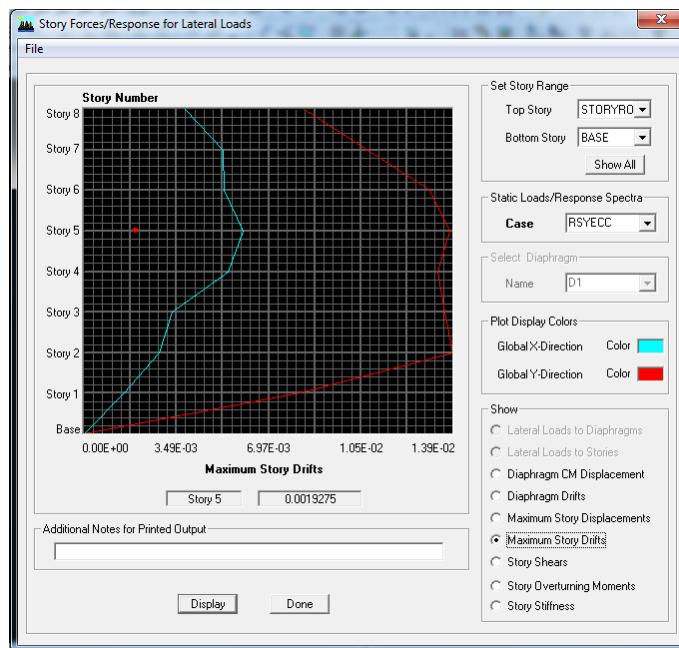


Gambar 5.22 *Displacement* Akibat Beban Gempa Arah Y

Dari gambar 5.21. dan .22 *displacement* pada lantai atap arah X = 0,06259 m dan arah Y = 0,06536 m.



Gambar 5.23 *Story Drift* Akibat Beban Gempa Arah X



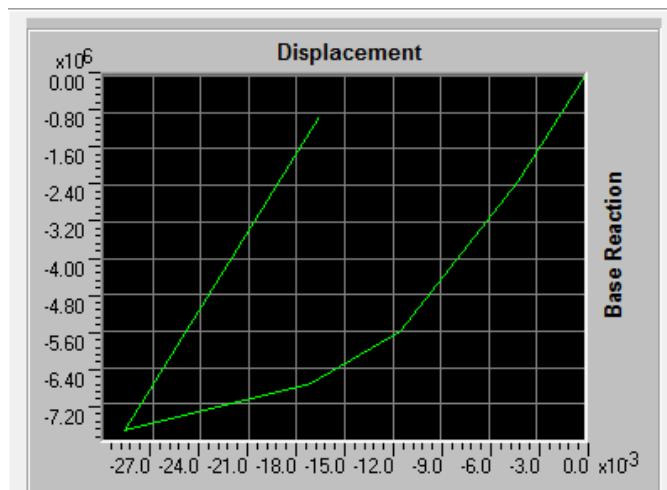
Gambar 5.24 Story Drift Akibat Beban Gempa Arah Y

Dari gambar 5.23. dan 5.24 story drift pada lantai atap arah X = 0,00519 m dan arah Y = 0,00573 m.

5.7 Hasil Analisis Pushover

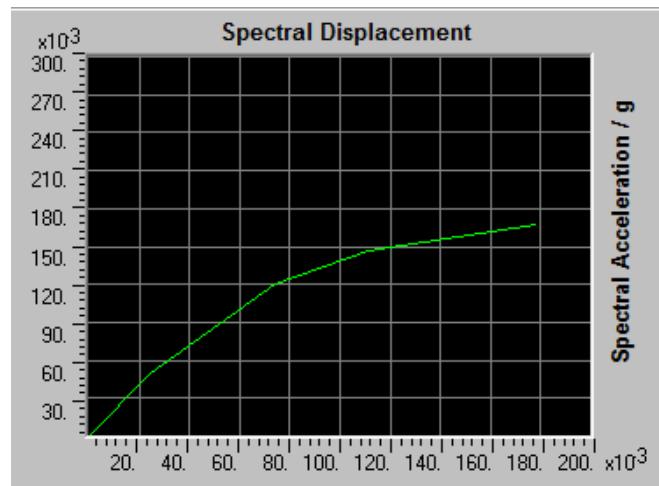
5.7.1 Kurva Kapasitas

Dari proses iterasi, didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V).



Gambar 5.25 Kurva Dispacement vs Base Shear

5.7.2 Kurva Kapasitas Spektrum

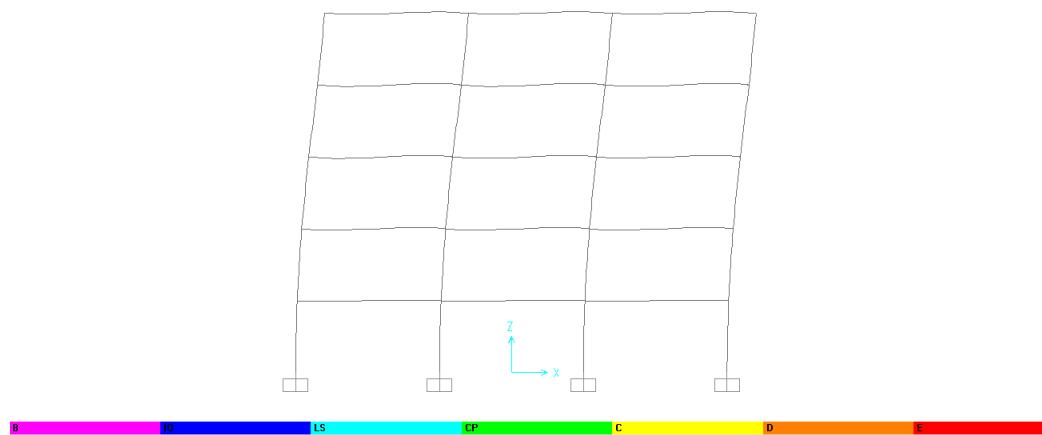


Gambar 5.26 Kurva Kapasitas Spektrum

Dari grafik ini dijelaskan bahwa tipe struktur pada gedung ini adalah A menurut ATC-40. Dimana model gedung masih termasuk kedalam level *immidiate occupancy*. Pada kategori ini kondisi struktur bangunan dalam level aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/ beroperasi kembali.

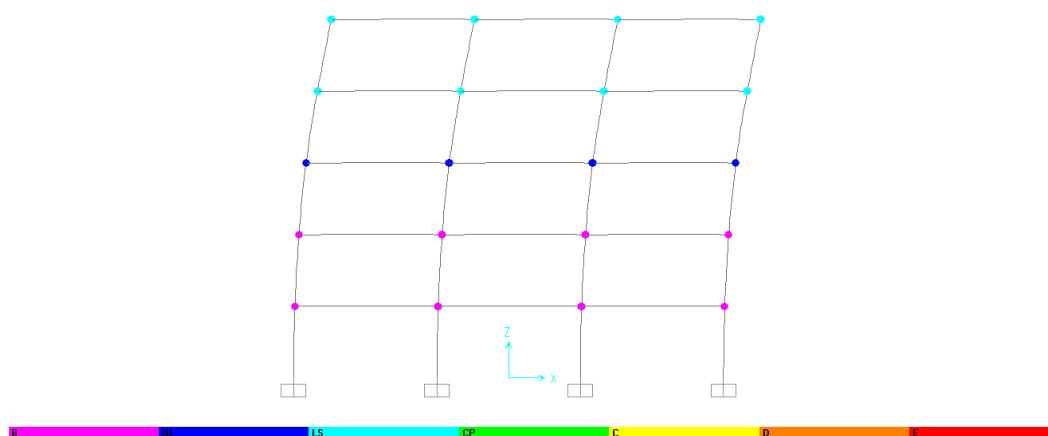
5.8 Distribusi Sendi Plastis

Pada gambar skema distribusi sendi plastis, diambil contoh gambar portal As-I dengan pertimbangan portal tersebut terdapat kolom utama K1 sehingga menjadi parameter utama apabila terjadi keruntuhan total.



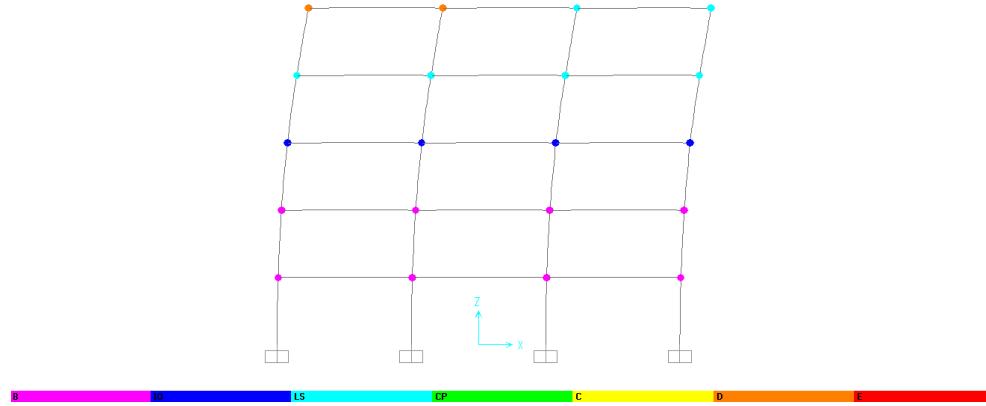
Gambar 5.27 Step 0 Terjadi Sendi Plastis

Tahap pertama, step 1 pada saat nilai *displacement* 0,00667 m. Terjadinya sendi *plastis* yang berperilaku *linear* pada tahap ini dimungkinkan karena terjadinya eksentrisitas pada penempatan elemen balok.



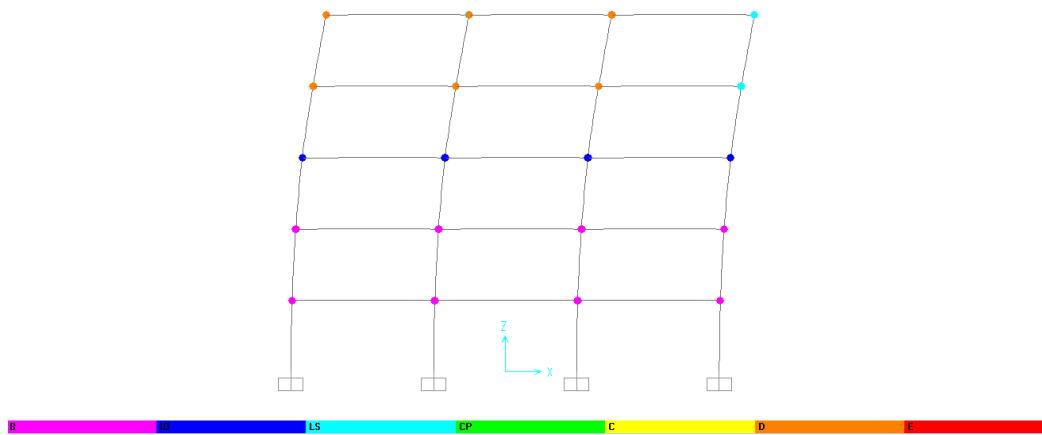
Gambar 5.28 Step 1 Terjadi Sendi Plastis

Seluruh elemen balok pada portal muncul sendi *plastis* dengan level A-B, IO dan LS. Semua ditandai dengan warna merah muda, biru tua dan biru terang.



Gambar 5.29 Step 7 Terjadi Sendi Plastis

Sebagian sendi *plastis* elemen balok mencapai tahap leleh pertama dengan perilaku *nonlinear* dengan ditandai warna jingga.



Gambar 5.30 Step 17 Terjadi Sendi Plastis

Pada step 17, program berhenti melakukan *iterasi*. Sendi *plastis* muncul hampir di seluruh elemen balok serta beberapa kolom dengan sifat *in-elastis*. Pada tahap ini nilai *displacement* 0.321 m serta terjadi penurunan besarnya gaya geser dasar karena telah memasuki kondisi *limit nonlinear*. Pada kondisi ini mampu memicu keruntuhan total bangunan dengan adanya balok dan kolom yang mengalami keruntuhan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah menganalisis struktur gedung universitas menggunakan metode *analisis pushover*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada gedung universitas ini terdapat ketidakberaturan torsi, geometri vertical, tingkat lunak berlebih, dan ketidakberaturan massa yang harus di cek dalam pasal referensi pada SNI 1726-2012.
2. Berdasarkan tinjauan *displacement* pada diafragma kekakuan (D1) arah X = 0,2956 m dan arah Y = 0,0327 m, diafragma kekakuan (D1b) arah X = 0,4058 m dan arah Y = 0,0372 m,dan diafragma kekakuan (D1a) arah X = 0,4332 m dan arah Y = 0,0518 m gedung universitas dinyatakan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas *ultimate* sesuai SNI 03-1726-2012.
3. Berdasarkan hasil analisis ragam spektrum respons terhadap level kinerja struktur sesuai ATC-40, pada arah X maupun arah Y nilai maksimum total *drift* menunjukan gedung yang dianalisis termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*. Nilai maksimum total inelastik *drift* pada arah X menunjukan gedung yang dianalisis juga termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*.

6.2 Saran

Adapun saran dalam tugas akhir ini diantaranya sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, maka evaluasi dapat dilanjutkan dengan analisa *time history*.
2. Memperhatikan parameter-parameter yang akan digunakan dalam proses analisis *pushover* dengan bantuan program *software*, agar hasil analisis akurat dan sesuai dengan kondisi yang terjadi akibat gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council, A.-4. R. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building: Volume 1*. California.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 : Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standarsasi Nasional. (2012). *SNI 1726-2012 : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*.
- Budiono, B. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 Dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: Penerbit ITB.
- Budiono, B. (2013). *Konsep SNI Gempa 1726-2012*. Jakarta.
- Dewobroto, W. (2005). Aplikasi Rekayasa Konstruksi.
- Dewobroto, W. (n.d.). Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa.
- Dya, A. F., & C. Oretaa, A. W. (2015). *Seismic vulnerability assessment of soft story irregular buildings using pushover analysis*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2007). *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 451B)*.
- Fransisca, D. M. (2016). *Studi Performa Struktur Gedung Bertingkat Ketidakberaturan Torsi Berdasarkan Perencanaan Urutan Sendi Plastis Dengan Pushover Analysis*.
- Marwanto, A., Budi, A. S., & Supriyadi, A. (2014, September). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis Pushover Terhadap Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Surakarta).

- Nugroho, F. (2016, Agustus). Penerapan Analisis Pushover Untukmenentukan Kinerja Struktur Padabangunan Eksisting Gedung Beton Bertulang.
- Palupi, A. S. (2015). Studi Kinerja Struktur Gedung *Supermall Pakuwon Mansion Phase-1* Surabaya Menggunakan Metode Analisa *Pushover*.
- Piranti, S. N. (2015). *Perilaku Struktur Bangunan yang Memiliki Ketidakberaturan Massa Terhadap Beban Gempa Kuat Berdasarkan Rsni 03-1726-201x*.
- Rachman, N. Z., Purwanto, E., & Suptiyadi, A. (2014, Desember). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang).
- Tarta, G., & Pintea, A. (2012). *Seismic evaluation of multi-storey moment-resisting steel frames with pushover*.
- Wibowo, E. P., & D. Y. (2010). Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa.
- Wicaksono, P. A. (2015). *Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Terhadap Beban Gempa Kuat Berdasarkan*.

Lampiran 1 Denah Balok Lantai 1

