

**ANALISIS KURVA FRAGILITAS PADA STRUKTUR
BANGUNAN 12 LANTAI DENGAN METODE *PUSHOVER***



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2023**

**ANALISIS KURVA FRAGILITAS PADA STRUKTUR
BANGUNAN 12 LANTAI DENGAN METODE *PUSHOVER***

TESIS

Diajukan Sebagai Syarat untuk Menyelesaikan Pendidikan Strata-II pada Program

Studi Magister Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas

OLEH:

M. HASBI ZUHER

NIM. 1920922039

PEMBIMBING I:

MASRILAYANTI, Ph. D

NIP. 197512192001122001

PEMBIMBING II:

JATI SUNARYATI, Ph. D

NIP. 196808211994122001



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS

ANALISIS KURVA FRAGILITAS PADA STRUKTUR
BANGUNAN 12 LANTAI DENGAN METODE *PUSHOVER*



Oleh:

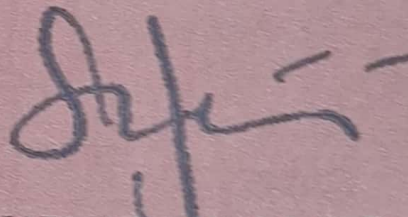
NAMA : M. HASBI ZUHER
NIM : 1920922039

Pembimbing I



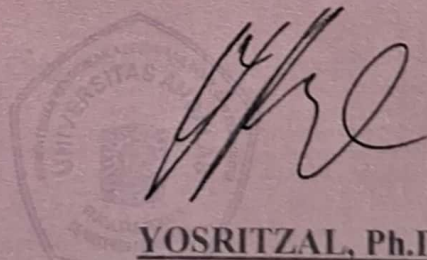
MASRILAYANTI, Ph.D
NIP. 197512192001122001

Pembimbing II



JATI SUNARYATI, Ph.D
NIP. 196808211994122001

Padang, Juni 2023
Ketua Departemen Teknik Sipil



YOSRITZAL, Ph.D
NIP. 197402272000031001

LEMBAR BERITA ACARA SIDANG TESIS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS

Pada hari ini, **26 Juni 2023** telah dilaksanakan Sidang Tesis untuk mahasiswa:

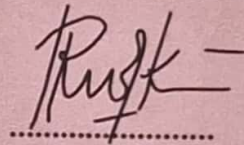
Nama : M. HASBI ZUHER

NIM : 1920922039

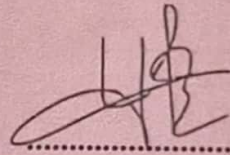
Judul : ANALISIS KURVA FRAGILITAS PADA STRUKTUR
BANGUNAN 12 LANTAI DENGAN METODE *PUSHOVER*

TIM PENGUJI:

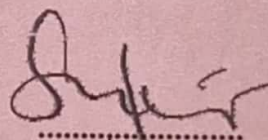
Ketua : Dr. Ruddy Kurniawan



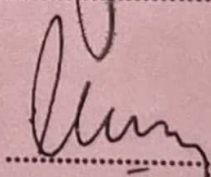
Anggota : Masrilayanti, Ph.D



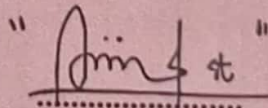
: Jati Sunaryati, Ph.D



: Dr. Eng. Febrin Anas Ismail



: Dr. Andriani



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. HASBI ZUHER

NIM : 1920922039

Tempat Tgl Lahir : Palembang, 28-05-1991

Alamat : Jl. Rambutan Dalam No. 1446, RT. 029, RW. 010,
Kelurahan 30 ilir, Kecamatan Ilir Barat II, Palembang,
Sumatera Selatan, 30144.

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis dengan judul '**Analisis Kurva Fragilitas Pada Struktur Bangunan 12 Lantai Dengan Metode *Pushover***' adalah hasil pekerjaan saya; dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya termasuk pencabutan gelar Magister Teknik yang nanti saya dapatkan.

Padang, 30 Juni 2023

M. Hasbi Zuher

ABSTRAK

Kurva fragilitas sering disebut juga kurva kerapuhan yang digunakan untuk menggambarkan probabilitas kerusakan atau probabilitas terjadinya suatu tingkat kerusakan pada suatu bangunan dengan besarnya beban lateral. Karena di kota Padang merupakan salah satu kota di Sumatera Barat yang memiliki banyak bangunan tinggi dan juga pernah terjadi gempa ditahun 2009 dengan 7,6 SR yang dampaknya sangat besar pada kerusakan bangunan yang rentan dan hilangnya nyawa. Oleh sebab itu evaluasi kerentanan bangunan seismik sebelum terjadinya gempa bumi adalah langkah penting dalam mencegah kerusakan pada bangunan dan korban jiwa. Pada studi ini yakni dilakukan analisis kurva fragilitas pada struktur bangunan 12 lantai dengan metode pushover. *Analysis pushover* dilakukan untuk mengetahui level kinerja struktur dan dikembangkan dengan menggunakan kurva fragilitas. Secara umum pada tesis ini, metode yang dilakukan yakni pertama dilakukan permodelan menggunakan *software* analisis struktur yaitu *Structural Analysis Program (SAP2000)* Versi 23. Dari hasil analisa Struktur, bangunan 12 lantai akan mengalami titik leleh pertama ketika diberi beban *pushover* ke-3 baik pada arah-X maupun arah-Y dan struktur bangunan akan *collapse* ketika diberi beban *pushover* ke-10 pada arah-X dan ke-8 pada arah-Y. Untuk level kinerja struktur bangunan 12 lantai termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) untuk arah X-X yang berarti transisi antara *Immediate Ocupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Sedangkan untuk arah Y-Y, struktur termasuk dalam level kategori *Immediate Ocupancy* (IO). Kemudian, untuk membangun kurva fragilitas atau analisis kurva fragilitas, dilakukan terlebih dahulu analisis tingkat resiko melalui analisis *pushover non-linier*. Sehingga kurva fragilitas didapat dari metode *displacement coefficient method* (FEMA-356) hasil *pushover analysis*. Dari metode tersebut sehingga bisa mendapatkan perilaku non-linear performa strukur bangunan setelah menerima beban gempa sehingga dapat mengestimasi tingkat kerusakan struktur bangunan akibat gempa berdasarkan HAZUS (*Hazard United States*) yang selanjutnya menjadi pedoman untuk membuat kurva fragilitas. Dari hasil analisis didapat kurva fragilitas baik arah-X maupun arah-Y struktur bangunan 12 lantai yang akan mengalami probabilitas kerusakan masing-masing baik *slight*, *moderate*,

extensive, dan *complete damage*. Dengan demikian, maka dalam hal ini bangunan masih mampu menahan beban gempa yang terjadi, bangunan juga dapat dipakai kembali ketika telah menerima beban gempa dan untuk resiko korban jiwa manusia relatif kecil.

Kata kunci: *Kurva Fragilitas, Pushover Analysis, HAZUS, FEMA-356/440, Response Spectrum SNI 1726 : 2019, Applied Technology Council (ATC-40), Performance Level.*



ABSTRACT

The fragility curve is often called the fragility curve which is used to describe the probability of damage or the probability of occurrence of a certain level of damage to a building with the magnitude of the lateral load. Because the city of Padang is one of the cities in West Sumatra which has many tall buildings and there was also an earthquake in 2009 with a magnitude of 7.6 which had a very large impact on damage to vulnerable buildings and loss of life. Therefore evaluating the seismic vulnerability of buildings before an earthquake occurs is an important step in preventing damage to buildings and loss of life. In this study, analysis of the fragility curve was carried out on a 12-storey building structure using the pushover method. Pushover analysis was performed to determine the performance level of the structure and was developed using a fragility curve. In general, in this thesis, the method used is first to do modeling using structural analysis software, namely Structural Analysis Program (SAP2000) Version 23. From the results of structural analysis, a 12-storey building will experience its first melting point when given the 3rd pushover load in both the X-direction and Y-direction and the building structure will collapse when given the 10th pushover load in the X-direction and the 8th in the Y-direction. The performance level of the 12-storey building structure is included in the Damage Control (DO) category level for the X-X direction, which means the transition between Immediate Occupancy (IO) and Life Safety (LS). As for the Y-Y direction, the structure is included in the Immediate Occupancy (IO) category level. Then, to build a fragility curve or fragility curve analysis, an analysis of the level of risk is carried out first through a non-linear pushover analysis. So that the fragility curve is obtained from the displacement efficient method (FEMA-356) as a result of the pushover analysis. From this method, it is possible to obtain non-linear behavior of the performance of building structures after receiving an earthquake load so that they can estimate the level of damage to building structures due to earthquakes based on HAZUS (Hazard United States) which will then serve as a guide for making fragility curves. From the analysis results, it is obtained that the fragility curve in both the X-direction and Y-direction of the 12-storey building structure will experience slight, moderate, extensive, and

complete damage, respectively. Thus, in this case the building is still able to withstand the earthquake load that occurs, the building can also be reused when it has received the earthquake load and the risk of human casualties is relatively small.

Keywords: *Fragility Curve, Pushover Analysis, HAZUS, FEMA-356/440, Response Spectrum SNI 1726 : 2019, Applied Technology Council (ATC-40), Performance Level.*



DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	
Abstrak	i
Abstract	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan	6
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Teori Struktur Tahan Gempa	8
2.2. Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang	9
2.3. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja.....	10
2.3.1. <i>Applied Technology Council (ATC-40)</i>	11
2.3.2. <i>Displacement Coefficient Method (FEMA-273/356)</i>	13
2.3.3. <i>Displacement Modification (FEMA-440)</i>	14
2.4. Analisa Statik Nonlinear (<i>Pushover Anaysis</i>).....	15
2.4.1. Kurva Kapasitas.....	16
2.4.2. Kurva Spektrum Kapasitas (<i>Respons Spektrum</i>)	18
2.5. Kurva Fragilitas	19
2.5.1. Fungsi Distribusi.....	19
2.5.2. Distribusi Normal, Lognormal, dan Seragam.....	20
2.5.3. Persamaan Umum Kurva Fragilitas.....	22

2.5.4. Pengembangan Kurva Fragilitas.....	22
2.5.5. Pengembangan Kurva Fragilitas (Metodologi HAZUS)	23
2.6. Penelitian Terdahulu	25
2.6.1. Paper “Studi Komparatif <i>Fragility Curve</i> Desain Bangunan Beton Bertulang SRPMK dan SRPMM Wilayah Jakarta dengan Peraturan RSNI 03-1726-201x”	25
2.6.2. Paper “ <i>Effect of Plastic Hinge Properties in Pushover Analysis of Reinforced Concrete Plane Frames</i> ”	26
2.6.3. Paper “Kurva Fragilitas Untuk Sistem Struktur Pemikul Momen”	27
2.6.4. Paper “ <i>Estimation of Financial Added Value for Retrofitted Buildings use fragility curve</i> ”	29
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Studi Literatur.....	35
3.2. Pemodelan Struktur	35
3.2.1. Informasi Bangunan	35
3.2.2. Propertis Bangunan.....	38
3.2.3. Asumsi yang Digunakan.....	39
3.2.4. Peraturan dan Standar Perencanaan.....	39
3.2.5. Langkah dan Tahapan Pemodelan Bangunan 12 Lantai dengan SAP2000 V23	39
3.2.6. Pengaplikasian Pembebanan dengan SAP2000 V23.....	49
3.2.7. Pengaplikasian <i>Pushover Analysis</i> dengan SAP2000 V23..	61
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Pengecekan Struktur Bangunan 12 Lantai	70
4.1.1. Pemeriksaan Jumlah Ragam.....	70
4.1.2. Perbandingan Geser Dasar V_{Statik} Vs $V_{Dinamik}$	71
4.1.3. Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai	73
4.2. Analisis Statik Nonlinear (<i>Pushover Analysis</i>)	79
4.2.1. Menampilkan Kurva Kapasitas <i>Pushover</i>	79

4.2.2. Level Kinerja Struktur	90
4.3. Analisis Kurva Fragilitas (<i>Fragility Curve</i>)	93
4.3.1. Menghitung Nilai Median (λ) / Perkiraan Nilai Tengah Dari PO Analisis	93
4.3.2. Menghitung Nilai Standar Deviasi (β).....	100
4.3.3. Membuat Kurva Fragilitas (<i>Fragility Curve</i>)	101
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	111
5.2. Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN	
UCAPAN TERIMA KASIH	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta Zonasi Gempa Indonesia	1
Gambar 1.2. Lokasi pusat gempa Padang – Pariaman 2009.....	2
Gambar 1.3. Hotel Ibis Padang	3
Gambar 2.1. Perbandingan Indeks Seismik dan Kerusakan Bangunan Pada Gempa Tokachi Tahun 1968 dan Gempa Miyagiken tahun 1978	10
Gambar 2.2. Kurva Kapasitas dan Definisi Daerah Kinerja	11
Gambar 2.3. Tingkat Kinerja Struktur (FEMA-273/356).....	13
Gambar 2.4. Kurva <i>Pushover Analysis</i>	14
Gambar 2.5. Respon Struktur Akibat Gempa	16
Gambar 2.6. Perilaku Inelastik Struktur Portal Kolom-Balok	17
Gambar 2.7. Spektrum Kapasitas – Respon Spektra Standar dan ADRS.....	18
Gambar 2.8. <i>Respons Spektrum</i> Kota Padang.....	19
Gambar 2.9. Fungsi Distribusi Normal dan Kumulatif.....	21
Gambar 2.10. Kurva Fragilitas Kerusakan Ringan, Menengah, Berat, Runtuh.....	24
Gambar 2.11. Kurva Fragilitas Studi Komperatif SRPMK dan SRPMM	26
Gambar 2.12. Sendi Plastis yang Terjadi pada Struktur	27
Gambar 2.13. Kurva Fragilitas SRPMB dan SRPMM	29
Gambar 2.14. Contoh Struktur Bangunan 3, 5, dan 6 Lantai.....	31
Gambar 2.15. <i>Fragility curves for sample three-story building before and after retrofitting</i>	32
Gambar 2.16. <i>Fragility curves for sample five-story building before and after retrofitting</i>	33
Gambar 2.17. <i>Fragility curves for sample six-story building before and after retrofitting</i>	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3.2. Potongan Struktur Tampak Samping/Depan Hotel Ibis Padang	36
Gambar 3.3. Denah Lantai Base	36
Gambar 3.4. Denah Lantai <i>Ground, Uppare Ground</i> dan <i>Mezzanine</i>	37
Gambar 3.5. Denah Lantai 1,3,5,7 dan Lantai 2,4,6,8	37
Gambar 3.6. Denah <i>Roof Floor</i> dan <i>Top Roof Floor</i>	37

Gambar 3.7 Input Data Grid Struktur	40
Gambar 3.8. Input Data Material Beton dan Baja.....	40
Gambar 3.9. <i>Frame Section Property Type</i>	41
Gambar 3.10. Input Properties Balok.....	41
Gambar 3.11. Input Data <i>Reinforcement</i> Balok	41
Gambar 3.12. Input Propertis Kolom.....	43
Gambar 3.13. Input Data <i>Reinforcement</i> Kolom	44
Gambar 3.14. <i>Shell Section Data</i>	45
Gambar 3.15. Penggambaran Elemen Balok dan Kolom	46
Gambar 3.16. Penggambaran Elemen Pelat Lantai dan Pelat Atap	47
Gambar 3.17. Membuat Perletakan Jepit Pada Pondasi.....	47
Gambar 3.18. <i>Devide</i> Pelat Lantai dan Atap.....	48
Gambar 3.19. Pemodelan Bangunan 12 Lantai SAP2000 V23	49
Gambar 3.20. Jenis - jenis beban yang Bekerja	50
Gambar 3.21. Distribusi Beban Mati pada Pelat Lantai.....	51
Gambar 3.22. Distribusi Beban Mati pada Balok	51
Gambar 3.23. Beban Hidup untuk Lantai Kantor	52
Gambar 3.24. Beban Hidup untuk Lantai Atap	52
Gambar 3.25. Distribusi Beban Hidup pada Lantai (2,4 kN/m ²)	52
Gambar 3.26. Ilustrasi dari Analisis Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen....	53
Gambar 3.27. Define Beban gempa Statik Ekuivalen.....	54
Gambar 3.28. Input gempa statik ekuivalen arah x-x	54
Gambar 3.29. Input gempa statik ekuivalen arah y-y	55
Gambar 3.30. Grafik <i>Respons Spectrum</i> SNI 1726 : 2019	55
Gambar 3.31. Input Parameter <i>Respon Spektrum</i>	56
Gambar 3.32. <i>Define Load Case</i>	56
Gambar 3.33. <i>Respons Spectrum Case</i> Arah-x	57
Gambar 3.34. <i>Respons Spectrum Case</i> Arah-y	57
Gambar 3.35. Penentuan Massa Struktur	58
Gambar 3.36. <i>Define Constraints</i>	58
Gambar 3.37. <i>Input Joint Constraints</i>	59
Gambar 3.38. Input beban kombinasi (comb.3) & <i>Envelope</i>	61

Gambar 3.39. Titik Kinerja Struktur pada Tingkat Redaman Struktur.....	62
Gambar 3.40. Menentukan Titik yang Ditinjau (label 145).....	63
Gambar 3.41. <i>Static Nonlinear Cases</i>	63
Gambar 3.42. <i>Input Static Nonlinier Case Gravity</i>	64
Gambar 3.43. <i>Static Nonlinear PUSH-X</i>	65
Gambar 3.44. <i>Load Application Control for Static Nonlinear Push-x (Unit m)</i> ..	65
Gambar 3.45. <i>Results Saved for Nonlinear Static Load Case</i>	66
Gambar 3.46. Input <i>Hinge</i> pada Balok.....	67
Gambar 3.47. Input Data <i>Auto Hinges ASCE 41-13 Pada Concrete Beams</i>	67
Gambar 3.48. Input <i>Relative distance Hinge</i> pada Balok	67
Gambar 3.49. Input Data <i>Auto Hinges ASCE 41-13 Pada Concrete Coloums</i>	68
Gambar 3.50. Input <i>Hinge</i> pada Kolom	68
Gambar 3.51. <i>Running Program</i>	69
Gambar 4.1. Jumlah Partisipasi Massa Ratios	70
Gambar 4.2. Seleksi <i>Load Case</i> Untuk Perhitungan Geser Dasar	72
Gambar 4.3. <i>Output Geser</i>	72
Gambar 4.4. Penentuan Simpangan Antar Lantai.....	73
Gambar 4.5. <i>Set Display Options</i>	74
Gambar 4.6. Titik Lokasi <i>Joint</i> Label Yang Ditinjau	75
Gambar 4.7. Pilihan Untuk Menampilkan Defleksi.....	75
Gambar 4.8. Tabel <i>Joint Displacements</i>	76
Gambar 4.9. Simpangan Lantai (<i>Story Drift</i>) Arah-X	78
Gambar 4.10. Simpangan Lantai (<i>Story Drift</i>) Arah-Y	79
Gambar 4.11. <i>Pushover Curve x-x</i>	80
Gambar 4.12. <i>Pushover Curve y-y</i>	80
Gambar 4.13. <i>Display Table Pushover Curve x-x</i>	81
Gambar 4.14. <i>Display Table Pushover Curve y-y</i>	81
Gambar 4.15. Tingkat Plastifikasi Sendi Plastis Elemen.....	82
Gambar 4.16. <i>Push-x Step 3</i>	83
Gambar 4.17. <i>Push-x Step 4</i>	83
Gambar 4.18. <i>Push-x Step 5</i>	84
Gambar 4.19. <i>Push-x Step 6</i>	84

Gambar 4.20. <i>Push-x</i> Step 7	85
Gambar 4.21. <i>Push-x</i> Step 8	85
Gambar 4.22. <i>Push-x</i> Step 9	86
Gambar 4.23. <i>Push-x</i> Step 10	86
Gambar 4.24. <i>Push-y</i> Step 3	87
Gambar 4.25. <i>Push-y</i> Step 4	87
Gambar 4.26. <i>Push-y</i> Step 5	88
Gambar 4.27. <i>Push-y</i> Step 6	88
Gambar 4.28. <i>Push-y</i> Step 7	89
Gambar 4.29. <i>Push-y</i> Step 8	89
Gambar 4.30. Input Parameter Kapasitas Spektra ATC-40	91
Gambar 4.31. Spektrum Kapasitas Arah x-x	91
Gambar 4.32. Spektrum Kapasitas Arah y-y	92
Gambar 4.33. Plot kurva fragilitas	93
Gambar 4.34. <i>Threshold Spectral Displacement</i>	93
Gambar 4.35. <i>Change Pushover Curve to Bilinear Curve</i>	94
Gambar 4.36. Kurva PUSH-X dengan plot type FEMA 356.....	94
Gambar 4.37. Kurva PUSH-Y dengan plot type FEMA 356.....	95
Gambar 4.38. <i>Calculated Items</i> PUSH-X	95
Gambar 4.39. <i>Calculated Items</i> PUSH-Y	96
Gambar 4.40. <i>Structure Output Modal Information</i> Arah-X	97
Gambar 4.41. <i>Structure Output Modal Information</i> Arah-Y	97
Gambar 4.42. <i>Deformed Shape</i> modal Arah-X.....	98
Gambar 4.43. <i>Deformed Shape</i> modal Arah-Y	98
Gambar 4.44. <i>Spectral Displacement Standard Deviation/HAZUS Value</i>	100
Gambar 4.45. <i>Fragility Curve of Slight Damage-X</i>	102
Gambar 4.46. <i>Fragility Curve of Moderate Damage-X</i>	103
Gambar 4.47. <i>Fragility Curve of Extensive Damage-X</i>	104
Gambar 4.48. <i>Fragility Curve of Complete Damage-X</i>	105
Gambar 4.49. <i>Fragility Curve of All Condition Damage-X</i>	105
Gambar 4.50. <i>Fragility Curve of Slight Damage-Y</i>	107
Gambar 4.51. <i>Fragility Curve of Moderate Damage-Y</i>	108

Gambar 4.52. <i>Fragility Curve of Extensive Damage-Y</i>	109
Gambar 4.53. <i>Fragility Curve of Complete Damage-Y</i>	110
Gambar 4.54. <i>Fragility Curve of All Condition Damage-Y</i>	110



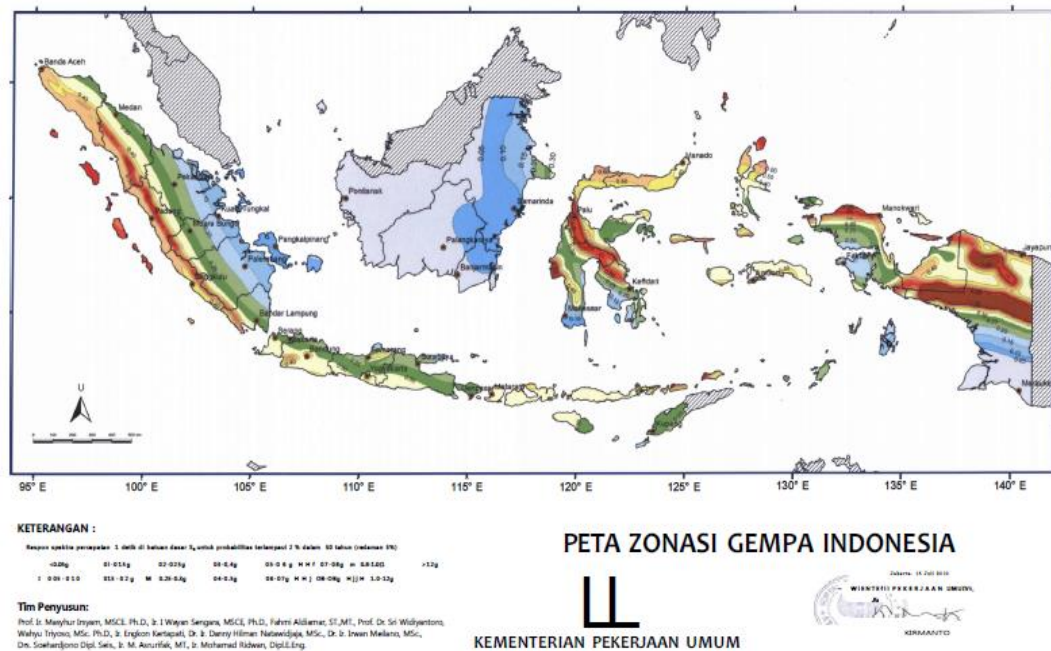
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Batasan Deformasi pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40)	12
Tabel 2.2. Tingkat Kerusakan Berdasarkan HAZUS	25
Tabel 2.3. Nilai Variabilitas Berdasarkan HAZUS untuk tipe RCFB	28
Tabel 2.4. <i>Equations use to convert capacity and demand spectra to ADRS</i>	31
Tabel 3.1. Propertis Penampang Balok	38
Tabel 3.2. Propertis Penampang Kolom	38
Tabel 4.1. <i>Modal Participating Mass Ratios</i>	71
Tabel 4.2. <i>Base Reactions</i>	72
Tabel 4.3. Hasil Penjumlahan Geser Dasar Untuk Masing-Masing Gempa	73
Tabel 4.4. <i>Joint Displacement</i>	76
Tabel 4.5. Simpangan Lantai Arah-X (Δx)	77
Tabel 4.6. Simpangan Lantai Arah-Y (Δy)	78
Tabel 4.7. Batas Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur	90
Tabel 4.8. <i>Fragility Curve of Slight Damage-X</i>	101
Tabel 4.9. <i>Fragility Curve of Moderate Damage-X</i>	102
Tabel 4.10. <i>Fragility Curve of Extensive Damage-X</i>	103
Tabel 4.11. <i>Fragility Curve of Complete Damage-X</i>	104
Tabel 4.12. <i>Fragility Curve of Slight Damage-Y</i>	106
Tabel 4.13. <i>Fragility Curve of Moderate Damage-Y</i>	107
Tabel 4.14. <i>Fragility Curve of Extensive Damage-Y</i>	108
Tabel 4.15. <i>Fragility Curve of Complete Damage-Y</i>	109

BAB 1. PENDAHULUAN

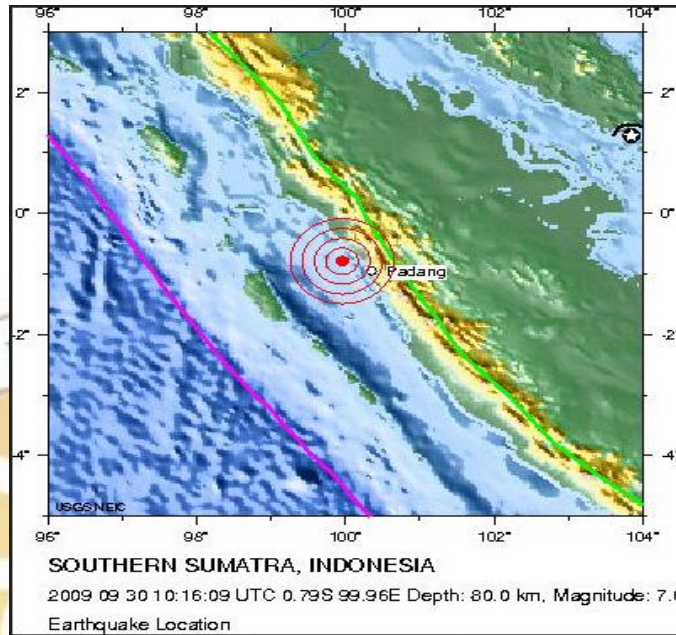
1.1 Latar Belakang

Sumatera Barat merupakan provinsi yang dilalui jalur *ring of fire* karena berada diantara pertemuan dua lempeng benua besar, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia serta patahan (sesar) Semangko. Di dekat pertemuan lempeng terdapat juga patahan Mentawai. Ketiganya merupakan daerah seismik aktif. Pada Gambar 1.1 menunjukkan bahwa Sumatera Barat termasuk kedalam zonasi gempa dengan percepatan 0,4 - 0,6 g. Padang sebagai ibukota Provinsi Sumatera Barat telah mengalami beberapa kali gempa besar pada periode Tahun 2004 sampai dengan Tahun 2009. Gempa besar yang mengguncang kota Padang terakhir kali terjadi pada pukul 17:16:10 tanggal 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 Skala Richter (SR) yang berpusat di kota Padang – Pariaman. Pusat gempa ditunjukkan sebagai lingkaran merah (Gambar 1.2). Gempa 30 September 2009 tersebut menimbulkan banyak kerusakan dan korban jiwa (Ismail F.A,2011).



Gambar 1.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Sumber: Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia 2017, ISBN :978-602-5489-01-3)



Gambar 1.2 Lokasi pusat gempa Padang – Pariaman 2009

(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_Bumi_Sumatera_Barat_September_2009)

Kota Padang merupakan salah satu kota di Sumatera Barat yang memiliki banyak bangunan tinggi. Permasalahan utama pada bangunan gempa menyebabkan terjadinya deformasi pada struktur, perpindahan lateral pada puncak bangunan terhadap dasar bangunan, dan simpangan antar lantai pada struktur. (Ismail F.A, 2012).

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada tesis ini, akan dibahas sebuah model analitik untuk membangun kurva fragilitas dengan mengevaluasi kinerja seismik pada sebuah gedung berlantai banyak yang telah ada, yang dikasih judul “Analisis Kurva Fragilitas Pada Struktur Bangunan 12 Lantai Dengan Metode *Pushover*”.

Penelitian ini menjelaskan tentang membangun kurva fragilitas pada rangka struktur beton bertulang bangunan 12 lantai yakni kita ambil *existing* gedung hotel Ibis Padang yang lokasi gedung ini kurang lebih 1,5 km dari garis pantai (dapat dilihat pada gambar 1.3). Kajian ulang terhadap struktur gedung sangat diperlukan untuk mengetahui kinerja struktur bangunan terhadap gempa. Analisis yang dapat dilakukan untuk evaluasi kinerja struktur adalah *non-linear time history analysis*,

dimana analisis ini cukup banyak dipakai dalam mengevaluasi struktur tahan gempa akan tetapi sangat rumit dan membutuhkan banyak waktu.



Gambar 1.3 Hotel Ibis Padang
(Sumber : febbymellisa.blogsopot.com, 2018)

Dalam perkembangannya, analisis statik *non-linier* yang lebih dikenal dengan istilah *pushover analysis* lebih banyak digunakan dan merupakan pilihan yang menarik dalam mengevaluasi bangunan *existing* sehingga dapat diketahui kinerja seismik bangunan.

Analisis *pushover* dilakukan dengan metode target perpindahan. Beberapa cara menentukan target perpindahan adalah *displacement coefficient method* (FEMA-273/356), *displacement modification* (FEMA-440) dan *capacity spectrum method* (ATC-40) (FEMA, 2005).

Mengklasifikasikan jenis gedung menurut kerentanan terhadap beban gempa dengan kurva fragilitas merupakan hal yang sangat aplikatif dan cara yang tepat untuk manajemen bencana (Nouri, et. al, 2011). Performa kinerja suatu struktur dapat dilihat dari kerentanan suatu struktur ketika menerima beban. Performa kinerja dapat dikembangkan dalam bentuk kurva fragilitas (Masrilayanti, et. al, 2018). Kurva fragilitas adalah kurva yang menghubungkan antara nilai

probabilitas terjadinya kerusakan pada struktur dengan intensitas gempa yang dihasilkan (Silitonga, et. al, 2019). Kurva fragilitas dapat dikembangkan dengan emperial atau analitikal. Untuk mengembangkan dengan analitikal, diperlukan data respon struktur akibat seismik (Nouri, et. al, 2011) .

Maka dalam hal ini untuk mengevaluasi kerentanan seismik pada struktur bangunan 12 lantai dapat dilakukan dengan mengkaji kurva fragilitas. Secara Umum pada penelitian ini, pertama dilakukan permodelan menggunakan software analisis struktur yaitu Structural Analysis Program (SAP2000) Versi 23. Kemudian, untuk membangun kurva fragilitas atau analisis kurva fragilitas, dilakukan terlebih dahulu analisis tingkat resiko melalui analisis *pushover non-linier*. Sehingga kurva fragilitas didapat dari metode *displacement coefficient method* (FEMA-356) hasil *pushover analysis*. Dan lebih lengkapnya dijelaskan Kurva fragilitas memiliki parameter yang tidak diketahui berupa *median spectral displacement* ($\bar{S}_d$) dan standar deviasi lognormal (β). Analisis statik *linier* menghasilkan *nilai story-drift ratio dan Demand Capacity Ratio* (DCR) yang menunjukkan perilaku struktur pada kondisi *linier*. Analisis *pushover non-linier* memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari *linier* menjadi *non-linier* yang menghasilkan kurva kapasitas, kemudian diubah menjadi kapasitas spektrum sehingga didapatkan nilai *median spectral displacement*. Kurva kapasitas diperlukan untuk mengidentifikasi letak *median spectral displacement* pada kondisi kerusakan yang bervariasi berdasarkan standar HAZUS (*hazar united states*). Nilai *spectral displacement*, divariasikan secara acak hingga diperoleh nilai probabilitas dari 0 sampai 1 yang menghasilkan bentuk kurva yang baik.

Akhirnya dari kurva fragilitas yang didapat, kita dapat mengetahui tingkat kerusakan dengan beban lateral yang diberikan yang dibedakan menjadi 4 kategori: rusak ringan (*slight*), menengah (*moderate*), berat (*Extensive*), dan runtuh (*Collapse*). Dengan klasifikasi tingkat kerusakan ini mengacu pada HAZUS (*hazar united states*).

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana membangun kurva fragilitas analitik gempa terhadap kinerja struktur bangunan 12 lantai berdasarkan hasil evaluasi metode *pushover analysis*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini secara umum yaitu mengetahui kinerja struktur bangunan 12 lantai dari hasil evaluasi metode *pushover analysis* dan tingkat kerusakan hasil analisis kurva fragilitas dengan beban lateral yang diberikan dengan menggunakan perangkat lunak *Structural Analysis Program (SAP2000)* Versi 23.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan modal *participating mass ratio* dari pemeriksaan jumlah ragam berdasarkan SNI terbaru 1726:2019 Pasal 7.9.1.1
2. Menentukan perilaku struktur baik gaya geser dasar statik maupun dinamik serta respon struktur akibat gempa dan kinerja struktur.
3. Menentukan pemeriksaan simpangan antar lantai berdasarkan SNI terbaru 1726:2019 Pasal 7.8.6
4. Menentukan *response spectrum* gempa lokasi kota padang berdasarkan SNI terbaru 1726:2019
5. Menghasilkan kurva kapasitas dan menentukan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40:1996 yang ditinjau menggunakan *pushover analysis* pada program SAP2000 V23.
6. Menentukan median *spectral displacement point* pada berbagai kondisi kegagalan struktur berdasarkan standar HAZUS dari hasil *pushover analysis* dan menggambarkan tingkat kerusakan atau kegagalan struktur gedung berdasarkan kurva fragilitas.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penulis difokuskan kepada :

1. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *Software Structural Analysis Program (SAP2000)* Versi 23.
2. Model yang akan dianalisis yaitu bangunan 12 lantai Hotel Ibis di Kota Padang Sumatera Barat dengan bentuk dan spesifikasi material dari struktur gedung ini didapat dari kondisi *existing*.
3. Untuk *base isolator* tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.

4. Mutu beton dan baja yang digunakan tidak mutu di lapangan, tetapi mutu beton dan baja pada perencanaan.
5. Beban yang diaplikasikan pada struktur merupakan beban mati/berat sendiri struktur (*Dead*), beban mati tambahan (*SIDL*), beban hidup (*Live*), beban gempa (*E*), dan kombinasi pembebanan.
6. Penelitian ini menggunakan peraturan SNI terbaru yakni SNI 1727:2020 untuk pembebanan dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa.
7. Bangunan ini hanya dianalisis dengan metode *Pushover*.
8. Hasil penelitian ini berupa kurva distribusi lognormal atau kurva fragilitas yang merepresentasikan korelasi antara *Sprectral Displacement* terhadap kemungkinan kerusakan pada struktur (*Probability*). Setelah sebelumnya mengetahui hasil *Median Value* (λ) dan *HAZUS Value* (β) dari setiap 4 kondisi *damage*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan kurva fragilitas analitik gempa pada bangunan 12 lantai dan dapat mengetahui tingkat resiko gempa terhadap kerusakan yang terjadi dengan tingkat kerusakan yang dibedakan menjadi 4 kategori: rusak ringan (*slight*), menengah (*moderate*), berat (*Extensive*), dan runtuh (*Complete*). Dengan klasifikasi tingkat kerusakan ini mengacu pada HAZUS®MH MR4.
2. Dapat melihat gambar lokasi terjadinya sendi plastis setiap step pada elemen struktur untuk beban dorong *pushover* arah x maupun *pushover* arah y, sehingga diketahui titik leleh pertama bahkan *collapse* akibat beban dorong.
3. Dapat mengetahui level kinerja struktur berdasarkan ATC-40:1996

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk menjaga tesis ini berurut, maka sistematika penulisan tesis ini disusun sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori dasar dari beberapa referensi yang mendukung serta mempunyai relevansi dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI DAN PROSEDUR KERJA

Berisikan tentang metodologi penelitian yang merupakan tahapan-tahapan dalam penyelesaian masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan kajian dan uraian analisis, pembahasan, serta hasil yang didapat berupa tabel, grafik, dan gambar.

BAB VI KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan dan dari hasil penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Struktur Tahan Gempa

Secara umum gempa bumi merupakan getaran permukaan tanah yang dapat disebabkan oleh aktifitas tektonik, vulkanisme, longsor, dan bahan peledak. Dari semua penyebab diatas goncangan disebabkan oleh peristiwa tektonik yang merupakan penyebab utama kerusakan pada struktur gedung (Chen dan Lui, 2006). Gempa bumi yang paling banyak terjadi di Indonesia adalah gempa bumi tektonik. Yang merupakan jenis gempa yang menimbulkan kerusakan paling luas (Dewi dan Sudrajat, 2007), maka dari itu pada daerah dengan resiko gempa tinggi, perencanaan dan pelaku konstruksi harus memperhatikan ketahanan terhadap beban gempa.

Hal penting dari evaluasi berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas. Sasaran kinerja tersebut terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. (Dewobroto, 2005). Evaluasi kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur bangunan gedung. Hal ini penting untuk evaluasi kinerja seismik struktur gedung pasca leleh. (Pranata, 2006).

Berdasarkan IBC 2006, tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan kriteria sebagai berikut :

- a. Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa kecil.
- b. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural.
- c. Diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.
- d. Sistem *sprinkler* untuk proteksi kebakaran dan tangga keluar tetap utuh.

Menurut SNI-1726-2019 dilakukannya perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung bertujuan untuk :

- a. Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat.
- b. Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki.
- c. Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang.
- d. Mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung.

Menurut *Applied Technology Council* (ATC)-40, kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

a. *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.

b. *Life Safety (LS)*

Struktur gedung harus mampu menahan gempa sedang tanpa kerusakan struktur, walaupun ada kerusakan pada elemen non-struktur.

c. *Collapse Prevention (CP)*

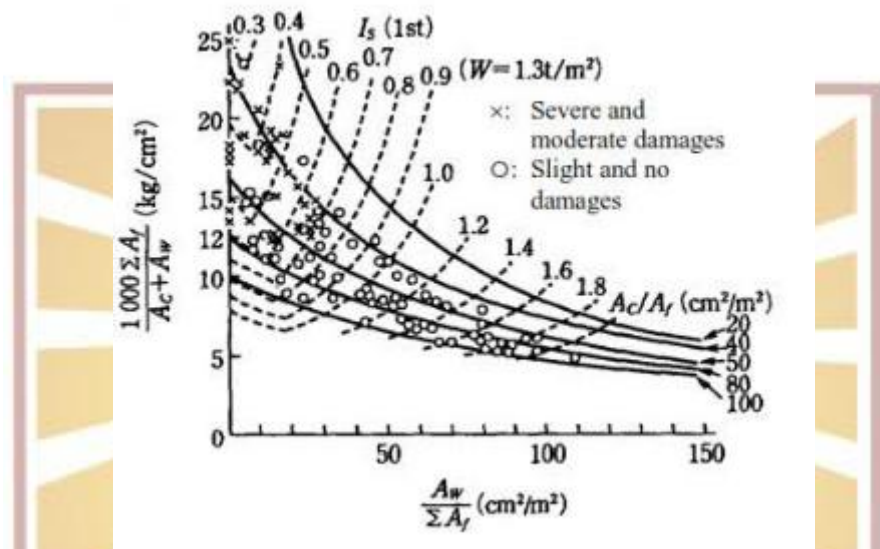
Struktur harus mampu menahan gempa besar tanpa terjadi keruntuhan struktural walaupun struktur telah mengalami rusak berat, artinya kerusakan struktur boleh terjadi tetapi harus dihindari adanya korban jiwa manusia.

2.2 Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang

Masalah serius yang dihadapi dalam pencegahan gempa bumi oleh negara – negara rawan gempa adalah ketahanan seismik bangunan lama yang dibangun tanpa menggunakan standar tentang seismik dan rekayasa gempa. Berdasarkan hal tersebut, jepang mempublikasikan standar evaluasi seismik yaitu *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building* yang diterbitkan pada tahun 1977 dan direvisi pada tahun 1990 dan 2001. Standar ini dipublikasikan untuk membantu negara-negara rawan gempa yang serupa dengan jepang untuk upaya pencegahan kerusakan bangunan akibat gempa bumi.

Standar ini menyatakan bahwa bangunan dinyatakan aman apabila memiliki nilai indeks seismik lebih besar dari 0.8 untuk evaluasi level pertama dan 0.6 untuk

evaluasi level kedua. Nilai indeks seismik yang dibutuhkan oleh struktur (E_s) didapat dari perbandingan indeks seismik dan kerusakan bangunan yang disebabkan oleh gempa Tokachi tahun 1968 dan gempa Miyagiken tahun 1978 seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perbandingan Indeks Seismik dan Kerusakan Bangunan Pada Gempa Tokachi Tahun 1968 dan Gempa Miyagiken tahun 1978
(Sumber : *The Japan Building Disaster Prevention Association*, 2001)

2.3 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Semua struktur berfungsi menahan tegangan akibat beban yang dibebankan, perubahan suhu, susut, dan lainnya. Misalnya pada bangunan, terkena beban mati dan beban hidup serta beban angin. Semuanya harus menopang beban yang dikenakan dengan aman dan ekonomis. Tugas insinyur struktur adalah mengusulkan struktur yang sesuai, memeriksa stabilitasnya secara keseluruhan, dan menghitung gaya serta deformasi struktur baik sebelum bangunan jadi maupun setelah bangunan berdiri. (Qi Zhang & M. Shahria Alam, 2019).

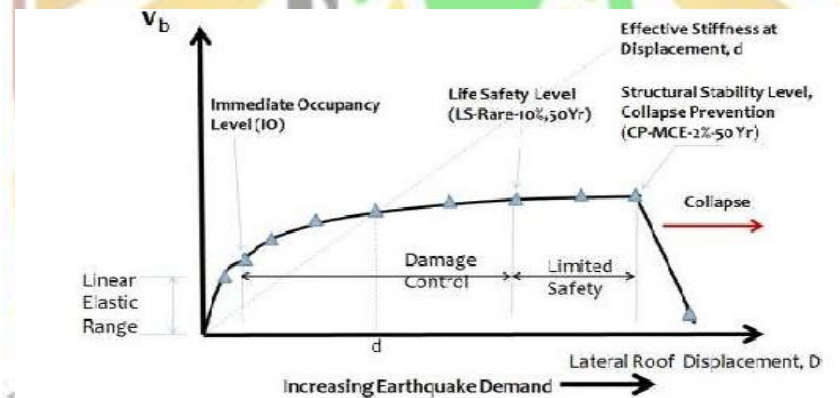
Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja atau lebih dikenal *performance based design* dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Dalam disain struktur berbasis kinerja, biasanya

kinerja struktur didisain sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan dengan mempertimbangkan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan (Tavio, 2018).

Ada beberapa cara menentukan level kinerja struktur, diantaranya adalah *capacity spectrum method* (Applied Technology Council (ATC-40)), *displacement coefficient method* (Federal Emergency Management Agency (FEMA-273/356)), dan *displacement modification* (FEMA-440) (Tavio, 2018).

2.3.1 *Applied Technology Council (ATC-40)*

ATC-40 mendefinisikan beberapa daerah di daerah elastik dan inelastik dari kurva kapasitas yang diperoleh. Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC-40, dimana tingkatan kinerja yang digambarkan merupakan kurva hubungan antara perpindahan lateral pada lantai atap terhadap besar gaya yang bekerja atau yang disebut kurva kapasitas (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Kurva Kapasitas dan Definisi Daerah Kinerja

(Sumber : ATC-40, 1996)

Berikut merupakan kondisi bangunan pasca gempa dengan berbagai level kinerja struktur yang menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja: (ATC-40, 1996)

a. *Immediate Occupancy (IO)*

Pada level ini hanya terjadi kerusakan kecil pada komponen non-struktural Gedung dan kerusakan struktur yang tidak terlalu berarti setelah gempa terjadi. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa.

Bangunan dapat tetap berfungsi seperti biasa, sehingga jika pun ada perbaikan tidak akan mengganggu pengguna bangunan.

b. *Damage Control*

Merupakan transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Terjadi kerusakan minor pada komponen non-struktural maupun struktur setelah gempa terjadi, namun masih dapat diperbaiki, serta resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

c. *Life Safety* (LS)

Pada level ini terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non-struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan dan mungkin tidak ekonomis.

d. *Limited Safety*

Merupakan transisi antara *Life Safety* (LS) dan *Structural Stability* (SS).

e. *Structural Stability* (SS)

Pada level ini terjadi kerusakan yang parah (*severely*) pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen non-struktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh (*near collapse*).

Batasan deformasi yang terjadi akibat beban lateral yang terjadi pada tingkatan kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini:

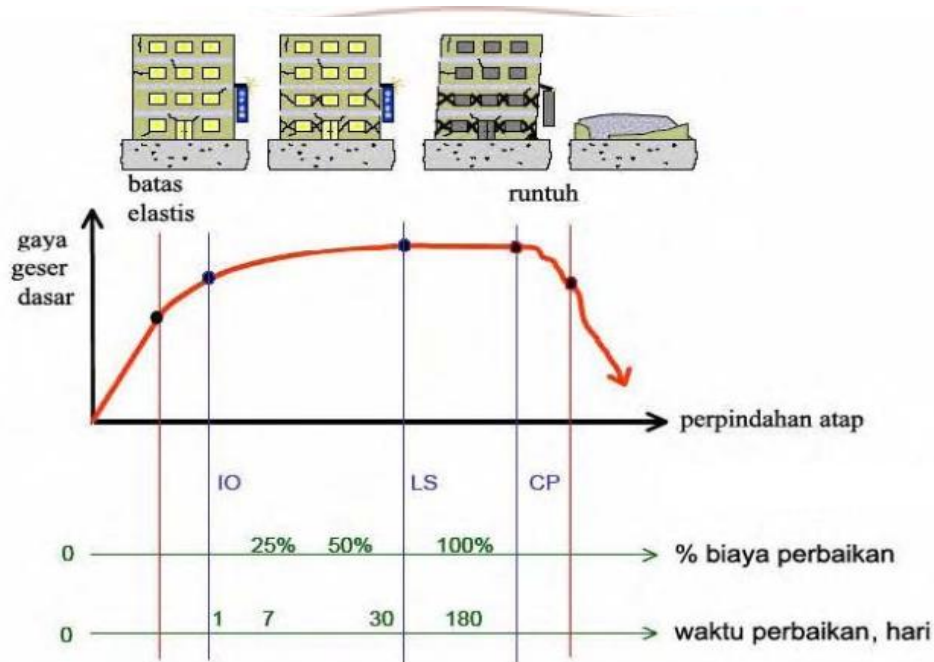
Tabel 2.1 Batasan Deformasi pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40)

Interstory drift limit	Performance level			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maximum total drift	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum inelastic drift	0.005	0.005-0.015	No limit	No limit

(Sumber : ATC-40, 1996)

2.3.2 Displacement Coefficient Method (FEMA-273/356)

Pada FEMA-273/356 dapat diilustrasikan tingkat kerusakan yang terjadi terhadap biaya dan waktu perbaikan dalam beberapa kondisi kerusakan. Pada saat LS-CP membutuhkan biaya perbaikan hingga 100% dan waktu yang cukup lama dibandingkan level kinerja lainnya (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Tingkat Kinerja Struktur (FEMA-273/356)

(Sumber : Dewobroto, 2005)

Berikut merupakan kondisi bangunan pasca gempa dengan berbagai level kinerja struktur yang menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja: (FEMA 356)

a. Fully Operational

Pada level ini tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non-struktural. Hal ini ditandai dengan tidak adanya pergeseran permanen pada bangunan. Gedung masih dapat dipakai secara normal setelah gempa terjadi dan tidak menimbulkan masalah.

b. Immediate Occupancy

Pada level ini hanya terjadi kerusakan struktur yang tidak terlalu berarti setelah gempa terjadi. Kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi sebelum gempa terjadi. Pada komponen non-struktural, peralatan, dan isi

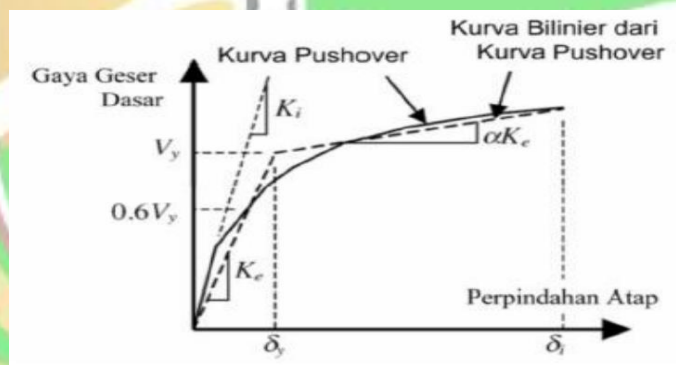
gedung masih aman, namun secara operasional tidak dapat bekerja dengan baik dikarenakan kegagalan mekanik.

c. *Life Safety*

Pada kategori ini, bangunan pasca gempa mengalami kerusakan komponen struktur yang menyebabkan kekakuan dan kekuatannya berkurang. Struktur masih mempunyai kekuatan cukup untuk memikul beban-beban yang terjadi pada ambang keruntuhan.

2.3.3 *Displacement Modification (FEMA-440)*

FEMA-440 melalui project ATC-55 menghasilkan FEMA-440 “*Improvement of Non-linear Static Seismic Analysis Procedures*”. Metode ini memiliki persamaan yang mirip dengan metode koefisien displacement FEMA356. atau bisa disebut metode koefisien yang diperbaiki.



Gambar 2.4 Kurva *Pushover Analysis*

(Sumber : FEMA, 2005)

Pada gambar 2.4 di atas, mengilustrasikan metode koefisien *displacement* untuk menentukan target *displacement*, δ_T . Proses dimulai dengan menetapkan periode fundamental efektif (T_e) yang mempertimbangkan kondisi *inelastic*. Kurva *pushover* diubah menjadi kurva *bilinier* untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan, K_e dan kuat leleh bangunan, V_y . Kekakuan lateral efektif dapat diambil dari kekakuan *secant* yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis (K_e) dan kondisi *inelastic* (αK_e).

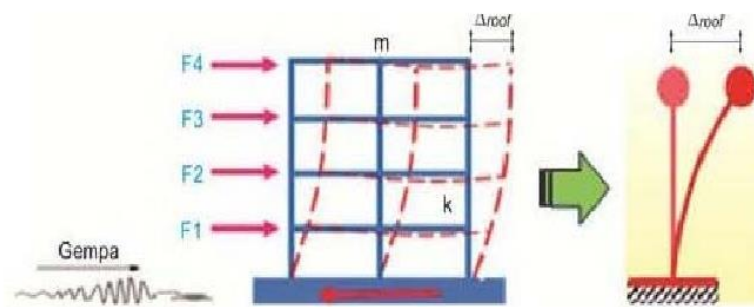
2.4 Analisa Statik *Nonlinier* (*Pushover Analysis*)

Analisa statik *nonlinier* merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisa ini memerlukan komputer program untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. (Dewobroto, 2005). Salah satunya menggunakan program *Software Structural Analysis Program* (SAP2000) Versi 23.

Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap.

Analisa *pushover* menghasilkan kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D). Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi *linier* sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku *non-linier*. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. (Dewobroto, 2005).

Struktur gedung saat menerima beban gempa, maka akan memikul *base shear*. *Base shear* tiap lantai merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser/*displacement* dari kedudukan semula. Apabila sifat geometri struktur simetris maka simpangan yang terjadi hanya pada satu bidang (2-dimensi) yaitu simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi/ordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai satu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan /kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku *in-elastic* apabila struktur cukup daktil tetapi langsung hancur apabila kurang daktil. (Nurchasanah, et, al, 2015).



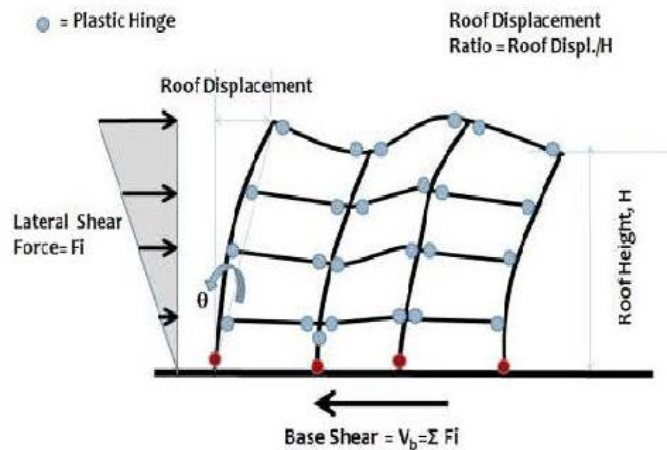
Gambar 2.5 Respon Struktur Akibat Gempa

(Sumber : Nurchasanah, et, al, 2015)

Tujuan *nonlinear static pushover analysis* adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa, yaitu memperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual struktur. Dari analisis ini didapat kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan gaya geser dasar (*base shear*) terhadap peralihan, yang memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari *linier* menjadi *nonlinear*. Hal itu berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terjadinya sendi plastis pada kolom dan balok. (Pranata, 2006).

2.4.1 Kurva Kapasitas

Khususnya pada sistem struktur bangunan yang memiliki kinerja rendah (*poorer performance levels*), prosedur analisis *nonlinier* (statik dan dinamik) diperlukan untuk memprediksi perilaku struktur di daerah inelastiknya (paska elastik). Perilaku *inelastik* struktur ini diharapkan mampu memberikan kapasitas cukup dalam menahan kebutuhan gempa dengan probabilitas tertentu (desain). Kemampuan struktur akan berkaitan langsung dengan kapasitas struktur tersebut dalam mengakomodasi kebutuhan. Dengan kata lain, struktur memiliki kapasitas untuk menahan kebutuhan gaya gempa desain sedemikian sehingga kinerja struktur sesuai dengan tujuan desain. Perilaku *inelastik* (paska elastik) struktur direpresentasikan dengan adanya sendi-sendi plastis yang terbentuk pada kaki-kaki kolom dan balok, seperti diperlihatkan pada gambar 2.6. (Diktat modul pelatihan *performance-based design* bangunan tahan gempa).



Gambar 2.6 Perilaku Inelastik Struktur Portal Kolom-Balok

(Sumber : Diktat Modul Pelatihan *Performance-based Design* Tahan Gempa)

Analisis *pushover nonlinear* yang telah dijelaskan sebelumnya akan memberikan sebuah kurva kapasitas (gaya geser – deformasi atap).

Kurva kapasitas (yang didefinisikan sebagai gaya geser dasar dan perpindahan atap) kemudian diubah menjadi spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectra*). (Diktat modul pelatihan *performance-based design* bangunan tahan gempa). Persamaan yang digunakan antara lain :

$$PF_1(MPF) = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / q \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / q \right]} \quad (2-1)$$

$$a_1(MMPF) = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / q]^2}{[\sum_{i=1}^N w_i / q][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / q]} \quad (2-2)$$

$$S_a = \frac{v/w}{a_1} \quad (2-3)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (2-4)$$

Dimana :

PF_1 = Faktor partisipasi modal untuk mode pertama (MPF)

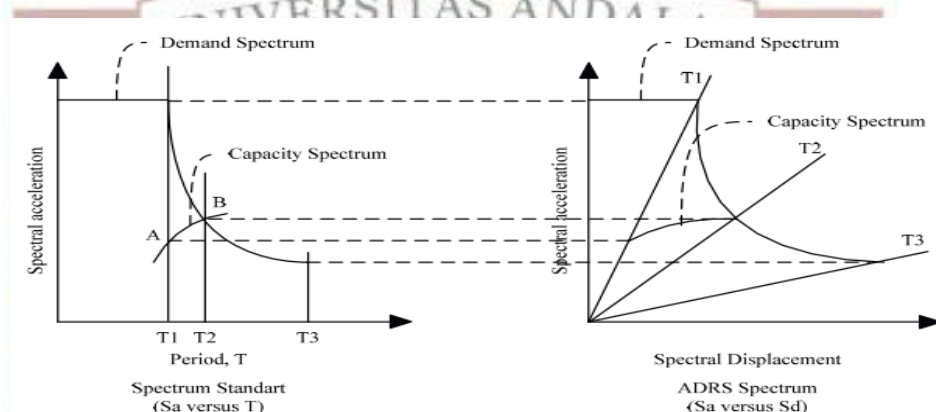
a_1 = koefisien massa modal untuk mode pertama (MMPF)

w_i / q = massa pada level/tingkat ke-i

ϕ = besaran mode 1 pada level/tingkat ke-1

N = level/tingkat N, level struktur tertinggi

- V = Gaya geser dasar
 W = Beban mati gedung ditambah beban hidup tereduksi (25%)
 Δ_{roof} = Perpindahan atap (V dan Δ_{roof} acuan membentuk kurva kapasitas)
 S_a = Spektra akselerasi
 S_d = Spektra perpindahan/deformasi (S_a dan S_d acuan membentuk spektrum kapasitas)



Gambar 2.7 Spektrum Kapasitas – Respon Spektra Standar dan ADRS
 (Sumber : ATC-40, 1996)

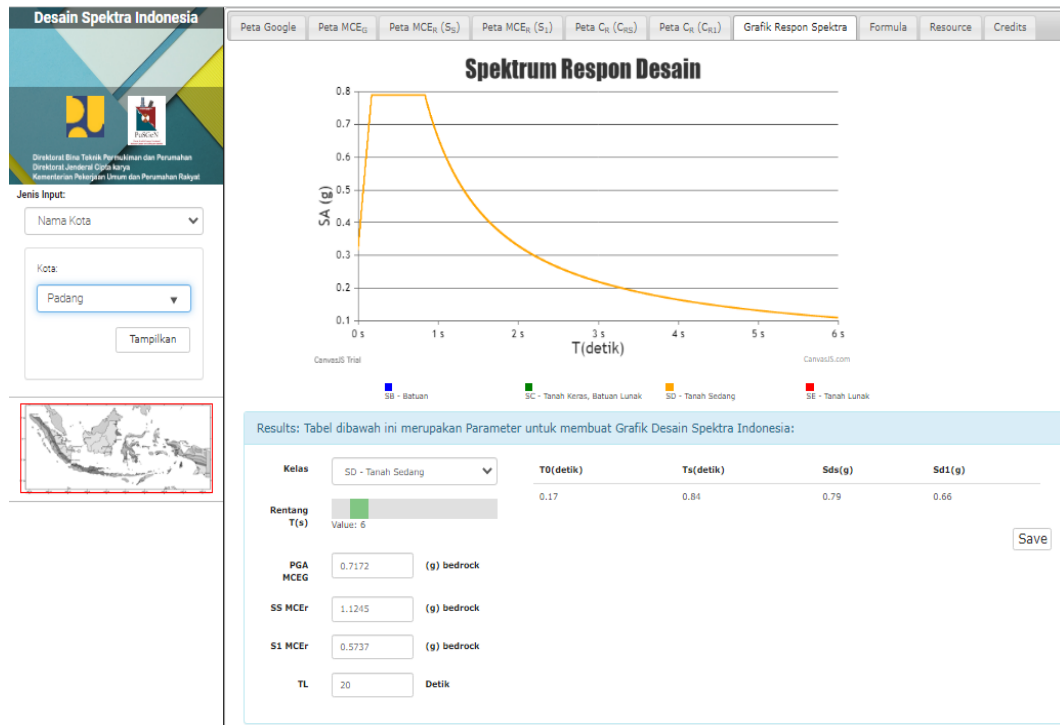
2.4.2 Kurva Spektrum Kapasitas (*Respons Spektrum*)

Pergerakan tanah yang terjadi selama gempa menghasilkan pola perpindahan horisontal yang kompleks pada struktur. Pola perpindahan itu bervariasi dari waktu ke waktu. Metoda analisis nonlinear dinilai lebih mudah dan langsung untuk menggunakan perpindahan lateral. Untuk sebuah struktur dan pergerakan tanah (*ground motion*), kebutuhan perpindahan memprediksi respons maksimum struktur yang diperkirakan terjadi saat pergerakan.

Untuk menentukan kesesuaian level kinerja, perpindahan yang terjadi pada kurva kapasitas harus ditentukan secara konsisten dengan kebutuhan gempa. Metoda spektrum kapasitas merupakan metoda yang sudah banyak dikenal dan diintegrasikan pada perangkat lunak yang ada. Perpindahan kebutuhan (*demand deformation*) pada metoda spektrum kapasitas terjadi pada suatu titik di spektrum kapasitas yang disebut titik kinerja (*performance point*). (Diktat modul pelatihan *performance-based design* bangunan tahan gempa).

Pembuatan kurva kebutuhan (*respons spektrum*) berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa 2017 dan SNI 1726:2019 ditentukan berdasarkan pembagian

wilayah-wilayah kerawanan terhadap gempa. Pada gambar 2.10 ditampilkan respons spektrum Kota Padang dalam format web yang dibentuk berdasarkan jenis tanah yang berbeda.



Gambar 2.8 Respons Spektrum Kota Padang
(Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

2.5 Kurva Fragilitas

Kurva fragilitas merupakan suatu fungsi *lognormal* yang menghubungkan antara nilai probabilitas terjadinya suatu tingkat kerusakan pada struktur akibat suatu intensitas gempa dan tsunami (Silitonga dan Imran, 2018; Hwang dkk, 2001; Aranguiz dkk, 2018).

2.5.1 Fungsi Distribusi

Ada banyak istilah yang digunakan untuk suatu bilangan yang tidak pasti dalam suatu probabilitas, salah satunya dapat disebut sebagai variabel acak. Variabel acak dapat ditentukan dengan menggunakan distribusi probabilitas. Ada tiga macam probabilitas yang biasa digunakan, yaitu:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

Fungsi distribusi ini dapat digunakan untuk kuantitas dengan rentang nilai variabel acak skalar yang kontinu.

$$P[a < X \leq b] = \int_a^b f_x(x) dx \quad (2-5)$$

Keterangan:

$P[a < X \leq b]$: probabilitas dengan rentang a dan b

X : variabel acak

$f_x(x)$: fungsi kepadatan probabilitas

2. Fungsi Massa Probabilitas

Fungsi massa probabilitas digunakan untuk menunjukkan variabel acak yang bersifat diskrit.

$$P[X = x] = p_x(x) \quad (2-6)$$

Keterangan:

P : probabilitas

X : variabel acak

x : data argumen

$p_x(x)$: fungsi massa probabilitas

3. Fungsi Distribusi Kumulatif

Apabila fungsi kepadatan dan massa probabilitas memiliki batas dari $-\infty$ menuju x , maka nilai integralnya merupakan probabilitas variabel acak yang bernilai kurang atau sama dengan x .

Persamaan fungsi distribusi kontinu kumulatif adalah:

$$P[X \leq x] = \int_{z=-\infty}^x f_x(z) dz \quad (2-7)$$

Sedangkan persamaan fungsi distribusi diskrit kumulatif adalah:

$$\begin{aligned} P[X \leq x] &= \sum_{z=-\infty}^x p_x(z) \\ &= \sum_{z=-\infty}^x p_x(z) \end{aligned} \quad (2-8)$$

2.5.2 Distribusi Normal, Lognormal dan Seragam

Ada tiga jenis distribusi parametrik yang sering digunakan dalam fragilitas, yaitu: distribusi normal, lognormal dan seragam.

Persamaan dari fungsi distribusi normal adalah:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$= \varphi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-9)$$

Keterangan:

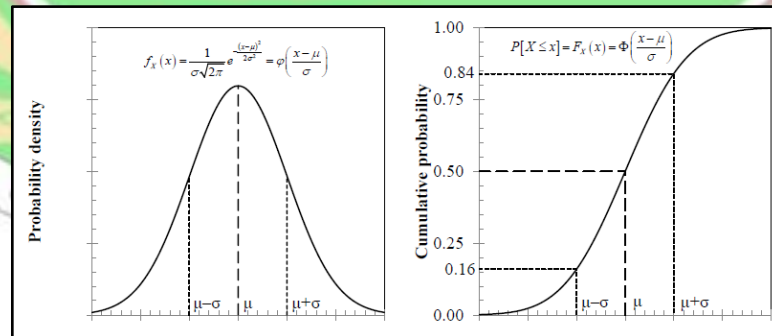
$f_x(x)$: fungsi probabilitas
 σ : standar deviasi
 x : variabel acak
 μ : nilai rata-rata variabel
 φ : bentuk normalisasi

Persamaan fungsi distribusi normal tersebut kemudian dikembangkan menjadi fungsi distribusi kumulatif sebagai berikut:

$$f_x(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dz$$

$$= \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-10)$$

Dengan Φ yang merupakan notasi fungsi distribusi normal kumulatif.



Gambar 2.9 Kiri: fungsi distribusi normal. Kanan: fungsi distribusi kumulatif

Meskipun tidak ada peraturan mendasar yang menyatakan bahwa fungsi distribusi kumulatif lognormal paling ideal atau tepat, namun alasan fungsi tersebut digunakan secara luas dalam fragilitas adalah sebagai berikut (Porter, 2019):

1. Sederhana. Fungsi ini memiliki bentuk parametrik yang sederhana untuk mendekati variabel acak sebagai nilai positif.

2. Preseden. Fungsi ini telah digunakan secara luas selama beberapa dekade dalam rekayasa gempa.
3. Alasan informasi-teori. Fungsi ini merupakan distribusi yang menggunakan asumsi dengan informasi paling sedikit berupa nilai rata-rata dan standar deviasi dari logaritma natural dan kemudian disajikan dalam bentuk yang mudah dipahami.
4. Kesesuaian terhadap data. Penggunaan fungsi ini diamati seringkali sesuai dengan distribusinya, seperti gerakan tanah yang dikondisikan pada besar dan jarak, kapasitas keruntuhan struktur dan distribusi marjinal kehilangan yang dikondisikan pada goncangan.

2.5.3 Persamaan Umum Kurva Fragilitas

Persamaan umum yang digunakan dalam kurva fragilitas adalah:

$$Fragilitas = P[LS|IM = y] \quad (2-11)$$

dengan LS adalah kondisi batas atau kondisi kerusakan, IM adalah ukuran intensitas (dalam studi ini digunakan pergerakan tanah untuk nilai intensitas gempa dan aliran tsunami untuk intensitas tsunami) dan y adalah kondisi akibat ukuran intensitas IM . Dalam bentuk fungsi lognormal, persamaan umum kurva fragilitas dapat dinyatakan dengan:

$$P(x) = \Phi \frac{\ln(x) - \lambda}{\varsigma} \quad (2-12)$$

Keterangan:

$P(x)$: fungsi probabilitas

Φ : bentuk distribusi normal kumulatif

x : variabel acak

ς : nilai standar deviasi dari $\ln x$

λ : nilai rata-rata dari $\ln x$

2.5.4 Pengembangan Kurva Fragilitas

Secara umum ada tiga metode pengembangan kurva fragilitas, antara lain (Silitonga dan Imran, 2018):

1. Metode Berbasis Empiris (*Empirical Fragility Curve*)

Pengembangan kurva fragilitas dilakukan dengan menggunakan distribusi kerusakan berdasarkan hasil observasi kerusakan bangunan pasca gempa.

2. Metode Berbasis Analisis (*Analytical Fragility Curve*)

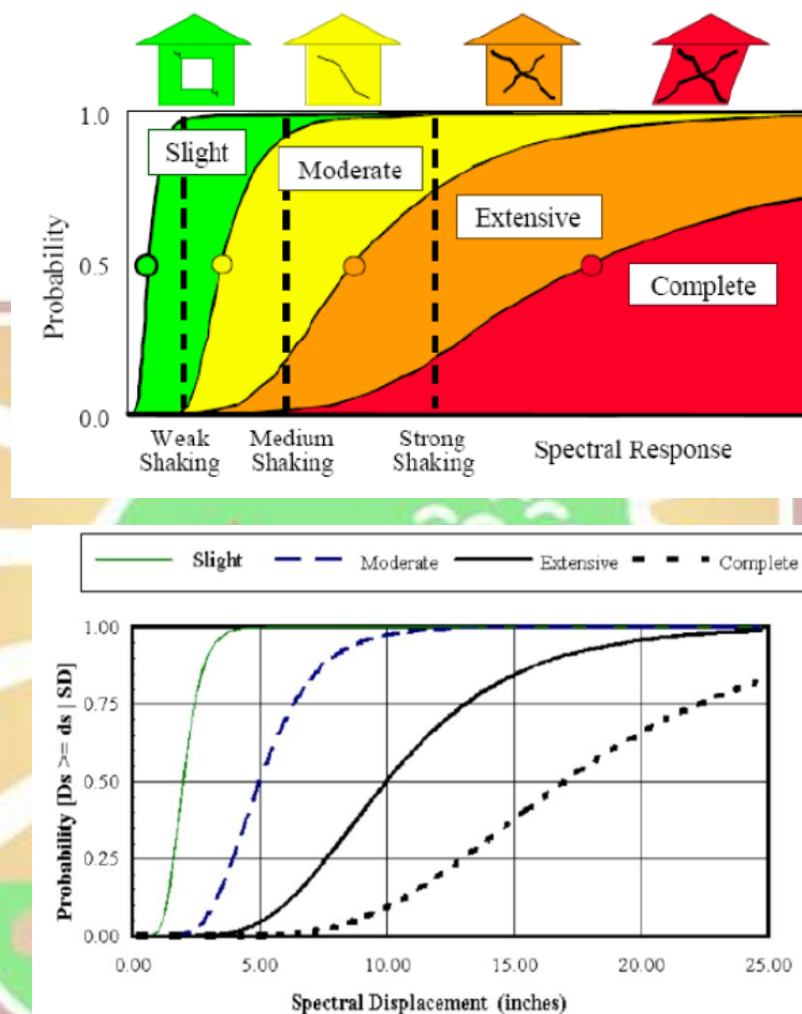
Pengembangan kurva fragilitas dilakukan melalui analisis struktur yang menghasilkan nilai distribusi kerusakan. Nilai yang dihasilkan tersebut bergantung pada pendekatan yang digunakan dalam pemodelan struktur dan perhitungan.

3. Metode Berbasis Opini Para Ahli/Pakar (*Expert-based/Judgemental Fragility Curve*)

Pengembangan kurva fragilitas pada metode ini dilakukan berdasarkan nilai estimasi para ahli untuk probabilitas distribusi kerusakan yang terjadi pada struktur pada berbagai intensitas gempa dan tsunami.

2.5.5 Pengembangan Kurva Fragilitas dengan Metodologi HAZUS

HAZUS (*hazar united states*) mendefinisikan kurva fragilitas sebagai hubungan antara nilai probabilitas terjadinya tingkat kerusakan (*Damage State/DS*) pada struktur dengan intensitas gempa yang diberikan (*Intensity Measure /IM*). Oleh karena itu, kurva fragilitas sangat bagus untuk dikembangkan agar dapat menetapkan tingkat kerusakan (*damage state*) pada struktur berdasarkan suatu ukuran kerusakan. Adapun tingkat kerusakan yang dinyatakan oleh HAZUS antara lain: kerusakan ringan (*slight damage*), kerusakan menengah (*moderate damage*), kerusakan berat (*extensive damage*) dan runtuh (*complete damage*), dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kurva Fragilitas Kerusakan Ringan, Menengah, Berat, Runtuh
(Sumber: HAZUS, 2003)

Berikut merupakan tingkat kerusakan struktur gedung secara kualitatif yang dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (Hazus, 2003).

Tingkat kerusakan	Deskripsi
Ringan (<i>slight damage</i>)	Retak (<i>cracking</i>) dan pecah (<i>spallin</i>) minor pada kolom (hanya perlu perbaikan ringan / <i>non struktural</i>).
Menengah (<i>moderate damage</i>)	Retak akibat geser dan pecah menengah pada kolom (kolom masih kuat secara struktural), sambungan mengalami retak.

Berat (<i>expansive damage</i>)	Terjadi penurunan kekuatan tanpa runtuh pada kolom, terjadi kegagalan akibat geser (kolom tidak aman secara struktural), terjadi perpindahan residual yang besar pada sambungan.
Runtuh (<i>complete damage</i>)	Semua kolom runtuh total, miringnya sub struktural akibat keruntuhan pondasi.

Tabel 2.2 Tingkat Kerusakan Berdasarkan HAZUS

(Sumber: HAZUS, 2003)

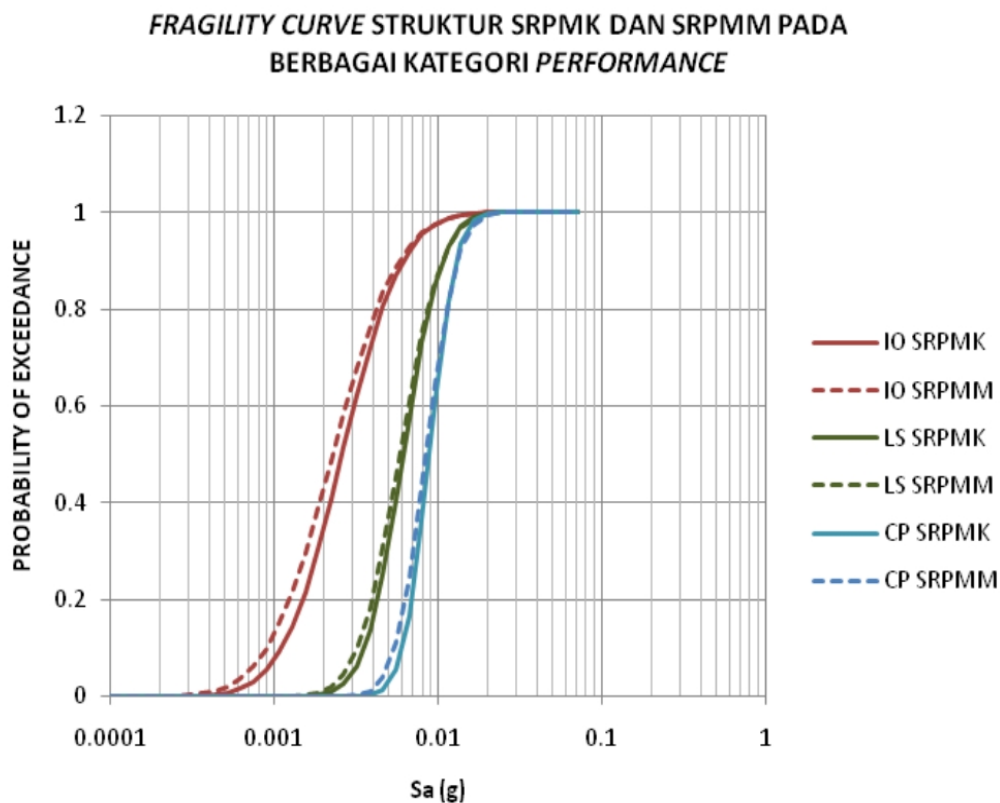
2.6 Penelitian Terdahulu

2.6.1 Paper “Studi Komparatif *Fragility Curve* Desain Bangunan Beton Bertulang SRPMK dan SRPMM Wilayah Jakarta dengan Peraturan RSNI 03-1726-201x”

Paper yang ditulis oleh Muhammad Rilly Aka Yogi, menjelaskan bahwa Analisis statis *non-linear* juga atau disebut dengan *pushover analysis* merupakan salah satu dari metoda yang digunakan untuk mengembangkan kurva fragilitas. Analisis ini cukup populer digunakan karena mudah dipahami dan dapat dibandingkan hasilnya dengan metoda performa desain seismik. Salah satu studi yang menggunakan metoda *pushover* untuk mengembangkan kurva fragilitas dengan studi komprehensif antara struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Pada penelitiannya, mengatakan bahwa *fragility function* merupakan probabilitas terjadinya kerusakan komponen melampaui suatu batasan nilai tertentu dari suatu EDP (*Engineering Demand Parameter*). EDP dapat berupa berbagai komponen pada struktur yang dapat diukur untuk mengetahui tingkat kerusakan dan stabilitas struktur. Probabilitas ini digambarkan sebagai suatu fungsi probabilistik $F_{dm}(edp)$ pada suatu nilai EDP tertentu, dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_{dm}(edp) \equiv P[DM \geq dm | EDP = edp] \text{ atau } F_{dm}(edp) = \Phi\left(\frac{\ln(edp/x_m)}{\beta}\right) \quad (2.13)$$

Plot hasil perhitungan *fragility function* nya, dapat dilihat pada **Gambar 2.11**, berikut:



Gambar 2.11 Kurva Fragilitas Studi Komperatif SRPMK dan SRPMM
(Sumber: Yogi, 2018)

Kurva ini merupakan grafik hubungan antara *probability of exceedance* dari masing-masing performance terhadap PGA atau yang kita kenal dengan *fragility curve*. Hasil yang diperoleh pada kedua struktur cenderung identik, akan tetapi akibat dari nilai sentral sebaran data yang dihasilkan berbeda, maka masing-masing *performance* memiliki *probability* yang berbeda pula. (Yogi, A. M, 2018)

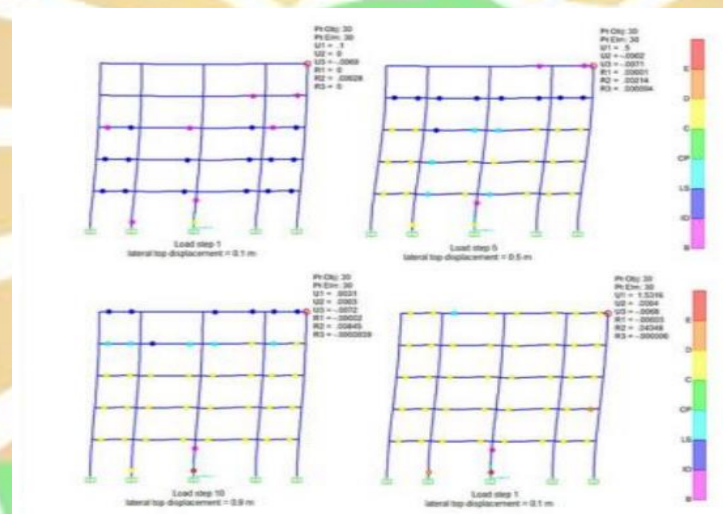
2.6.2 Paper “*Effect of Plastic Hinge Properties in Pushover Analysis of Reinforced Concrete Plane Frames*”

Paper yang ditulis oleh Sofyan Younis Ahmed dan Oday Asal Salih ini menganalisis bangunan 5 lantai yang dianalisis dengan metoda *pushover* terhadap beban gempa di Irak. Tujuan paper ini adalah untuk melihat performa level bangunan terhadap beban gempa yang diberikan.

- a. Di bawah beban seismik sedang, metode *pushover non-linear* digunakan untuk memprediksi kemungkinan kesalahan struktural pada struktur rangka RC. Analisis tersebut menunjukkan bahwa, dengan pelelehan yang cukup besar

pada beberapa balok, rangka dapat menahan gaya gempa yang diperkirakan untuk berbagai pilihan panjang sendi plastis (Gambar 2.12)

- b. Struktur menunjukkan mekanisme kolom kuat dan balok lemah selama analisis.
- c. Setelah analisis diketahui, perlu dilakukan perkuatan pada balok agar menghindari terjadinya *Collapse Prevention* (CP) pada balok.
- d. Dalam hal perilaku daktilitas, jumlah energi yang diserap oleh elemen struktural berbeda secara signifikan.



Gambar 2.12 Sendi Plastis yang Terjadi pada Struktur
(Sumber: Sofyan & Oday, 2022)

2.6.3 Paper “Kurva Fragilitas Untuk Sistem Struktur Pemikul Momen”

Paper yang ditulis oleh Fadila Faiza dari Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan - Institut Teknologi Bandung membahas tentang pembentukan kurva fragilitas untuk sistem struktur pemikul momen. Perhitungan fragilitas ditentukan oleh kapasitas bangunan hasil analisis statik non-linear, nilai variabilitas bangunan, dan beban lateral yang divariasikan. Parameter variabilitas bangunan untuk tiap tingkat kerusakan (ringan, menengah, berat, dan runtuh) diambil dari nilai yang diberikan oleh HAZUS (*Hazar United States*) karena keterbatasan data terkait variabilitas bangunan yang ada di Indonesia. Pada studi ini juga akan ditunjukkan pengaruh daktilitas bangunan terhadap tingkat fragilitas yang dihasilkan.

Pada studi ini bangunan yang akan dimodelkan adalah bangunan di Kota Bandung. Sesuai RSNI 3-1726-201x, dengan kelas tanah sedang, Kota Bandung termasuk ke dalam kategori desain seismik (KDS) D. Pada RSNI 3-1726-201x disebutkan bahwa dalam perencanaan sistem struktur rangka beton bertulang untuk KDS D harus menggunakan detailing khusus, namun pada pelaksanaannya sebagian besar bangunan tingkat rendah di Kota Bandung tidak memenuhi ketentuan ini. Bangunan rendah di Kota Bandung seringkali didesain dengan detailing menengah bahkan detailing biasa, sehingga bangunan yang akan dimodelkan pada studi ini adalah sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) dan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).

Perbedaan hasil perencanaan SRPMB dan SRPMM adalah pada jarak antar sengkang yang digunakan pada elemen balok dan kolom. Jarak antar sengkang pada elemen SRPMM lebih rapat dibanding SRPMB, hal ini memberikan efek daktilitas yang lebih tinggi yang ditunjukkan dari hubungan momen-rotasi tiap elemen. Hubungan momen-rotasi ini dihasilkan dengan menggunakan program *Response2000* namun dibatasi dengan nilai hubungan momen-rotasi standar yang diberikan oleh FEMA-356. Hubungan momen-rotasi ini dimasukkan ke dalam program ETABS sebagai data untuk melakukan analisis pushover.

Dari hasil kalkulasi program didapat Nilai variabilitas bangunan merupakan mengacu pada nilai yang diberikan HAZUS untuk tipe struktur *Reinforced Concrete Frame Building*. Nilai rata-rata percepatan tanah puncak dan variabilitas ditunjukkan pada tabel berikut :

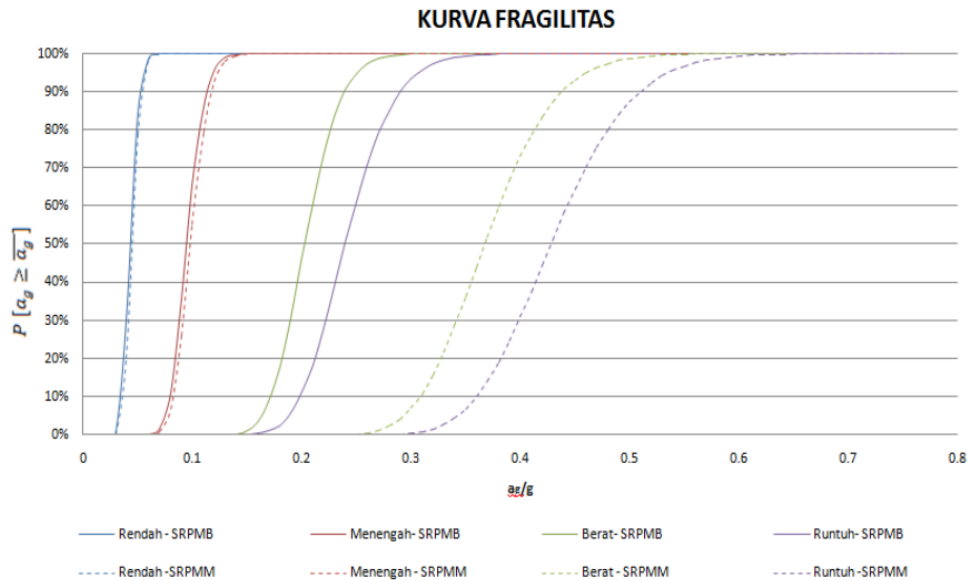
Tabel 2.3. Nilai Variabilitas Berdasarkan HAZUS untuk tipe RCFB

SRPMB				
	Ringan	Menengah	Berat	Runtuh
$\overline{a_g}/g$	0.044	0.096	0.204	0.242
$\beta(a_g/g)$	0.145	0.139	0.130	0.148
SRPMM				
	Ringan	Menengah	Berat	Runtuh
$\overline{a_g}/g$	0.045	0.099	0.371	0.432
$\beta(a_g/g)$	0.136	0.137	0.137	0.136

(Sumber: HAZUS, 1999)

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu Kurva fragilitas menghubungkan antara probabilitas terjadinya suatu tingkat kerusakan

dengan beban lateral yang diberikan. Kurva fragilitas yang dihasilkan untuk SRPMM lebih ke kanan dibandingkan SRPMB (Gambar 2.13), hal ini menunjukkan bahwa tingkat fragilitas SRPMB lebih besar dibandingkan SRPMM.



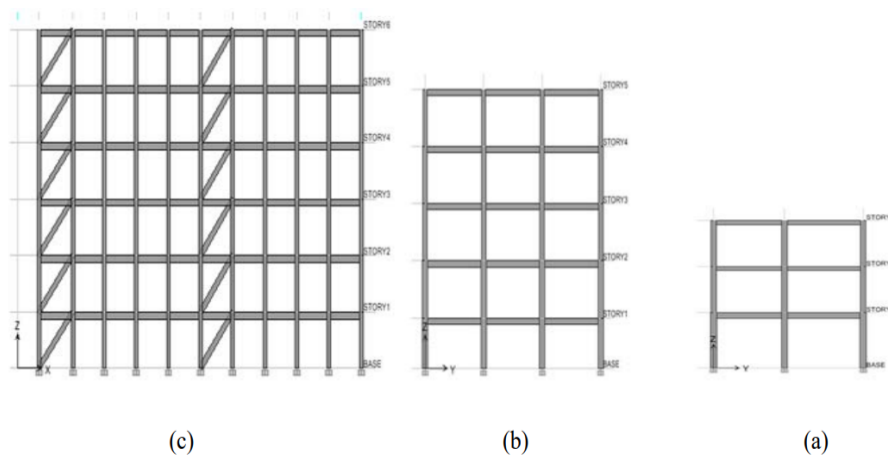
Gambar 2.13 Kurva Fragilitas SRPMB dan SRPMM
(Sumber: Fadila, 2019)

2.6.4 Paper “Estimation of Financial Added Value for Retrofitted Buildings use fragility curve”

Paper yang ditulis oleh M. R. Zolfaghari, *Associate Professor*, dari *KN Toosi University of Technology*, Tehran, Iran menjelaskan Kerusakan yang disebabkan oleh banyak gempa bumi besar dalam beberapa tahun terakhir telah membuat pembenaran yang diperlukan untuk tindakan perkuatan bangunan yang ada di banyak negara. Retrofit struktural bertujuan untuk mengurangi kerentanan bangunan dan meningkatkan nilai finansial bangunan yang ada. Dalam studi ini, analisis statis nonlinier dilakukan pada bangunan beton bertulang bertingkat rendah hingga menengah di Iran. Target *displacement* untuk bangunan ini diestimasi menggunakan metode *capacity-demand*. Berdasarkan metodologi yang diusulkan oleh HAZUS, kurva kerapuhan atau *fragility curve* diestimasi untuk bangunan-bangunan ini sebelum dan sesudah tindakan perkuatan. Kurva kerusakan kemudian dikaitkan ke setiap bangunan menggunakan *fragility curve*.

Dalam tulisan ini, metode yang digunakan yakni analisis statis nonlinier, *pushover analysis* dilakukan untuk menentukan target displacement dalam dua tingkat kinerja; *life safety* dan *collapse prevention*. Dengan menggunakan kurva *pushover* dan *determination of target displacements*, elemen kerentanan di setiap struktur ditentukan berdasarkan FEMA. Untuk menentukan poin kinerja untuk setiap struktur, Metode Spektrum Kapasitas (CSM-ATC-40) dan metode koefisien (FEMA-356) digunakan. Berdasarkan metode CSM, kurva kapasitas masing-masing struktur dan demand spectra perlu dikonversi menjadi spektra ADRS (*spectral acceleration vs spectral displacement*) untuk menentukan titik kinerja. Penggunaan hasil dari analisis ini dan berdasarkan metodologi yang diusulkan oleh HAZUS, terdapat empat keadaan kerusakan struktural untuk setiap bangunan ditentukan dan kurva kerapuhan (*Fragility Curve*) diperkirakan untuk semua bangunan sampel. Empat tahap kerusakan adalah: kerusakan ringan, sedang, luas dan lengkap. Dengan menggunakan kurva kerapuhan ini dan berdasarkan metodologi estimasi kerugian HAZUS dan FEMA-351, *Fragility Curve* diperkirakan untuk dipakai bangunan ini dalam dua tahap; sebelum dan sesudah proses retrofit. Biaya konstruksi untuk bangunan serupa di Iran digunakan untuk memperkirakan biaya perbaikan atau penggantian.

Struktur Beton Bertulang mewakili sebagian besar bangunan perumahan dan komersial di banyak negara di timur tengah dan khususnya Iran. Untuk memperkirakan nilai tambah finansial bangunan setelah proses perkuatan dan untuk mempelajari pengaruh perkuatan terhadap respons bangunan, tiga bangunan beton bertulang dimodelkan dalam penelitian ini. Bangunan-bangunan tersebut adalah; bangunan tiga lantai dengan rangka pemikul momen, bangunan lima lantai dengan dinding geser dan bangunan enam lantai dengan dinding geser. Semua bangunan terletak di tanah kelas D (III menurut kode desain Iran). Gambar 2.14 menunjukkan kerangka struktural untuk bangunan ini.



Gambar 2.14

Contoh struktur: a) bangunan 3 lantai, b) bangunan 5 lantai c) bangunan 6 lantai.

(Sumber: Zolfaghari, 2020)

Dalam makalah ini, poin kinerja ditentukan dengan *Capacity-Spectrum*, perlu untuk memplot diagram kapasitas untuk setiap gedung terlebih dahulu. Kurva kapasitas, direpresentasikan sebagai kurva pushover di sini, diekspresikan dalam istilah base shear versus top roof displacement. Kurva ini diperkirakan dengan analisis pushover untuk setiap struktur (ATC-40,1996).

Tabel 2.4 menunjukkan persamaan yang disajikan oleh ATC-40 untuk mengonversi *capacity* dan *demand spectra* ke format ADRS.

Tabel 2.4. *Equations use to convert capacity and demand spectra to ADRS format* (ATC-40, 1996)

Diagram	Converting Equation	
Capacity Curve	$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1}$	$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{\phi_{roof,1}^{PF_1}}$
Demand Spectra	$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a g$	

(Sumber: Zolfaghari, 2020)

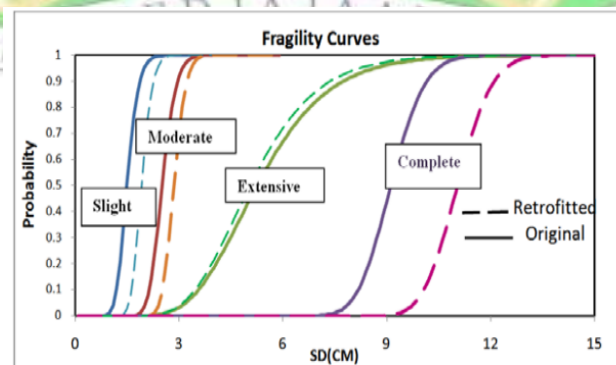
Kurva kerapuhan atau *fragility curve* bangunan adalah komponen utama untuk proses desain berbasis kerusakan dan penilaian kerugian bangunan. Kurva kerapuhan juga adalah fungsi distribusi lognormal kumulatif yang menggambarkan kemungkinan untuk mencapai atau melampaui kondisi kerusakan yang diberikan. Setiap kurva kerapuhan ditentukan oleh nilai median dari parameter permintaan

yang sesuai dengan ambang batas kondisi kerusakan dan oleh variabilitas yang terkait dengan kondisi kerusakan. Probabilitas memenuhi atau melampaui keadaan kerusakan, pada *spectral displacement* tertentu ditentukan oleh persamaan berikut:

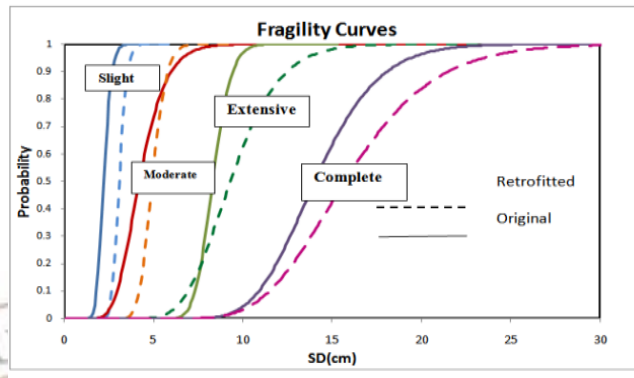
$$P[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (2-13)$$

Dalam persamaan ini nilai median perpindahan spektral ketika bangunan mencapai ambang batas kondisi kerusakan, ds , adalah standar deviasi logaritma natural perpindahan spektral untuk kondisi kerusakan, ds dan merupakan fungsi distribusi kumulatif normal baku sedangkan deviasi standar tergantung pada variabilitas spektrum kapasitas, variabilitas spektrum permintaan dan itu menggambarkan variabilitas dalam memperkirakan nilai median dari keadaan batas kerusakan (HAZUS-MH, 2003).

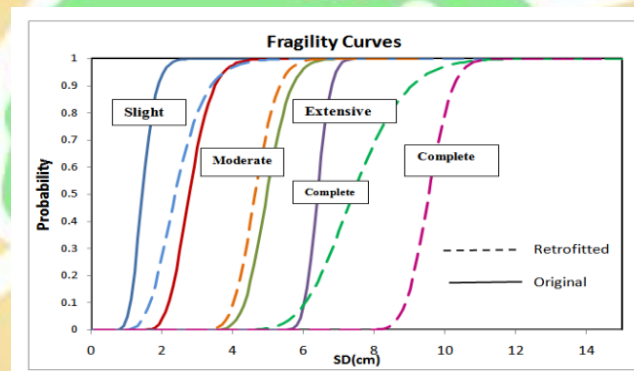
Dalam penelitian ini nilai standar deviasi ditentukan dengan menggunakan titik kinerja yang diturunkan dari perpotongan kurva kapasitas dan spektrum permintaan. Mengikuti pendekatan ini, poin kinerja dibagi menjadi empat kelompok; kerusakan ringan, kerusakan sedang, kerusakan luas dan kerusakan total dimana masing-masing kelompok memiliki median dan standar deviasi. Nilai median perpindahan spektral sama dengan nilai ambang batas kerusakan. Jadi nilai standar deviasi ditentukan dengan menghitung jumlah titik pada masing-masing kelompok. Sehingga didapat kurva kerapuhan atau *fragility curve* untuk ketiga bangunan (Gambar 2.15, 2.16, dan 2.17).



Gambar 2.15 *Fragility curves for sample three-story building before and after retrofitting*
(Sumber: Zolfaghari, 2020)



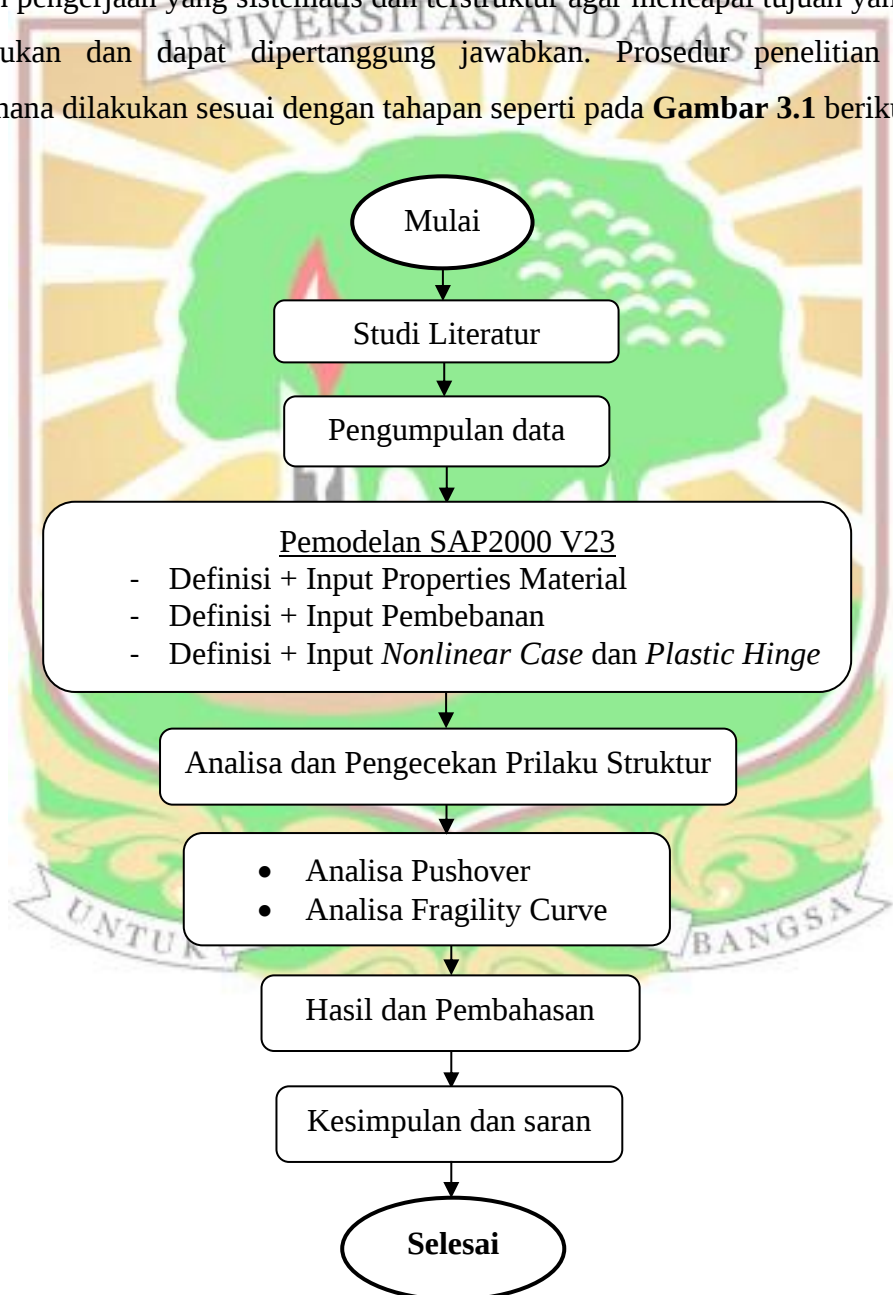
Gambar 2.16 *Fragility curves for sample five-story building before and after retrofitting*
(Sumber: Zolfaghari, 2020)



Gambar 2.17 *Fragility curves for sample six-story building before and after retrofitting*
(Sumber: Zolfaghari, 2020)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian yang diberi judul “Analisis Kurva Fragilitas Pada Struktur Bangunan 12 Lantai Dengan Metode *Pushover*” harus dilakukan sesuai dengan urutan pengerjaan yang sistematis dan terstruktur agar mencapai tujuan yang telah ditentukan dan dapat dipertanggung jawabkan. Prosedur penelitian secara sederhana dilakukan sesuai dengan tahapan seperti pada **Gambar 3.1** berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi Literatur

Acuan penelitian dan referensi dasar dalam perhitungan ditentukan berdasarkan hasil studi literatur yang telah dipelajari. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja struktur bangunan 12 lantai dari hasil evaluasi metode *pushover analysis* dan tingkat kerusakan hasil analisis kurva fragilitas dengan beban lateral yang diberikan dengan menggunakan perangkat lunak *Structural Analysis Program* (SAP2000) Versi 23. Hasil dari studi literatur yang telah dilakukan dapat dilihat dalam pembahasan sebelumnya pada **BAB 2. Tinjauan Pustaka**.

3.2 Pemodelan Struktur

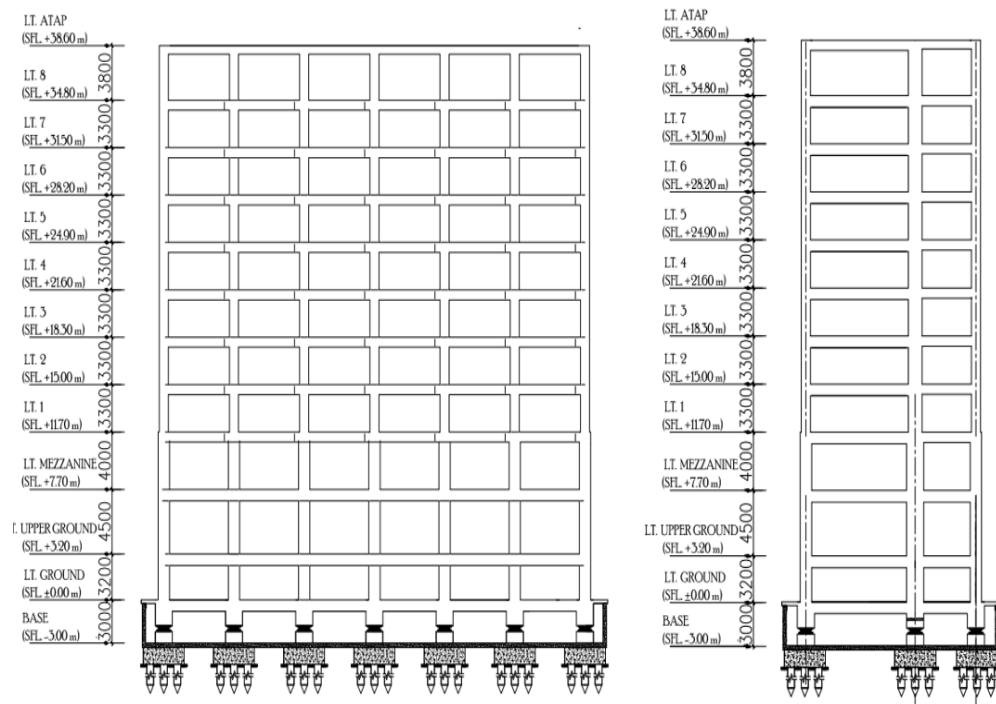
Model struktur bangunan 12 lantai yang digunakan adalah dimodelkan berdasarkan *as build drawing* Gedung Hotel Ibis Padang. Gedung tersebut kemudian dimodelkan dengan menggunakan *Structural Analysis Program* (SAP2000) Versi 23.

3.2.1 Informasi Bangunan

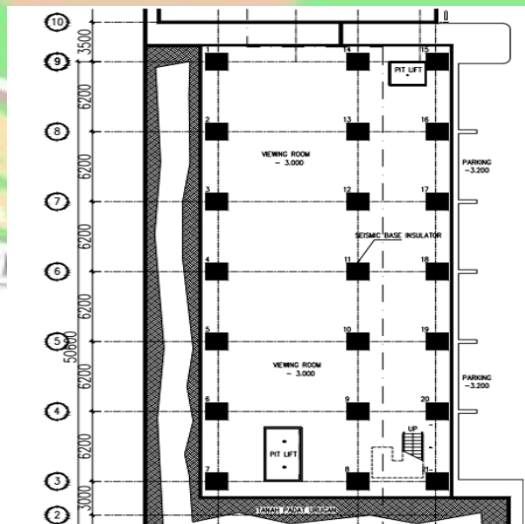
Berikut informasi umum bangunan 12 lantai yakni Hotel Ibis Padang.

Nama bangunan	: Hotel Ibis Padang
Lokasi bangunan	: Jalan Taman Siswa No. 1A Padang, Sumatera Barat
Jenis bangunan	: Beton bertulang
Fungsi bangunan	: Hotel dan Ballroom
Jumlah lantai	: 12 lantai dengan tebal pelat 12 cm
Tinggi total bangunan	: 38.60 meter
Jarak dari tepi pantai	: 1.5 kilometer
Jenis pondasi	: Tiang Pancang
Mutu Beton	: Kolom K350, Balok dan Plat K300 - Berat Jenis Beton, $\lambda_c = 24 \text{ kN/m}^3$ - Modulus Elastisitas, $E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ MPa}$ - Poisson Ratio, $\nu_c = 0,20$
Mutu Baja	: Tulangan (Utama 390 Mpa, Sengkang 240 Mpa)

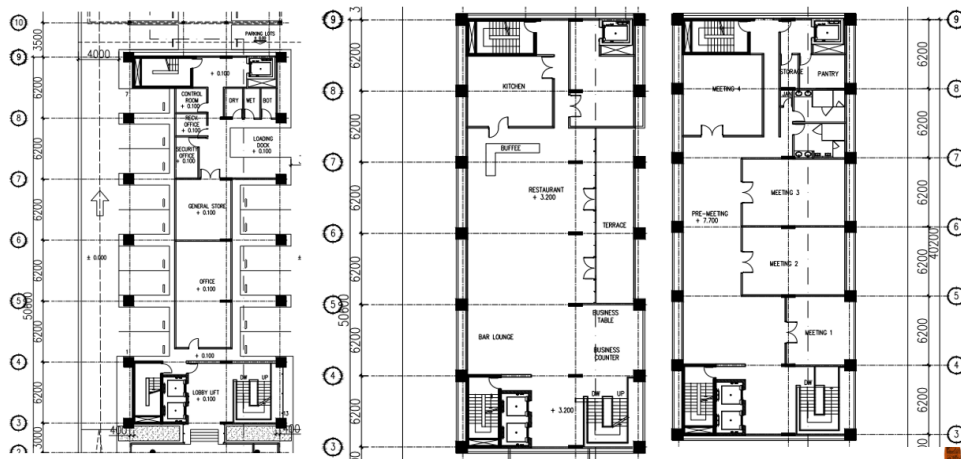
- Berat jenis baja, $\lambda_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$
- Modulus Elastisitas, $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- *Poisson ratio* baja, $\nu_s = 0,30$



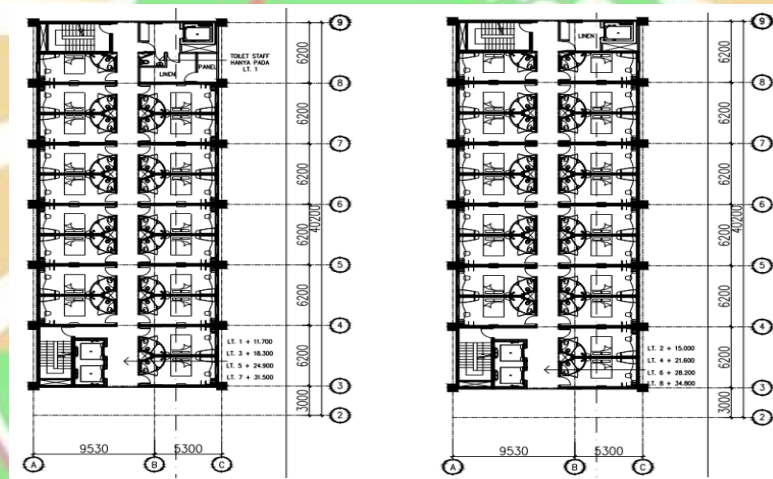
Gambar 3.2 Potongan Struktur Tampak Samping dan Depan Hotel Ibis Padang



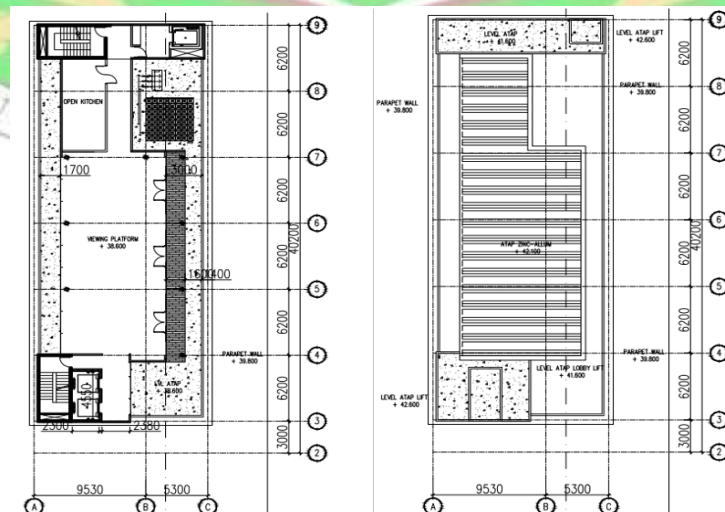
Gambar 3.3 Denah Lantai Base



Gambar 3.4 Denah Lantai *Ground*, *Uppare Ground* dan *Mezzanine*



Gambar 3.5 Denah Lantai 1,3,5,7 dan Lantai 2,4,6,8



Gambar 3.6 Denah *Roof Floor* dan *Top Roof Floor*

3.2.2 Propertis Bangunan

Adapun propertis penampang balok dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan propertis penampang kolom dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Propertis Penampang Balok

Balok	Dimensi	Tulangan lentur			Sengkang	
		Atas	Pinggang	Bawah	Tumpuan	Lapangan
B1	500 X 800	16D22	2D16	8D22	3D12-75	3D12-100
B2	500 X 800	14D22	2D16	8D22	D12-100	D12-150
B3	500 X 800	12D22	2D16	10D22	D12-100	D12-125
B4	500 X 800	12D22	2D16	8D22	3D12-75	3D12-100
B5	500 X 800	12D22	2D16	10D22	D12-100	D12-150
B6	500 X 800	12D22	2D16	8D22	3D12-75	3D12-125
B7	400 X 800	14D22	2D16	7D22	3D12-100	3D12-100
B8	400 X 800	14D22	2D16	7D22	D12-100	D12-150
B9	400 X 800	12D22	2D16	9D22	D12-100	D12-125
B10	400 X 800	12D22	2D16	9D22	3D12-100	3D12-125
B11	400 X 700	10D22	2D16	8D22	D12-100	D12-150
B12	400 X 700	10D22	2D16	8D22	3D12-100	3D12-150
B13	400 X 800	14D22	2D16	7D22	3D12-100	3D12-125
B14	400 X 800	14D22	2D16	7D122	D12-100	DD12-150
B15	400 X 700	10D22	2D16	8D22	D12-100	D12-150
B16	400 X 700	10D22	2D16	8D22	D12-100	D12-150
B17	400 X 600	9D22	2D16	7D22	D12-100	D12-150
B18	400 X 600	9D22	2D16	7D22	D12-75	D12-150
B19	400 X 700	12D22	2D16	6D22	D12-100	D12-150
B20	400 X 700	12D22	2D16	6D22	D12-100	D12-150
B21	400 X 600	8D22	2D16	6D22	D12-100	D12-150
B22	400 X 600	6D22	2D16	4D22	D12-100	D12-150
B23	300 X 600	6D22	2D16	4D22	D12-100	D12-150
B24	300 X 600	6D22	2D16	4D22	D12-100	D12-150

Tabel 3.2 Propertis Penampang Kolom

Kolom	Dimensi	Tulangan Lentur	Sengkang	
			Tumpuan	Lapangan
C1	1000 x 1000	40D25	3D12-100	3D12-150
C2	300 x 1500	40D25	4D12-125	4D12-125
C3	1000 x 1000	36D25	3D12-100	3D12-150
C4	300 x 1500	36D25	4D12-125	4D12-125
C5	1000 x 1000	32D25	3D12-100	3D12-150
C6	300 x 1500	32D25	4D12-125	4D12-125
C7	800 x 800	28D25	3D12-100	3D12-150
C8	250 x 1200	28D25	3D12-100	3D12-100
C9	800 x 800	24D25	3D12-100	3D12-150
C10	250 x 1200	24D25	3D12-100	3D12-100
C11	800 x 800	20D25	3D12-100	3D12-150
C12	250 x 1200	20D25	3D12-100	3D12-100

3.2.3 Asumsi yang Digunakan

- a. Pemodelan struktur dilakukan secara *Frame and Shell Element*, yang berarti elemen balok dan kolom (*frame*) serta plat lantai (*shell*) dimodelkan secara utuh untuk mendapatkan analisis struktur yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi aslinya.
- b. Plat lantai dianggap sebagai elemen *shell* yang bersifat menerima beban tegak lurus bidang (vertikal) dan dapat mendistribusikan beban lateral (horizontal) akibat gempa.
- c. Pondasi dianggap jepit, karena desain pondasi menggunakan tiang pancang (pondasi dalam), sehingga kedudukan pondasi diasumsikan tidak mengalami rotasi dan translasi.

3.2.4 Peraturan dan Standar Perencanaan

- a. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk Gedung SNI Terbaru 1726:2019
- b. Peraturan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI Terbaru 1727:2020.
- c. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung SNI Terbaru 2847:2019
- d. *Capacity Spectrum Method* (*Applied Technology Council (ATC-40)*)
- e. *displacement coefficient method* (*Federal Emergency Management Agency (FEMA-273/356)*) dan *displacement modification* (*FEMA-440*)
- f. *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model (HAZUS®MH MR4)*

3.2.5 Langkah dan Tahapan Pemodelan Bangunan 12 Lantai dengan SAP2000 V23

1. Menggambar Model Grid

- a. Klik menu **File → New Model**
- b. Pada option **Defaul Unit** Pilih KN,m,C
- c. Pada option **Select Template** Klik **Grid Only**, maka akan tampil kotak dialog **Quick Grid Lines**, Input data struktur seperti pada **Gambar 3.7**.

Gambar 3.7 Input Data Grid Struktur

2. Input Material Struktur

- Lakukan **Define** → **Materials** pada kotak dialog **Define Materials** klik **Add New Material**, pada **Material type** pilih **Concrete** dan **Standar** pilih **User** klik **OK**. Kemudian isikan kotak dialog **Material Property Data** sesuai data – data pada soal seperti pada **Gambar 3.8**.
- Buat material Tulangan baru, Klik **Add New Materials** maka akan muncul kotak dialog **Add Material Property**, pada **Material Type** pilih **Rebar** dan **Standar** pilih **User** klik **OK**. Kemudian isikan kotak dialog **Material Property Data** sesuai data –data pada soal seperti pada **Gambar 3.8**

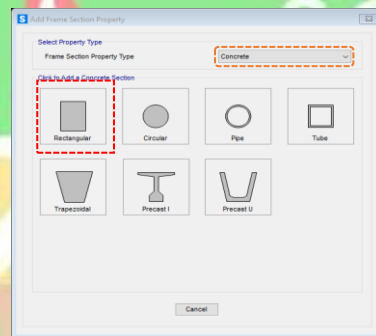
Gambar 3.8 Input Data Material Beton dan Baja

3. Membuat Penampang Struktur

Untuk detail tulangan struktur baik penampang balok maupun kolom menggunakan desain yang sudah ada yakni DED (*Desain Engineering Detail*) Hotel Ibis Padang yang dibuat oleh konsultan Pusat Studi Bencana Universitas Andalas tahun 2011 (**Lampiran-1**).

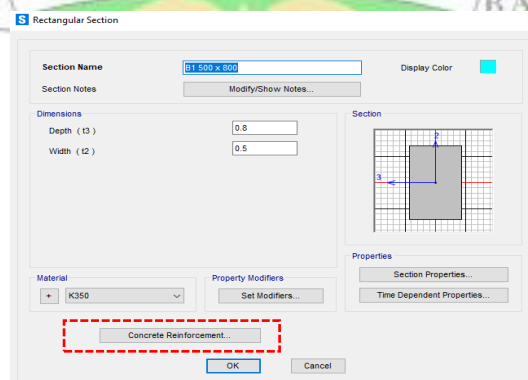
❖ **Penampang Balok**

- a. Input elemen balok dilakukan dengan cara **Define – Section Properties-Frame Section**. Pada dialog **Define Frame Propertis** pilih **Add New Property** maka akan muncul kotak dialog **Add Frame Section Property** seperti pada **Gambar 3.9**



Gambar 3.9 *Frame Section Property Type*

- b. Pada option **Frame Section Property Type** pilih **Concrete** dan pilih **Rectangular** maka akan muncul kotak dialog **Rectangular Section**. Isikan **Section Name** dengan **B1 500 x 800** (sesuai propertis penampang balok yang dibuat) lalu isikan **Depth** dan **Width**-nya seperti pada **Gambar 3.10**



Gambar 3.10 *Input Properties Balok*

c. Klik **Concrete Reinforcement** maka akan muncul kotak dialog **Reinforcement Data** seperti terlihat pada **Gambar 3.11**. Pada *option Design Type* pilih **Beam** dan pada option **Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center** atau selimut beton isikan 0.05 untuk *Top* dan 0.05 untuk *Bottom* dan pada option **Reinforcement Overrides for Ductile Beams** atau Luasan jumlah tulangan terpakai isikan sesuai detailing tulangan yang telah dibuat oleh konsultan. Contoh :

- Balok B1 500 x 800

Tulangan *top* = 16D22

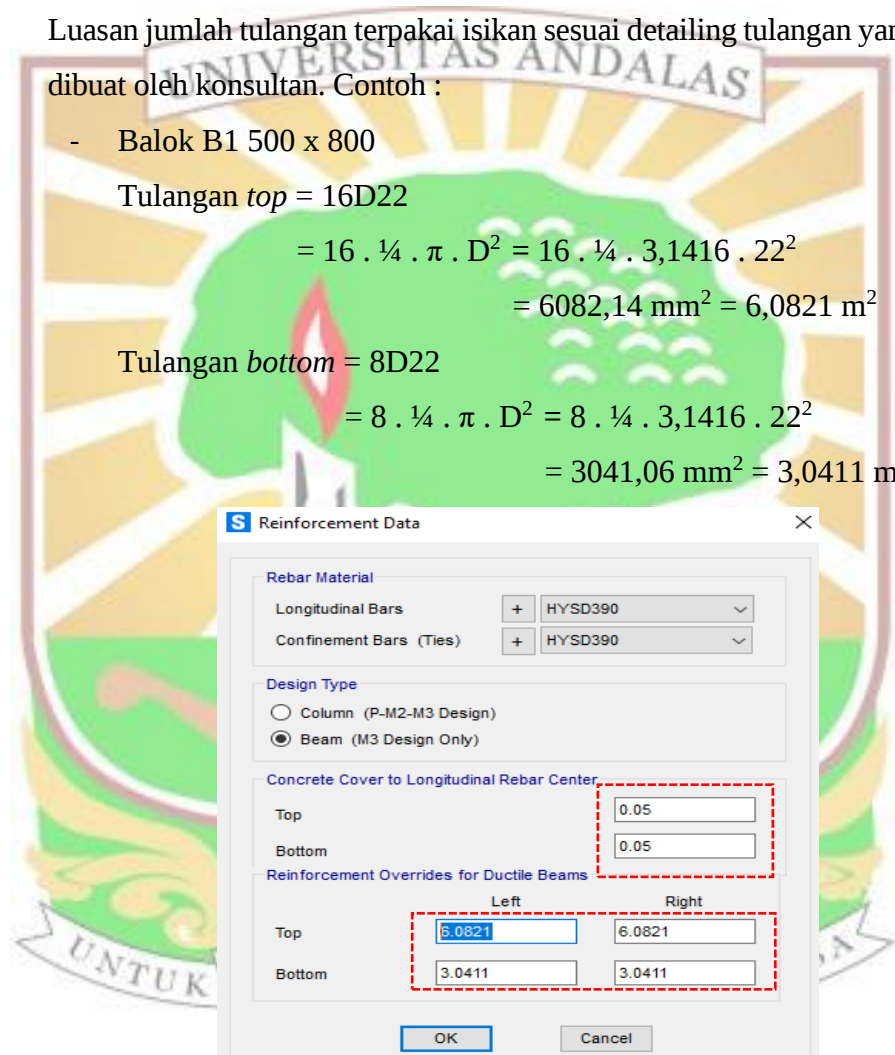
$$= 16 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 16 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,1416 \cdot 22^2$$

$$= 6082,14 \text{ mm}^2 = 6,0821 \text{ m}^2$$

Tulangan *bottom* = 8D22

$$= 8 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 8 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,1416 \cdot 22^2$$

$$= 3041,06 \text{ mm}^2 = 3,0411 \text{ m}^2$$



Gambar 3.11 Input Data *Reinforcement* Balok

Note :

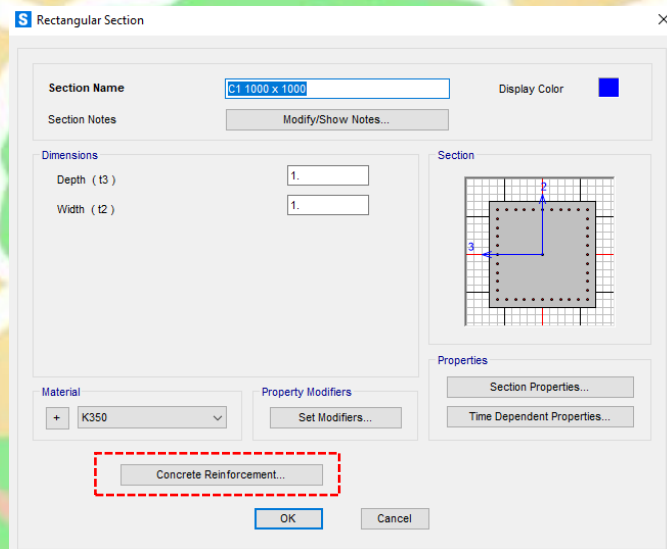
Concrete cover to longitudinal rebar center adalah tebal selimut beton berdasarkan SNI Beton 2847-2019

d. Lalu untuk pembuatan dimensi dan tulangan Balok B2, B3, B4 dan seterusnya dengan cara yang sama dengan Balok B1 diatas.

❖ **Penampang Kolom**

- a. Input elemen kolom dilakukan dengan cara **Define – Section Properties – FrameSection**. Pada dialog **Define Frame Properties** pilih **Add New Property** maka akan muncul kotak dialog **Add Frame Section Property**.
- b. Pada option **Frame Section Property Type** pilih **Concrete** dan pilih **Rectangular** maka akan muncul kotak dialog **Rectangular Section**. Isikan **Section Name** dengan **C1 1000 x 1000** (sesuai propertis penampang balok yang dibuat) lalu isikan **Depth** dan **Width**-nya seperti pada

Gambar 3.12



Gambar 3.12 Input Propertis Kolom

- c. Klik **Concrete Reinforcement** maka akan muncul kotak dialog **Reinforcement Data**. Pada option **Design Type** pilih **Column** dan pada option **Reinforcement Configuration** pilih **Rectangular** serta pada option **Confinement Bars** pilih **Ties**
- d. Pada option **Longitudinal Bars-Rectangular Configuration** isikan sesuai detailing tulangan yang telah dibuat oleh konsultan seperti 40D25 (tulangan lentur) dan 3D12-100 (Sengkang). Pada **Longitudinal Bars** isikan 25d dengan **Clear Cover For Confinement Bars** atau selimut beton isikan 0.05 dan pada **Confinement Bars** isikan 12d dengan **Longitudinal Spacing of Confinement Bars** atau jarak sengkang isikan 0.1
- e. Pada option **Check/Design** pilih **Reinforcement to be Checked** seperti terlihat pada **Gambar 3.13**

Gambar 3.13 Input Data *Reinforcement* Kolom

Note :

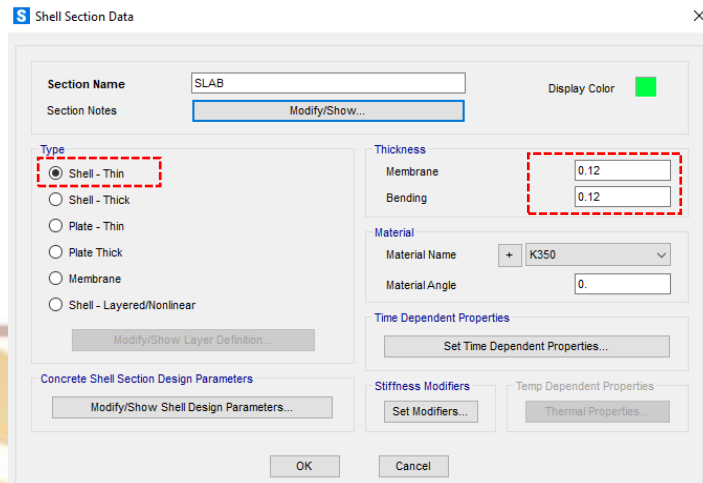
Concrete cover to longitudinal rebar center adalah tebal selimut beton berdasarkan SNI Beton 2847-2019

- f. Lalu untuk pembuatan dimensi dan tulangan Kolom C2, C3, C4 dan seterusnya dengan cara yang sama dengan Kolom C1 diatas.

❖ Penampang Pelat

Pelat lantai dimodelkan sebagai **Shell**, sehingga selain menerima gaya vertikal akibat beban mati dan hidup, pelat juga diasumsikan menerima gaya horizontal/ lateral akibat gempa.

- a. Input elemen pelat lantai dilakukan dengan cara **Define – Section Properties – AreaSection**. Pada kotak dialog **Area Sections** pilih **Add New Section** maka akan muncul kotak dialog **Shell Section Data**.
- b. Isikan **Section Name** dengan **SLAB**. Pada option **material name**
- c. Isikan pada option **Thickness** untuk **Membrane 0.12** dan **Bending 0.12**
- d. Pada option Type pilih **Shell-Thin** (karena pelat lantai dimodelkan sebagai elemen *shell*).Seperti terlihat pada **Gambar 3.14**



Gambar 3.14 Shell Section Data

4. Menggambar Model Elemen Struktur

Pemodelan struktur gedung dilakukan secara 3D dengan memodelkan semua elemen balok, kolom, dan pelat.

❖ Menggambar Elemen Balok

Dalam penggambaran elemen struktur maka kita harus mengatur *window* atau *view* penggambarannya.

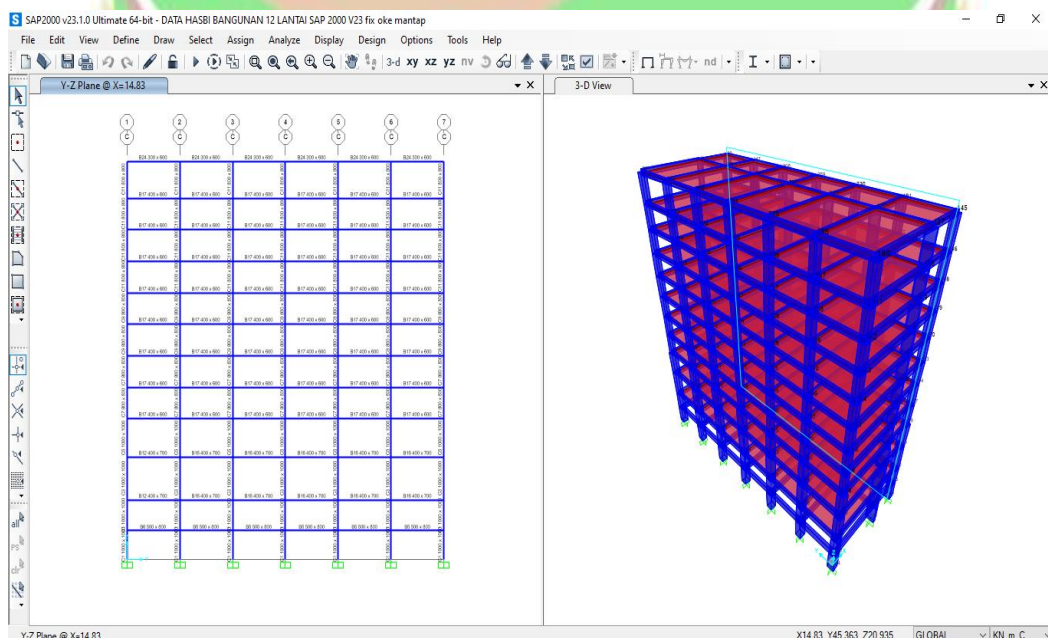
- Klik **Draw - Quick frame/Cable/Tendon** atau dengan cara memilih ikon **Quick Draw Frame/Cable** pada *menu bar* pada sisi kiri. Maka akan muncul kotak dialog **Propertis of Object**, lalu pada **Setion** pilih **B1 500 x 800**, (yang digambar adalah balok B1).
- Gambar elemen balok B1 dengan cara klik grid yang diasumsikan sebagai balok B1 dalam penggambaran usahakan secara teratur dan berurut dimulai secara vertikal kemudian horizontal atau sebaliknya agar memudahkan pembacaan data *output* SAP2000 nantinya.
- Untuk menampilkan nama frame klik **View – Set Display Options** atau dengan cara memilih ikon **Set Display Options** pada *menu bar* pada sisi atas. maka akan muncul kotak dialog **Display Options** pada *option Frames* pilih **Sections**.
- Selanjutnya gambar elemen balok B2, B3, B4, dan seterusnya dengan cara yang sama. sehingga hasil akhir penggambaran semua elemen balok dapat dilihat pada **Gambar 3.15**

❖ Menggambar Elemen Kolom

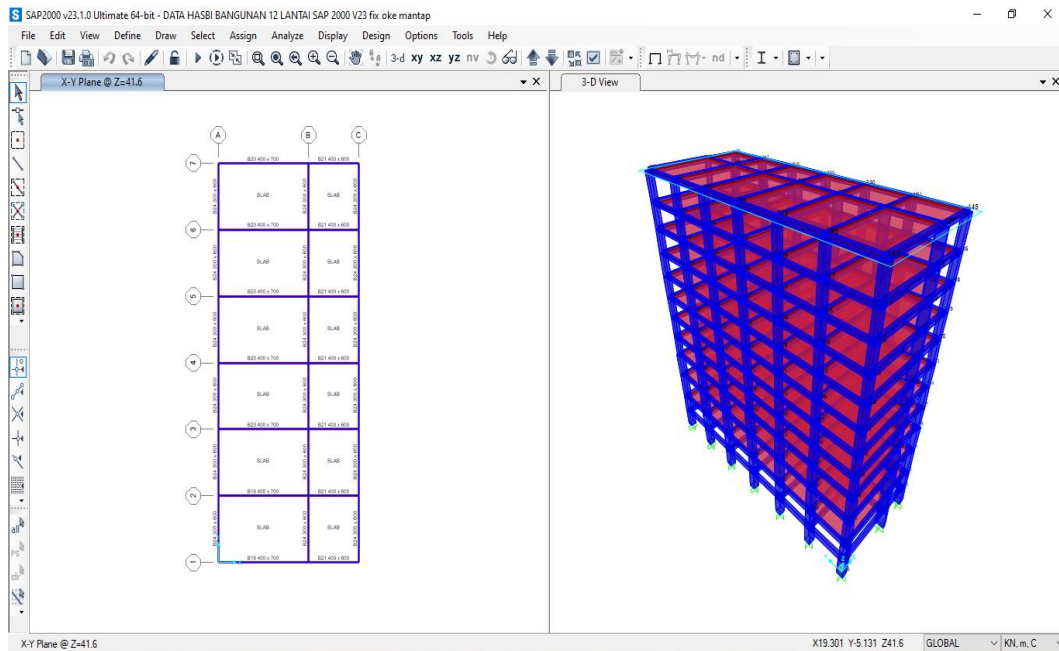
- Atur tampilan pada window dengan Klik Set XZ View  pada *toolbar* sisi atas.
- Klik ikon **Quick Draw Frame/Cable**  pada *menu bar* pada sisi kiri lalu pada **Setion** pilih **C1 1000 x 1000**, (yang digambar adalah Kolom C1), dan gambar elemen kolom C1 dengan cara klik grid yang diasumsikan sebagai Kolom C1
- Selanjutnya gambar elemen kolom C2, C3, C4 dan seterusnya dengan cara yang sama. sehingga hasil akhir penggambaran semua elemen kolom dapat dilihat pada **Gambar 3.15**

❖ Menggambar Elemen Pelat

- Klik ikon **Quick Draw Area**  pada *menu bar* pada sisi kiri. Maka akan muncul kotak dialog **Propertis of Object**, lalu pada **Setion** pilih **SLAB**, (yang digambar adalah pelat lantai).
- Gambar pelat lantai dengan cara mengklik ditengah area pelat satu persatu, dalam penandaan usahakan secara berurut agar memudahkan pembacaan data output.
- Selanjutnya gambar elemen pelat atap dengan cara yang sama Sehingga hasil akhir penggambaran dapat dilihat pada **Gambar 3.16**



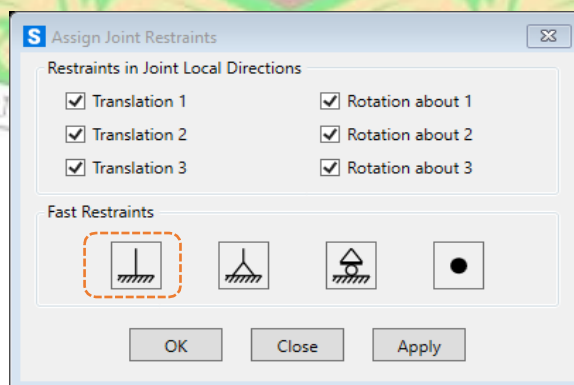
Gambar 3.15 Penggambaran Elemen Balok dan Kolom



Gambar 3.16 Penggambaran Elemen Pelat Lantai dan Pelat Atap

5. Menetapkan Jenis Perletakan / Restraint

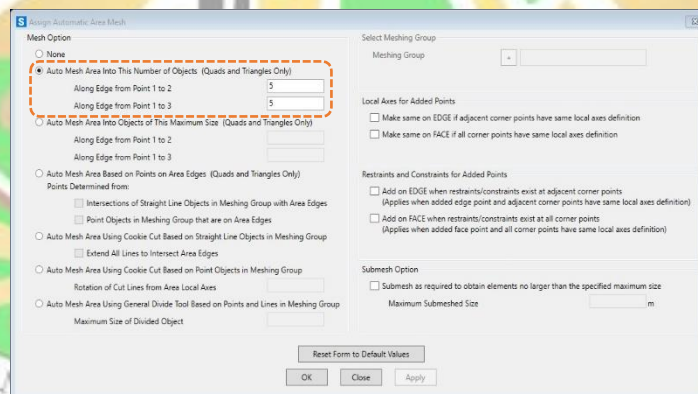
Pemodelan pondasi diasumsikan sebagai jepit, karena desain pondasi yang menggunakan tiang pancang (pondasi dalam), sehingga kedudukan pondasi dianggap tidak mengalami rotasi dan translasi. Pemodelan tumpuan tersebut dapat dilakukan dengan klik semua kolom pada lantai dasar, kemudian **Assign – Joint – Restraints** sesuai ditunjukkan pada **Gambar 3.17**



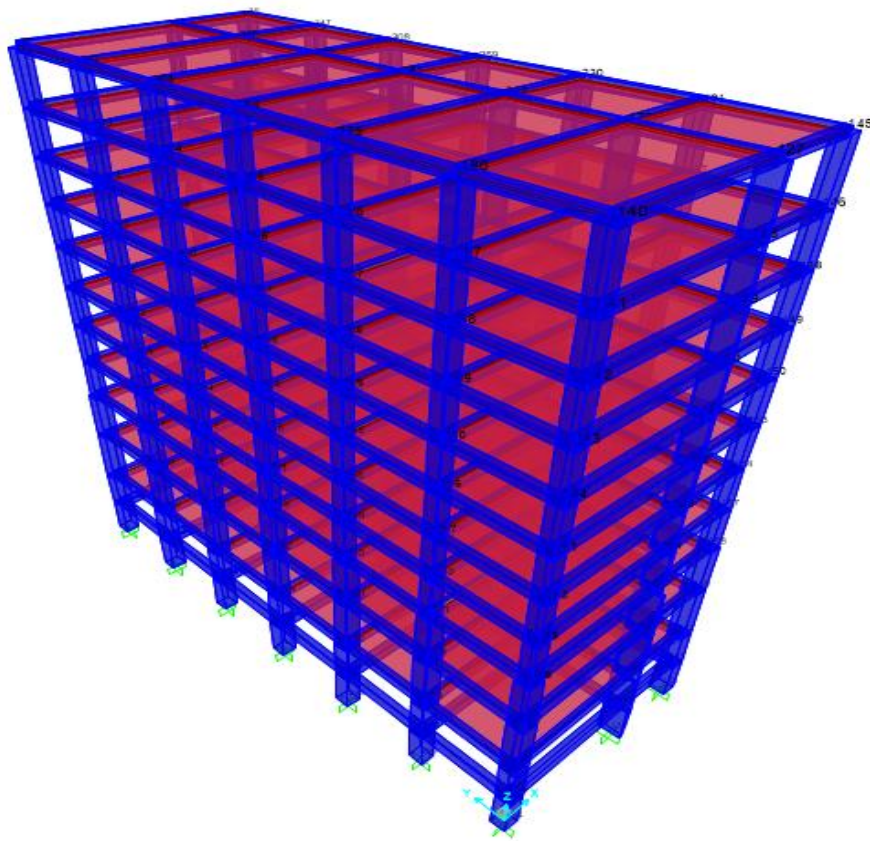
Gambar 3.17 Membuat Perletakan Jepit Pada Pondasi

6. Meshing Pelat Lantai dan Atap

Element Shell yang dipakai untuk memodelkan pelat lantai dan atap beton perlu dibagi kedalam pias-pias kecil sejumlah tertentu. Hal ini disebabkan alasan konvergensi, yaitu penyebaran gaya dari pelat ke balok di sekitarnya akan makin baik jika terdapat makin banyak pias pada pelat lantai. Jika jumlah pias terlalu sedikit, atau tidak dilakukan pembagian pias, hasil yang di dapatkan relatif kasar (missal ouput lendutan atau momen yang terlalu besar atau kecil). Jika terlalu banyak pias akan menyebabkan ukuran file dan waktu analisis semakin besar. Pembagian pada element *shell* dapat dilakukan dengan cara pilih semua element *Pelat* kemudian klik menu **Assign – Area – Automatic Area Mesh**. Maka akan muncul kotak dialog **Assign Automatic Area Mesh** pilih **Auto Mesh Area Into This Number of Objects**. Pada option **Along Edge from point 1 to 2** input 5 dan pada option **Along Edge from point 1 to 3** input 5 (*dalam kasus ini pelat dibagi menjadi 5 x 5 bagian*)



Gambar 3.18 *Devide Pelat Lantai dan Atap*



Gambar 3.19 Pemodelan Bangunan 12 Lantai SAP2000 V23

3.2.6 Pengaplikasian Pembebanan dengan SAP2000 v23

Jenis beban yang bekerja pada gedung meliputi :

a. Beban mati sendiri elemen struktur (*Dead Load*)

Meliputi : balok, kolom, dan plat.

b. Beban mati elemen tambahan (*Super Dead Load*)

Meliputi : dinding, keramik, plesteran, plumbing, ME (*mechanical electrical*) , dll.

c. Beban hidup (*Live Load*)

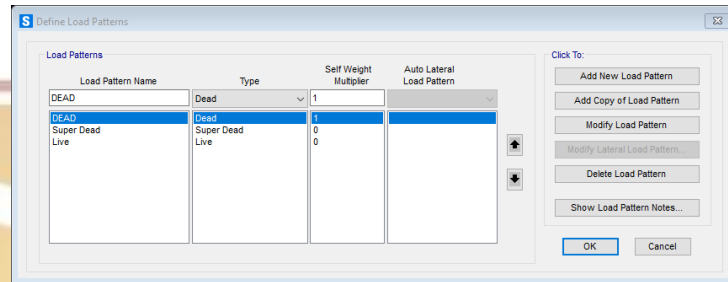
Meliputi : beban luasan per m^2 yang ditinjau berdasarkan fungsi bangunan.

d. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Meliputi : beban gempa statik ekuivalen dan dinamik (*respons spectrum*)

1. Mendefinisikan Jenis Beban

Jenis beban yang bekerja pada struktur gedung dapat diinput dengan cara *Define – Load Patterns* maka akan muncul kotak dialog *Define Load Patterns* input parameter sesuaipada **Gambar 3.20** berikut.



Gambar 3.20 Jenis - jenis beban yang Bekerja

2. Menentukan Penyaluran Beban Pada Struktur

a. Beban Mati pada Pelat Lantai

Beban mati yang bekerja pada pelat lantai meliuti :

- Berat pasir setebal 1 cm = $0,01 \times 16$ = $0,16 \text{ kN/m}^2$
- Berat spesi setebal 3 cm = $0,03 \times 22$ = $0,66 \text{ kN/m}^2$
- Berat keramik setebal 1 cm = $0,01 \times 22$ = $0,22 \text{ kN/m}^2$
- Berat plafon dan penggantung = $0,2 \text{ kN/m}^2$
- Berat Instalasi ME = $0,25 \text{ kN/m}^2$

Total beban mati pada plat lantai = **$1,49 \text{ kN/m}^2$**

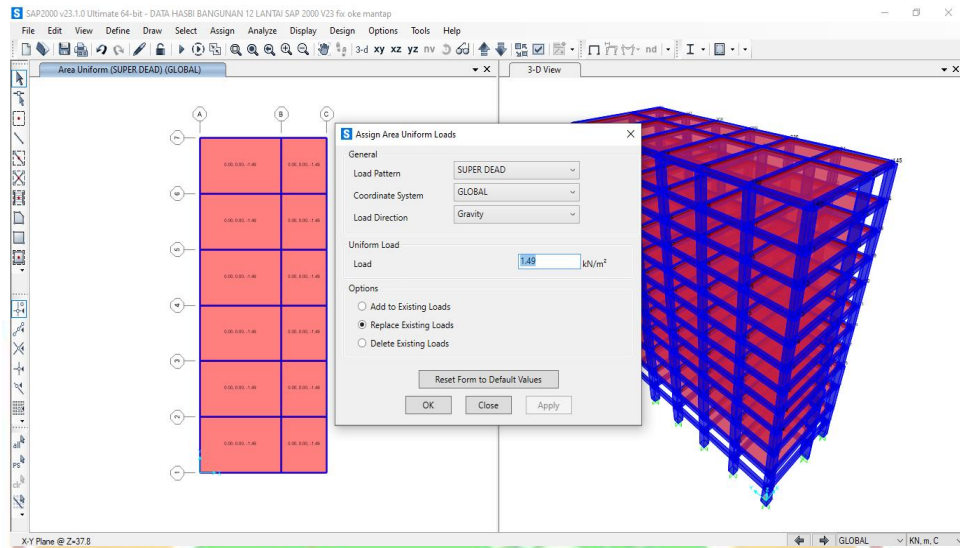
b. Beban Mati pada Pelat Atap

Beban mati yang bekerja pada pelat lantai meliuti :

- Berat *waterproofing* dengan aspal tebal 2 cm = $0,02 \times 14$ = $0,28 \text{ kN/m}^2$
- Beban plafon dan penggantung = $0,2 \text{ kN/m}^2$
- Berat Instalasi ME = $0,25 \text{ kN/m}^2$

Total beban mati pada plat lantai = **$0,73 \text{ kN/m}^2$**

Beban mati didistribusikan pada pelat secara merata dengan cara memilih elemen pelat, kemudian *Assign – Area Loads – Uniform (Shell)* pada *option Load Pattern* pilih *SuperDead* Distribusi beban mati yang bekerja pada pelat ditunjukkan pada **Gambar 3.21** berikut.



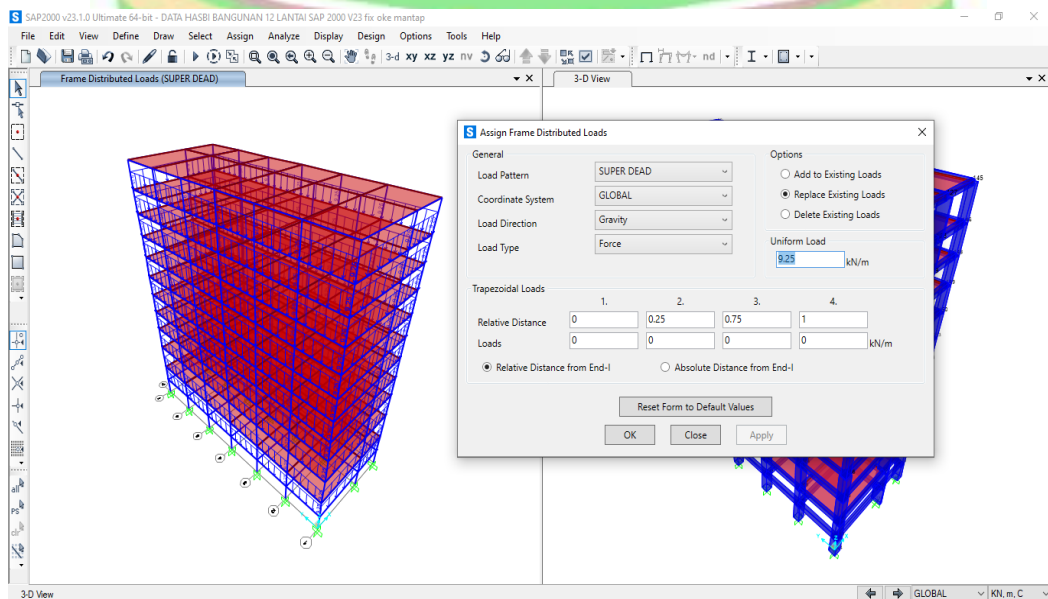
Gambar 3.21 Distribusi Beban Mati pada Pelat Lantai

c. Beban Mati pada Balok

Beban mati yang bekerja pada balok meliputi :

Beban dinding pasangan bata $\frac{1}{2}$ batu $(4,5\text{m} - 0,8) \times 2,50 = 9,25 \text{ kN/m}$

Dinding gedung ini diasumsikan terletak di balok tepi keliling bangunan pada LT.1 sampai LT.11. Beban dinding pada balok diinput dengan cara **Assign – Frame Loads – Distributed**. Pada option **Load Pattern** pilih **Super Dead** dan pada option **Uniform Load** input **8.75** seperti pada **Gambar 3.22**



Gambar 3.22 Distribusi Beban Mati pada Balok

d. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang bekerja pada lantai bangunan tergantung dari fungsi ruang yang digunakan. Besarnya beban hidup lantai bangunan ditentukan berdasarkan acuan SNI 1727 – 2020 Tabel 4.3-1

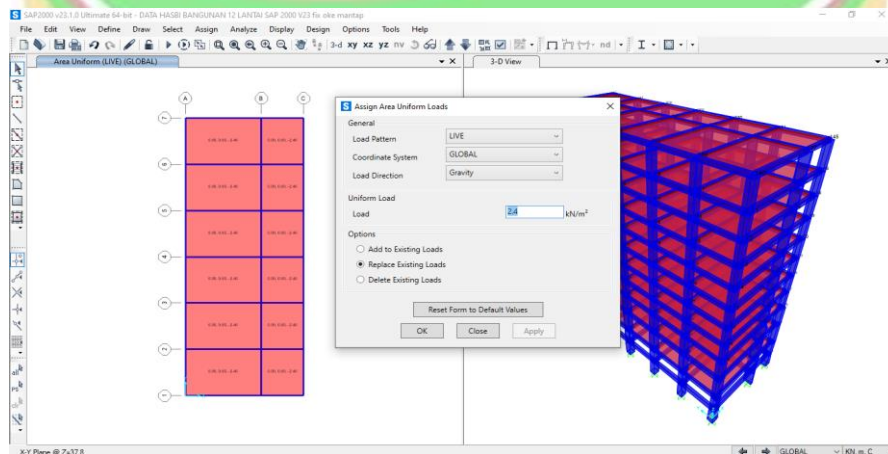
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian				
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)

Gambar 3.23 Beban Hidup untuk Lantai Kantor

Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap yang digunakan penghuni				
	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-	-
	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-	-

Gambar 3.24 Beban Hidup untuk Lantai Atap

Input beban hidup dilakukan dengan cara memilih semua elemen pelat lantai, kemudian **Assign – Area Loads – Uniform (Shell)**. Pada option **Load Pattern** pilih **Live** dan input beban hidup sesuai pada **Gambar 3.25**



Gambar 3.25 Distribusi Beban Hidup pada Lantai (2,4 kN/m²)

NB : Untuk beban hidup pada lantai atap ulangi dengan cara yang sama

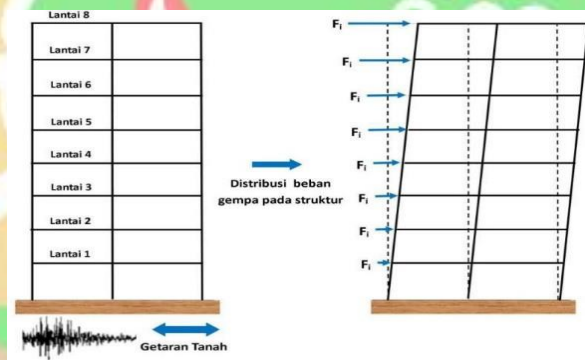
3. Mengaplikasikan Beban Gempa

Analisis beban gempa dilakukan dengan 2 cara yaitu statik ekuivalen dan dinamik *respons spektrum*. Dalam mendefinisikan beban gempa untuk wilayah

Padang, Sebelumnya dapat mengacu pada Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Gedung SNI 1726-2019.

a. Gempa Statik Ekuivalen

Beban gempa statik ekuivalen adalah penyederhanaan dari perhitungan beban gempa yang sebenarnya, dengan asumsi tanah dasar dianggap tetap (tidak bergetar), sehingga beban gempa diekuivalensikan menjadi beban lateral statik yang bekerja pada pusat massa struktur tiap lantai bangunan. Perhitungan gempa statik ekuivalen dapat dilakukan secara otomatis dengan *Auto Lateral Loads* dan secara manual dengan cara menginput besarnya beban gempa ke pusat massa struktur tiap lantai. Ilustrasi dari perencanaan gempa dengan metode statik ekuivalen ditunjukkan pada **Gambar 3.26**.



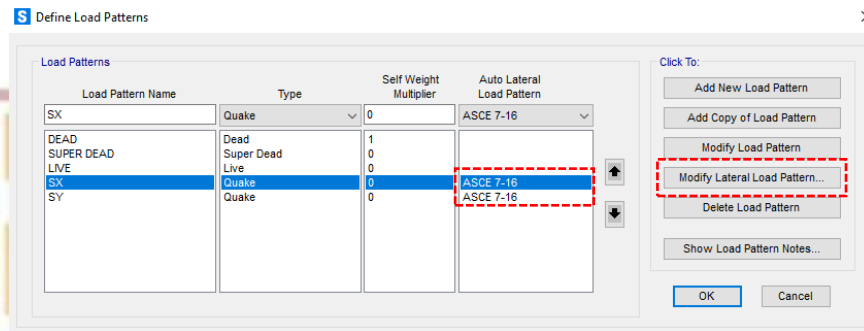
Gambar 3.26 Ilustrasi dari Analisis Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen

Parameter gempa dapat di peroleh melalui website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> atau dihitung secara manual berdasarkan SNI 1726– 2019 (**Lampiran 2**), berikut hasil parameter gempa yang digunakan adalah sebagai berikut:

- S_s = **1.1245 g** (percepatan batuan dasar periode 0,2 detik)
- S_1 = **0.5737 g** (percepatan batuan dasar periode 1 detik)
- T_l = **20 detik** (periode transisi jangka panjang)
- Kelas Situs = **D** (tanah sedang)
- R = **8** (faktor reduksi gempa SRPMK)
- Ω = **3** (faktor faktor kuat lebih)
- C_d = **5.5** (faktor pembesaran defleksi)
- I = **1** (faktor keutamaan gedung)
- T = **0,967 detik** (periode fundamental)

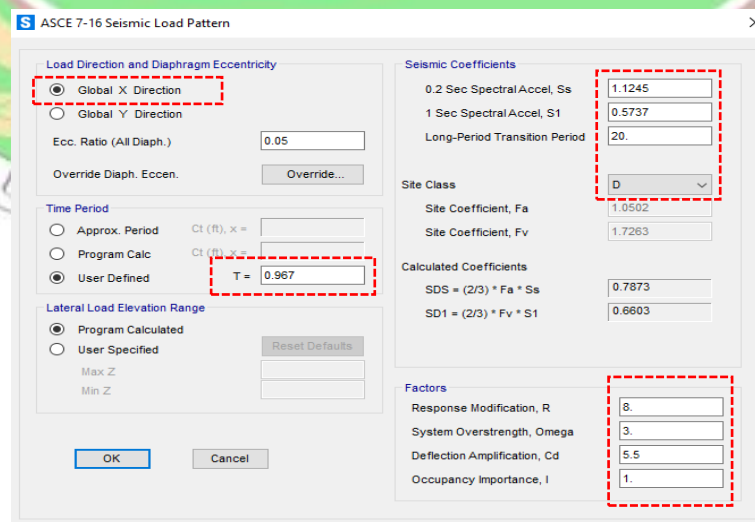
Langkah input beban gempa statik ekuivalen dapat dilakukan dengan cara:

- Klik menu **Define – Load Patterns** dan isikan beban gempa (SX untuk arah x-x dan SY untuk arah y-y). pada *option Type* pilih **Quake** seperti pada **Gambar 3.27**



Gambar 3.27 Define Beban gempa Statik Ekuivalen

- Pada bagian barisan SX pada kolom **Auto lateral Load pattern** pilih **ASCE 7-16**. (Dipilih ASCE 7-16 ini karena parameter-parameter didalamnya juga sama dengan SNI 1726-2019. Tinggal disesuaikan dengan zona peta gempa Indonesia)
- Klik **Modify Load Pattern**. Selanjutnya, klik **Modify Lateral Load Pattern**. Isikan parameter gempa seperti **Gambar 3.28**



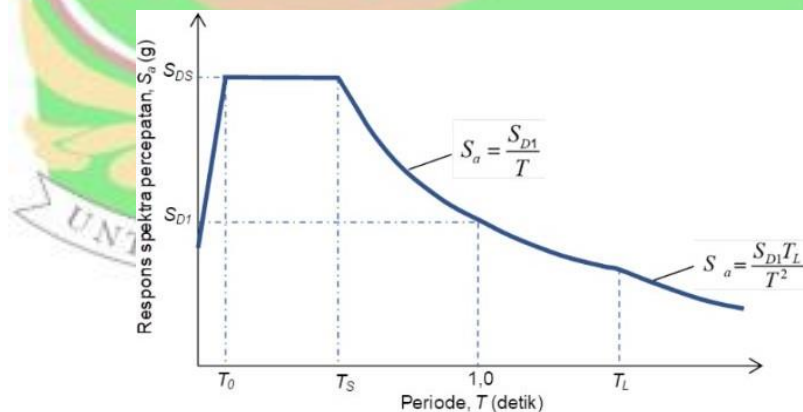
Gambar 3.28 Input gempa statik ekuivalen arah x-x

Ulangi dengan cara yang sama pada gempa statik arah y-y, pada **Gambar 3.29**

Gambar 3.29 Input gempa statik ekuivalen arah y-y

b. Gempa Dinamik *Response Spectrum*

Respons Spektrum adalah suatu spectrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T versus respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*spectral displacement*, SD), kecepatan maksimum (*Spectral velocity*, SV) atau percepatan maksimum (*spectral acceleration*, SA) dari massa struktur *single degree of freedom* (SDOF).



Gambar 3.30 Grafik *Respons Spectrum* SNI 1726 : 2019

Langkah input beban gempa dinamik spektrum dapat dilakukan dengan cara:

- Pilih pada menu **Define - Functions - Response Spectrum**. Pada option **Chose Function Type to Add** pilih **ASCE 7-16**. Maka akan muncul kotak dialog **Response Spectrum ASCE 7-16 Function Definition** dan isikan

seperti pada **Gambar 3.31** dengan parameter-parameter diambil dari **Gambar 3.28**

Response Spectrum IBC 2009 Function Definition

Function Name: RS PADANG

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters

- ☐ Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.
- ☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code
- ☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees): ?

Site Longitude (degrees): ?

Site Zip Code (5-Digits): ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 1.1245

1 Sec Spectral Accel, S1: 0.5737

Long-Period Transition Period: 20.

Site Class: D

Site Coefficient, Fa: 1.0502

Site Coefficient, Fv: 1.5

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = (2/3) * Fa * Ss: 0.7873

SD1 = (2/3) * Fv * S1: 0.5737

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.3149
0.1457	0.7873
0.7287	0.7873
1.	0.5737
1.2	0.4781
1.4	0.4098
1.6	0.3586
1.8	0.3187

Function Graph

Display Graph: (0.1632, 0.7873)

Buttons: Convert to User Defined, Display Graph, OK, Cancel

Gambar 3.31 Input Parameter *Respon Spektrum*

- Lalu input faktor pengali respon spektrum dengan cara pilih pada menu **Define - Load Case - Respons Spectrum**. Maka akan muncul kotak dialog **Define Load cases** seperti pada **Gambar 3.32**

Define Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
DEAD	Linear Static
MODAL	Modal
Super Dead	Linear Static
Live	Linear Static
SX	Linear Static
SY	Linear Static

Click to:

- Add New Load Case...
- Add Copy of Load Case...
- Modify/Show Load Case...
- Delete Load Case

Display Load Cases

- Show Load Case Tree...

Buttons: OK, Cancel

Gambar 3.32 Define Load Case

- Pada option **Click to** Pilih **Add New Load Case** maka akan muncul kotak dialog **LoadCase Data**. Pada option **Load Case Type** pilih **Response Spectrum** dan isikan **LoadCase Name** dengan **DX**
- Pada option kolom **Load Name** pilih **U1** dan pada option **Function** pilih **RS Padang** (sesuai yang telah didefinisikan sebelumnya) lalu pada option **Scale Factor** isikan **1.2263**. (Penentuan **Scale Factor** berdasarkan SNI

1726 : 2019 yaitu menggunakan formula = $g \times I / R = 9.81 \times I / 8 = 1,2263$.
Dimana g = gravitasi bumi, I = faktor keutamaan gedung dan R = faktor reduksi gempa)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: DX

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: CQC

Modal Load Case: Standard - Acceleration Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RS PADANG	1.2263
Accel	U1	RS PADANG	1.2263

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

Gambar 3.33 Respons Spectrum Case Arah-x

Ulangi pada gempa dinamik arah-Y (DY), tetapi pada pilihan **Load Name** pilih U2 seperti pada Gambar 3.34

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: DY

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: CQC

Modal Load Case: Standard - Acceleration Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	RS PADANG	1.2263
Accel	U2	RS PADANG	1.2263

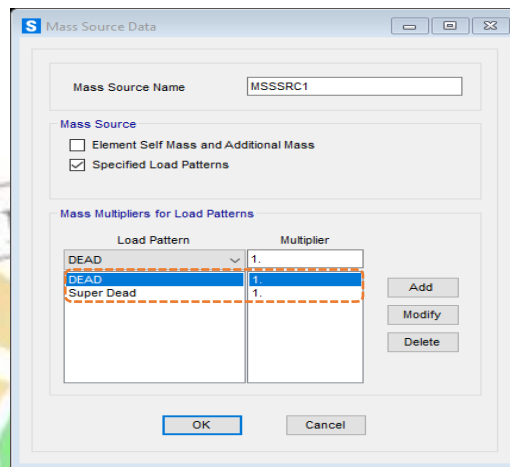
Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

Gambar 3.34 Respons Spectrum Case Arah-y

c. Penentuan Massa Struktur

Langkah yang tidak kalah penting adalah definisi massa struktur yang akan digunakan dalam analisis, karena bila tidak tepat maka gaya atau beban gempa yang dihasilkan juga bisa terlalu kecil atau terlalu besar

Cara mendefinisikan massa struktur *Define - Mass Source - Modify/show Mass Source*. Isikan parameter – parameter seperti pada **Gambar 3.35**



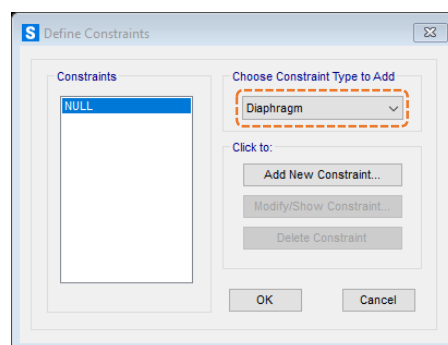
Gambar 3.35 Penentuan Massa Struktur

Note : Berdasarkan SNI 1726 2019 Pasal 8.8.1 untuk bangunan gedung perkantoran (selain bangunan gudang/tempat penyimpanan) faktor pengaruh beban hidup dapat diabaikan

d. Menetapkan Lantai Tingkat Sebagai Diafragma

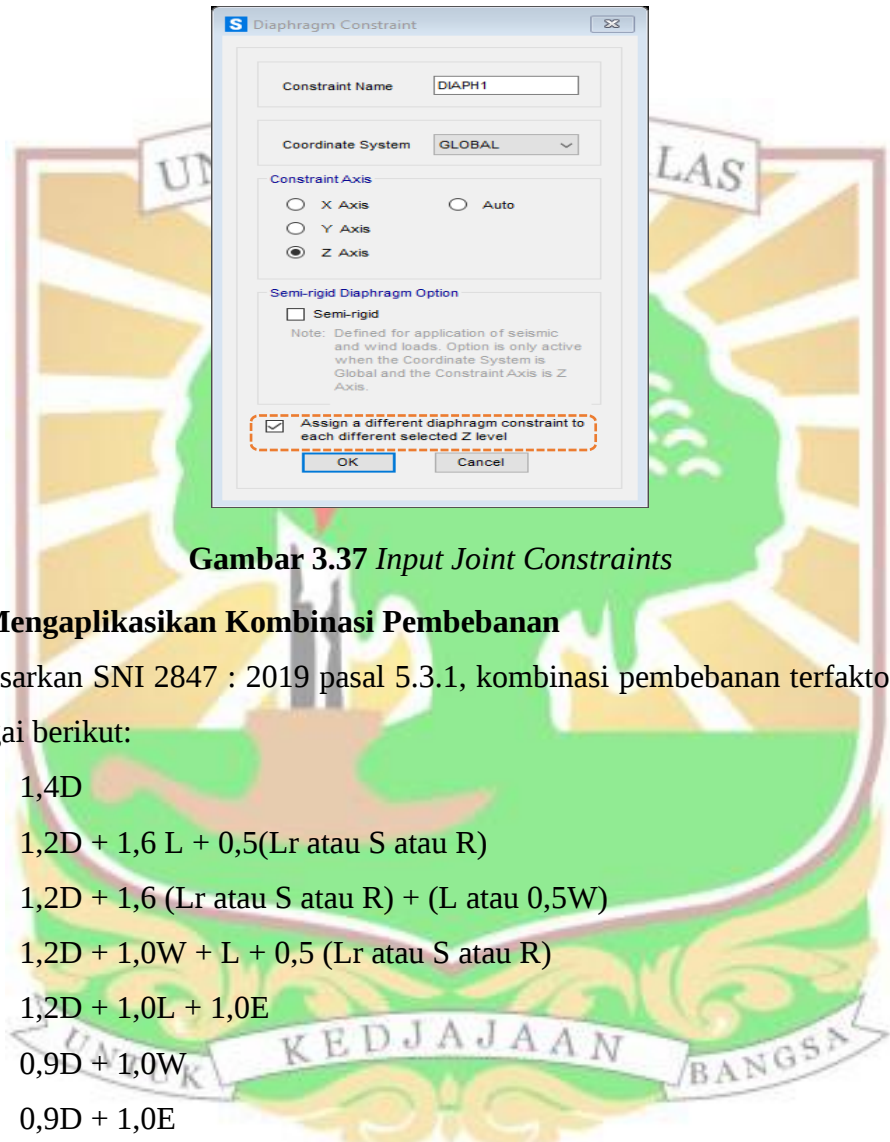
Pada SNI Gempa 03-1726-2019 disimpulkan bahwa, Analisis struktur harus mempertimbangkan kekakuan relatif diafragma dan *element* vertikal sistem penahan gempa. Dalam hal ini, pelat lantai dan atap beton dapat berfungsi sebagai diafragma yang dapat menyumbangkan kekakuan gedung ketika beban lateral bekerja.

Cara mengaplikasi lantai diafragma, Pilih menu *Select – All*. Selanjutnya pilih menu *Assign – Joint - Constraints*. Maka akan tampil kotak dialog *Assign Joint Constrains* klik *Define Joint Constrain* maka akan tampil kotak dialog seperti **Gambar 3.36**



Gambar 3.36 Define Constraints

Pada option **Choose Constraint Type to Add** pilih diaphragm dan **klik Add New Constraint**. Maka akan muncul kotak dialog **Diaphragm Constrain**. Isikan parameter seperti **Gambar 3.37**



Gambar 3.37 Input Joint Constraints

e. Mengaplikasikan Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 2847 : 2019 pasal 5.3.1, kombinasi pembebanan terfaktor, yaitu Sebagai berikut:

- 1) $1,4D$
- 2) $1,2D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- 3) $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- 4) $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- 5) $1,2D + 1,0L + 1,0E$
- 6) $0,9D + 1,0W$
- 7) $0,9D + 1,0E$

Untuk nomor 5 dan 7 dengan beban gempa diatur oleh SNI 1726 : 2019 pasal 7.4, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal, yaitu sebagai berikut:

- $(1,2 + 0,2 Sds) DL + 1,0LL \pm 1,0 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$
- $(1,2 + 0,2 Sds) DL + 1,0LL \pm 0,3 \rho EX \pm 1,0 \rho EY$
- $(0,9 - 0,2 Sds) DL + 1,0LL \pm 1,0 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$
- $(0,9 - 0,2 Sds) DL + 1,0LL \pm 0,3 \rho EX \pm 1,0 \rho EY$

Keterangan:

DL = beban mati, termasuk SDL

LL = beban hidup

R = beban hujan

W = beban angin

Ex = beban gempa arah - x

Ey = beban gempa arah - y

ρ = faktor redundansi

Sds = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

Berikut ini adalah kombinasi pembebanan yang akan digunakan untuk analisis struktur:

Sds (g) = 0,787 (Padang, Tanah Sedang)

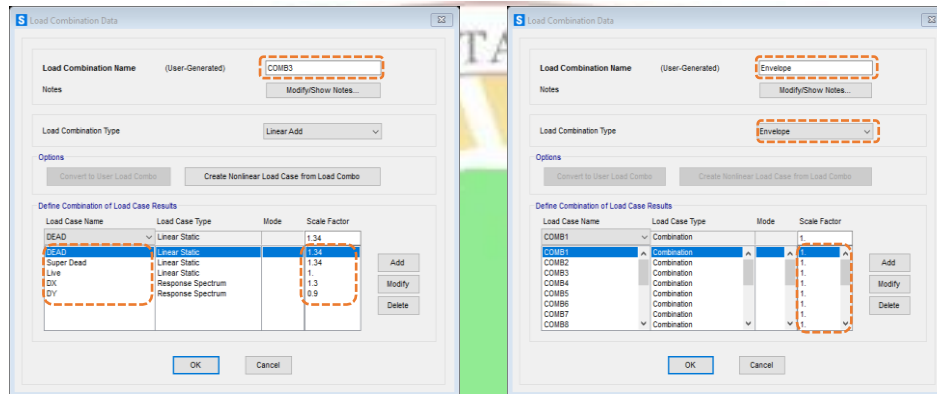
ρ = 1,0 (dapat digunakan 1,0 jika memenuhi syarat SNI 1726:2019

Pasal 7.3.4.2)

- Comb. 1 = 1,4 DL + 1,4 SDL
- Comb. 2 = 1,2 DL + 1,2 SDL + 1,6 LL
- Comb. 3 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey
- Comb. 4 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL + 1,0 Ex - 0,3 Ey
- Comb. 5 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL - 1,0 Ex + 0,3 Ey
- Comb. 6 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL - 1,0 Ex - 0,3 Ey
- Comb. 7 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex
- Comb. 8 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL + 1,0 Ey - 0,3 Ex
- Comb. 9 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL - 1,0 Ey + 0,3 Ex
- Comb. 10 = 1,34 DL + 1,34 SDL + 1,0 LL - 1,0 Ey - 0,3 Ex
- Comb. 11 = 0,76 DL + 0,76 SDL + 1,0 Ex + 0,3 Ey
- Comb. 12 = 0,76 DL + 0,76 SDL + 1,0 Ex - 0,3 Ey
- Comb. 13 = 0,76 DL + 0,76 SDL - 1,0 Ex + 0,3 Ey
- Comb. 14 = 0,76 DL + 0,76 SDL - 1,0 Ex - 0,3 Ey
- Comb. 15 = 0,76 DL + 0,76 SDL + 1,0 Ey + 0,3 Ex
- Comb. 16 = 0,76 DL + 0,76 SDL + 1,0 Ey - 0,3 Ex
- Comb. 17 = 0,76 DL + 0,76 SDL - 1,0 Ey + 0,3 Ex
- Comb. 18 = 0,76 DL + 0,76 SDL - 1,0 Ey - 0,3 Ex

- Gravitasi = 1,2 DL + 1,2 SDL + 1,0 LL
- Envelope

Cara input kombinasi pembebanan tersebut dengan cara **Define – Load Combination – Add New Combo**. Pilih **Add New Combo** input sesuai pada **Gambar 3.38** berikut.

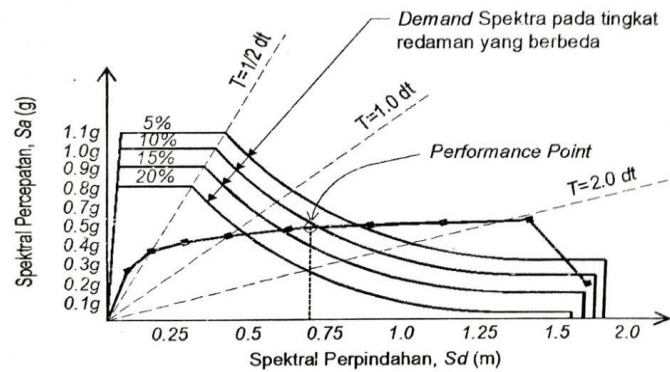


Gambar 3.38 Input beban kombinasi (comb.3) & *Envelope*

Untuk kombinasi 1, 2, 4 s/d 18 dan Gravitasi dapat di input dengan cara yang sama.

3.2.7 Pengaplikasian *Pushover Analysis* dengan SAP2000 v23

Pushover Analysis adalah prosedur analitis untuk menentukan kinerja struktur. Tujuan kinerja struktur adalah pencapaian level kinerja struktur yang ditentukan oleh deformasi struktur di bawah beban gempa yang ditentukan oleh maksimum perpindahan struktur dan elemen struktur yang dapat diterima dengan besaran beban gempa kuat yang ditinjau. Metode yang dipakai pada umumnya adalah metode *nonlinear time history* dan metode statik nonlinear (*pushover analysis*). Di penelitian ini Metode yang digunakan adalah metode analisis statik nonlinier (*pushover analysis*) yang mencari perpotongan antara kurva kapasitas spectra (*capacity spectrum method*) dan kurva *respon spectra* tereduksi untuk mengestimasi perpindahan maksimum.



Gambar 3.39 Titik Kinerja Struktur pada Tingkat Redaman Struktur

(Sumber : ATC-40, 1996: 6-10)

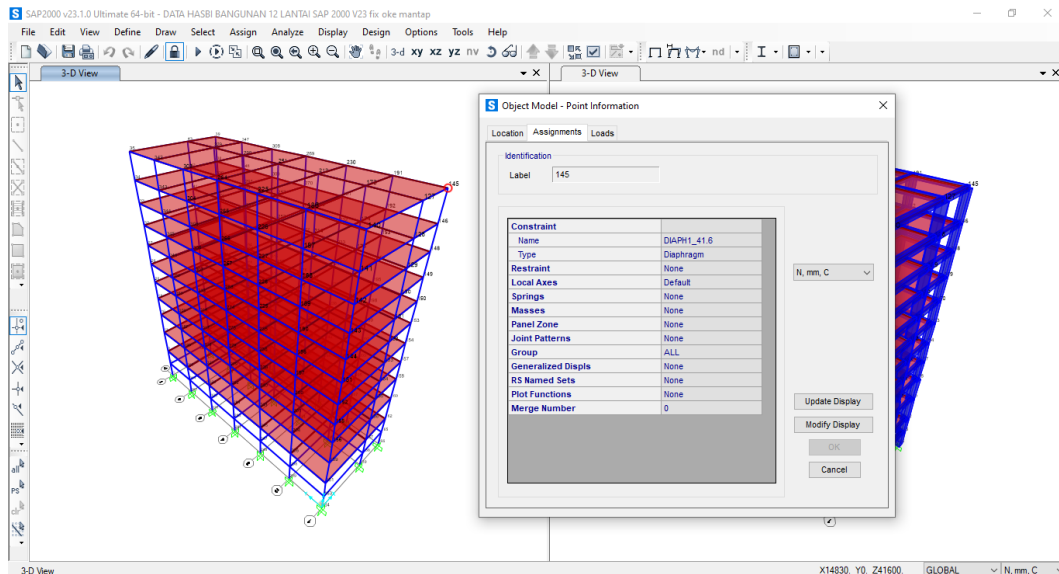
Pada contoh ini, pengerjaan metode analisis statik *nonlinear* (*pushover analysis*) ini didasarkan oleh peraturan ATC-40. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Membuat Nonlinear Case

a. Menentukan Titik Yang Ditinjau

Titik yang ditinjau adalah titik yang akan ditetapkan sebagai dasar program untuk menghitung deformasi yang terjadi pada puncak bangunan. Titik yang ditinjau akan ditetapkan pada lantai 12 (Atap) posisi pada pojok kanan atas. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- Set 3-D View ke lantai 12 lalu arahkan kursor pada point di titik pojok kanan bawah. Klik kanan pada titik tersebut maka akan muncul boxes **Object Model-Point Information** seperti pada **Gambar 3.40**

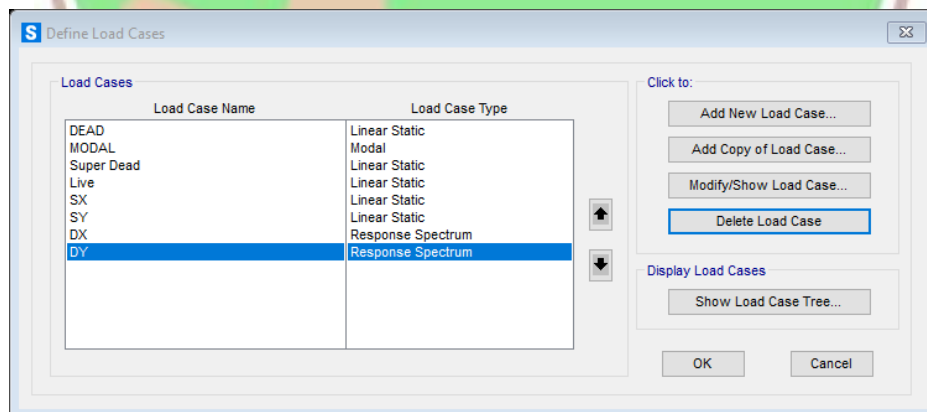


Gambar 3.40 Menentukan Titik yang Ditinjau (label 145)

b. Menentukan *Grafiy Nonlinear Case*

Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

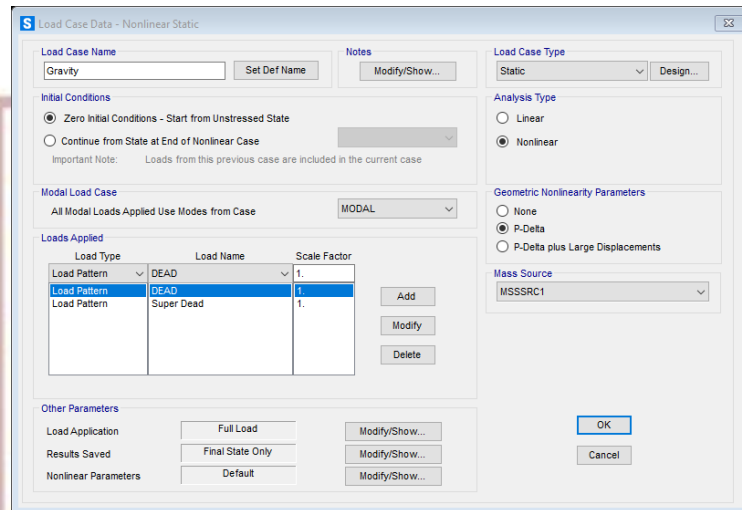
- Klik **Define – Load Cases**, lalu akan muncul *boxes Define Load Cases* seperti terlihat pada **Gambar 3.41**



Gambar 3.41 Static Nonlinear Cases

- Klik **Add New Load Case**, maka akan muncul *boxes Load Cases Data – Nonlinear Static*.
- Pada option **Analysis Type** pilih **Nonlinear** dan pada option **Geometric Nonlinearity Parameters** pilih **P-Delta**. lalu isikan data **Loads Applied** seperti terlihat pada **Gambar 3.42**.
- Dalam hal ini presentase beban yang digunakan dalam Analisa *pushover*

yaitu 100% beban mati (termasuk beban mati tambahan) dan beban hidup tidak diperhitungkan karena tidak terdapat lantai yang digunakan untuk penyimpanan dan beban hidup tidak melebihi dari 5 kN/m^2 . SNI 1726:2019 Pasal 8.8.1

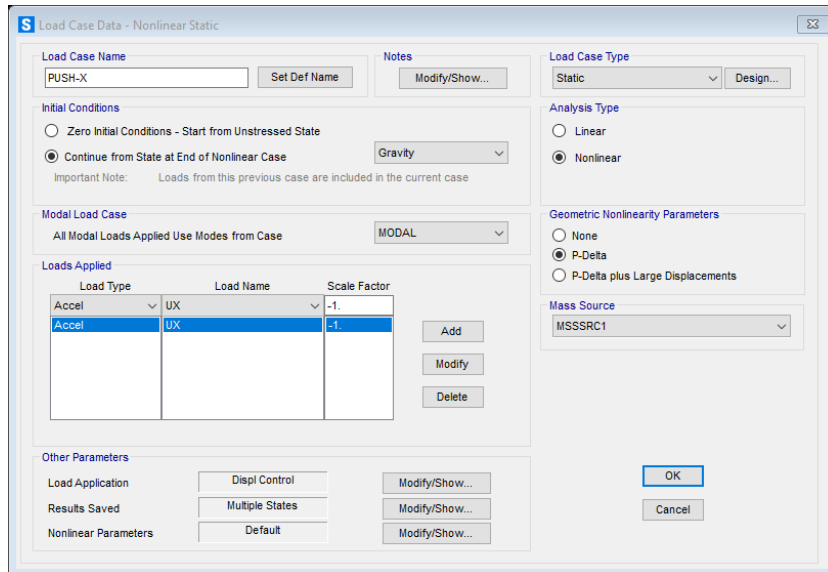


Gambar 3.42 *Input Static Nonlinier Case Gravity*

c. Menentukan *Nonlinear Pushover Case*

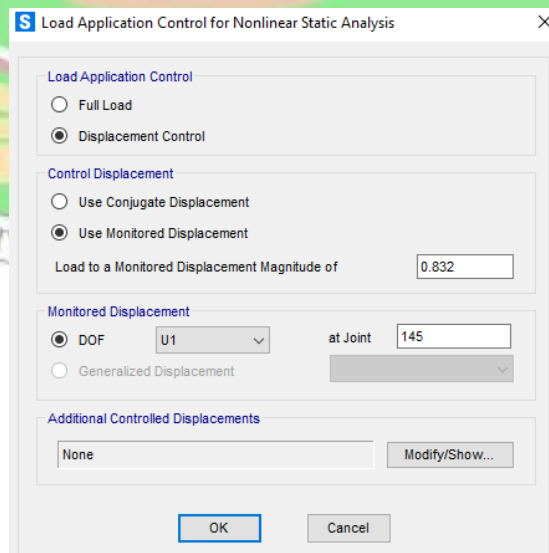
Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- Klik **Define – Load Cases – Add New Load Cases**. Dan isikan **Load Case Name = PUSH-X**.
- Pada option **Intial Conditions** pilih **Continue from State at End of Nonlinear Case**. Dan pilih **Gravity**.
- Pada option **Load Type** pilih **Accel**, **Load Name** pilih **UX** dan input **Scale Factor = -1**. (Gambar 3.43)



Gambar 3.43 Static Nonlinear PUSH-X

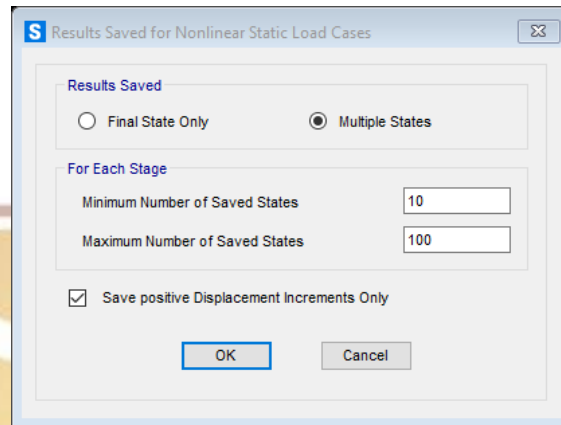
- Klik **Modify/Show** pada option **Load Application**. Maka akan muncul boxes **Load Application Control**, centang **Displacement Control** dan **Use Monitored Displacement**
- Isikan **Load to a Monitored Displacement Magnitude of = 0,832** (*Monitored displacement* diambil 2% dari tinggi gedung)
- Pada option **DOF** pilih **U1** dan **Input at Joint = 145** dan klik **OK**



Gambar 3.44 Load Application Control for Static Nonlinear Push-x (Unit m)

- Klik **Modify/Show** pada option **Results Saved**. Maka akan muncul boxes **Results Saved for Nonlinear Static Load Case**.

- Centang **Multiple States** dan isikan data seperti terlihat pada **Gambar 3.45**.
Lalu Klik OK



Gambar 3.45 *Results Saved for Nonlinear Static Load Case*

- Klik Lakukan dengan cara yang sama untuk PUSH-Y dengan memodifikasi **Load Case Name** = PUSH-Y

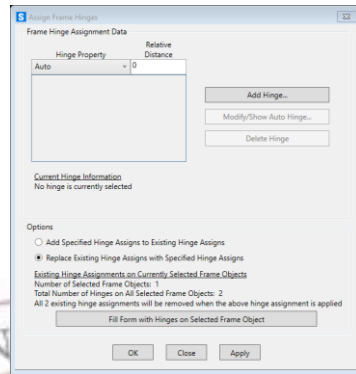
2. Memodelkan Sendi Plastis

Dalam analisis *nonlinear* hal yang perlu diperhatikan sebelum memodelkan sendi plastis adalah pendefinisian *Plastic Hinge properties* pada tiap elemen struktur. *Plastic Hinge properties* tersebut dapat dihitung secara manual berdasarkan ASCE 41-13/17 yaitu untuk balok pada Tabel 10-7 dan untuk kolom pada Tabel 10-8. Namun dalam kasus ini *plastic hinge properties* dihitung secara otomatis oleh program SAP2000.

Adapun Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

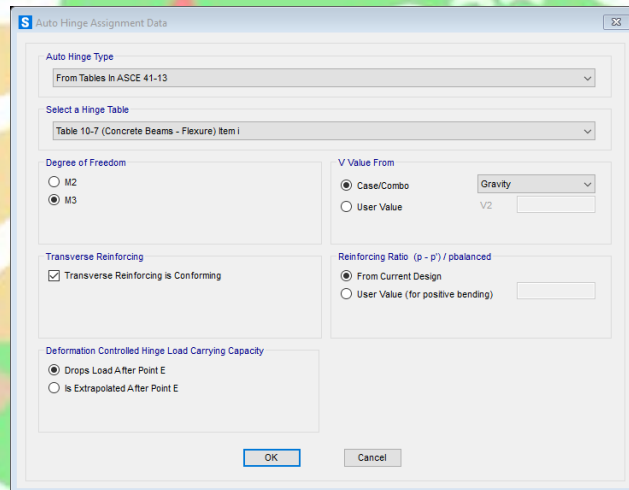
a. Mendefinisikan Sendi Plastis Pada Balok

- Pilih semua elemen balok pada seluruh lantai.
- Klik menu **Assign – Frame – Hinges**, lalu muncul *boxes Assign FrameHinges*
- Input **0,05** pada option **Relative Distance** dan klik **Add Hinge**,



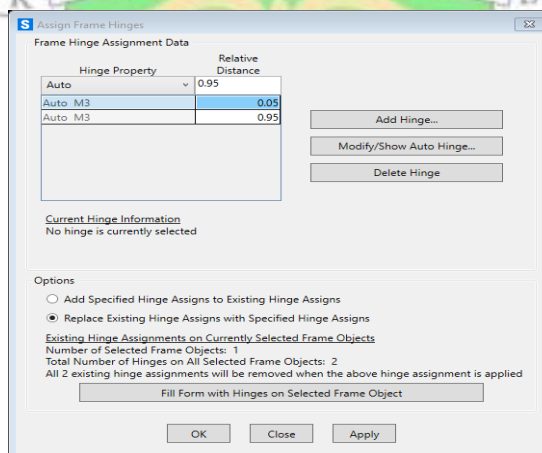
Gambar 3.46 Input *Hinge* Pada Balok

- Pada option **Select a Hinge Table** pilih **Table 10-7 (Concrete Beams-Flexure)** Item dan pada option **Case/Combo** pilih **Gravity**. Lalu klik **OK**



Gambar 3.47 Input Data *Auto Hinges* ASCE 41-13 Pada *Concrete Beams*

- Input **0,95** pada option **Relative Distance** dan klik **Add Hinge**, isikan data seperti terlihat pada **Gambar 4.48**. Lalu Klik **OK**



Gambar 3.48 Input *Relative Distance Hinge* Pada Balok

b. Mendefinisikan Sendi Plastis Pada Kolom

- Pilih semua elemen kolom pada seluruh lantai.
- Klik menu **Assign – Frame – Hinges**, lalu akan muncul *boxes Assign Frame Hinges*
- Input **0,05** pada option **Relative Distance** dan klik **Add Hinge**,,
- Pada option **Select a Hinge Table** pilih **Table 10-8 (Concrete Columns)**
- Pada option **Degree of Freedom** pilih **P-M2-M3** dan pada option **Case/Combo** pilih **Gravity**.
- Isikan data seperti terlihat pada **Gambar 3.49**. Lalu klik **OK**

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables in ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom
☐ M2 ☐ P-M2 ☐ Parametric P-M2-M3
☐ M3 ☐ P-M3
☐ M2-M3 ☒ P-M2-M3

Concrete Column Failure Condition
☐ Condition I - Flexure ☐ Condition IV - Development
☒ Condition II - Flexure/Shear
☐ Condition III - Shear

P and V Values From
☒ Case/Combo Gravity
☐ User Value V2 V3

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$
☒ From Current Design
☐ User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
☒ Drops Load After Point E
☐ Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Gambar 3.49 Input Data *Auto Hinges* ASCE 41-13 Pada *Concrete Coloums*

- Input **0,95** pada option **Relative Distance** dan klik **Add Hinge**, isikan data seperti terlihat pada **Gambar 3.50**. Lalu Klik **OK**

Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Auto P-M2-M3	0.05
Auto P-M2-M3	0.95

Add Hinge...
Modify/Show Auto Hinge...
Delete Hinge

Current Hinge Information
No hinge is currently selected

Options
☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
Number of Selected Frame Objects: 1
Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 2
All 2 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

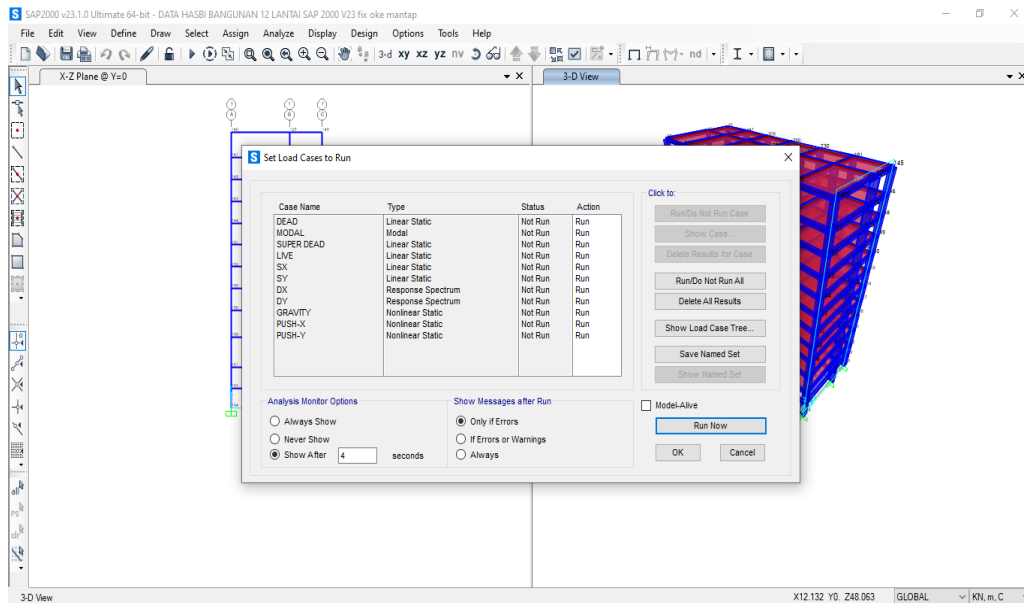
Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Close Apply

Gambar 3.50 Input *Hinge* Pada Kolom

3. Running Program

Untuk tahap terakhir barulah dilakukan running program, untuk run program dengan klik pada menu **Analyze – Run Analysis** atau tekan F5 dan akan muncul **boxes Set Load Cases to Run**



Gambar 3.51 Running Program



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

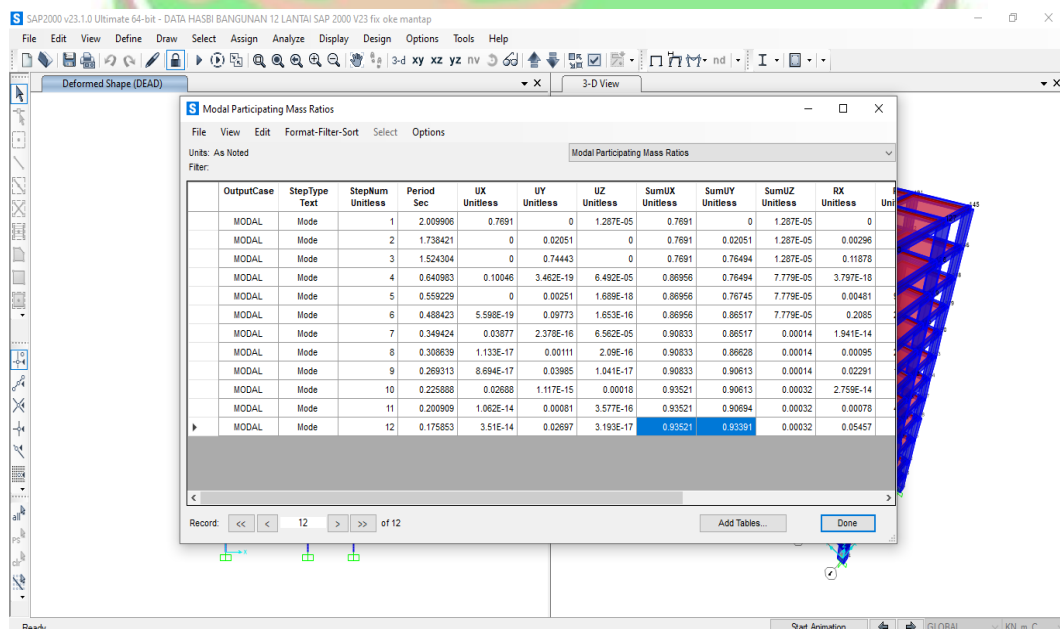
4.1 Hasil Pengecekan Struktur Bangunan 12 Lantai

Setelah pemodelan struktur dan pembebanan selesai digunakan, maka struktur di analisis dan perlu dicek terhadap standar dan persyaratan yang berlaku sebagai berikut.

4.1.1 Pemeriksaan Jumlah Ragam

Pada SNI 1726 : 2019 Pasal 7.9.1.1 disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Besarnya partisipasi Massa tersebut dapat diketahui dengan **Run – Display – Show Table** – maka akan muncul kotak dialog **Choose Tables for Display** pada option **Analysis Result** pilih **Structure Output – Modal Information – Table : Modal Participating Mass Ratios**. lihat kolom **SumUX & SumUY** seperti pada **Gambar 4.1**



OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
			Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.009906	0.7691	0	1.287E-05	0.7691	0	1.287E-05	0
MODAL	Mode	2	1.738421	0	0.02051	0	0.7691	0.02051	1.287E-05	0.00296
MODAL	Mode	3	1.524304	0	0.74443	0	0.7691	0.76494	1.287E-05	0.11878
MODAL	Mode	4	0.840983	0.10048	3.462E-19	6.492E-05	0.86956	0.76494	7.779E-05	3.797E-18
MODAL	Mode	5	0.559229	0	0.00251	1.689E-18	0.86956	0.76745	7.779E-05	0.00481
MODAL	Mode	6	0.488423	5.598E-19	0.09773	1.653E-16	0.86956	0.86517	7.779E-05	0.2085
MODAL	Mode	7	0.349424	0.03877	2.378E-16	6.582E-05	0.90833	0.86517	0.00014	1.941E-14
MODAL	Mode	8	0.308639	1.133E-17	0.00111	2.09E-16	0.90833	0.86628	0.00014	0.00095
MODAL	Mode	9	0.269313	8.694E-17	0.03885	1.041E-17	0.90833	0.90613	0.00014	0.02291
MODAL	Mode	10	0.225888	0.02688	1.117E-15	0.00018	0.93521	0.90613	0.00032	2.759E-14
MODAL	Mode	11	0.200909	1.062E-14	0.00081	3.577E-16	0.93521	0.90684	0.00032	0.00078
MODAL	Mode	12	0.175853	3.51E-14	0.02697	3.193E-17	0.93521	0.93391	0.00032	0.05457

Gambar 4.1 Jumlah Partisipasi Massa Ratios

Tabel 4.1 *Modal Participating Mass Ratios*

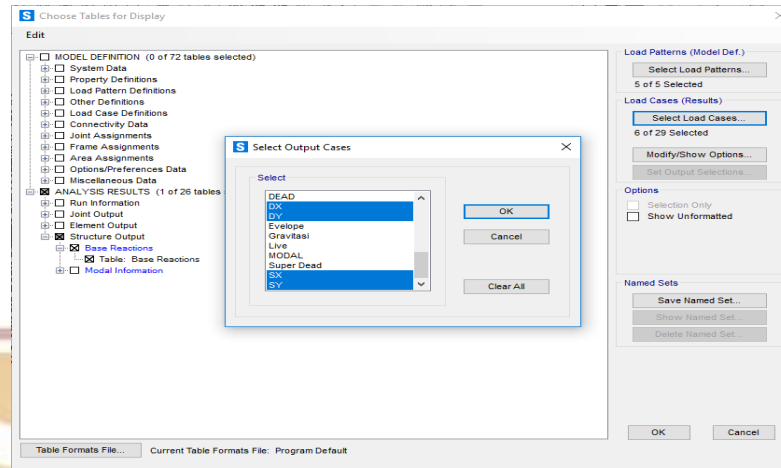
TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.009906	0.7691	0
MODAL	Mode	2	1.738421	0.7691	0.02051
MODAL	Mode	3	1.524304	0.7691	0.76494
MODAL	Mode	4	0.640983	0.86956	0.76494
MODAL	Mode	5	0.559229	0.86956	0.76745
MODAL	Mode	6	0.488423	0.86956	0.86517
MODAL	Mode	7	0.349424	0.90833	0.86517
MODAL	Mode	8	0.308639	0.90833	0.86628
MODAL	Mode	9	0.269313	0.90833	0.90613
MODAL	Mode	10	0.225888	0.93521	0.90613
MODAL	Mode	11	0.200909	0.93521	0.90694
MODAL	Mode	12	0.175853	0.93521	0.93391

Berdasarkan output diatas Jumlah Partisipasi Massa pada Mode 12 arah-x & arah-y sebesar 93%. telah memenuhi syarat yaitu sebesar 90% atau 0.9 dan sudah sesuai SNI 1726 : 2019 Pasal 7.9.1.1.

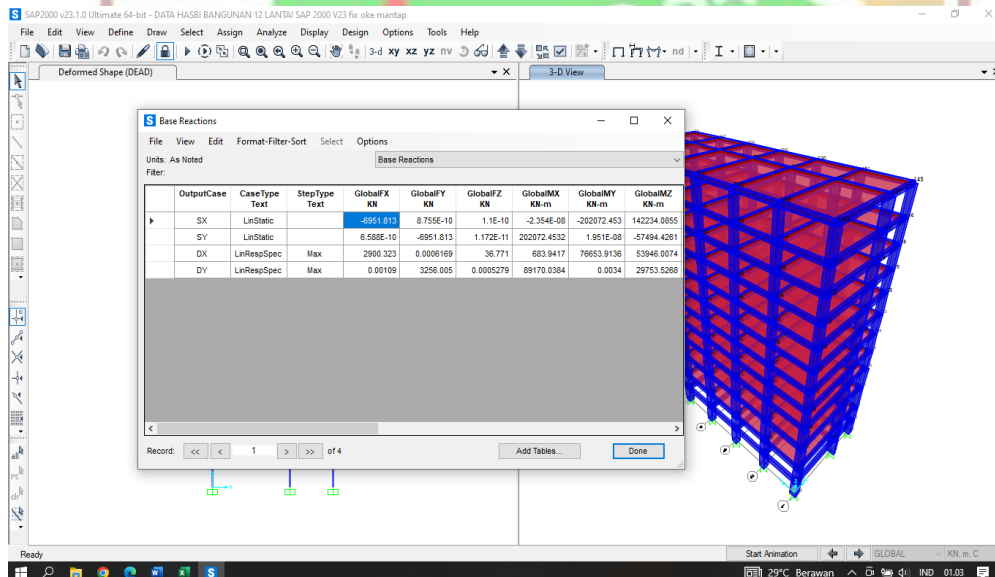
4.1.2 Perbandingan Geser Dasar V_{Statik} Vs V_{Dinamik}

Sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4 mengenai skala gaya, peraturan ini mengisyaratkan bahwa gaya geser dasar dinamik harus lebih besar dari 100 % gaya geser statik. Dirumuskan sebagai $V_D > 100\% V_s$. Bila hal tersebut tidak memenuhi maka perlu diberikan skala gaya pada model struktur gedung.

Untuk memeriksa apakah ketentuan tersebut sudah memenuhi oleh struktur yang dimodelkan, klik **Run – Display – Show Table**. pada option **Analysis Result** pilih **Structure Output – Base Reactions – Table : Base Reactions**. dan pada option **Load Cases (Results)** pilih **DX, DY, SX & SY**. seperti pada **Gambar 4.2** dan **Gambar 4.3**



Gambar 4.2 Seleksi *Load Case* Untuk Perhitungan Geser Dasar



Gambar 4.3 Output Geser

Tabel 4.2 Base Reactions

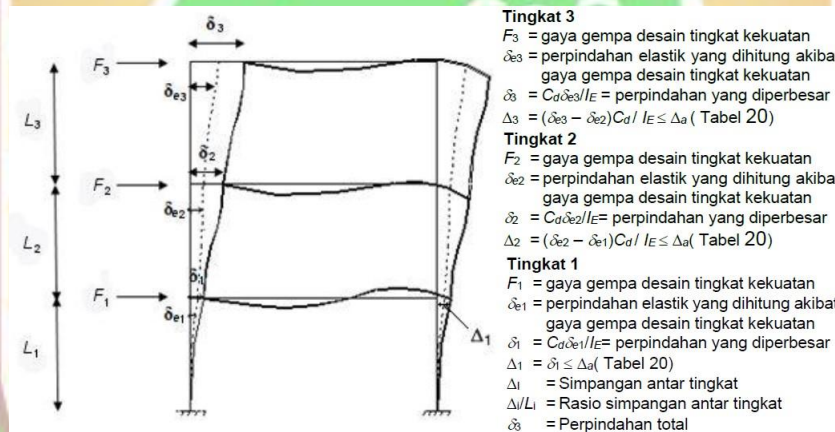
TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
SX	LinStatic		-6951.813	8.755E-10
SY	LinStatic		6.588E-10	-6951.813
DX	LinRespSpec	Max	2900.323	0.0006169
DY	LinRespSpec	Max	0.00109	3256.005

Tabel 4.3 Hasil Penjumlahan Geser Dasar Untuk Masing-Masing Gempa

Geser Dasar	Dinamik (V_D) (kN)	Statik (V_S) (kN)	Faktor Skala V_S/V_D
X - Direction	2900.323	6951.813	2.396
Y - Direction	3256.005	6951.813	2.135

4.1.3 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 Penentuan simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau seperti pada **Gambar 4.4**



Gambar 4.4 Penentuan Simpangan Antar Lantai
(Sumber Gambar 10, SNI 1726:2019)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.12.1. Simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin seperti didapatkan dari **Tabel 4.4**

Tabel 4.4 Simpangan Antar Tingkat Izin (Sumber Tabel 20 SNI 1726 : 2019)

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

Untuk sistem rangka pemikul momen pada struktur yang didesain KDS D dengan kategori resiko I maka simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi Δ_a/ρ untuk semua tingkat. Jadi simpangan antar lantai ditentukan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta_x = \frac{\delta \delta x Cd}{I} < \Delta_a \longrightarrow \Delta_a = \frac{0,025 hx}{\rho} \quad (4-1)$$

Keterangan :

Δ_x = simpangan antar lantai

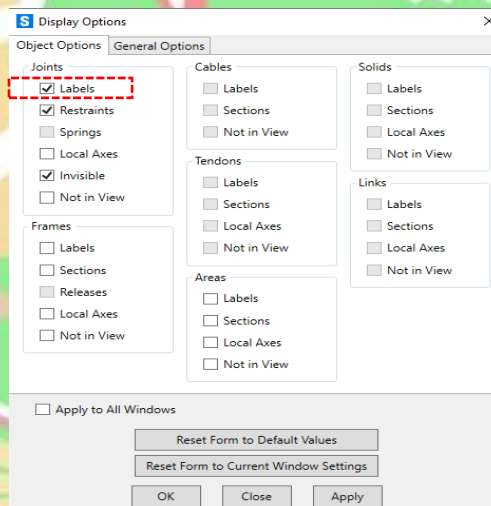
Δ_a = simpangan Ijin

δ = defleksi yang terjadi

I = faktor keutamaan gempu

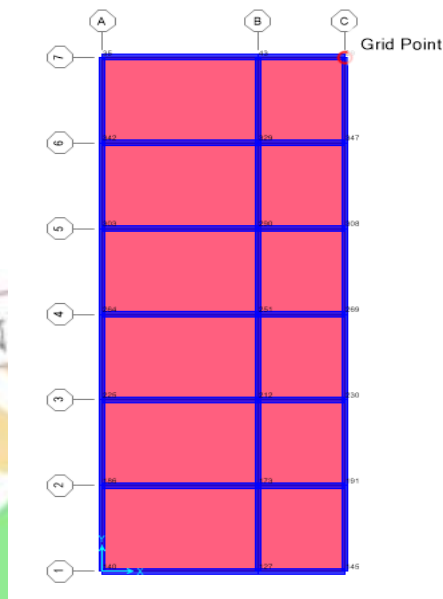
Cd = Faktor pembesaran defleksi

Sebelum melihat defleksi yang terjadi, terlebih dahulu menampilkan nomor joint pada struktur, dengan cara pilih menu **View – Set Display Options** pada option **Joints** pilih **Labels** seperti pada **Gambar 4.5**



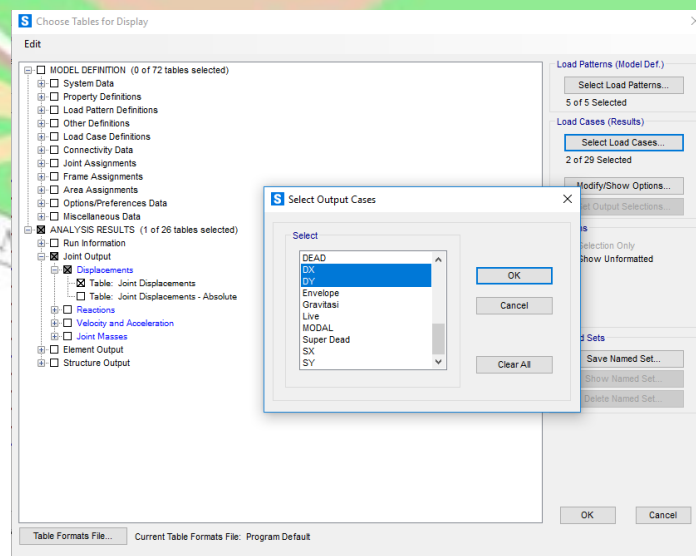
Gambar 4.5 Set Display Options

Pada masing-masing lantai akan keluar *joint* seperti pada **Gambar 4.6** dan pilih *joint* yang akan ditinjau (pada contoh ini dipilih *joint* dan klik pada pojok kanan atas sampai lantai bawah).

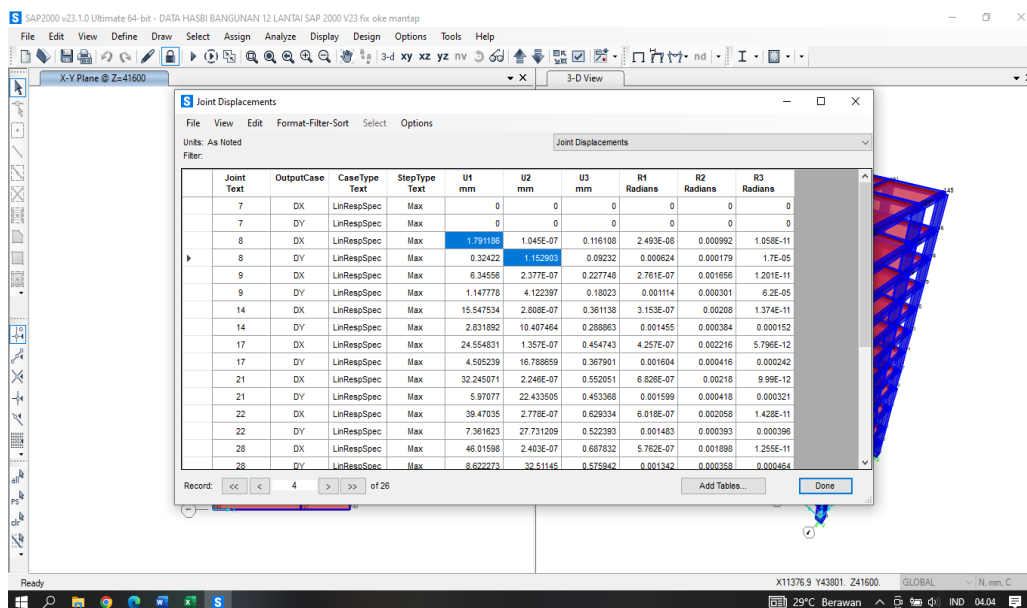


Gambar 4.6 Titik Lokasi *Joint* Label Yang Ditinjau

Untuk melihat defleksi yang terjadi, dengan terlebih dahulu mengganti satuan jarak menjadi mm. klik **Run – Display – Show Table** Pada *option Analysis Result* pilih **Joint Output – Displacements – Table : Joint Displacements**. dan pada *option LoadCases (Results)* pilih **DX & DY**. Seperti pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8**



Gambar 4.7 Pilihan Untuk Menampilkan Defleksi



Gambar 4.8 Tabel *Joint Displacements*

Tabel 4.4 *Joint Displacement*

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	mm	mm
7	DX	LinRespSpec	Max	0	0
7	DY	LinRespSpec	Max	0	0
8	DX	LinRespSpec	Max	1.791186	1.045E-07
8	DY	LinRespSpec	Max	0.32422	1.152903
9	DX	LinRespSpec	Max	6.34556	2.377E-07
9	DY	LinRespSpec	Max	1.147778	4.122397
14	DX	LinRespSpec	Max	15.547534	2.808E-07
14	DY	LinRespSpec	Max	2.831892	10.407464
17	DX	LinRespSpec	Max	24.554831	1.357E-07
17	DY	LinRespSpec	Max	4.505239	16.788659
21	DX	LinRespSpec	Max	32.245071	2.246E-07
21	DY	LinRespSpec	Max	5.97077	22.433505
22	DX	LinRespSpec	Max	39.47035	2.778E-07
22	DY	LinRespSpec	Max	7.361623	27.731209
28	DX	LinRespSpec	Max	46.01598	2.403E-07
28	DY	LinRespSpec	Max	8.622273	32.51145
29	DX	LinRespSpec	Max	51.776933	7.111E-08
29	DY	LinRespSpec	Max	9.723864	36.674789
36	DX	LinRespSpec	Max	56.66946	2.588E-07
36	DY	LinRespSpec	Max	10.645728	40.146277
37	DX	LinRespSpec	Max	60.623574	2.294E-07
37	DY	LinRespSpec	Max	11.37339	42.871005

38	DX	LinRespSpec	Max	63.646482	6.377E-08
38	DY	LinRespSpec	Max	11.908872	44.849179
39	DX	LinRespSpec	Max	66.305948	3.815E-07
39	DY	LinRespSpec	Max	12.352213	46.420532

Berikut contoh perhitungan simpangan di lantai atap arah-x :

$$\text{Joint 39 } \delta_2 = 66,305948 \text{ mm}$$

$$\text{Joint 38 } \delta_1 = 63,646482 \text{ mm}$$

$$\text{Dengan } I = 1, \rho = 1$$

$$\text{Dan } Cd = 5,5, h \text{ atap} = 3800 \text{ mm}$$

$$\Delta_X = \frac{\delta \delta \times Cd}{I} < \Delta_a \longrightarrow \Delta_a = \frac{0,025 \times h \times \rho}{\rho}$$

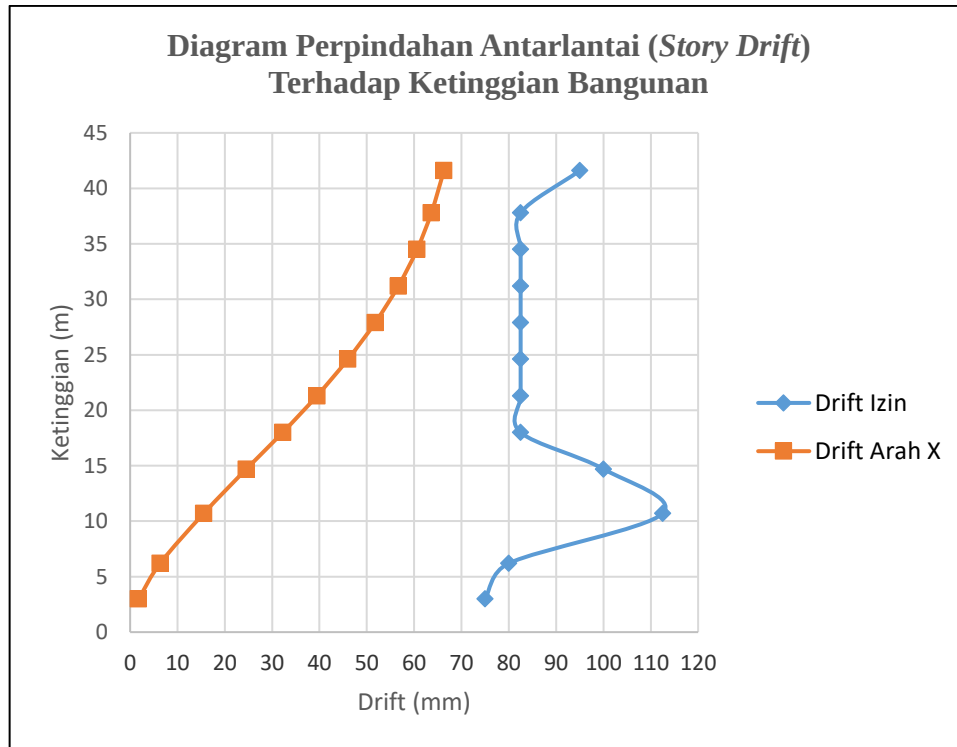
$$\Delta_X = \frac{66,305948 - 63,646482 \times 5,5}{1} < \Delta_a, \Delta_a = \frac{0,025 \times 3800}{1} = 95 \text{ mm}$$

$$\Delta_X = 14,627063 \text{ mm} < 95 \text{ mm} \longrightarrow \text{OK (memenuhi syarat)}$$

Untuk perhitungan lantai berikutnya dapat dilihat pada **Tabel 4.5 – Tabel 4.6**

Tabel 4.5 Simpangan Lantai Arah-X (Δ_x)

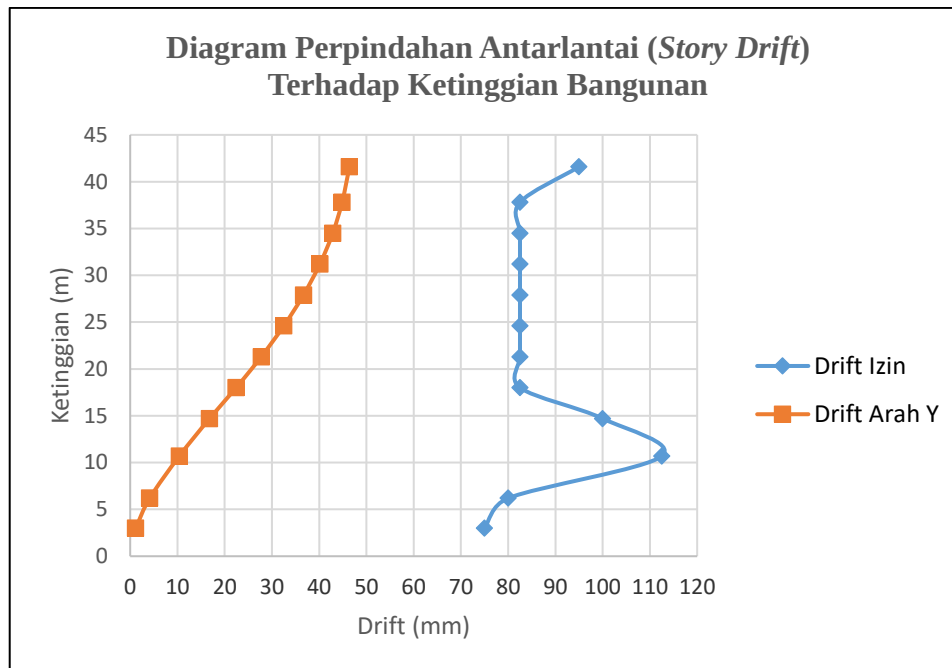
Lantai	Join	Hsx (mm)	δ_x (mm)	$\Delta_a(\text{izin})$ (mm)	Δ_x (mm)	KET
Atap	39	3800	66.30595	95	14.627063	AMAN
11	38	3300	63.64648	82.5	16.625994	AMAN
10	37	3300	60.62357	82.5	21.747627	AMAN
9	36	3300	56.66946	82.5	26.908899	AMAN
8	29	3300	51.77693	82.5	31.685242	AMAN
7	28	3300	46.01598	82.5	36.000965	AMAN
6	22	3300	39.47035	82.5	39.739035	AMAN
5	21	3300	32.24507	82.5	42.29632	AMAN
4	17	4000	24.55483	100	49.540134	AMAN
3	14	4500	15.54753	112.5	50.610857	AMAN
2	9	3200	6.34556	80	25.049057	AMAN
1	8	3000	1.791186	75	9.851523	AMAN



Gambar 4.9 Simpangan Lantai (Story Drift) Arah-X

Tabel 4.6 Simpangan Lantai Arah-Y (Δy)

Lantai	Join	Hsx (mm)	δy (mm)	$\Delta a(\text{izin})$ (mm)	Δy (mm)	KET
Atap	39	3800	46.42053	95	8.6424415	AMAN
11	38	3300	44.84918	82.5	10.879957	AMAN
10	37	3300	42.87101	82.5	14.986004	AMAN
9	36	3300	40.14628	82.5	19.093184	AMAN
8	29	3300	36.67479	82.5	22.898365	AMAN
7	28	3300	32.51145	82.5	26.291326	AMAN
6	22	3300	27.73121	82.5	29.137372	AMAN
5	21	3300	22.43351	82.5	31.046653	AMAN
4	17	4000	16.78866	100	35.096573	AMAN
3	14	4500	10.40746	112.5	34.567869	AMAN
2	9	3200	4.122397	80	16.332217	AMAN
1	8	3000	1.152903	75	6.3409665	AMAN



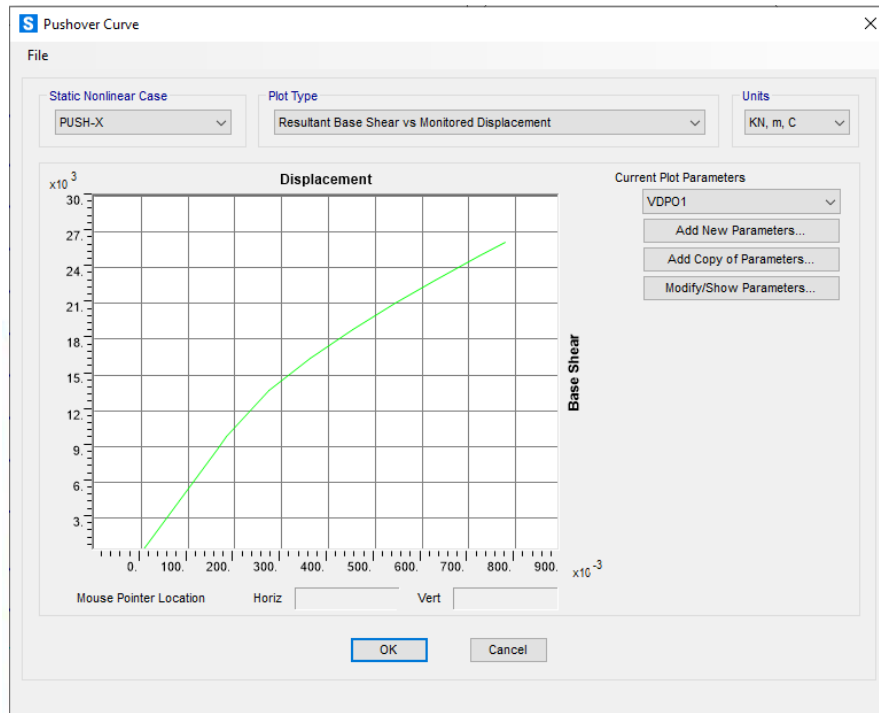
Gambar 4.10 Simpangan Lantai (*Story Drift*) Arah-Y

4.2 Analisis Statik Nonlinier (*Pushover Analysis*)

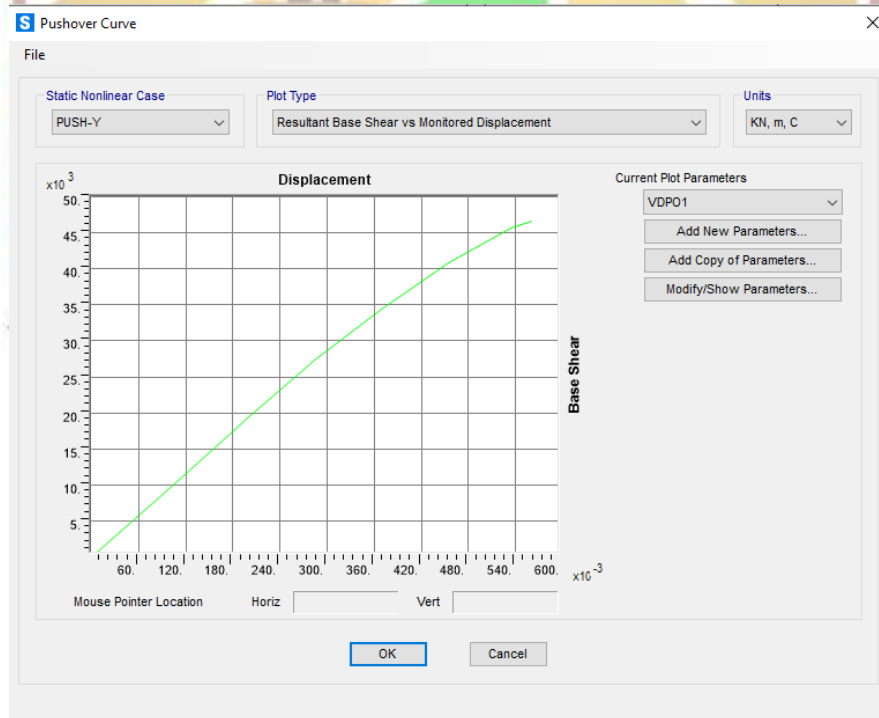
Dari hasil analisis *pushover*, maka akan didapatkan kurva kapasitas *pushover*, tingkatan kondisi plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur dan level kinerja struktur berdasarkan *Table 5.5.4 ATC-40*.

4.2.1 Menampilkan Kurva Kapasitas *Pushover*

- Klik menu **Display – Show Static Pushover Curve** maka akan muncul *boxes* baru.
- Pada option **Static Nonlinear Case** pilih **PUSH-X** (**Gambar 4.11**) untuk *pushover curve* arah x-x dan pilih **PUSH-Y** untuk *pushover curve* arah y-y (**Gambar 4.12**)



Gambar 4.11 *Pushover Curve x-x*



Gambar 4.12 *Pushover Curve y-y*

Untuk menampilkan plot-plot kurva *pushover* maka klik **File – Display Table**, maka akan muncul plot-plot gaya beserta perpindahannya untuk setiap beban dorong yang diberikan pada bangunan (**Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14**)

LoadCase Text	Step Unitless	Displacement	BaseForce KN	AtoB Unitless	BtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	BeyondE Unitless	AtoIO Unitless	IOtoLS Unitless	LStoCP Unitless	BeyondCP Unitless	Total Unitless
PUSH-X	0	-0.00246	0	1272	0	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-X	1	0.08074	4435.07	1272	0	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-X	2	0.16394	8872.862	1272	0	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-X	3	0.181874	9829.169	1261	11	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-X	4	0.272201	13658.823	1167	105	0	0	0	1244	28	0	0	1272
PUSH-X	5	0.360126	16424.749	1146	126	0	0	0	1200	70	0	2	1272
PUSH-X	6	0.451511	18816.599	1123	134	15	0	0	1160	100	10	2	1272
PUSH-X	7	0.541871	20990.091	1116	102	54	0	0	1139	83	9	41	1272
PUSH-X	8	0.626939	22975.863	1107	90	75	0	0	1130	66	12	64	1272
PUSH-X	9	0.721863	25015.333	1074	100	98	0	0	1130	37	12	93	1272
PUSH-X	10	0.776865	26121.066	1062	103	107	0	0	1123	36	13	100	1272

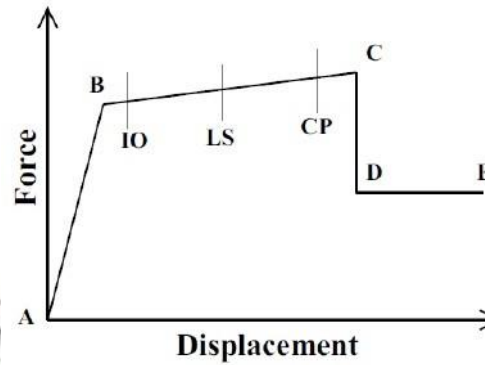
Gambar 4.13 Display Table Pushover Curve x-x

LoadCase Text	Step Unitless	Displacement	BaseForce KN	AtoB Unitless	BtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	BeyondE Unitless	AtoIO Unitless	IOtoLS Unitless	LStoCP Unitless	BeyondCP Unitless	Total Unitless
PUSH-Y	0	1.221E-16	0	1272	0	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-Y	1	0.0832	8059.342	1272	0	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-Y	2	0.1664	16118.689	1272	0	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-Y	3	0.198359	19214.495	1271	1	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-Y	4	0.283354	27321.56	1250	22	0	0	0	1272	0	0	0	1272
PUSH-Y	5	0.368905	34472.982	1225	47	0	0	0	1266	0	0	6	1272
PUSH-Y	6	0.454745	40915.337	1164	108	0	0	0	1246	14	1	11	1272
PUSH-Y	7	0.534348	45652.1	1080	191	1	0	0	1213	43	0	16	1272
PUSH-Y	8	0.560105	46546.267	1056	215	1	0	0	1191	63	0	18	1272

Gambar 4.14 Display Table Pushover Curve y-y

Dari hasil *running pushover analysis* dengan program SAP2000 Versi 23 untuk arah x-x didapatkan 10 Step pola beban dorong dan arah y-y didapatkan 8 Step pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan.

Tingkatan kondisi plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur dapat dilihat pada **Gambar 4.15**

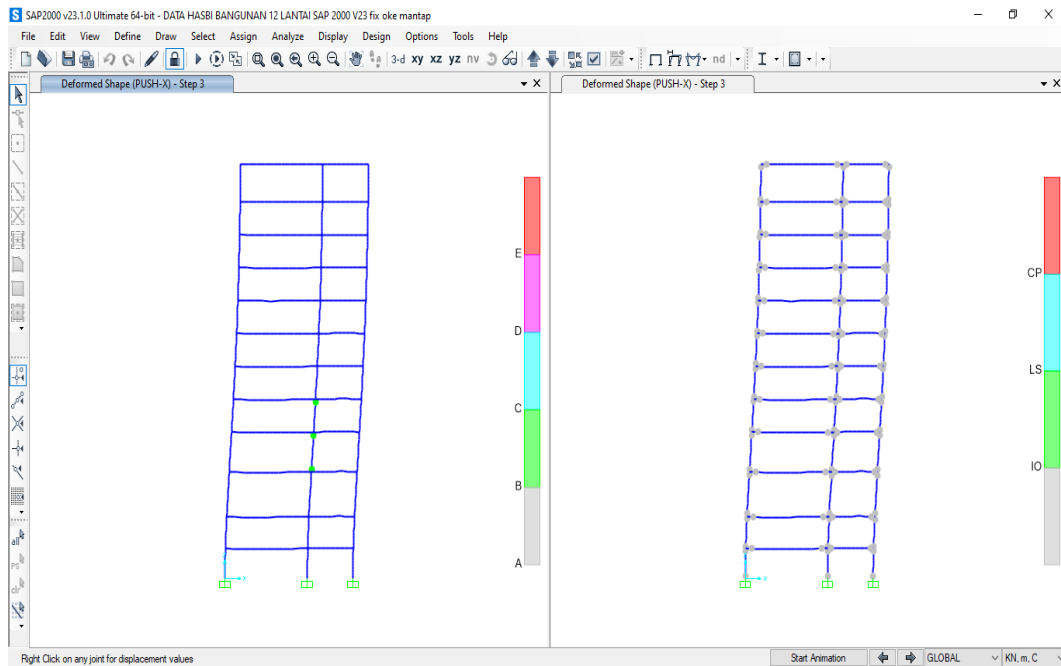


Gambar 4.15 Tingkat Plastifikasi Sendi Plastis Elemen

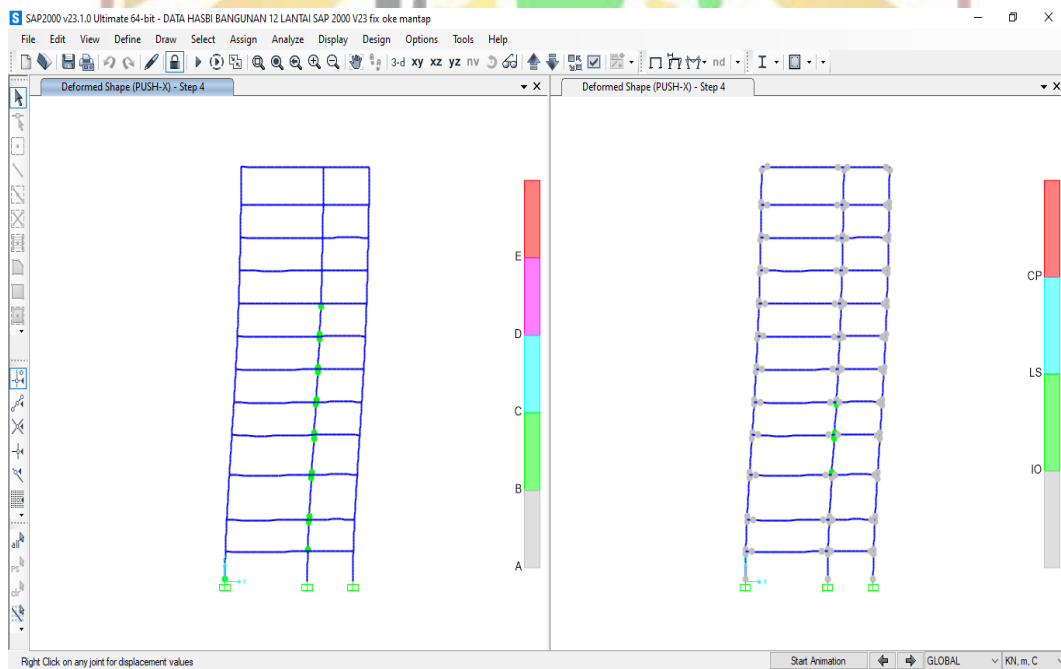
Dimana :

- A : Merupakan kondisi dimana belum ada pembebanan sehingga belum terjadi plastifikasi pada sendi plastis
- B : Merupakan kondisi dimana elemen mulai mengalami leleh yang pertama kali
- IO : Merupakan tahapan setelah leleh (plastis) dengan tingkat kinerja pada elemen *Immediately Occupancy*
- LS : Elemen pada level kinerja *Life Safety* (kondisi plastis)
- Cp : Elemen pada level kinerja *Collapse Prevention* (kondisi hampir runtuh)
- C : Merupakan kapasitas ultimit dari elemen
- D : Kekuatan sisa dari elemen
- E : Merupakan batas dimana elemen sudah mengalami keruntuhan

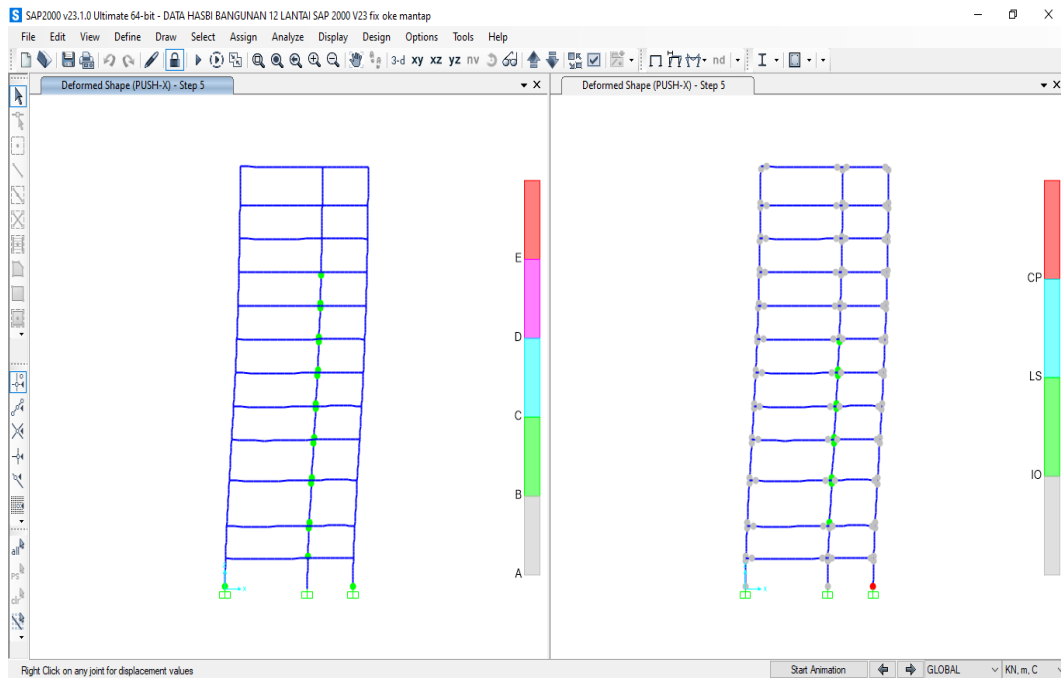
Berikut gambar lokasi terjadinya sendi plastis pada elemen struktur untuk beban dorong arah x-x sebagai berikut :



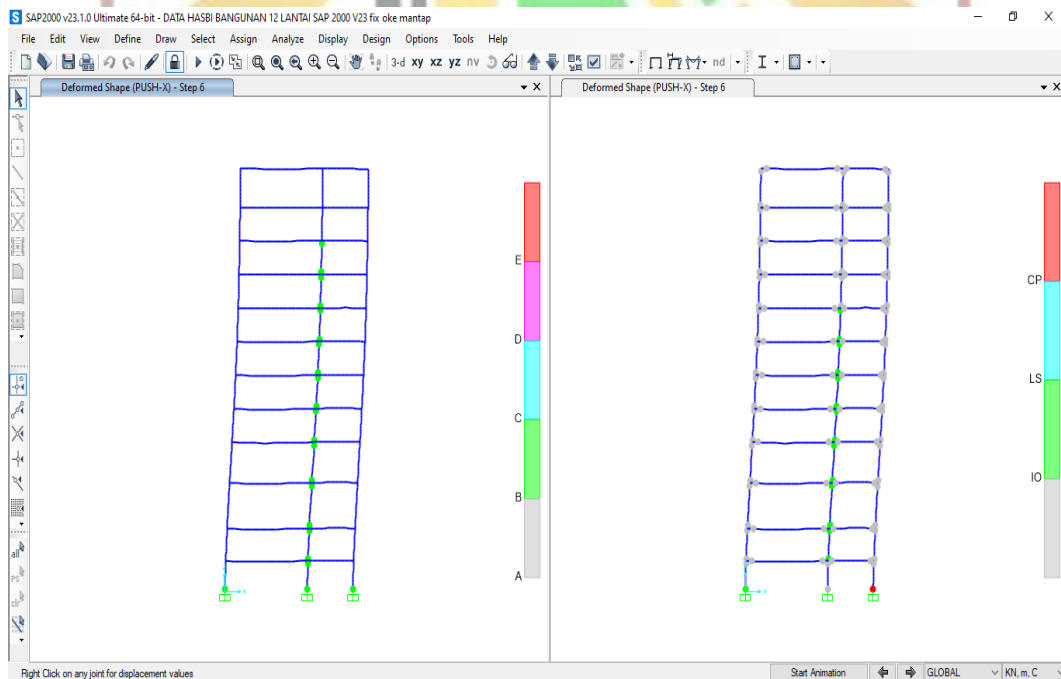
Gambar 4.16 Push-x Step 3



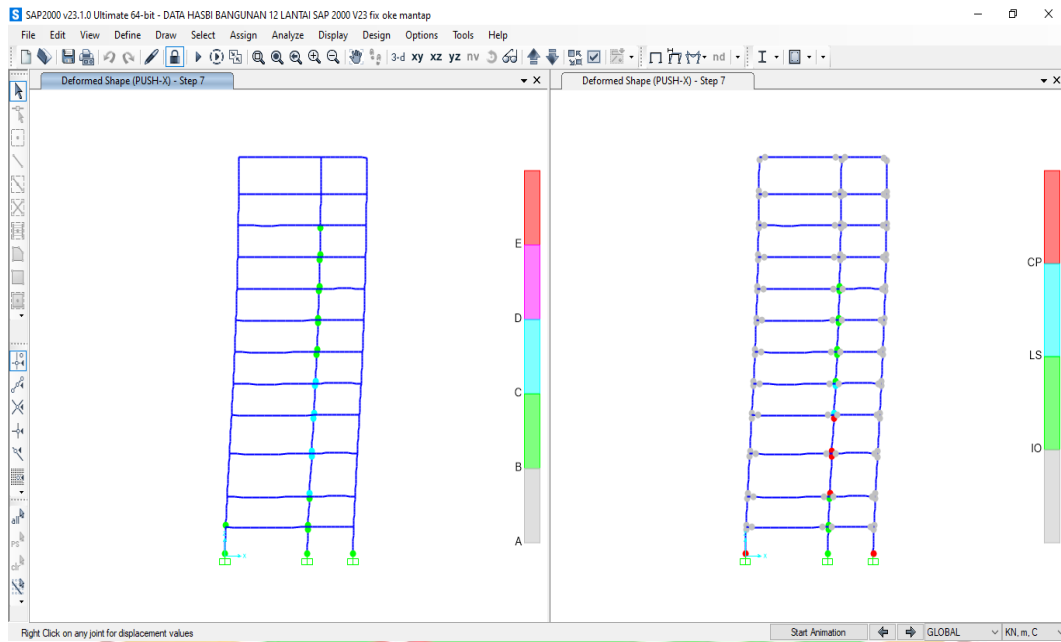
Gambar 4.17 Push-x Step 4



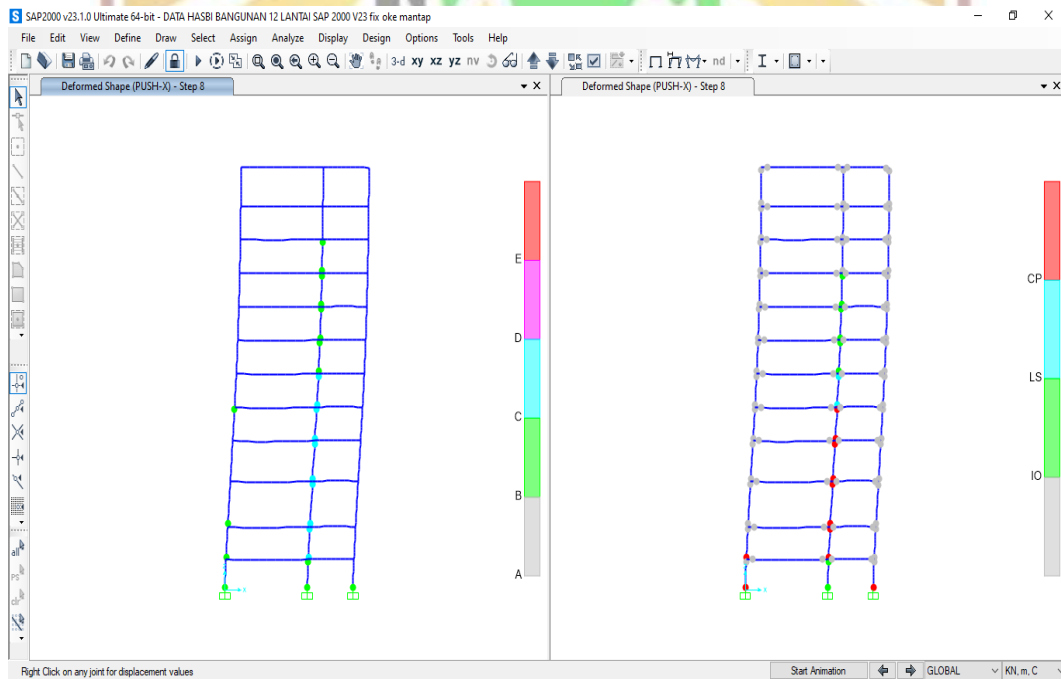
Gambar 4.18 Push-x Step 5



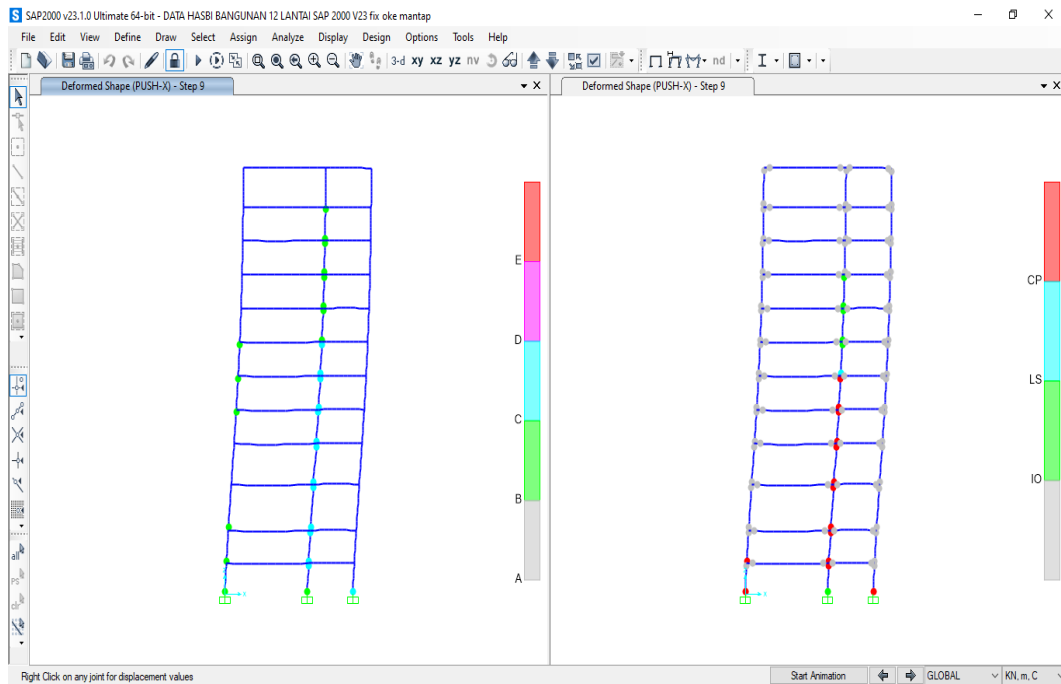
Gambar 4.19 Push-x Step 6



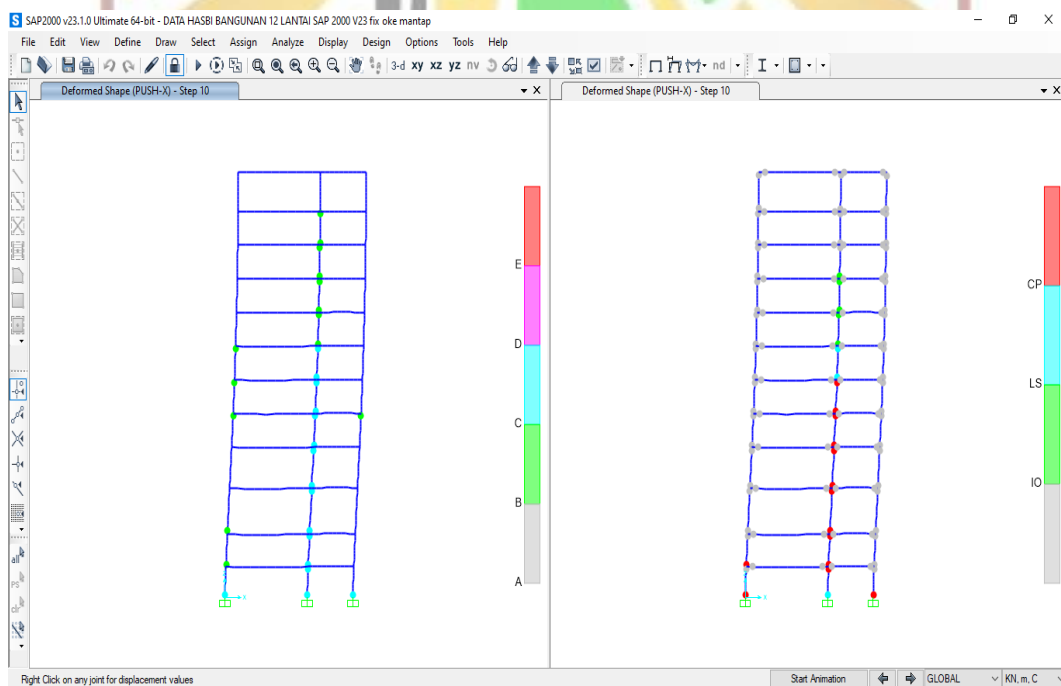
Gambar 4.20 Push-x Step 7



Gambar 4.21 Push-x Step 8

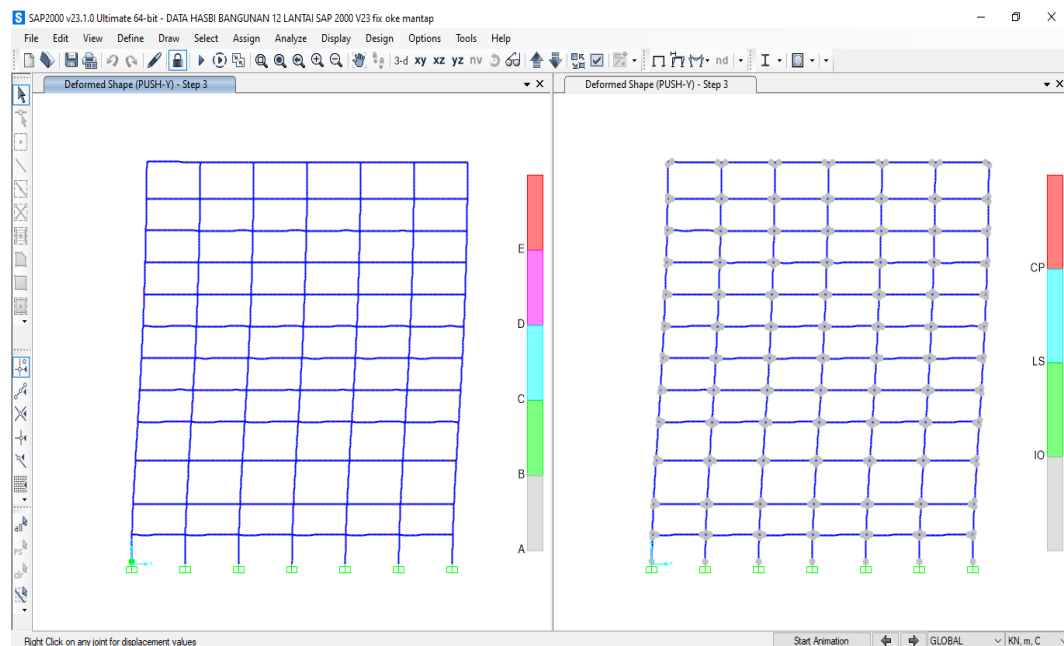


Gambar 4.22 Push-x Step 9

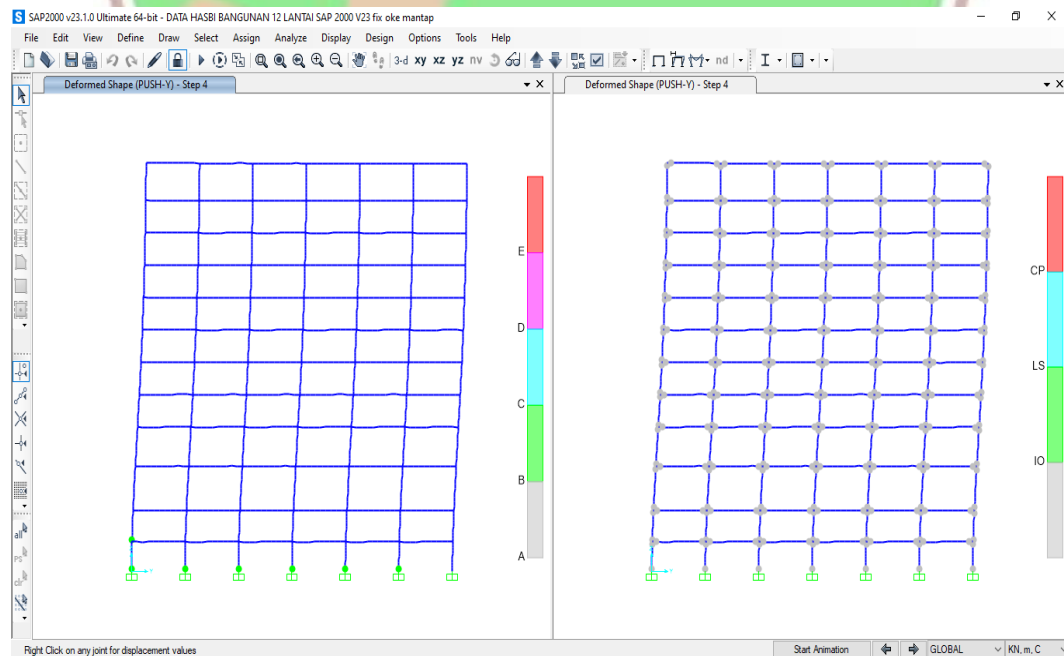


Gambar 4.23 Push-x Step 10

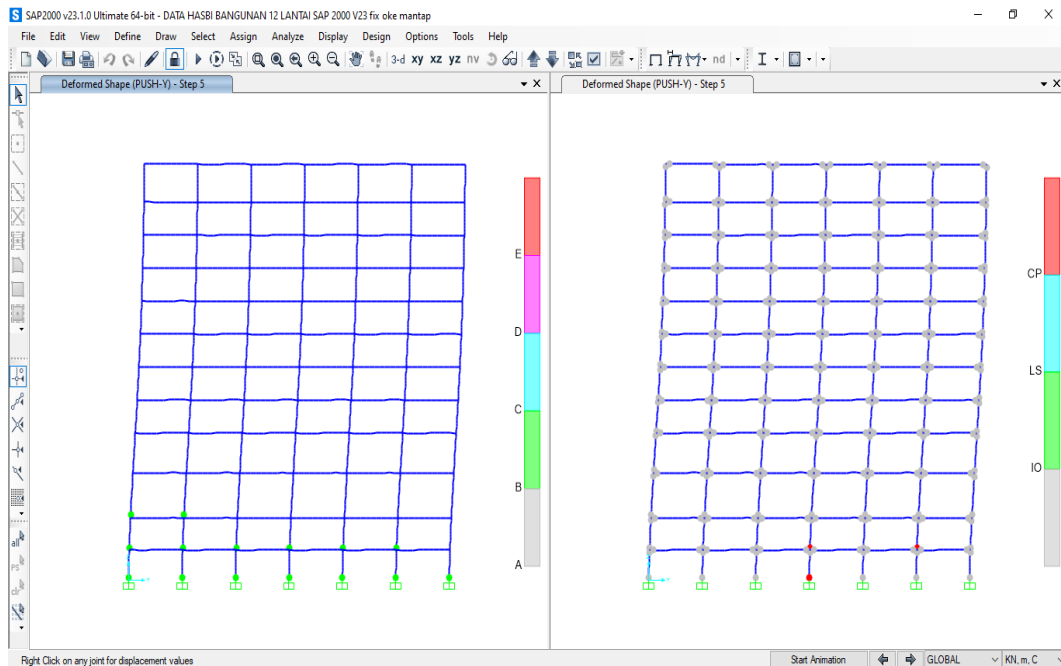
Selanjutnya berikut gambar lokasi terjadinya sendi plastis pada elemen struktur untuk beban dorong arah y-y sebagai berikut :



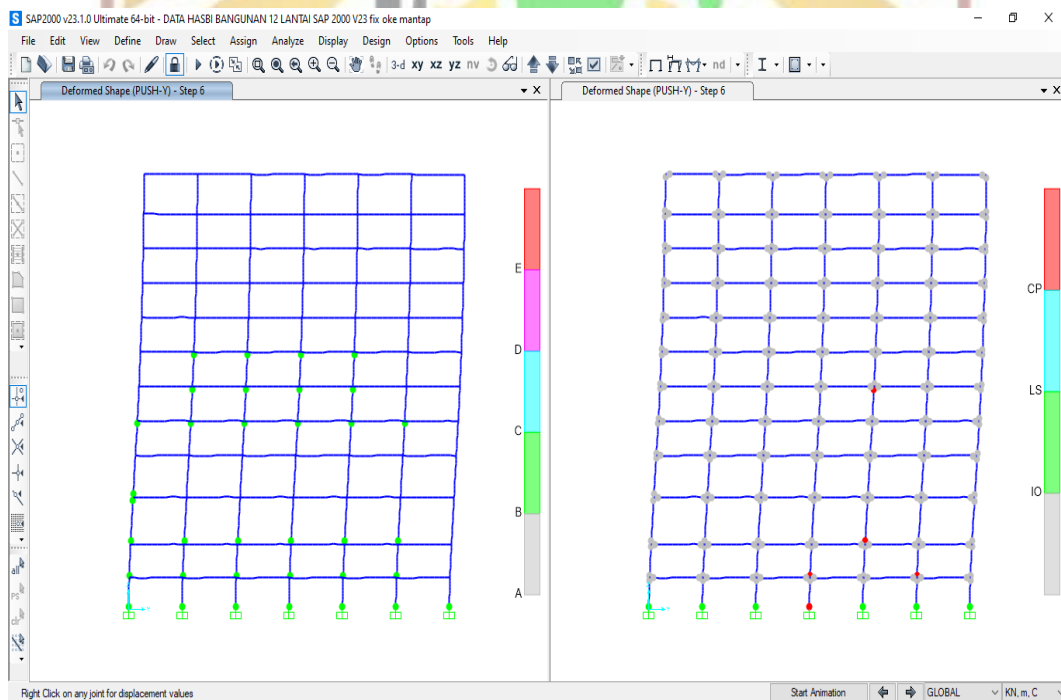
Gambar 4.24 Push-y Step 3



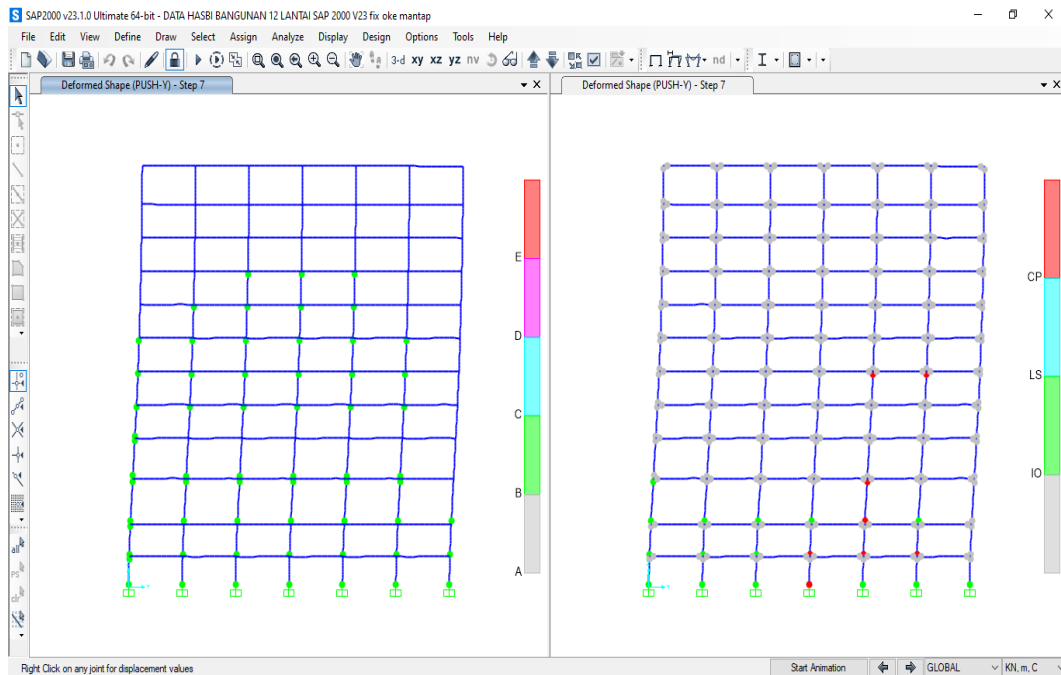
Gambar 4.25 Push-y Step 4



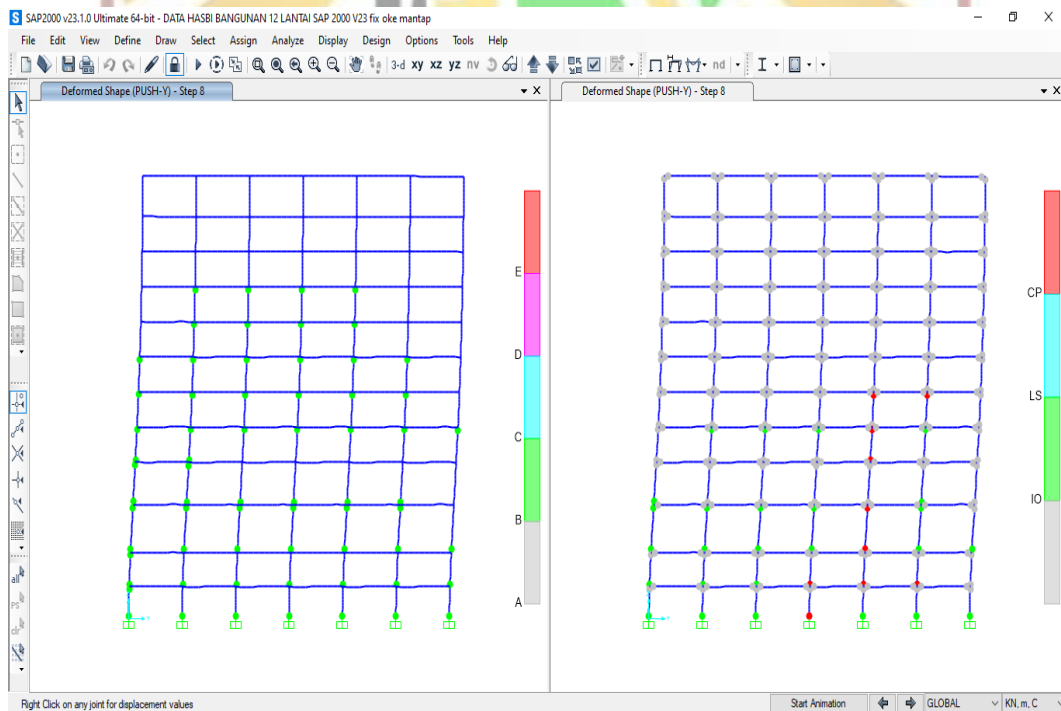
Gambar 4.26 Push-y Step 5



Gambar 4.27 Push-y Step 6



Gambar 4.28 Push-y Step 7



Gambar 4.29 Push-y Step 8

4.2.2 Level Kinerja Struktur

Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan Table 5.5.4 ATC-40. Level kinerja struktur secara global dapat ditentukan berdasarkan rasio nilai perpindahan atap saat *performance point* dengan tinggi total bangunan. Sesuai ATC-40 level kinerja struktur secara keseluruhan dapat ditentukan melalui tabel berikut :

Tabel 4.7 Batas Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996 11-4)

Tingkat Kinerja Struktur				
Batas Simpangan Antar Lantai	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i/P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	No Limit	No Limit

Untuk memperoleh rasio nilai perpindahan atap saat *performance point* dapat dilakukan dengan cara,

- Klik **menu Display – Show Static Pushover Curve**, pada **option Plot Type** pilih **ATC-40 Capacity Spectrum** dan klik **Modify/Show Parameter** dan input nilai C_A dan C_V (**Gambar 4.30**)
- Berdasarkan SNI 1726:2019 respon gempa untuk wilayah Padang untuk tanah sedang diketahui:
Parameter respon percepatan pada periode 0,2 dt, $S_{MS} = 1,18095 \text{ g}$
Parameter respon percepatan pada periode 1,0 dt, $S_{M1} = 0,990 \text{ g}$
Selanjutnya berdasarkan ATC-40 pasal 4.4.3.1 dapat dihitung parameter nilai C_A dan C_V sebagai berikut;

$$C_A = 0,4 S_{MS} = 0,4 \times 1,18095 = 0,4151 \text{ g}$$

$$C_V = S_{M1} = 0,990 \text{ g}$$

Parameters For ATC-40 Capacity Spectrum

Pushover Parameters Name
Name: A40PO1
Units: KN, m, C

Plot Axes
☒ Sa - Sd ☐ Sa - T ☐ Sd - T
 Axis Labels and Range: Set Axis Data...

Demand Spectrum Definition
☐ Function ☒ User Coeffs
 Ca: 0.4724 Cv: 0.99

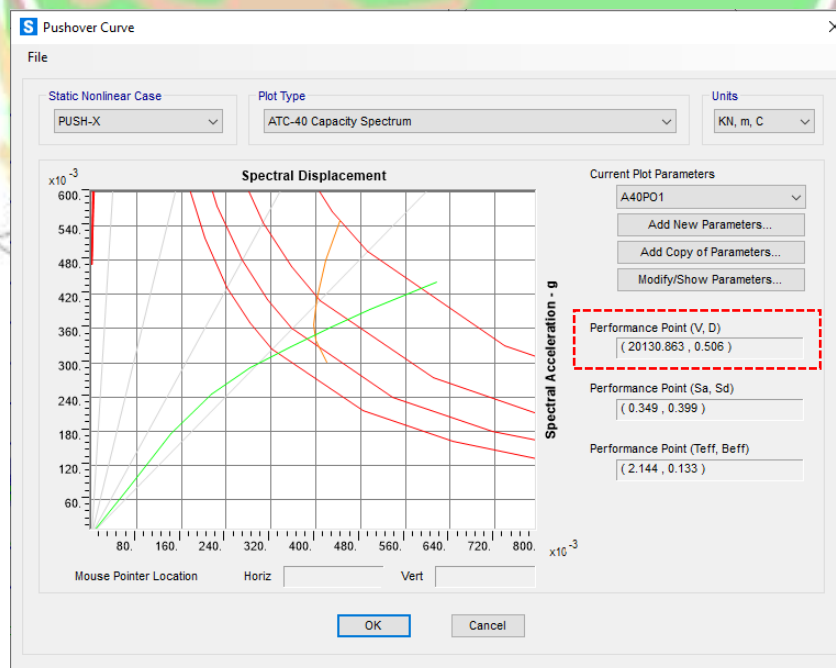
Damping Parameters Definition
 Inherent + Additional Damping: 0.05
 Structural Behavior Type: ☒ A ☒ B ☐ C ☐ User

Items Visible On Plot
☒ Show Capacity Curve Color: [Green]
☒ Show Family of Demand Spectra Color: [Red]
 Damping Ratios: 0.05 0.1 0.15 0.2
☒ Show Single Demand Spectrum (ADRS) (Variable Damping) Color: [Yellow]
☒ Show Constant Period Lines at: 0.5 1. 1.5 2. Color: [Grey]

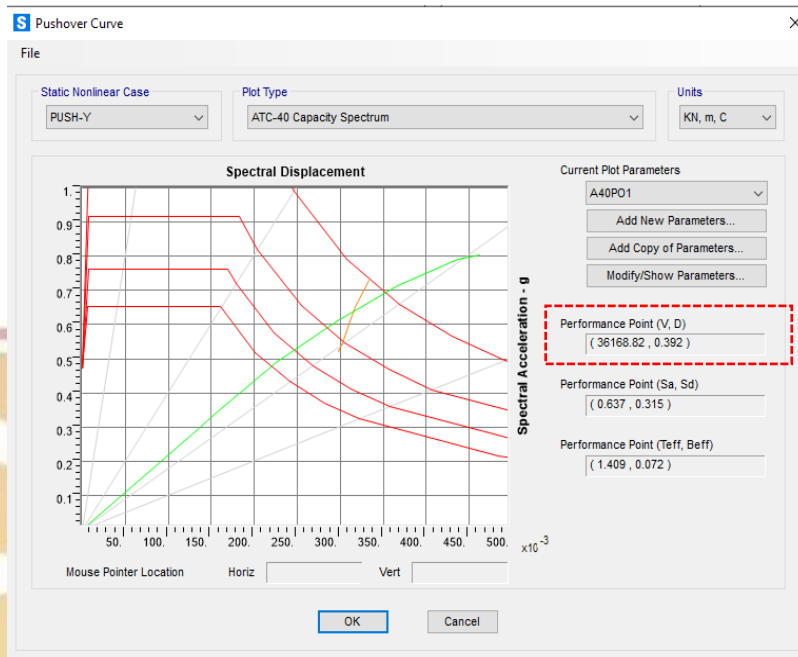
Reset Default Colors Update Plot OK Cancel

Gambar 4.30 Input Parameter Kapasitas Spektra ATC-40

Hasil dari spektrum kapasitas dari masing-masing arah baik arah-x maupun arah-y dapat dilihat pada **Gambar 4.31** dan **Gambar 4.32**



Gambar 4.31 Spektrum Kapasitas Arah x-x



Gambar 4.32 Spektrum Kapasitas Arah y-y

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja parameter yang diperlukan adalah nilai perpindahan atap saat *performance point* dan nilai perpindahan atap saat *first yield* (beban dorong ke-3) dimana tinggi total bangunan = 41,6 m

- Simpangan Total Maksimum

$$\text{Arah } x - x = \frac{D_{tx}}{H_{total}} = \frac{0,506 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0121 \dots\dots\dots (\text{Damage Control})$$

$$\text{Arah } y - y = \frac{D_{ty}}{H_{total}} = \frac{0,392 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0094 = 0,01 \dots\dots\dots (\text{Immediate Ocupancy})$$

- Simpangan Inelastis Maksimum

$$\text{Arah } x - x = \frac{D_{tx} - D_3}{H_{total}} = \frac{0,506 \text{ m} - 0,181 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0078 \dots\dots\dots (\text{Damage Control})$$

$$\text{Arah } y - y = \frac{D_{ty} - D_3}{H_{total}} = \frac{0,392 \text{ m} - 0,198 \text{ m}}{41,6 \text{ m}} = 0,0046 = 0,005 \dots\dots (\text{Immediate Ocupancy})$$

Maka sesuai ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) untuk arah x-x yang berarti transisi antara *Immediate Ocupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Sedangkan struktur termasuk dalam level kategori *Immediate Ocupancy* (IO) untuk arah y-y. Maka dalam hal ini bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, bangunan juga dapat dipakai kembali ketika telah menerima beban gempa dan untuk resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

4.3 Analisis Kurva Fragilitas (*Fragility Curve*)

Persamaan kurva fragilitas dapat dinyatakan dengan:

$$P(DS/Sd) = \Phi \left(\frac{\ln(Sd) - \ln(\lambda)}{\beta} \right) \quad (4-1)$$

Dimana :

$P(Ds/Sd)$: fungsi probabilitas (*damage state*)

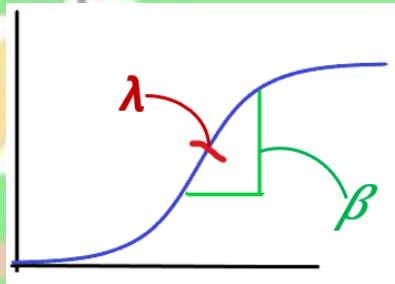
Φ : bentuk distribusi normal kumulatif

Sd : *spectral displacement*

λ : *median value*

β : standar deviasi

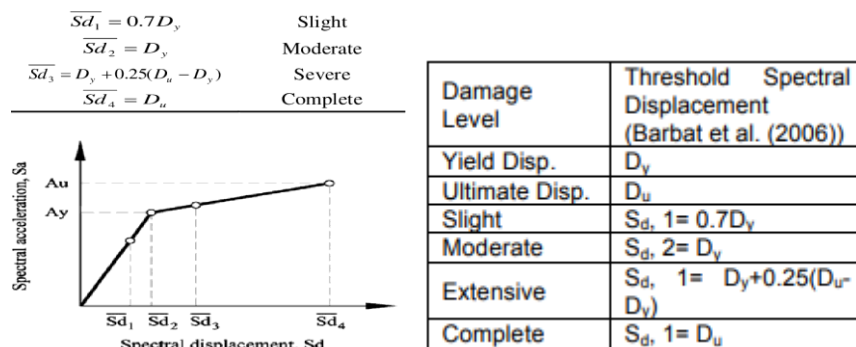
Didalam plot kurva fragilitas median (λ) dalam arti titik tengah/ *centre point* dan standar deviasi (β) dalam arti *variability* atau HAZUS value (**Gambar 4.33**).



Gambar 4.33 Plot kurva fragilitas

4.3.1 Menghitung Nilai Median (λ) / Perkiraan Nilai Tengah dari PO Analisis

Dari literatur penelitian sebelumnya yakni Barbat, Pujadas 2006 membagi 4 kondisi damage (**Gambar 4.34**)

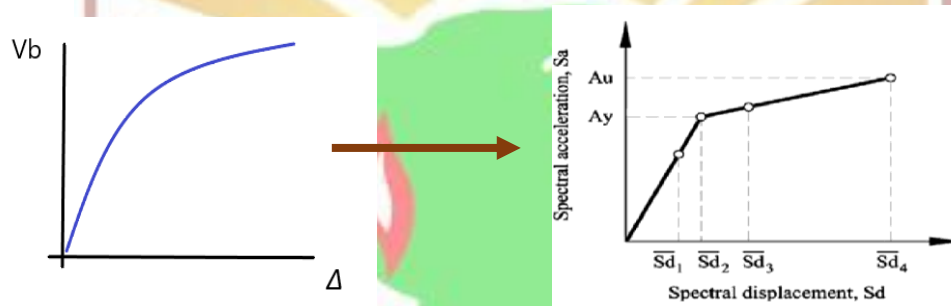


Gambar 4.34 Threshold Spectral Displacement (Barbat et al, 2006)

Didapat persamaan berbagai kondisi *damage* :

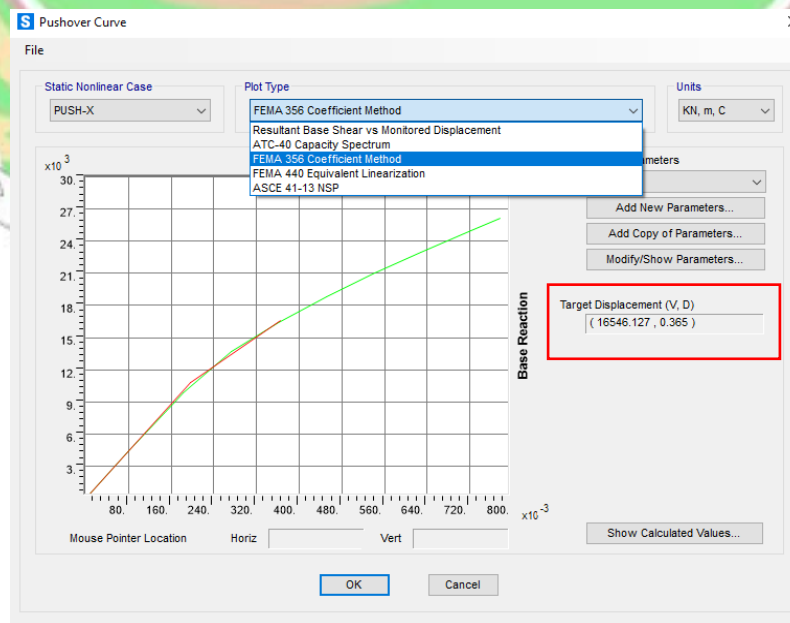
- *Slight* = $0,7 * D_y$
- *Moderate* = D_y
- *Extensive* = $D_y + 0,25 * (D_u - D_y)$
- *Collapse* = D_u

Selanjutnya kurva *pushover* yang dihasilkan harus diubah dulu dalam bentuk *bilinear* (**Gambar 4.35**)

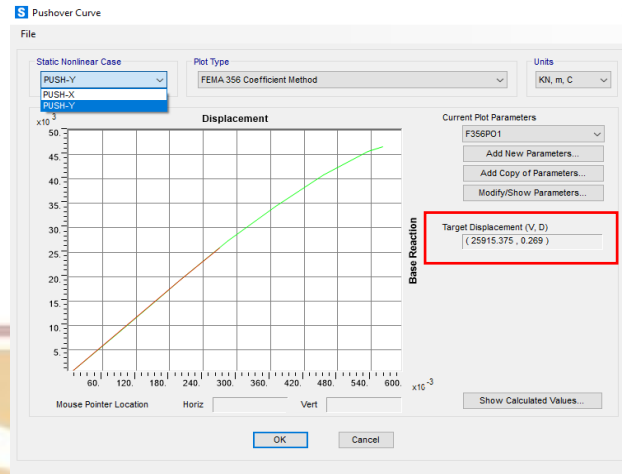


Gambar 4.35 Change Pushover Curve to Bilinear Curve

Untuk mengubahnya caranya bisa di konversikan menggunakan SAP 2000 V23 dari hasil kurva *Pushover* dengan plot type FEMA 356 baik *Pushover Curve* – X maupun *Pushover Curve* – Y (**Gambar 4.36 dan Gambar 4.37**)



Gambar 4.36 Kurva PUSH-X dengan plot type FEMA 356



Gambar 4.37 Kurva PUSH-Y dengan plot type FEMA 356

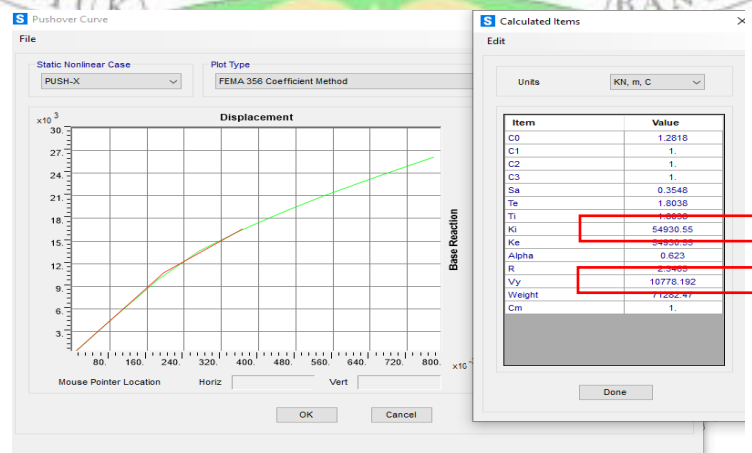
Dari hasil kurva *pushover* yang diperoleh dari program SAP2000 V23 , kita harus memperkirakan yakni 2 nilai terlebih dahulu :

1. Nilai pertama adalah *roof displacement at yield* / pada titik leleh pertama (Δy)
2. Nilai kedua adalah *roof displacement at ultimate* / pada titik leleh akhir (Δu)

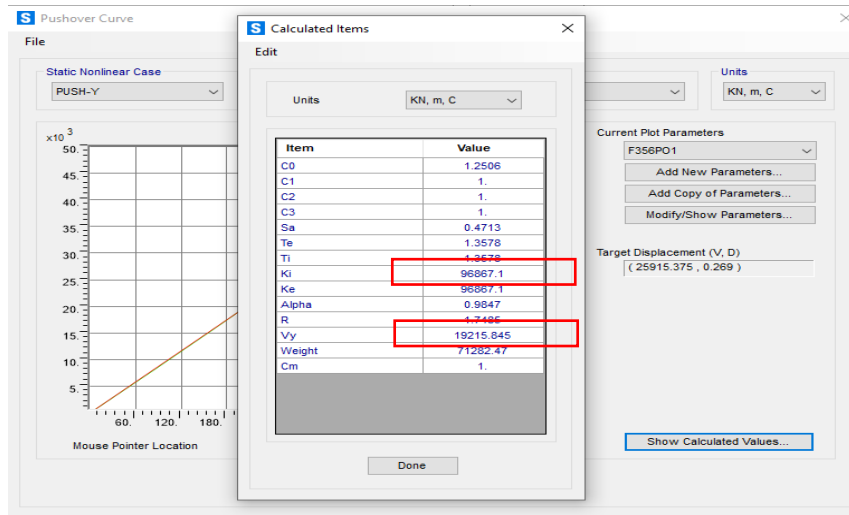
Untuk nilai Δu langsung dapat diketahui dari *display* kurva *pushover* SAP2000 V23 pada kolom target *displacement*.

- Arah X , $\Delta u = 0.365$ m
- Arah Y , $\Delta u = 0.269$ m

untuk nilai Δy secara akurat dapat dilakukan dengan beberapa parameter yaitu mengetahui nilai K_i (kekakuan garis ke1/segmen 1) dari hasil *calculated items* pada SAP2000 V23, dapat dilihat pada **Gambar 4.38 dan Gambar 4.39**



Gambar 4.38 Calculated Items PUSH-X



Gambar 4.39 *Calculated Items PUSH-Y*

Dalam hal ini nilai V_y dan K_i sudah bisa diketahui pada tabel *show calculated values* pada SAP2000 *display pushover*

- **Arah X**

$$K_i = 54930,55 \quad , \quad V_y = 10778,19$$

$$K = \frac{V_y}{\Delta y}$$

$$\Delta y = \frac{V_y}{K_i} = \frac{10778,19}{54930,55} = 0,196215$$

maka nilai $\Delta y = 0,196 \text{ m}$

Sehingga,

$$\text{Roof displacement at yield } (\Delta y) = 0,196 \text{ m}$$

$$\text{Roof displacement at ultimate } (\Delta u) = 0,365 \text{ m}$$

- **Arah Y**

$$K_i = 96867,1 \quad , \quad V_y = 19215,845$$

$$K = \frac{V_y}{\Delta y}$$

$$\Delta y = \frac{V_y}{K_i} = \frac{19215,845}{96867,1} = 0,198373$$

maka nilai $\Delta y = 0,198 \text{ m}$

Sehingga,

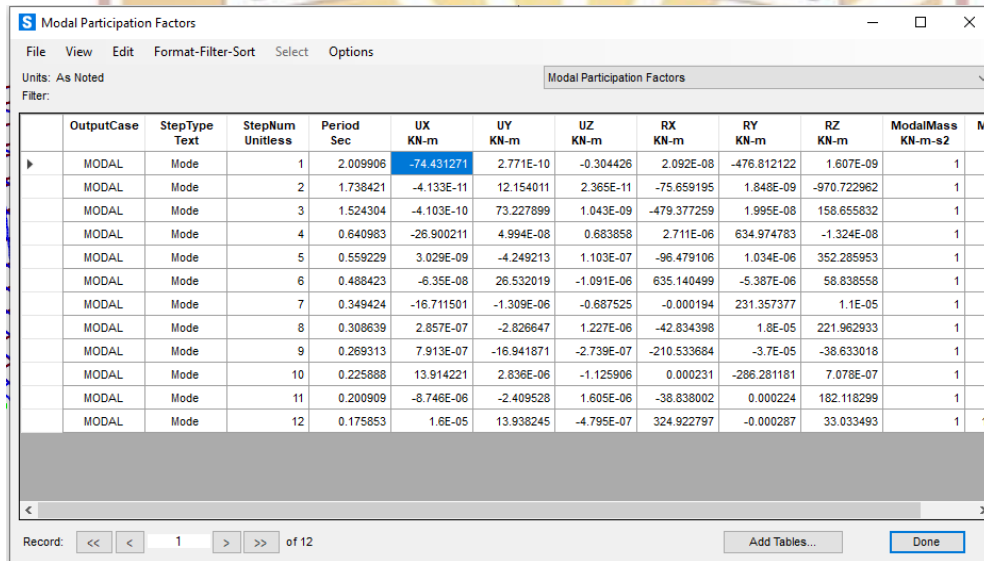
$$\text{Roof displacement at yield } (\Delta y) = 0,198 \text{ m}$$

$$\text{Roof displacement at ultimate } (\Delta u) = 0,269 \text{ m}$$

Setelah mendapat nilai Δy dan Δu , langkah selanjutnya mengubahnya menjadi perpindahan spektral dengan persamaan :

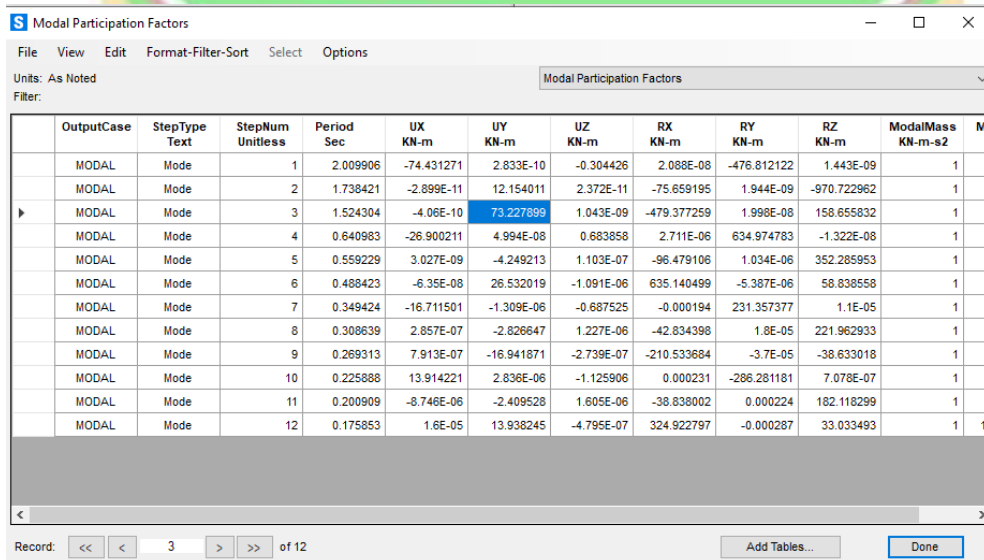
$$\text{Spectral Displacement} = \frac{\text{Roof displacement in first mode}}{1st \text{ Mode participation factor} \times 1st \text{ Mode modal displacement roof}}$$

Untuk nilai *1st mode participaton factor* bisa dilihat pada *show table* SAP2000 V23, *structure output modal information* — ambil UX untuk arah-x dan ambil UY untuk arah-y (**Gambar 4.40 dan Gambar 4.41**)



	OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	Mo
		Text	Unitless	Sec	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m-s2	
▶	MODAL	Mode	1	2.009906	-74.431271	2.771E-10	-0.304426	2.092E-08	-476.812122	1.607E-09	1	
	MODAL	Mode	2	1.738421	-4.133E-11	12.154011	2.365E-11	-75.659195	1.848E-09	-970.722962	1	
	MODAL	Mode	3	1.524304	-4.103E-10	73.227899	1.043E-09	-479.377259	1.995E-08	158.655832	1	
	MODAL	Mode	4	0.640983	-26.900211	4.994E-08	0.683858	2.711E-06	634.974783	-1.324E-08	1	
	MODAL	Mode	5	0.559229	3.029E-09	-4.249213	1.103E-07	-96.479106	1.034E-06	352.285953	1	
	MODAL	Mode	6	0.488423	-6.35E-08	26.532019	-1.091E-06	635.140499	-5.387E-06	58.838558	1	
	MODAL	Mode	7	0.349424	-16.711501	-1.309E-06	-0.687525	-0.000194	231.357377	1.1E-05	1	3
	MODAL	Mode	8	0.308639	2.857E-07	-2.826647	1.227E-06	-42.834398	1.8E-05	221.962933	1	4
	MODAL	Mode	9	0.269313	7.913E-07	-16.941871	-2.739E-07	-210.533684	-3.7E-05	-38.633018	1	5
	MODAL	Mode	10	0.225888	13.914221	2.836E-06	-1.125906	0.000231	-286.281181	7.078E-07	1	7
	MODAL	Mode	11	0.200909	-8.746E-06	-2.409528	1.605E-06	-38.838002	0.000224	182.118299	1	8
	MODAL	Mode	12	0.175853	1.6E-05	13.938245	-4.795E-07	324.922797	-0.000287	33.033493	1	12

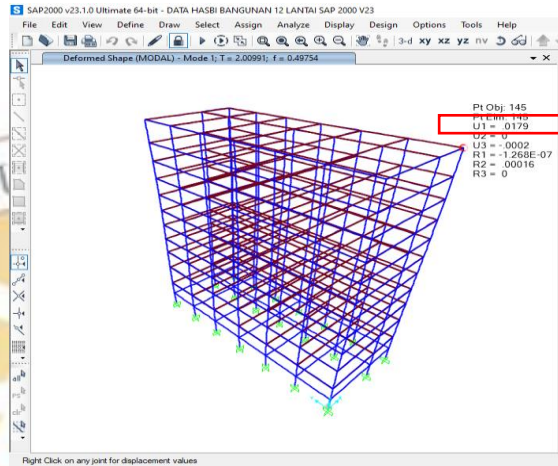
Gambar 4.40 Structure Output Modal Information Arah-X



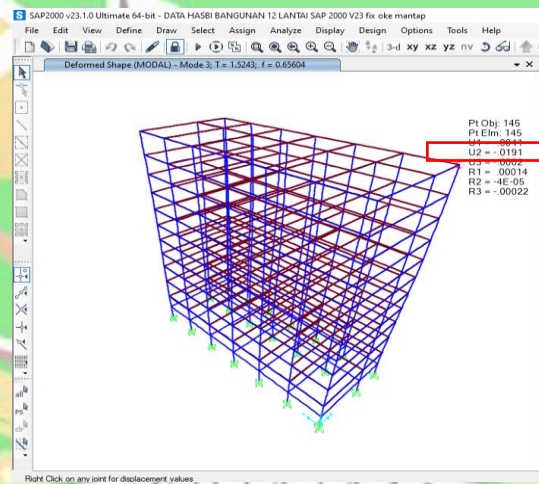
	OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	Mo
		Text	Unitless	Sec	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m-s2	
	MODAL	Mode	1	2.009906	-74.431271	2.833E-10	-0.304426	2.088E-08	-476.812122	1.443E-09	1	
	MODAL	Mode	2	1.738421	-2.899E-11	12.154011	2.372E-11	-75.659195	1.944E-09	-970.722962	1	
▶	MODAL	Mode	3	1.524304	-4.06E-10	73.227899	1.043E-09	-479.377259	1.998E-08	158.655832	1	
	MODAL	Mode	4	0.640983	-26.900211	4.994E-08	0.683858	2.711E-06	634.974783	-1.322E-08	1	
	MODAL	Mode	5	0.559229	3.027E-09	-4.249213	1.103E-07	-96.479106	1.034E-06	352.285953	1	
	MODAL	Mode	6	0.488423	-6.35E-08	26.532019	-1.091E-06	635.140499	-5.387E-06	58.838558	1	
	MODAL	Mode	7	0.349424	-16.711501	-1.309E-06	-0.687525	-0.000194	231.357377	1.1E-05	1	3
	MODAL	Mode	8	0.308639	2.857E-07	-2.826647	1.227E-06	-42.834398	1.8E-05	221.962933	1	4
	MODAL	Mode	9	0.269313	7.913E-07	-16.941871	-2.739E-07	-210.533684	-3.7E-05	-38.633018	1	5
	MODAL	Mode	10	0.225888	13.914221	2.836E-06	-1.125906	0.000231	-286.281181	7.078E-07	1	7
	MODAL	Mode	11	0.200909	-8.746E-06	-2.409528	1.605E-06	-38.838002	0.000224	182.118299	1	8
	MODAL	Mode	12	0.175853	1.6E-05	13.938245	-4.795E-07	324.922797	-0.000287	33.033493	1	12

Gambar 4.41 Structure Output Modal Information Arah-Y

Untuk nilai *1st mode modal displacement roof* bisa dilihat pada *Deformed Shape modal* pada SAP2000 V23 – ambil U1 untuk arah-x dan ambil U2 untuk arah-y (Gambar 4.42 dan Gambar 4.43)



Gambar 4.42 Deformed Shape modal Arah-X



Gambar 4.43 Deformed Shape modal Arah-Y

- **Arah X**

$$U_{x1} = 74,43 \quad , \quad U1 = 0,0179$$

$$D_y = \frac{\Delta y}{U_{x1} * U1} = \frac{0,196}{74,43 * 0,0179} = 0,147114345$$

$$D_u = \frac{\Delta u}{U_{x1} * U1} = \frac{0,365}{74,43 * 0,0179} = 0,27392938$$

Sehingga,

$$\text{Spectra displacement at Yield (Dy)} = 0,1471 \text{ m}$$

$$\text{Spectra displacement at Ultimate (Du)} = 0,2739 \text{ m}$$

- **Arah Y**

$$U_{y3} = 73,23 \quad , \quad U_2 = 0,0191$$

$$D_y = \frac{\Delta y}{U_{y3} * U_2} = \frac{0,198}{73,23 * 0,0191} = 0,141560728$$

$$D_u = \frac{\Delta u}{U_{y3} * U_2} = \frac{0,269}{73,23 * 0,0191} = 0,192322404$$

Sehingga,

$$\text{Spectra displacement at Yield (Dy)} = 0,1416 \text{ m}$$

$$\text{Spectra displacement at Ultimate (Du)} = 0,1923 \text{ m}$$

Setelah dapat nilai Dy dan Du maka dimasukkan ke rumus awal persamaan berbagai kondisi *damage* :

- **Arah X**

$$\text{Slight} = 0,7 * D_y$$

$$= 0,7 * 0,1471 = 0,1029$$

$$\text{Moderate} = D_y$$

$$= 0,1471$$

$$\text{Extensive} = D_y + 0,25 * (D_u - D_y)$$

$$= 0,1471 + 0,25 (0,2739 - 0,1471) = 0,1788$$

$$\text{Collapse} = 0,2739$$

- **Arah Y**

$$\text{Slight} = 0,7 * D_y$$

$$= 0,7 * 0,1416 = 0,0991$$

$$\text{Moderate} = D_y$$

$$= 0,1416$$

$$\text{Extensive} = D_y + 0,25 * (D_u - D_y)$$

$$= 0,1416 + 0,25 (0,1923 - 0,1416) = 0,1543$$

$$\text{Collapse} = 0,1923$$

4.3.2 Menghitung Nilai Standar Deviasi (β)

Nilai standar deviasi (β) dalam arti *variability* atau HAZUS value didapat dari Tabel 5.9a, HAZUS manual untuk Standar Deviasi yakni HAZUS®MH MR4. Ambil β pada kolom *spectral displacement* masing2, 4 kondisi : *slight*, *moderate*, *extensive*, *complete* (Gambar 4.44)

Table 5.9a Structural Fragility Curve Parameters - High-Code Seismic Design Level

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State				Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)						Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000	0.50	0.80	1.51	0.81	5.04	0.85	12.60	0.97
W2	288	216	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000	0.86	0.81	2.59	0.88	8.64	0.90	21.60	0.83
S1L	288	216	0.0060	0.0120	0.0300	0.0800	1.30	0.80	2.59	0.76	6.48	0.69	17.28	0.72
S1M	720	540	0.0040	0.0080	0.0200	0.0533	2.16	0.65	4.32	0.66	10.80	0.67	28.80	0.74
S1H	1872	1123	0.0030	0.0060	0.0150	0.0400	3.37	0.64	6.74	0.64	16.85	0.65	44.93	0.67
S2L	288	216	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800	1.08	0.81	2.16	0.89	6.48	0.94	17.28	0.83
S2M	720	540	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533	1.80	0.67	3.60	0.67	10.80	0.68	28.80	0.79
S2H	1872	1123	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400	2.81	0.63	5.62	0.63	16.85	0.64	44.93	0.71
S3	180	135	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.54	0.81	1.08	0.82	3.24	0.91	9.45	0.90
S4L	288	216	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.86	0.89	1.73	0.89	5.18	0.98	15.12	0.87
S4M	720	540	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467	1.44	0.77	2.88	0.72	8.64	0.70	25.20	0.89
S4H	1872	1123	0.0020	0.0040	0.0120	0.0350	2.25	0.64	4.49	0.66	13.48	0.69	39.31	0.77
S5L														
S5M														
S5H														
C1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800	0.90	0.81	1.80	0.84	5.40	0.86	14.40	0.81
C1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533	1.50	0.68	3.00	0.67	9.00	0.68	24.00	0.81
C1H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400	2.16	0.66	4.32	0.64	12.96	0.67	34.56	0.78

Gambar 4.44 Spectral Displacement Standard Deviation/HAZUS Value

HAZUS Values (Inches)

<i>Slight</i>	=	0,66 Inches
<i>Moderate</i>	=	0,64 Inches
<i>Extensive</i>	=	0,67 Inches
<i>Collapse</i>	=	0,78 Inches

Karena dalam pemodelan menggunakan satuan meter maka untuk nilai HAZUS Values di konversikan dari *Inches* ke Meter (dikali 0,0254)

<i>Slight</i>	=	0,016764 m
<i>Moderate</i>	=	0,016256 m
<i>Extensive</i>	=	0,017018 m
<i>Collapse</i>	=	0,019812 m

4.3.3 Membuat Kurva Fragilitas (*Fragility Curve*)

Setelah dapat hasil *Median Value* (λ) dan *HAZUS Value* (β) dari setiap 4 kondisi *damage*, lalu plot kedalam kurva fragilitas dengan persamaan :

$$P(DS/Sd) = \Phi \left(\frac{\ln(Sd) - \ln(\lambda)}{\beta} \right)$$

1. *Fragility Curve* – X

a. Kondisi SD (*Slight Damage*)

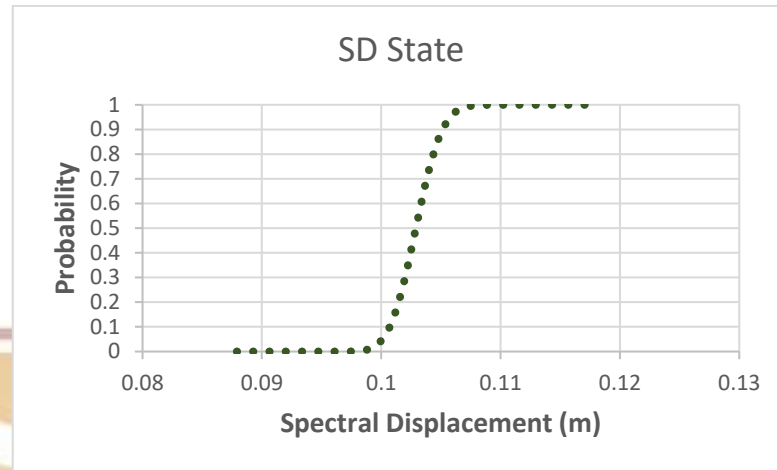
$$\lambda = 0,1029 \text{ m}$$

$$\beta = 0,016764 \text{ m}$$

- tentukan kisaran misal = 0.001 masing-masing dari median ke atas dan kebawah.

Tabel 4.8 *Fragility Curve of Slight Damage-X*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.0879	-2.431555474	-2.273997636	-0.157557838	-9.398582567	2.76515E-21
0.0889	-2.420243136	-2.273997636	-0.1462455	-8.723783126	1.34529E-18
0.0899	-2.409057338	-2.273997636	-0.135059701	-8.056531935	3.92447E-16
0.0909	-2.397995278	-2.273997636	-0.123997642	-7.396661993	6.98252E-14
0.0919	-2.38705425	-2.273997636	-0.113056613	-6.74401178	7.7036E-12
0.0929	-2.376231633	-2.273997636	-0.102233997	-6.098425019	5.35593E-10
0.0939	-2.365524893	-2.273997636	-0.091527257	-5.459750455	2.38402E-08
0.0949	-2.354931573	-2.273997636	-0.080933937	-4.827841638	6.90104E-07
0.0959	-2.344449297	-2.273997636	-0.070451661	-4.202556726	1.31959E-05
0.0969	-2.33407576	-2.273997636	-0.060078124	-3.583758288	0.000169343
0.0979	-2.323808729	-2.273997636	-0.049811093	-2.97131313	0.001482646
0.0989	-2.31364604	-2.273997636	-0.039648404	-2.365092115	0.009012793
0.0999	-2.303585593	-2.273997636	-0.029587957	-1.764970006	0.038784403
0.1009	-2.293625352	-2.273997636	-0.019627715	-1.170825309	0.120834501
0.1019	-2.283763339	-2.273997636	-0.009765703	-0.582540122	0.280101462
0.1029	-2.273997636	-2.273997636	0	0	0.5
0.1039	-2.264326381	-2.273997636	0.009671255	0.576906184	0.717998583
0.1049	-2.254747764	-2.273997636	0.019249873	1.148286361	0.874574816
0.1059	-2.245260026	-2.273997636	0.02873761	1.714245393	0.956758166
0.1069	-2.235861461	-2.273997636	0.038136175	2.274885182	0.988543591
0.1079	-2.226550407	-2.273997636	0.047447229	2.830304785	0.997674816
0.1089	-2.217325249	-2.273997636	0.056672387	3.380600519	0.999638362
0.1099	-2.208184418	-2.273997636	0.065813219	3.925866056	0.999956791
0.1109	-2.199126385	-2.273997636	0.074871252	4.466192527	0.999996019
0.1119	-2.190149664	-2.273997636	0.083847972	5.001668604	0.999999716
0.1129	-2.181252808	-2.273997636	0.092744828	5.532380596	0.999999984
0.1139	-2.172434409	-2.273997636	0.101563228	6.058412528	0.999999999
0.1149	-2.163693094	-2.273997636	0.110304542	6.579846219	1
0.1159	-2.155027529	-2.273997636	0.118970108	7.096761364	1
0.1169	-2.146436411	-2.273997636	0.127561226	7.609235602	1
0.1179	-2.137918471	-2.273997636	0.136079165	8.11734459	1



Gambar 4.45 Fragility Curve of Slight Damage-X

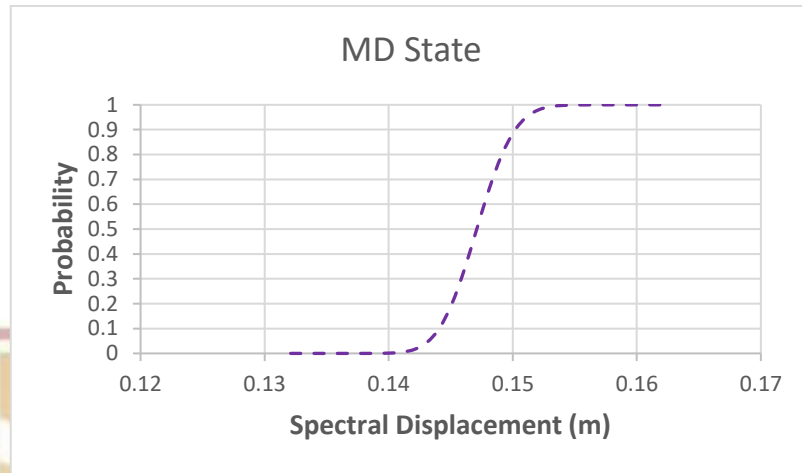
b. Kondisi MD (Moderate Damage)

$$\lambda = 0,1471 \text{ m}$$

$$\beta = 0,016256 \text{ m}$$

Tabel 4.9 Fragility Curve of Moderate Damage-X

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.1321	-2.024196067	-1.916642651	-0.107553416	-6.616228843	1.84239E-11
0.1331	-2.016654554	-1.916642651	-0.100011902	-6.152306976	3.81819E-10
0.1341	-2.009169489	-1.916642651	-0.092526837	-5.691857611	6.28323E-09
0.1351	-2.001740034	-1.916642651	-0.085097383	-5.234829149	8.25688E-08
0.1361	-1.994365369	-1.916642651	-0.077722718	-4.781171134	8.71385E-07
0.1371	-1.987044692	-1.916642651	-0.070402041	-4.330834217	7.42727E-06
0.1381	-1.979777219	-1.916642651	-0.063134567	-3.883770127	5.14246E-05
0.1391	-1.97256218	-1.916642651	-0.055919529	-3.439931636	0.000290931
0.1401	-1.965398826	-1.916642651	-0.048756174	-2.999272531	0.001353126
0.1411	-1.95828642	-1.916642651	-0.041643769	-2.561747585	0.005207349
0.1421	-1.951224244	-1.916642651	-0.034581593	-2.127312531	0.016697062
0.1431	-1.944211592	-1.916642651	-0.027568941	-1.695924031	0.044950134
0.1441	-1.937247776	-1.916642651	-0.020605125	-1.267539653	0.102481197
0.1451	-1.930332119	-1.916642651	-0.013689468	-0.842117847	0.199860996
0.1461	-1.92346396	-1.916642651	-0.006821309	-0.419617917	0.337382299
0.1471	-1.916642651	-1.916642651	0	0	0.5
0.1481	-1.909867558	-1.916642651	0.006775094	0.416774955	0.661578488
0.1491	-1.903138057	-1.916642651	0.013504594	0.830745212	0.79694121
0.1501	-1.89645354	-1.916642651	0.020189111	1.241948267	0.892872175
0.1511	-1.88981341	-1.916642651	0.026829242	1.650420871	0.950571557
0.1521	-1.88321708	-1.916642651	0.033425572	2.056199044	0.980118333
0.1531	-1.876663976	-1.916642651	0.039978675	2.459318101	0.993039939
0.1541	-1.870153537	-1.916642651	0.046489115	2.859812667	0.997880543
0.1551	-1.863685209	-1.916642651	0.052957443	3.257716694	0.999438438
0.1561	-1.857258451	-1.916642651	0.0593842	3.653063479	0.999870435
0.1571	-1.850872734	-1.916642651	0.065769918	4.045885682	0.999973937
0.1581	-1.844527535	-1.916642651	0.072115117	4.436215343	0.999995422
0.1591	-1.838222344	-1.916642651	0.078420308	4.824083891	0.999999297
0.1601	-1.831956659	-1.916642651	0.084685992	5.20952217	0.999999905
0.1611	-1.825729989	-1.916642651	0.090912663	5.592560444	0.999999989
0.1621	-1.81954185	-1.916642651	0.097100801	5.973228416	0.999999999



Gambar 4.46 *Fragility Curve of Moderate Damage-X*

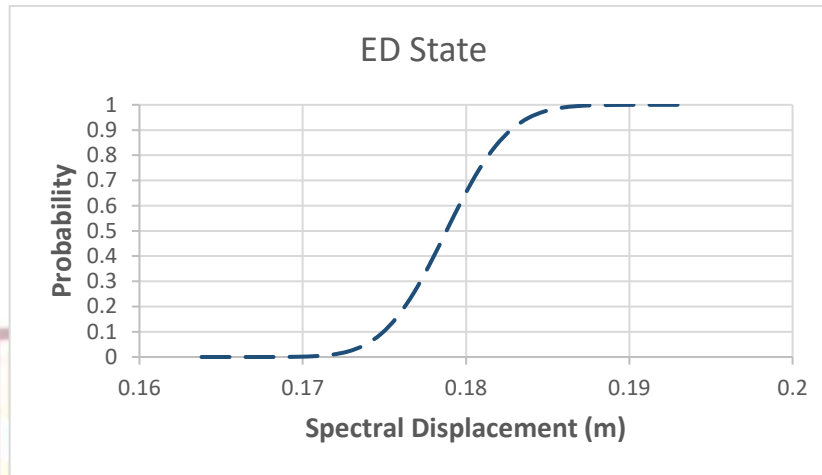
c. Kondisi ED (Extensive Damage)

$$\lambda = 0,1788 \text{ m}$$

$$\beta = 0,017018 \text{ m}$$

Tabel 4.10 *Fragility Curve of Extensive Damage-X*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.1638	-1.809109108	-1.721487416	-0.087621691	-5.148765502	1.31103E-07
0.1648	-1.803022662	-1.721487416	-0.081535245	-4.791117949	8.29273E-07
0.1658	-1.796973036	-1.721487416	-0.07548562	-4.435634037	4.59008E-06
0.1668	-1.790959789	-1.721487416	-0.069472373	-4.082287743	2.22973E-05
0.1678	-1.784982485	-1.721487416	-0.063495069	-3.731053514	9.53404E-05
0.1688	-1.779040697	-1.721487416	-0.057553281	-3.381906251	0.000359924
0.1698	-1.773134005	-1.721487416	-0.051646589	-3.034821299	0.001203391
0.1708	-1.767261998	-1.721487416	-0.045774581	-2.689774438	0.003575016
0.1718	-1.761424269	-1.721487416	-0.039936853	-2.346741873	0.009469185
0.1728	-1.755620423	-1.721487416	-0.034133006	-2.005700221	0.022444121
0.1738	-1.749850066	-1.721487416	-0.02836265	-1.666626508	0.047794347
0.1748	-1.744112816	-1.721487416	-0.0226254	-1.32949815	0.091841838
0.1758	-1.738408294	-1.721487416	-0.016920877	-0.994292954	0.160040133
0.1768	-1.732736129	-1.721487416	-0.011248713	-0.660989102	0.254309651
0.1778	-1.727095956	-1.721487416	-0.00560854	-0.329565146	0.370864281
0.1788	-1.721487416	-1.721487416	0	0	0.5
0.1798	-1.715910157	-1.721487416	0.005577259	0.327727071	0.628440984
0.1808	-1.710363831	-1.721487416	0.011123585	0.653636457	0.743326975
0.1818	-1.704848097	-1.721487416	0.016639319	0.977748208	0.835900564
0.1828	-1.69936262	-1.721487416	0.022124796	1.300082047	0.903213575
0.1838	-1.693907069	-1.721487416	0.027580347	1.620657373	0.94745443
0.1848	-1.68848112	-1.721487416	0.033006296	1.93949327	0.973779348
0.1858	-1.683084453	-1.721487416	0.038402964	2.256608511	0.987983726
0.1868	-1.677716753	-1.721487416	0.043770663	2.572021569	0.99494467
0.1878	-1.672377712	-1.721487416	0.049109704	2.885750619	0.998047593
0.1888	-1.667067025	-1.721487416	0.054420391	3.197813549	0.999307631
0.1898	-1.661784393	-1.721487416	0.059703023	3.508227961	0.999774449
0.1908	-1.65652952	-1.721487416	0.064957896	3.817011181	0.999932461
0.1918	-1.651302117	-1.721487416	0.0701853	4.124180263	0.999981397
0.1928	-1.646101897	-1.721487416	0.075385519	4.429751994	0.999995283
0.1938	-1.64092858	-1.721487416	0.080558837	4.733742903	0.999998898



Gambar 4.47 *Fragility Curve of Extensive Damage-X*

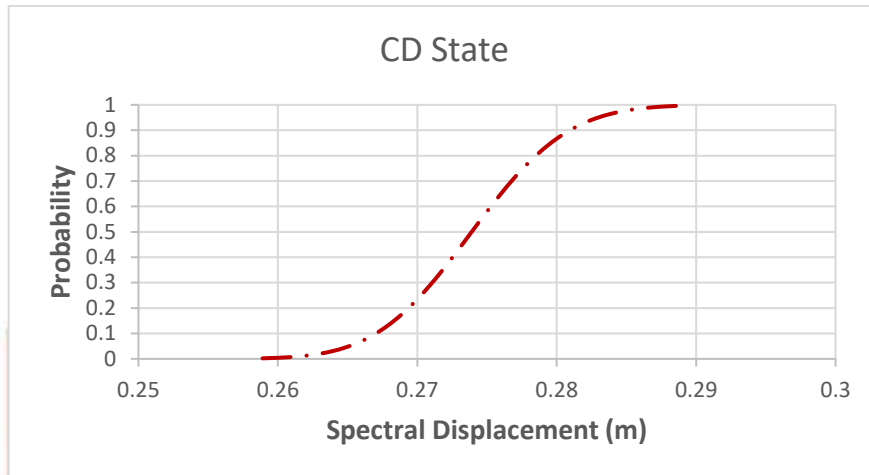
d. Kondisi CD (Complete Damage)

$$\lambda = 0,2739 \text{ m}$$

$$\beta = 0,019812 \text{ m}$$

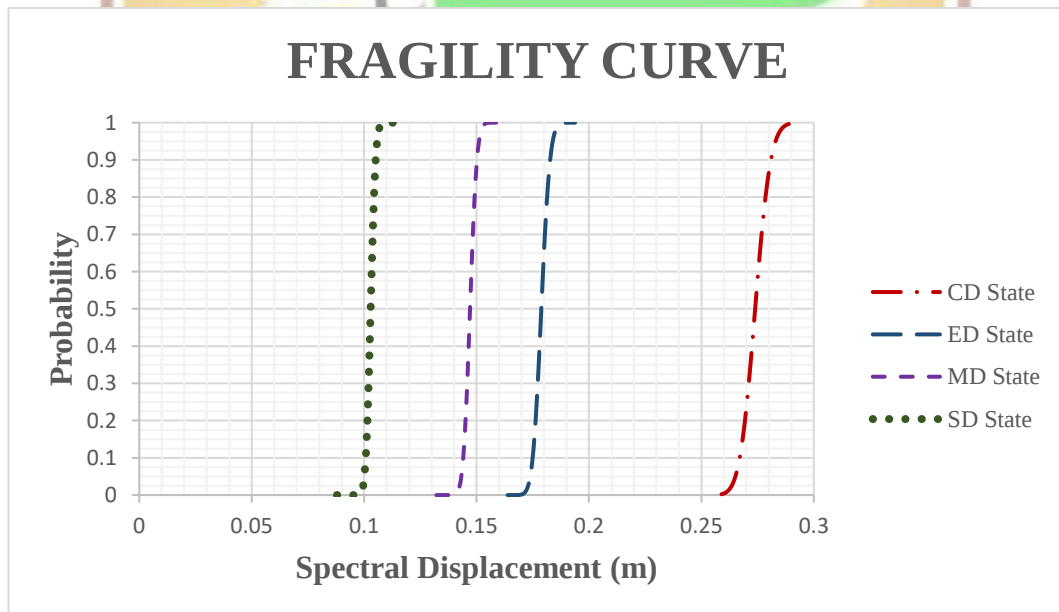
Tabel 4.11 *Fragility Curve of Complete Damage-X*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.2589	-1.351313392	-1.294992203	-0.05632119	-2.842781623	0.002236085
0.2599	-1.347458337	-1.294992203	-0.052466135	-2.648199809	0.004046084
0.2609	-1.343618087	-1.294992203	-0.048625884	-2.45436524	0.007056678
0.2619	-1.339792527	-1.294992203	-0.044800325	-2.261272196	0.011871203
0.2629	-1.335981547	-1.294992203	-0.040989345	-2.068915028	0.019277031
0.2639	-1.332185035	-1.294992203	-0.037192833	-1.877288147	0.030239306
0.2649	-1.328402883	-1.294992203	-0.03341068	-1.686386028	0.045860735
0.2659	-1.324634981	-1.294992203	-0.029642778	-1.496203211	0.067300354
0.2669	-1.320881223	-1.294992203	-0.02588902	-1.306734295	0.095651483
0.2679	-1.317141502	-1.294992203	-0.0221493	-1.117973941	0.131789062
0.2689	-1.313415716	-1.294992203	-0.018423513	-0.929916868	0.176207064
0.2699	-1.309703759	-1.294992203	-0.014711556	-0.742557856	0.228874706
0.2709	-1.30600553	-1.294992203	-0.011013327	-0.555891741	0.289142432
0.2719	-1.302320927	-1.294992203	-0.007328725	-0.369913418	0.355723502
0.2729	-1.298649851	-1.294992203	-0.003657649	-0.184617835	0.426764398
0.2739	-1.294992203	-1.294992203	0	0	0.5
0.2749	-1.291347884	-1.294992203	0.003644319	0.183945028	0.57297171
0.2759	-1.287716798	-1.294992203	0.007275405	0.367222136	0.643273335
0.2769	-1.284098849	-1.294992203	0.010893354	0.549836155	0.708784121
0.2779	-1.280493942	-1.294992203	0.01449826	0.731791868	0.767852193
0.2789	-1.276901984	-1.294992203	0.018090218	0.913094002	0.819403448
0.2799	-1.273322882	-1.294992203	0.02166932	1.093747237	0.862967075
0.2809	-1.269756545	-1.294992203	0.025235658	1.2737562	0.898625084
0.2819	-1.266202881	-1.294992203	0.028789322	1.453125472	0.92690554
0.2829	-1.262661801	-1.294992203	0.032330402	1.631859582	0.948645465
0.2839	-1.259133216	-1.294992203	0.035858987	1.809963013	0.964849238
0.2849	-1.255617037	-1.294992203	0.039375165	1.9874402	0.976563182
0.2859	-1.25211318	-1.294992203	0.042879023	2.164295531	0.984779162
0.2869	-1.248621556	-1.294992203	0.046370647	2.340533349	0.990371891
0.2879	-1.245142081	-1.294992203	0.049850121	2.516157952	0.9940679
0.2889	-1.241674672	-1.294992203	0.053317531	2.691173592	0.996439943



Gambar 4.48 *Fragility Curve of Complete Damage-X*

Sehingga untuk semua kondisi kerusakan pada kurva fragilitas bangunan 12 lantai untuk arah-x dapat dilihat pada **Gambar 4.49**



Gambar 4.49 *Fragility Curve of All Condition Damage-X*

2. Fragility Curve – Y

a. Kondisi SD (*Slight Damage*)

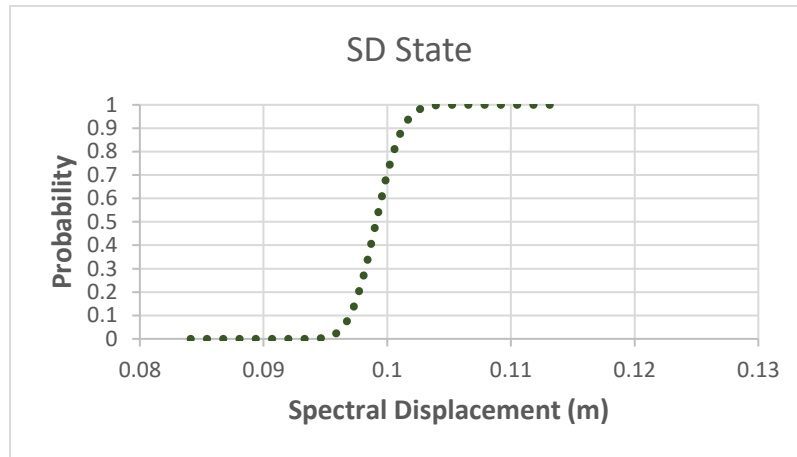
$$\lambda = 0,0991 \text{ m}$$

$$\beta = 0,016764 \text{ m}$$

- tentukan kisaran misal = 0.001 masing-masing dari median ke atas dan kebawah.

Tabel 4.12 *Fragility Curve of Slight Damage-Y*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.0841	-2.475748712	-2.311625838	-0.164122874	-9.790197707	6.20265E-23
0.0851	-2.463928243	-2.311625838	-0.152302406	-9.085087435	5.18077E-20
0.0861	-2.452245868	-2.311625838	-0.14062003	-8.388214621	2.4679E-17
0.0871	-2.440698395	-2.311625838	-0.129072557	-7.699389017	6.83592E-15
0.0881	-2.429282746	-2.311625838	-0.117656908	-7.018426891	1.1219E-12
0.0891	-2.417995945	-2.311625838	-0.106370107	-6.345150731	1.11104E-10
0.0901	-2.406835114	-2.311625838	-0.095209277	-5.679388972	6.75884E-09
0.0911	-2.395797475	-2.311625838	-0.084171637	-5.020975726	2.57048E-07
0.0921	-2.384880336	-2.311625838	-0.073254498	-4.369750541	6.21943E-06
0.0931	-2.374081095	-2.311625838	-0.062455257	-3.725558164	9.74418E-05
0.0941	-2.363397232	-2.311625838	-0.051771395	-3.088248315	0.001006701
0.0951	-2.352826309	-2.311625838	-0.041200472	-2.457675482	0.006991974
0.0961	-2.342365963	-2.311625838	-0.030740125	-1.833698721	0.033349364
0.0971	-2.332013904	-2.311625838	-0.020388066	-1.216181463	0.111957902
0.0981	-2.321767912	-2.311625838	-0.010142075	-0.604991336	0.272592377
0.0991	-2.311625838	-2.311625838	0	0	0.5
0.1001	-2.301585593	-2.311625838	0.010040245	0.598917024	0.725385891
0.1011	-2.291645153	-2.311625838	0.019980685	1.191880499	0.883345947
0.1021	-2.281802554	-2.311625838	0.029823284	1.779007626	0.962380744
0.1031	-2.272055888	-2.311625838	0.03956995	2.360412174	0.99087268
0.1041	-2.262403303	-2.311625838	0.049222534	2.936204622	0.998338725
0.1051	-2.252843001	-2.311625838	0.058782837	3.506492278	0.999772973
0.1061	-2.243373233	-2.311625838	0.068252604	4.071379401	0.999976632
0.1071	-2.233992302	-2.311625838	0.077633536	4.630967318	0.99999818
0.1081	-2.224698554	-2.311625838	0.086927283	5.185354528	0.999999892
0.1091	-2.215490386	-2.311625838	0.096135452	5.734636811	0.999999995
0.1101	-2.206366235	-2.311625838	0.105259602	6.278907325	1
0.1111	-2.197324582	-2.311625838	0.114301255	6.818256699	1
0.1121	-2.188363949	-2.311625838	0.123261889	7.352773129	1
0.1131	-2.179482896	-2.311625838	0.132142942	7.882542459	1
0.1141	-2.170680022	-2.311625838	0.140945816	8.407648266	1



Gambar 4.50 *Fragility Curve of Slight Damage-Y*

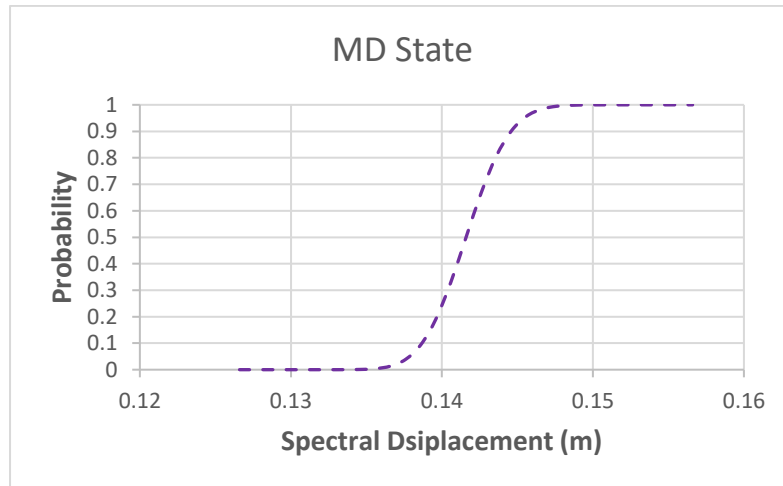
b. Kondisi MD (Moderate Damage)

$$\lambda = 0,1416 \text{ m}$$

$$\beta = 0,016256 \text{ m}$$

Tabel 4.13 *Fragility Curve of Moderate Damage-Y*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.1266	-2.066722769	-1.954749098	-0.111973672	-6.888144165	2.82625E-12
0.1276	-2.058854908	-1.954749098	-0.10410581	-6.404146798	7.56063E-11
0.1286	-2.051048467	-1.954749098	-0.096299369	-5.923927747	1.57171E-09
0.1296	-2.043302495	-1.954749098	-0.088553397	-5.447428478	2.55516E-08
0.1306	-2.035616062	-1.954749098	-0.080866964	-4.974591807	3.26926E-07
0.1316	-2.02798826	-1.954749098	-0.073239162	-4.505361858	3.313E-06
0.1326	-2.020418201	-1.954749098	-0.065669104	-4.039684025	2.67616E-05
0.1336	-2.012905018	-1.954749098	-0.05815592	-3.577504931	0.000173445
0.1346	-2.005447862	-1.954749098	-0.050698764	-3.118772395	0.000908031
0.1356	-1.998045903	-1.954749098	-0.043296806	-2.663435393	0.003867363
0.1366	-1.990698332	-1.954749098	-0.035949234	-2.211444028	0.013502552
0.1376	-1.983404353	-1.954749098	-0.028655256	-1.762749493	0.038971375
0.1386	-1.976163192	-1.954749098	-0.021414095	-1.317304042	0.093868365
0.1396	-1.968974089	-1.954749098	-0.014224991	-0.875060958	0.190770369
0.1406	-1.9618363	-1.954749098	-0.007087202	-0.435974525	0.331427606
0.1416	-1.954749098	-1.954749098	0	0	0.5
0.1426	-1.947711771	-1.954749098	0.007037327	0.432906417	0.667458621
0.1436	-1.940723622	-1.954749098	0.014025475	0.862787608	0.805872873
0.1446	-1.933783969	-1.954749098	0.020965128	1.28968556	0.901420072
0.1456	-1.926892143	-1.954749098	0.027856955	1.713641394	0.956702697
0.1466	-1.92004749	-1.954749098	0.034701608	2.134695386	0.98360705
0.1476	-1.913249367	-1.954749098	0.041499731	2.55288699	0.994658292
0.1486	-1.906497147	-1.954749098	0.048251951	2.968254861	0.998502521
0.1496	-1.899790213	-1.954749098	0.054958884	3.380836878	0.999638673
0.1506	-1.893127964	-1.954749098	0.061621134	3.790670159	0.999924879
0.1516	-1.886509806	-1.954749098	0.068239292	4.197791089	0.999986523
0.1526	-1.87993516	-1.954749098	0.074813938	4.602235334	0.99999791
0.1536	-1.873403458	-1.954749098	0.081345639	5.00403786	0.999999719
0.1546	-1.866914143	-1.954749098	0.087834955	5.403232954	0.999999967
0.1556	-1.860466667	-1.954749098	0.09428243	5.799854237	0.999999997
0.1566	-1.854060495	-1.954749098	0.100688602	6.193934689	1



Gambar 4.51 *Fragility Curve of Moderate Damage-Y*

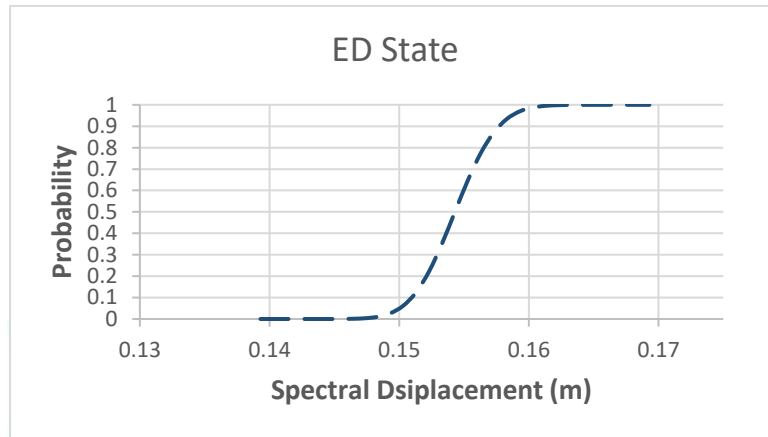
c. Kondisi ED (Extensive Damage)

$$\lambda = 0,1543 \text{ m}$$

$$\beta = 0,017018 \text{ m}$$

Tabel 4.14 *Fragility Curve of Extensive Damage-Y*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.1393	-1.971125398	-1.86885652	-0.102268879	-6.009453437	9.30749E-10
0.1403	-1.963972292	-1.86885652	-0.095115772	-5.589127527	1.14107E-08
0.1413	-1.956869989	-1.86885652	-0.08801347	-5.171786913	1.15933E-07
0.1423	-1.949817774	-1.86885652	-0.080961254	-4.757389486	9.80563E-07
0.1433	-1.942814944	-1.86885652	-0.073958425	-4.345894026	6.93548E-06
0.1443	-1.935860813	-1.86885652	-0.067004294	-3.937260171	4.12086E-05
0.1453	-1.928954708	-1.86885652	-0.060098189	-3.531448395	0.000206645
0.1463	-1.922095971	-1.86885652	-0.053239451	-3.128419987	0.000878744
0.1473	-1.915283956	-1.86885652	-0.046427436	-2.728137026	0.003184657
0.1483	-1.90851803	-1.86885652	-0.03966151	-2.330562359	0.009888224
0.1493	-1.901797574	-1.86885652	-0.032941055	-1.935659585	0.026454704
0.1503	-1.895121982	-1.86885652	-0.026265463	-1.543393032	0.061367722
0.1513	-1.888490658	-1.86885652	-0.019634139	-1.153727734	0.124305905
0.1523	-1.881903019	-1.86885652	-0.013046499	-0.76662942	0.221650939
0.1533	-1.875358493	-1.86885652	-0.006501973	-0.38206449	0.351206765
0.1543	-1.86885652	-1.86885652	0	0	0.5
0.1553	-1.862396549	-1.86885652	0.006459971	0.379596356	0.647877467
0.1563	-1.855978042	-1.86885652	0.012878478	0.756756262	0.775402049
0.1573	-1.849600469	-1.86885652	0.019256051	1.131510794	0.871079919
0.1583	-1.843263312	-1.86885652	0.025593208	1.503890441	0.933695211
0.1593	-1.836966062	-1.86885652	0.031890458	1.873925111	0.969529626
0.1603	-1.830708219	-1.86885652	0.0381483	2.241644156	0.98750781
0.1613	-1.824489294	-1.86885652	0.044367226	2.607076376	0.995434051
0.1623	-1.818308804	-1.86885652	0.050547715	2.970250038	0.998512213
0.1633	-1.812166279	-1.86885652	0.056690241	3.33119289	0.999567627
0.1643	-1.806061254	-1.86885652	0.062795266	3.68993217	0.999887843
0.1653	-1.799993274	-1.86885652	0.068863245	4.046494621	0.999974005
0.1663	-1.793961893	-1.86885652	0.074894627	4.400906501	0.99999461
0.1673	-1.787966671	-1.86885652	0.080889849	4.753193596	0.999998999
0.1683	-1.782007178	-1.86885652	0.086849342	5.103381233	0.999999833
0.1693	-1.77608299	-1.86885652	0.09277353	5.451494287	0.999999975



Gambar 4.52 *Fragility Curve of Extensive Damage-Y*

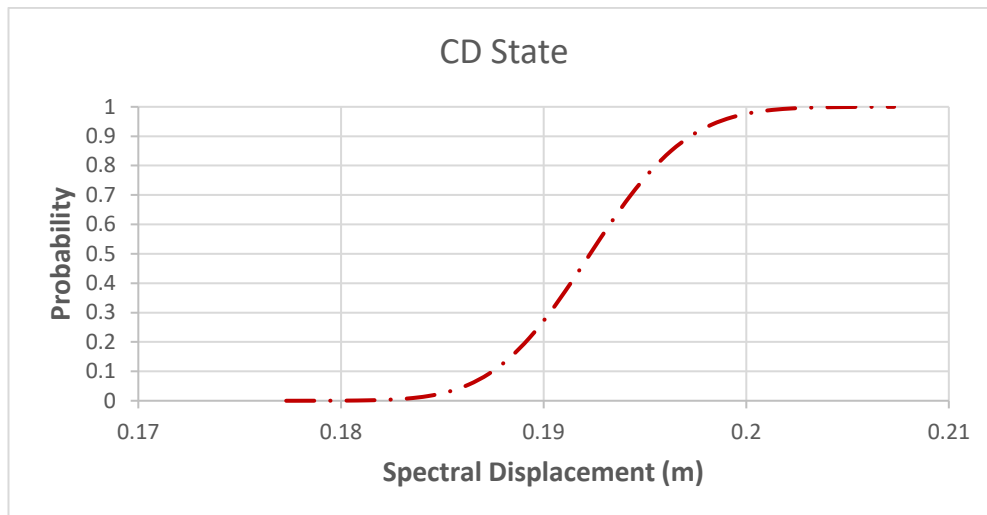
d. Kondisi CD (Complete Damage)

$$\lambda = 0,1923 \text{ m}$$

$$\beta = 0,019812 \text{ m}$$

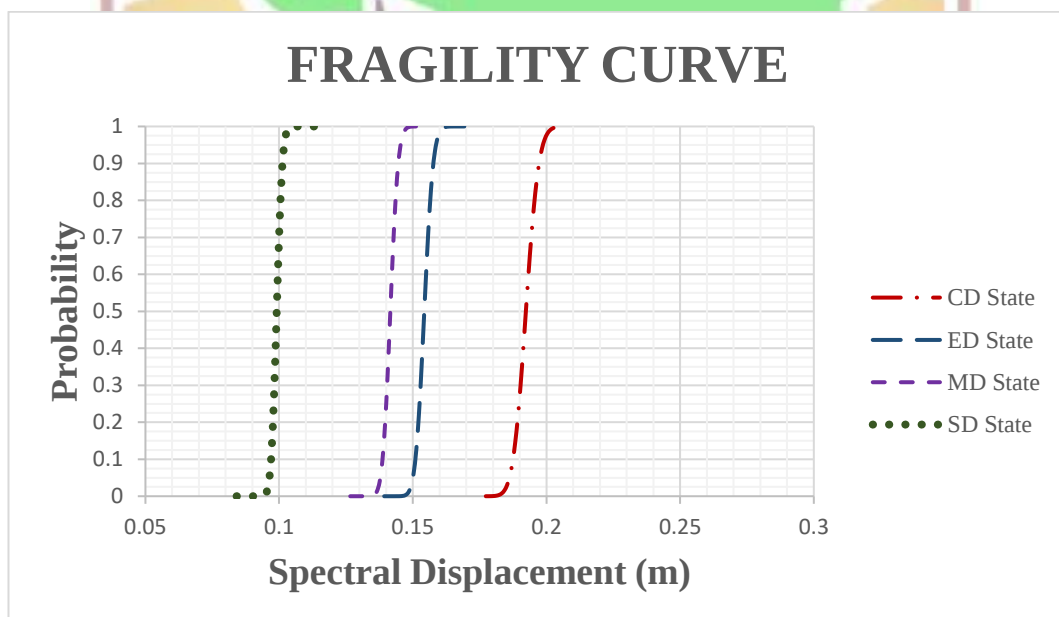
Tabel 4.15 *Fragility Curve of Complete Damage-Y*

Sd	Ln(Sd)	Ln(λ)	Ln(λ) - Ln (Sd)	Ln(λ) - Ln (Sd) / β	Probability
0.1773	-1.729912066	-1.648698626	-0.08121344	-4.099204498	2.07286E-05
0.1783	-1.724287754	-1.648698626	-0.075589128	-3.815320398	6.80032E-05
0.1793	-1.718694898	-1.648698626	-0.069996272	-3.533024025	0.000205418
0.1803	-1.713133149	-1.648698626	-0.064434522	-3.252297718	0.00057238
0.1813	-1.707602161	-1.648698626	-0.058903535	-2.973124108	0.001473926
0.1823	-1.702101597	-1.648698626	-0.053402971	-2.695486115	0.0035143
0.1833	-1.696631124	-1.648698626	-0.047932498	-2.419366937	0.007773774
0.1843	-1.691190414	-1.648698626	-0.042491788	-2.144750046	0.015986419
0.1853	-1.685779146	-1.648698626	-0.037080519	-1.871619186	0.030629654
0.1863	-1.680397001	-1.648698626	-0.031698375	-1.599958358	0.054803911
0.1873	-1.67504367	-1.648698626	-0.026345043	-1.329751824	0.091800027
0.1883	-1.669718843	-1.648698626	-0.021020217	-1.060984097	0.144348564
0.1893	-1.664422221	-1.648698626	-0.015723594	-0.793639934	0.213702539
0.1903	-1.659153505	-1.648698626	-0.010454878	-0.527704335	0.298852282
0.1913	-1.653912403	-1.648698626	-0.005213776	-0.263162535	0.396212653
0.1923	-1.648698626	-1.648698626	0	0	0.5
0.1933	-1.643511893	-1.648698626	0.005186734	0.261797578	0.603261247
0.1943	-1.638351923	-1.648698626	0.010346704	0.522244286	0.699249872
0.1953	-1.633218441	-1.648698626	0.015480185	0.781353992	0.782702839
0.1963	-1.628111178	-1.648698626	0.020587449	1.039140354	0.850630267
0.1973	-1.623029866	-1.648698626	0.02566876	1.29561682	0.902446234
0.1983	-1.617974243	-1.648698626	0.030724383	1.550796635	0.939524786
0.1993	-1.612944052	-1.648698626	0.035754575	1.804692844	0.96443862
0.2003	-1.607939036	-1.648698626	0.04075959	2.057318296	0.980172191
0.2013	-1.602958946	-1.648698626	0.04573968	2.308685648	0.989519484
0.2023	-1.598003535	-1.648698626	0.050695092	2.558807368	0.994748404
0.2033	-1.593072558	-1.648698626	0.055626068	2.807695742	0.997505133
0.2043	-1.588165777	-1.648698626	0.060532849	3.055362872	0.998876058
0.2053	-1.583282955	-1.648698626	0.065415671	3.301820686	0.999519703
0.2063	-1.578423859	-1.648698626	0.070274767	3.547080935	0.999805238
0.2073	-1.57358826	-1.648698626	0.075110367	3.791155201	0.999925026



Gambar 4.53 *Fragility Curve of Complete Damage-Y*

Sehingga untuk semua kondisi kerusakan pada kurva fragilitas bangunan 12 lantai untuk arah-y dapat dilihat pada **Gambar 4.54**



Gambar 4.54 *Fragility Curve of All Condition Damage-Y*

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan maka ditarik kesimpulan yang merupakan rangkuman dari hasil penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Berikut kesimpulan dari penelitian ini:

1. Struktur bangunan 12 lantai akan mengalami titik leleh pertama ketika diberi beban *pushover* ke-3 baik pada arah-X maupun arah-Y dan struktur bangunan akan *collapse* ketika diberi beban *pushover* ke-10 pada arah-X dan ke-8 pada arah-Y.
2. Dari hasil kurva fragilitas bangunan 12 lantai akan mengalami probabilitas kerusakan masing – masing yaitu :
 - a. Pada Arah-X
 - Untuk kondisi SD (*slight damage*) atau kerusakan ringan, jika *spectral displacement* 9,9 cm maka probabilitas kerusakannya 3,8% dan meningkat cepat probabilitas kerusakannya menjadi 50% disaat *spectral displacement* mencapai 10,2 cm dan 100% kerusakan disaat *spectral displacement* nya 11 cm.
 - Untuk kondisi MD (*Moderate Damage*) atau kerusakan menengah, jika *spectral displacement* 14,3 cm maka probabilitas kerusakannya 4,5% dan meningkat cepat probabilitasnya sampai 99% ketika *spectral displacement* mencapai 15,3 cm.
 - Untuk kondisi ED (*Extensive Damage*) atau kerusakan berat, jika *spectral displacement* 17,2 cm maka probabilitas kerusakan beratnya adalah 2,2% dan meningkat cepat probabilitas kerusakan beratnya menjadi 90% ketika *spectral displacement* nya mencapai 18,2 cm
 - Untuk kondisi CD (*Complete Damage*) atau runtuh, jika *spectral displacement* nya 26,3 cm maka probabilitas kerusakannya adalah 3% dan probabilitas runtuh 100% nya ketika *spectral displacement* nya mencapai 28,8 cm.

b. Pada Arah-Y

- Untuk kondisi SD (*slight damage*) atau kerusakan ringan, jika *spectral displacement* 9,6 cm maka probabilitas kerusakannya 3,3% dan meningkat cepat probabilitas kerusakan ringannya menjadi 50% disaat *spectral displacement* mencapai 9,9 cm dan 100% kerusakan disaat *spectral displacement* nya 11,4 cm.
- Untuk kondisi MD (*Moderate Damage*) atau kerusakan menengah, jika *spectral displacement* 13,8 cm maka probabilitas kerusakannya 9,3% dan meningkat cepat probabilitasnya sampai 99% ketika *spectral displacement* mencapai 15,5 cm.
- Untuk kondisi ED (*Extensive Damage*) atau kerusakan berat, jika *spectral displacement* 15 cm maka probabilitas kerusakan beratnya adalah 6% dan meningkat cepat probabilitas kerusakan beratnya menjadi 99% ketika *spectral displacement* nya mencapai 16,9 cm
- Untuk kondisi CD (*Complete Damage*) atau runtuh, jika *spectral displacement* nya 18,4 cm maka probabilitas kerusakannya adalah 1,6% dan probabilitas runtuh 100% nya ketika *spectral displacement* nya mencapai 20,7 cm.

3. Untuk level kinerja struktur bangunan 12 lantai termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) untuk arah X-X yang berarti transisi antara *Immediate Ocupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Sedangkan struktur termasuk dalam level kategori *Immediate Ocupancy* (IO) untuk arah Y-Y.

Dengan demikian, maka dalam hal ini bangunan masih mampu menahan beban gempa yang terjadi, bangunan juga dapat dipakai kembali ketika telah menerima beban gempa dan untuk resiko korban jiwa manusia relatif kecil.

5.2 Saran

Padang adalah wilayah dengan tingkat kerawanan tinggi terhadap gempa, oleh karenanya struktur bangunan di wilayah ini harus dirancang untuk tahan gempa. Pengembangan kurva fragilitas analitik kedepannya dapat dilakukan sebagai salah satu upaya untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan terhadap beban seismik, serta untuk mengidentifikasi tingkat kerusakan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas Ismail, F., Hakam, A., Fauzan. 2011. "Kerusakan Bangunan Hotel Bumi Minang Akibat Gempa Padang 30 September 2009". Jurnal Teknik Sipil. Vol. 18, No. 2, pp. 119-126.
- ATC-40. 1996. *"Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Volume 1"*. Applied Technology Council. Redwood City. California. USA.
- Budiono, B., Kusumastuti, D. 2002. "Prosedur Aplikasi dan Evaluasi *Performance Based Design* Pada Bangunan Tahan Gempa". Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Chen, W., F, Lui, E., M. 2006. *"Earthquake Engineering for Structural Design"*. University of Hawai'i. Manoa.
- Computers & Structures, Inc. 2011. *"Introductory Tutorial for SAP2000, Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures"*. 1995 University Avenue. Barkeley, California 94704. USA.
- Dewi, R., Y, Sudarajat, A., V. 2007. "Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Balok Kolom dan Flat Slab Terhadap Beban Gempa Kuat". Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Dewobroto, Wiryanto. 2005. "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover". Tangerang. Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, Wiryanto. 2013. "Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000". Tangerang. Universitas Pelita Harapan.
- Diktat Modul Pelatihan. 2002. *"Performance-Based Design (PBD) Bangunan Tahan Gempa"*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Fadila, F., 2019. "Kurva Fragilitas Untuk Sistem Struktur Pemikul Momen". Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- FEMA-440. 2005. *"Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures"*. Washington, D.C. Federal Emergency Management Agency.
- Gambar Hotel Ibis Padang, Sumber : febbymellisa.blogsopot.com, 2018.

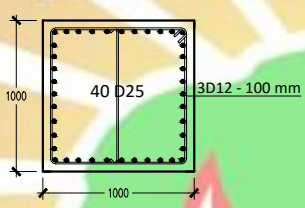
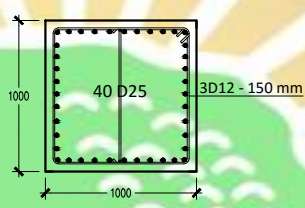
- Hazus. 2003. *“Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model”*. Washinton D.C: Hazus.
- HAZUS®MH MR4. 2003. *“Technical Manual, Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model”* Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_Bumi_Sumatera_Barat_September_2009.
- <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.
- Hwang, H., Liu, J. B., and Chiu, Y. H. 2001. *“Seismic Fragility Analysis of Highway Bridges”*. Center of Earthquake Research and Information. The University of Memphis.
- International Building Code (IBC). 2006. *“Structural or Seismic Design Manual”*. International Code Council, Inc., and SEAOC’s.
- Ismail, Febrin A. 2012. *“Pengaruh Penggunaan Seismic Base Isolation System Terhadap Respons Struktur Gedung Hotel Ibis Padang”*. Padang. Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas.
- Kurniawan, R., Masrilayanti, & Tarigan, P., B. 2018. *“Study of Dinamic Amplification Factor of Cable Stayed Bridge Due to Seismic Load in Transverse Direction”*. Andalas University.
- Nouri, G., Ghayamghamian, M. & Shirazian, S. 2011. *“Developing of Fragility Curve for Two-Span Simply Supported Concrete Bridge in Nearfault Area”*. Word Academy of Science. Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering, 140-144.
- Nurchasanah, Y., Ahmad, W., Ujianto, M. 2015. *“Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Terhadap Beban Dorong”*. Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Peta Sumber & Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, ISBN :978-602-5489-01-3.
- Porter, K. 2019. *“A Begginer's Guide to Fragility Vulnerability, and Risk”*. University of Colorado Boulder and SPA Risk LLC. Denver CO. USA.
- Pranata, Y., A. 2006. *“Evaluasi Kinerja Gedung Beton Betulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis”*. Jurnal Teknik Sipil, Vol 3, No.1. Universitas Kristen Maranatha. Bandung.

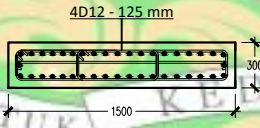
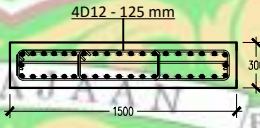
- Qi Zhang and M. Shahria Alam. 2019. "*Performance-based seismic design of bridges : a global perspective and critical review of past, present and future directions*". British Columbia Institute of Technology. Columbia.
- Rizcky, V., Wahyuni, E., Iranata, D. 2014. "Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Akibat Beban Gempa Padang". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Silitonga, D.R., Imran, I. 2019. "Penilaian Kerentanan Seismik pada Jembatan Box Girder Beton Prategang Menerus Bentang Majemuk Eksisting melalui Pengembangan Kurva Fragilitas Analitik". Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta Selatan.
- SNI 1726:2019. "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung".
- SNI 1727:2020. "Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait Bangunan".
- Sofyan, Y. A., Oday, A. S., Orass, N. 2022. "*Effect of Plastic Hinge Properties in Pushover Analysis of Reinforced Concrete Plane Frames*". International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET).
- Tavio, & Wijaya, U. 2018. "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*)". Yogyakarta. Andi Yogyakarta.
- The Japan Building Disaster Prevention Association. 2001. "*English Version 1, Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings*".
- Yogi, A., M. 2018. "Studi Komparatif *Fragility Curve* Desain Bangunan Beton Bertulang Srpmm Dan Srpmm Wilayah Jakarta Dengan Peraturan Rsn 03-1726-2018. 1-10".
- Zolfaghari, M., R., Mahboubi, Sh., Peyghaleh, E. 2020. "*Estimation of Financial Added Value for Retrofitted Buildings use fragility curve*". KN Toosi University of Technology. Tehran. Iran.

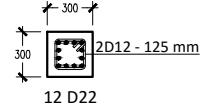
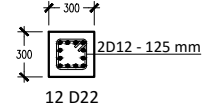


LAMPIRAN-1

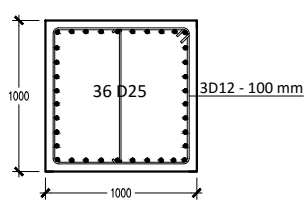
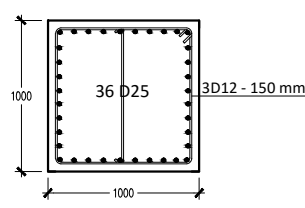
DETAIL KOLOM - GROUND FLOOR

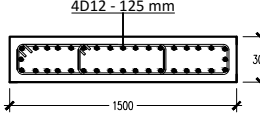
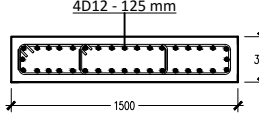
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K1-GF (100/100)		
UKURAN	1000 mm × 1000 mm	
PANJANG	3.200 m	
TULANGAN LENTUR	40 D25	40 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

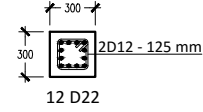
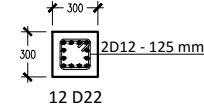
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K3-GF (30/150)		
UKURAN	300 mm × 1500 mm	
PANJANG	3.200 m	
TULANGAN LENTUR	40 D25	40 D25
SENGKANG	4D12 - 125 mm	4D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K5-GF (30/30)		
UKURAN	300 mm × 300 mm	
PANJANG	3.200 m	
TULANGAN LENTUR	12 D22	12 D22
SENGKANG	D12 - 125 mm	D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

DETAIL KOLOM - UPPERGROUND FLOOR

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K1-UG (100/100)		
UKURAN	1000 mm × 1000 mm	
PANJANG	4.500 m	
TULANGAN LENTUR	36 D25	36 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K3-UG (30/150)		
UKURAN	300 mm × 1500 mm	
PANJANG	4.500 m	
TULANGAN LENTUR	36 D25	36 D25
SENGKANG	4D12 - 125 mm	4D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K5-UG (30/30)		
UKURAN	300 mm × 300 mm	
PANJANG	4.500 m	
TULANGAN LENTUR	12 D22	12 D22
SENGKANG	D12 - 125 mm	D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-350
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : $F_y = 390 \text{ MPa}$
2. Sengkang : $F_y = 240 \text{ MPa}$

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

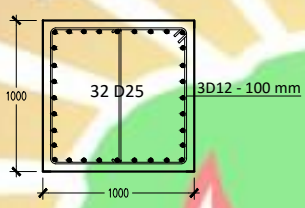
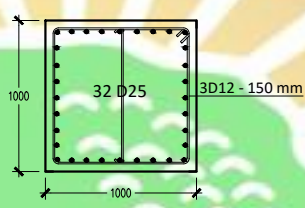
DETAIL TULANGAN KOLOM GROUND DAN UPPER GROUND FLOOR

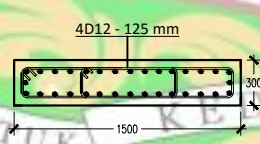
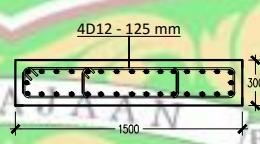
JUMLAH
GAMBAR

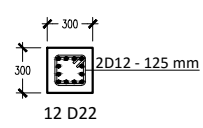
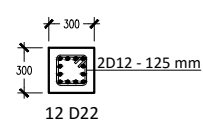
NOMOR
GAMBAR

ST-C-06

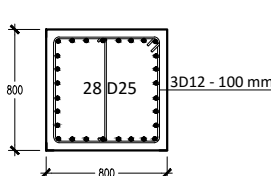
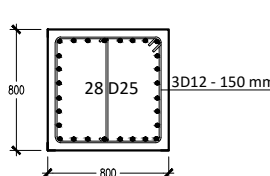
DETAIL KOLOM - MEZZANINE FLOOR

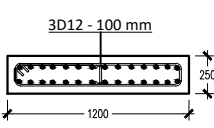
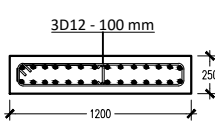
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K1-MZ (100/100)		
UKURAN	1000 mm × 1000 mm	
PANJANG	4.000 m	
TULANGAN LENTUR	32 D25	32 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

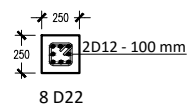
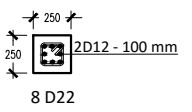
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K3-MZ (30/150)		
UKURAN	300 mm × 1500 mm	
PANJANG	4.000 m	
TULANGAN LENTUR	32 D25	32 D25
SENGKANG	4D12 - 125 mm	4D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K5-MZ (30/30)		
UKURAN	300 mm × 300 mm	
PANJANG	3.200 m	
TULANGAN LENTUR	12 D22	12 D22
SENGKANG	2D12 - 125 mm	2D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

DETAIL KOLOM - 1st FLOOR

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F1 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	28 D25	28 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F1 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	28 D25	28 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F1 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-350
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

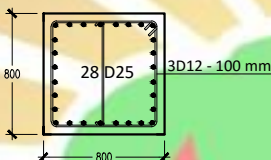
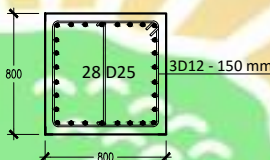
DETAIL TULANGAN KOLOM MEZZANINE DAN 1st FLOOR

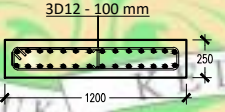
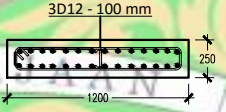
JUMLAH
GAMBAR

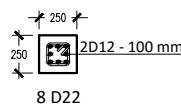
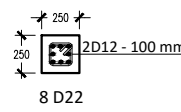
NOMOR
GAMBAR

ST-C-07

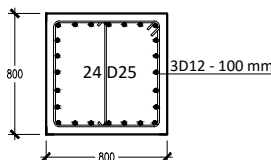
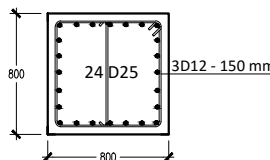
DETAIL KOLOM - 2nd FLOOR

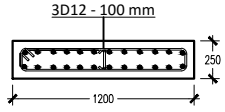
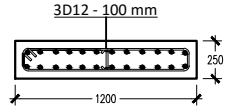
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F2 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	28 D25	28 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

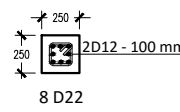
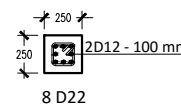
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F2 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	28 D25	28 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F2 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

DETAIL KOLOM - 3rd FLOOR

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F3 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	24 D25	24 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F3 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	24 D25	24 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F3 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-350
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

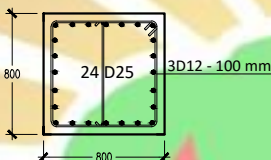
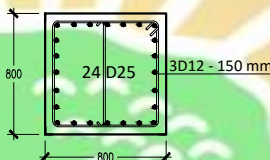
DETAIL TULANGAN KOLOM 2nd DAN 3rd FLOOR

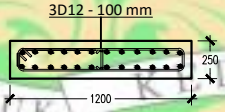
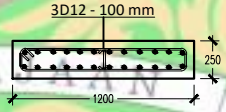
JUMLAH
GAMBAR

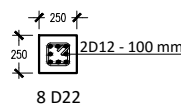
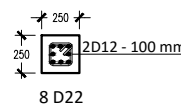
NOMOR
GAMBAR

ST-C-08

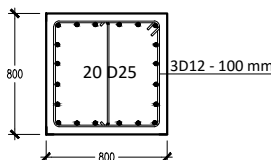
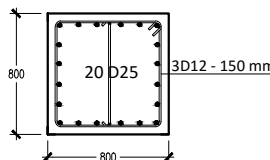
DETAIL KOLOM - 4th FLOOR

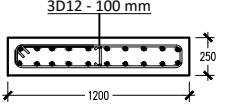
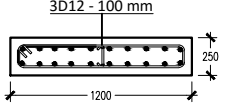
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F4 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	24 D25	24 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

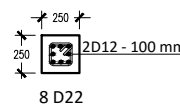
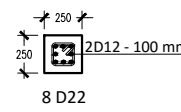
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F4 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	24 D25	24 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F4 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

DETAIL KOLOM - 5th FLOOR

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F5 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F5 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F5 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-350
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : $F_y = 390 \text{ MPa}$
2. Sengkang : $F_y = 240 \text{ MPa}$

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

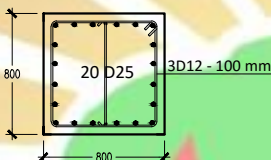
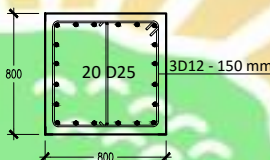
DETAIL TULANGAN KOLOM 4th DAN 5th FLOOR

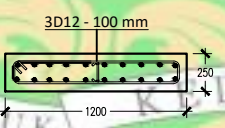
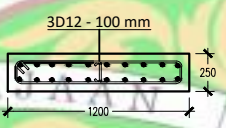
JUMLAH
GAMBAR

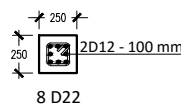
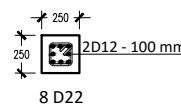
NOMOR
GAMBAR

ST-C-09

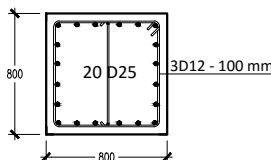
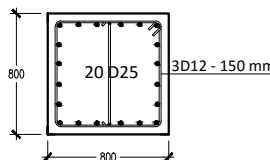
DETAIL KOLOM - 6th FLOOR

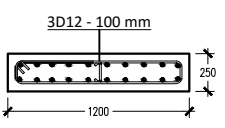
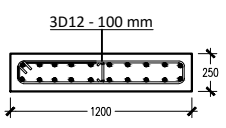
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F6 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

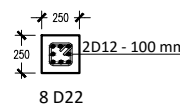
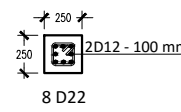
KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F6 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F6 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

DETAIL KOLOM - 7th FLOOR

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F7 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F7 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F7 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-350
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

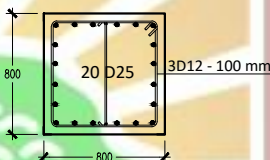
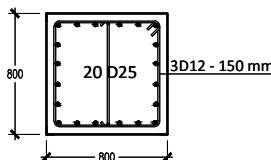
DETAIL TULANGAN KOLOM 6th DAN 7th FLOOR

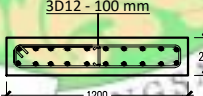
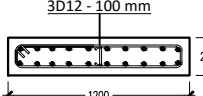
JUMLAH
GAMBAR

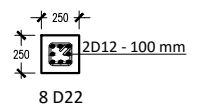
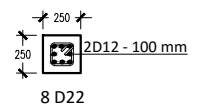
NOMOR
GAMBAR

ST-C-10

DETAIL KOLOM - 8th FLOOR

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K2-F8 (80/80)		
UKURAN	800 mm × 800 mm	
PANJANG	3.800 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K4-F8 (25/120)		
UKURAN	250 mm × 1200 mm	
PANJANG	3.300 m	
TULANGAN LENTUR	20 D25	20 D25
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

KOLOM	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
K6-F8 (25/25)		
UKURAN	250 mm × 250 mm	
PANJANG	3.800 m	
TULANGAN LENTUR	8 D22	8 D22
SENGKANG	2D12 - 100 mm	2D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-350
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN KOLOM 8th FLOOR

JUMLAH
GAMBAR

NOMOR
GAMBAR

ST-C-11

DETAIL BALOK - GROUND FLOOR

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B1-GF (50/80)		
UKURAN	500 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	16 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	16 D22
SENGKANG	3D12 - 75 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B2-GF (50/80)		
UKURAN	500 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	8 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B3-GF (50/80)		
UKURAN	500 mm × 800 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	10 D22	8 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B4-GF (50/80)		
UKURAN	500 mm × 800 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	8 D22
SENGKANG	3D12 - 75 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B5-GF (50/80)		
UKURAN	500 mm × 800 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	10 D22	8 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B6-GF (50/80)		
UKURAN	500 mm × 800 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	10 D22
SENGKANG	3D12 - 75 mm	3D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-300
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN BALOK INDUK-GROUND FLOOR

JUMLAH GAMBAR

NOMOR GAMBAR

ST-D-09

DETAIL BALOK - UPPER GROUND FLOOR

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B1-UG (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	8 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B2-UG (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	7 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	7 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B3-UG (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	7 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	9 D22	7 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B4-UG (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	7 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	9 D22	7 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B5-UG (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	10 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B6-UG (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	10 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	6 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-300
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN BALOK INDUK-UPPER GROUND FLOOR

JUMLAH
GAMBAR

NOMOR
GAMBAR

ST-D-10

DETAIL BALOK - MEZZANINE FLOOR

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B1-MZ (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	8 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	8 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 100 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B2-MZ (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	7 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	7 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B3-MZ (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	7 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	9 D22	7 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B4-MZ (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	7 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	9 D22	7 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B5-MZ (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	10 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B6-MZ (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	10 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	6 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-300
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN BALOK INDUK-MEZZANINE FLOOR

JUMLAH
GAMBAR

NOMOR
GAMBAR

ST-D-11

DETAIL BALOK - 1st FLOOR-8th FLOOR

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B1 (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	5 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	7 D22
SENGKANG	3D12 - 100 mm	3D12 - 125 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B2 (40/80)		
UKURAN	400 mm × 800 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	14 D22	5 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	7 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B3 (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	10 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B4 (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	10 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	8 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B5 (40/60)		
UKURAN	400 mm × 600 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	9 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B6 (40/60)		
UKURAN	400 mm × 600 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	9 D22	6 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	7 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 75 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-300
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

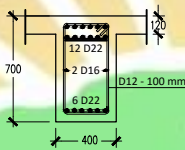
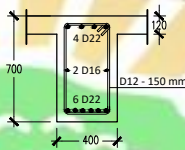
DETAIL TULANGAN BALOK INDUK-1st S/D 8th FLOOR

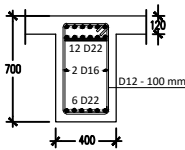
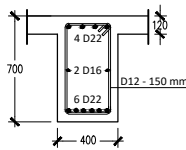
JUMLAH
GAMBAR

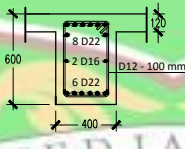
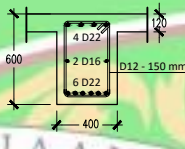
NOMOR
GAMBAR

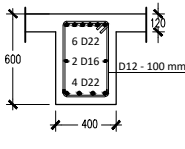
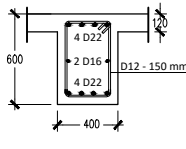
ST-D-12

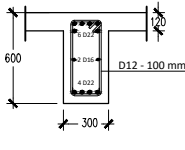
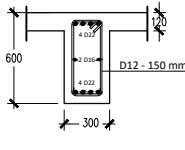
DETAIL BALOK - ROOF FLOOR

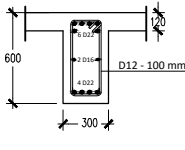
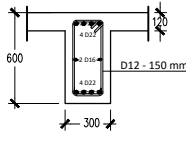
BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B1-RF (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	4 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	6 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B2-RF (40/70)		
UKURAN	400 mm × 700 mm	
PANJANG	9.530 m	
TULANGAN ATAS	12 D22	4 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	6 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B3-RF (40/60)		
UKURAN	400 mm × 600 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	8 D22	4 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	6 D22	6 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B4-RF (40/60)		
UKURAN	400 mm × 600 mm	
PANJANG	5.300 m	
TULANGAN ATAS	6 D22	4 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	4 D22	4 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B5-RF (30/60)		
UKURAN	300 mm × 600 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	6 D22	4 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	4 D22	4 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	

BALOK INDUK	TULANGAN	
	TUMPUAN	LAPANGAN
B6-RF (30/60)		
UKURAN	300 mm × 600 mm	
PANJANG	6.200 m	
TULANGAN ATAS	6 D22	4 D22
TUL. PEMINGGANG	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	4 D22	4 D22
SENGKANG	D12 - 100 mm	D12 - 150 mm
SELIMUT BETON	50 mm	



PUSAT STUDI BENCANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2011

KETERANGAN :

- χ MUTU BETON : K-300
χ MUTU BAJA TULANGAN :
1. Tulangan Utama : Fy= 390 MPa
2. Sengkang : Fy= 240 MPa

χ Selimut Beton : 50 mm

PEKERJAAN

DESAIN ENGINEERING DETAIL (DED)
HOTEL IBIS, PADANG

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN BALOK INDUK-ROOF FLOOR

JUMLAH
GAMBAR

NOMOR
GAMBAR

ST-D-13



LAMPIRAN-2

Response Spektrum

Perhitungan Menggunakan SNI Terbaru yakni SNI-1726-2019

No	Data	Variable	Nilai	
1	Kategori Resiko Bangunan Gedung Hotel	K =	II	tabel 3 hal 24
2	Faktor keutamaan gempa	I =	1	tabel 4 hal 25
3	Parameter Percepatan Tanah (S_s , S_1)			
	a. Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa Pada Periode Pendek	S_s =	1.1245	gambar 15 hal 233
	b. Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa Pada Periode 1 detik	S_1 =	0.5737	gambar 16 hal 234
4	Kelas Lokasi/ Klasifikasi Situs (kota padang)	SD =	Tanah Sedang	tabel 5 hal 29
5	Faktor Koefisien situs (F_a , F_v)			
	a. Koefisien Situs untuk Periode Pendek	F_a =	1.0502	tabel 6 hal 34
	b. Koefisien Situs untuk Periode Panjang	F_v =	1.7263	tabel 7 hal 34
6	Parameter Respon Spektrum Percepatan (SMS, SM1)			
	a. Percepatan Respons Spektral MCE Periode Pendek yang sudah disesuaikan terhadap kelas situs ($SMS = F_a \cdot S_s$)	SMS =	1.18095	rumus 7 hal 34
	b. Percepatan Respons Spektral MCE Periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap kelas situs ($SM1 = F_v \cdot S_1$)	SM1 =	0.990	rumus 8 hal 34
7	Parameter Percepatan Spektrum Desain (SDS, SD1)			
	a. Percepatan Respons Spektral Pada Periode Pendek ($SDS = 2/3 SMS$)	SDS =	0.787	rumus 9 hal 35
	b. Percepatan Respons Spektral Pada Periode 1 detik ($SD1 = 2/3 SM1$)	SD1 =	0.660252	rumus 10 hal 35
8	Spektrum Respons Desain			halaman 36
	a. $T_o = 0,2 SD1/SDS$	T_o =	0.168	
	b. $T_s = SD1/SDS$	T_s =	0.839	

c. T_L = 20 detik (Gambar 20 SNI 1726:2019)

didapat dari data sondir penetration test/Nspt

Tabel 6.13 Data N_{spt}

NSPT	Depth (m)	d_i/N_i
0	0	0
6	1.95	0.325
29	3.2	0.110
40	4.2	0.105
20	6.2	0.310
7	7.6	1.086
24	9.3	0.388
10	10.7	1.070
12	12.3	1.025
37	13.75	0.372
60	15	0.250
Total	84.2	5.040

Dengan menggunakan Rumus 3.1 maka tahanan penetrasi rata-rata (N) adalah : $N = \frac{\text{Depth}}{d_i / N_i} = \frac{84,2}{5,04} = 16,71$, berdasarkan

interpolasi utk nilai F_a

1.000	1.1245	1.1
1.250	1.0502	1

interpolasi utk nilai F_v

0.500	0.5737	1.8
0.600	1.7263	1.7

Persyaratan :

1. $T < T_o$ rumus 11 halaman 35

$$S_a = SDS (0,4 + 0,6 T/T_o)$$

2. $T_o \leq T \leq T_s$ gambar 3 halaman 36

$$S_a = SDS$$

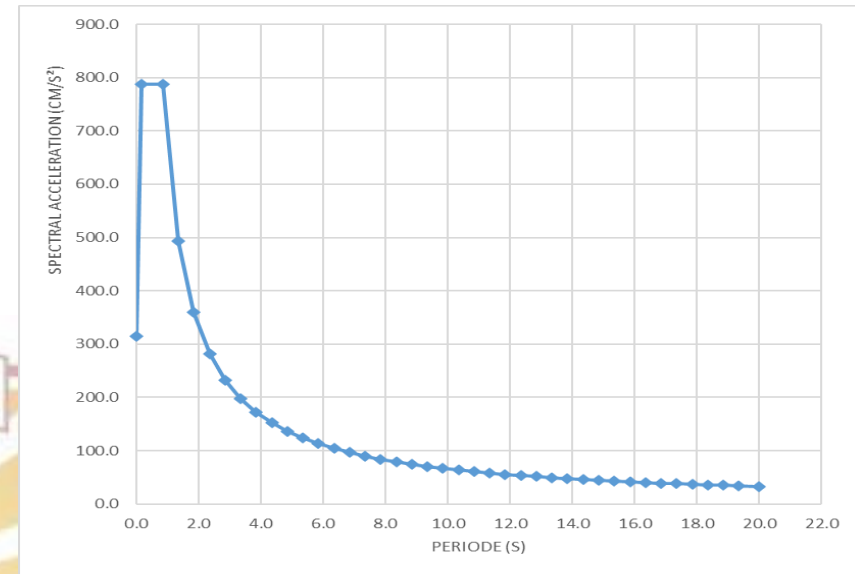
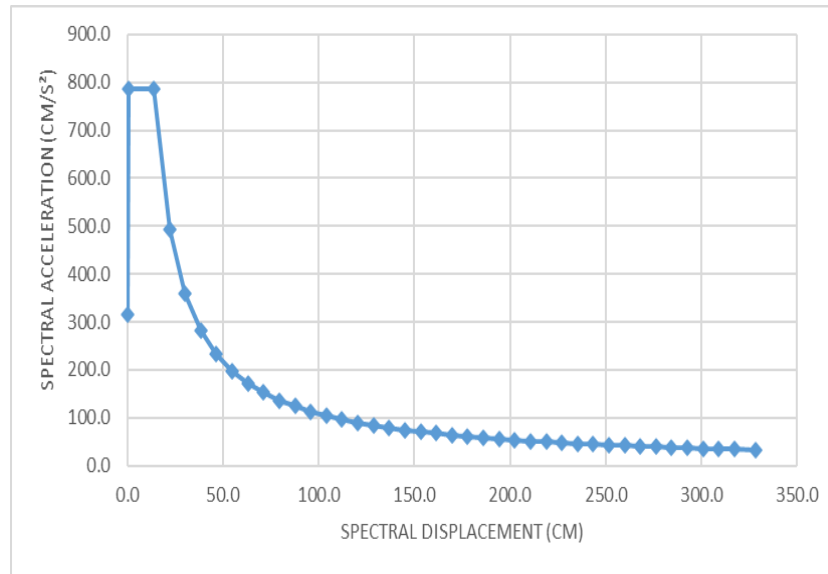
3. $T > T_s$ rumus 12 halaman 35

$$S_a = SD1/T$$

Varibel	Nilai
K	II
I	1
Ss	1.1245
S1	0.5737
SE	Tanah Sedang
Fa	1.0502
Fv	1.7263
SMS (g)	1.1809499
SM1 (g)	0.990
SDS (g)	0.787
SD1 (g)	0.660252207
To	0.168
Ts	0.839

T (detik)	T (detik)	SA (g)
0	0	0.315
To	0.17	0.787
Ts	0.84	0.787
Ts + 0,5	1.34	0.493
Ts + 0,10	1.84	0.359
Ts + 0,15	2.34	0.282
Ts + 0,20	2.84	0.233
Ts + 0,25	3.34	0.198
Ts + 0,30	3.84	0.172
Ts + 0,35	4.34	0.152
Ts + 0,40	4.84	0.136
Ts + 0,45	5.34	0.124
Ts + 0,50	5.84	0.113
Ts + 0,55	6.34	0.104
Ts + 0,60	6.84	0.097
Ts + 0,65	7.34	0.090
Ts + 0,70	7.84	0.084
Ts + 0,75	8.34	0.079
Ts + 0,80	8.84	0.075
Ts + 0,85	9.34	0.071
Ts + 0,90	9.84	0.067
Ts + 0,95	10.34	0.064
Ts + 0,100	10.84	0.061
Ts + 0,105	11.34	0.058
Ts + 0,110	11.84	0.056
Ts + 0,115	12.34	0.054
Ts + 0,120	12.84	0.051
Ts + 0,125	13.34	0.049
Ts + 0,130	13.84	0.048
Ts + 0,135	14.34	0.046
Ts + 0,140	14.84	0.044
Ts + 0,145	15.34	0.043
Ts + 0,146	15.84	0.042
Ts + 0,147	16.34	0.040
Ts + 0,148	16.84	0.039
Ts + 0,149	17.34	0.038
Ts + 0,150	17.84	0.037
Ts + 0,151	18.34	0.036
Ts + 0,152	18.84	0.035
Ts + 0,153	19.34	0.034
Ts + 0,154	20.00	0.033

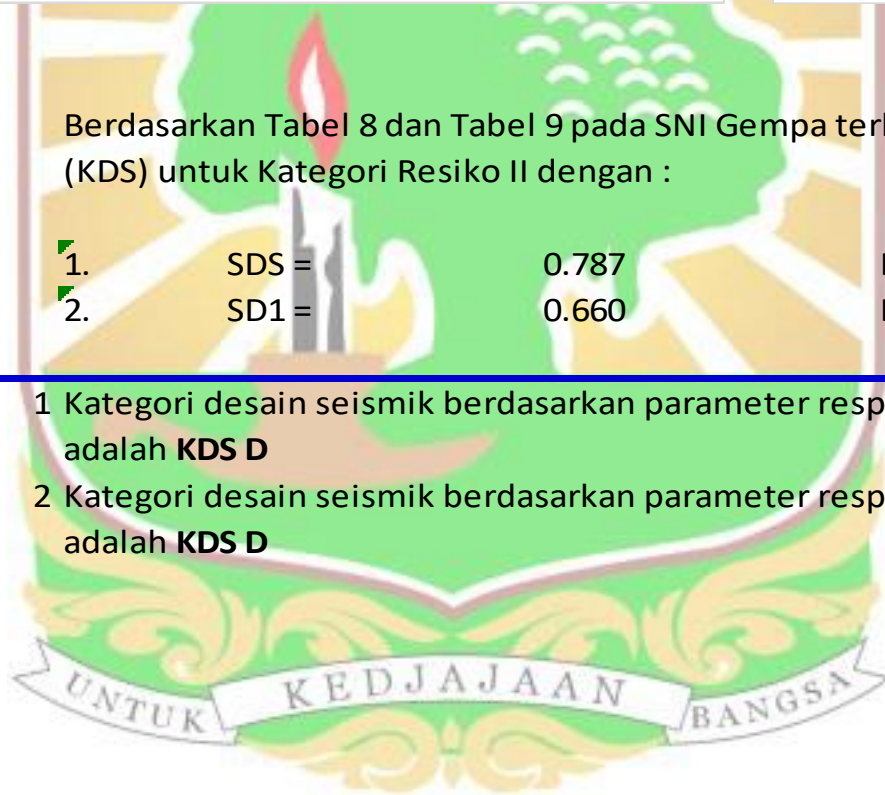
SA (gal)	SD(cm)
314.92	0.000
787.30	0.550
787.30	13.759
493.23	21.962
359.10	30.166
282.32	38.369
232.60	46.572
197.76	54.776
172.00	62.979
152.18	71.182
136.45	79.386
123.67	87.589
113.08	95.792
104.16	103.995
96.55	112.199
89.97	120.402
84.23	128.605
79.18	136.809
74.70	145.012
70.70	153.215
67.11	161.419
63.86	169.622
60.92	177.825
58.23	186.029
55.77	194.232
53.51	202.435
51.43	210.639
49.50	218.842
47.71	227.045
46.05	235.248
44.50	243.452
43.05	251.655
41.69	259.858
40.41	268.062
39.21	276.265
38.08	284.468
37.01	292.672
36.00	300.875
35.05	309.078
34.14	317.282
33.01	328.132



Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 pada SNI Gempa terbaru 2019, Kategori Desain Seismik (KDS) untuk Kategori Resiko II dengan :

- | | | | |
|----|-------|-------|-------------------|
| 1. | SDS = | 0.787 | KATEGORI D |
| 2. | SD1 = | 0.660 | KATEGORI D |

- 1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SDS) adalah **KDS D**
- 2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SD1) adalah **KDS D**



UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Tesis ini penulis mendapat banyak bimbingan, pengarahan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara serta seluruh keluarga besar yang telah memberi dukungan semangat, moral, dan materil dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Ibu Masrilayanti, Ph.D sebagai pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan pengarahan serta masukan –masukan yang membangun selama penyusunan laporan tesis ini.
3. Ibu Jati Sunaryati, Ph.D sebagai pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan membantu dalam penelitian tesis ini.
4. Bapak Dr. Ruddy Kurniawan, Bapak Dr. Eng. Febrin Anas Ismail, dan Ibu Dr. Andriani selaku dosen penguji tesis yang memberikan saran dan masukan yang sangat bermanfaat dan membantu dalam penyelesaian tesis ini.
5. Seluruh dosen, staf pengajar dan karyawan/ti Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik - Universitas Andalas yang banyak membantu dalam penyusunan dan legalisasi tesis ini.
6. Rekan rekan mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Andalas khususnya angkatan 2019 yang telah memberi dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
7. Pusat Studi Bencana Universitas Andalas sebagai pembuat gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang penulis gunakan selama penelitian.