

SKRIPSI

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR ATAS GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS* PADA PROGRAM SAP 2000
(STUDI KASUS : GEDUNG LABORATORIUM FAKULTAS TEKNIK
UM SUMATERA BARAT TALAO)**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil*



Oleh

WENNY LESTARI

20180065

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA STRUKTUR ATAS GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS* PADA PROGRAM SAP 2000
(STUDI KASUS : GEDUNG LABORATORIUM FAKULTAS TEKNIK
UM SUMATERA BARAT TALAO)

Oleh

WENNY LESTARI

20180065

Dosen Pembimbing I,



Dr. Eng., Ir Masril, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407

Dosen Pembimbing II,



Endri, S.T., M.T.
NIDN.8900320021

Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat,

Ketua Program Studi
Teknik Sipil



Dr. Eng., Ir Masril, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407



Helga Yermadona, S.Pd., M.T.
NIDN.1013098502

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 21 Agustus 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 21 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan



Wenny Lestari
20180065

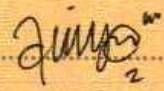
Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 21 Agustus 2024:

Dr. Eng., Ir Masril, S.T., M.T


1.....

Endri, S.T.,M.T

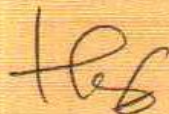
2.....

Asiya Nurhasanah Habirun, S.ST., M.Eng 3.....

Helga Yermadona, S.Pd.,M.T

4.....

Mengetahui
Ketua Program Studi
Teknik Sipil



Helga Yermadona, S.Pd., M.T

NIDN. 1013098502

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Wenny Lestari
Tempat dan tanggal lahir : Jakarta dan 03 Januari 2002
NIM : 20180065
Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja Struktur Atas Menggunakan Metode *Pushover Analysis* Pada Program SAP2000 (Studi Kasus : Gedung Laboratorium Fakultas Teknik UM Sumatera Barat Talao)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pnkittinggi, 21 Agustus 2024

g membuat pernyataan



Wenny Lestari
20180065

ABSTRAK

Gedung Laboratorium Fakultas Teknik UM Sumatera Barat yang berlokasi di jalan peninjauan, Campago Guguak Bulek, Kecamatan Mandiangin, Kota Bukittinggi, Sumatera Barat, terutama ditinjau pada kinerjanya saat terjadi gempa bumi. Gedung ini terdiri dari tiga lantai yang dimana tinggi lantai satu 3,80 meter, lantai dua 3,80 meter, dan lantai tiga 2,60 meter. Bangunan ini memiliki lebar 12 meter dan panjang 15,5 meter. Dari perencanaan dimensi balok B1 300 x 300mm, balok B2 200 x 300 mm, kolom K1 360 x 400 mm, kolom K2 180 x 350 mm, kolom K3 180 x 200 mm, kolom K4 200 x 350 mm, dan tebal plat lantai 120 mm dengan mutu beton K 22,6 Mpa. Bangunan ini tidak mempunyai basement serta jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi telapak. Mendapatkan tingkat keamanan yang disediakan SNI 1726:2019 terhadap keamanan keruntuhan struktur bangunan gedung. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut: a. Permodelan elemen Struktur dengan SAP 2000 b. Pembebanan dan kombinasi c. Cek perilaku struktur d. Analisa kapasitas elemen struktur e. Pushover Analisis Hasil dari perhitungan diatas yang mengacu pada metode ATC – 40 simpangan total maksimum dan simpangan inelastic maksimum termasuk dalam kategori Immediate Occupancy dengan hasil 0,01, berarti terdapat kerusakan struktur tapi tidak signifikan, belum terjadi penurunan kekakuan struktur dan bangunan masih layak fungsi meskipun harus dilakukan perbaikan dan perkuatan pada bagian-bagian yang mengalami kerusakan setelah terjadinya guncangan.

Kata Kunci : SAP 2000, Gedung Laboratorium, Pushover Analisis, metode ATC – 40, Immediate Occupancy, SNI1726:2019



ABSTRACT

The Laboratory Building for the Faculty of Engineering, UM West Sumatra, which is located on the review road, Campago Guguak Bulek, Mandiangin District, Bukittinggi City, West Sumatra, is mainly reviewed for its performance during an earthquake. This building consists of three floors, where the height of the first floor is 3.80 meters, the second floor is 3.80 meters, and the third floor is 2.60 meters. This building is 12 meters wide and 15.5 meters long. From the planning dimensions of beam B1 300 x 300 mm, beam B2 200 x 300 mm, column K1 360 x 400 mm, column K2 180 x 350 mm, column K3 180 x 200 mm, column K4 200 x 350 mm, and floor plate thickness 120 mm with concrete quality K 22.6 Mpa. This building does not have a basement and the type of foundation used is a palm foundation. Obtain the level of security provided by SNI 1726:2019 against the safety of building structure collapse. The method used is as follows: a. Structural element modeling with SAP 2000 b. Loading and combination c. Check structure behavior d. Capacity analysis of structural elements e. Pushover Analysis The results of the above calculations which refer to the ATC method - 40 maximum total deviation and maximum inelastic deviation are included in the Immediate Occupancy category with a result of 0.01, meaning there is structural damage but it is not significant, there has not been a decrease in structural stiffness and the building is still functional even though Repairs and strengthening must be carried out on parts that were damaged after the shock occurred.

Keywords: SAP 2000, Laboratory Building, Pushover Analysis, ATC – 40 method, Immediate Occupancy, SNI1726:2019



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikannya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan dapat di selesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Pintu surgaku, Ibunda Nelly Delfina, yang tidak henti-hentinya memberikan kasih sayang, do'a serta motivasi yang penuh dengan keishlisan yang tak terhingga, terimakasih telah mendukung selaga keputusan dan pilihan dalam hidup penulis, dan terimakasih telah berjuang untuk kehidupan penulis.
2. Cinta pertamaku, Ayahanda Nazri, terimakasih telah berjuang untuk kehidupan penulis, terimakasih telah menjadi tulang punggung yang hebat, beliau memang hanya lulusan sekolah dasar, namun beliau mendidik serta memberi dukungan untuk anak keriganya ini untuk menyelesaikan studinya sampai sarjana.
3. Kepada abangku Caisa Fajar Kurnia, kakakku Yulianty Salbilla, serta adekku Cantika Ramadani, terimakasih telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi;
4. Bapak Dr. Eng., Ir., Masril, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
5. Bapak Hariyadi, S.Kom., M.Kom. selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
6. Ibuk Helga Yermadona, S.Pd., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil;
7. Ibuk Selpa Dewi, S.T., M.T. selaku Dosen Pendamping Akademik;
8. Bapak Dr. Eng., Ir., Masril, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak masukan kepada penulis;
9. Bapak Endri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak masukan kepada penulis;
10. Bapak/Ibuk Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;

11. Mutiara Rahma Andila selaku sahabat yang selalu memberikan dukungan, menemani dalam suka dan duka serta memberikan masukan-masukan dalam menyelesaikan skripsi;
12. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi;
13. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebut satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik sipil.

Bukittinggi, Juli 2024



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

LEMBAR PERSETUJUAN PENGUJI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....i

DAFTAR ISI.....iii

DAFTAR GAMBAR..... v

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR NOTASI x

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian..... 3

1.5 Sistematik Penulisan..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 5

2.1 SNI 1726:2019..... 5

2.2 Pembebanan Pada Stuktur..... 5

2.2.1 Konsep Pembebanan Stuktur 6

2.2.2 Analisis Stuktur Terhadap Beban Gempa 7

2.3 Gaya Statik 9

2.4 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan 10

2.5 Kontruksi Bangunan Tahan Gempa 14

2.6 Pembebanan 18

2.6.1 Beban Mati (Dead Load) 18

2.6.2 Beban Hidup (Live Load)..... 20

2.6.3 Beban Gempa (Eartqhuake)..... 26

2.6.4 Kombinasi Pembebanan 27

2.7 Kontrol Perilaku Struktur 28

2.7.1 Waktu Getar Alami dan Partisipasi Massa 28

2.7.2 Drift Antar Lantai 29

2.8 Mengenal SAP2000.....	29
2.8.1 Sekilas Mengenai SAP2000 V.22.....	29
2.8.2 Tahapan Permodelan Struktur.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	52
3.1 Lokasi Penelitian	52
3.2 Data Penelitian	53
3.3 Metode Penelitian.....	58
3.4 Bagan Alir Penelitian.....	60
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	61
4.1 Hasil Inpeksi Struktur Eksisting.....	61
4.1.1 Denah Bangunan	61
4.1.2 Hasil Uji Hammer Test	62
4.1.3 Analisis Pembebanan Struktur Gedung	62
4.1.3.1 Beban Mati Tambahan	63
4.1.3.2 Beban hidup	64
4.1.3.3 Beban Gempa	65
4.1.4 Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Kolom	71
4.1.5 Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Balok.....	75
4.1.6 Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Pelat	83
4.1.7 Analisis Struktur	86
4.1.7.1 Geometri Struktur	86
4.1.7.2 Pengecekan Perilaku Struktur	87
4.2 Analisis Pushover	90
4.2.1 Menambahkan Tulangan Terpasang Pada Elemen Struktur	90
4.2.2 Membuat Nonlinear Case	97
4.3 Letak Sendi Plastis	99
4.4 Running Program	100
4.5 Kurva Kapasitas <i>Pushover</i>	106
4.6 Level Kinerja Struktur	108
4.7 Dimensi Struktur Yang Baru.....	110
BAB V PENUTUP.....	117
5.1 Kesimpulan	117
5.2 Saran.....	118
DAFTAR PUSTAKA	

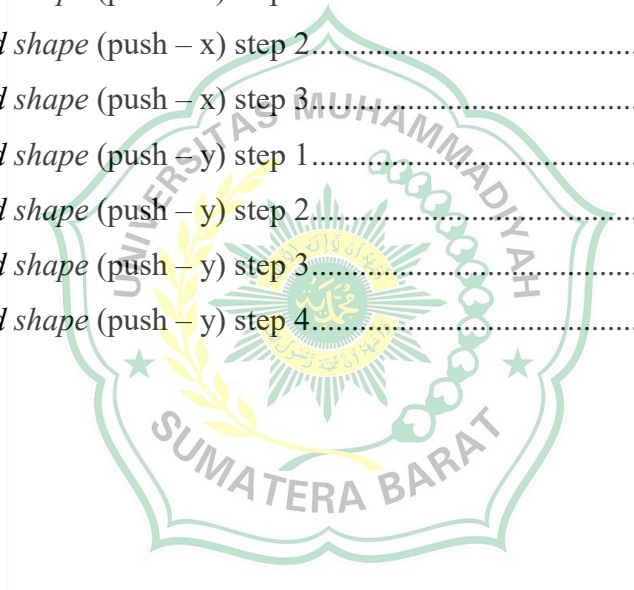
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Kriteria Kinerja	16
Gambar 2.2 Ilustrasi Keruntuhan Gedung	17
Gambar 2.3 Batas Bawah Spektrum Respons MCER Deterministik.....	25
Gambar 2.4 Paramenter Gerak Tanah.....	26
Gambar 2.5 Tampilan Awal Software SAP 2000	30
Gambar 2.6 Mendefinidikan Jenis – Jenis Material Stuktur.....	31
Gambar 2.7 Edit Grid Data	32
Gambar 2.8 Input Data Material Beton.....	33
Gambar 2.9 Input Data Material Tulangan	34
Gambar 2.10 <i>Frame Section Property Type</i>	35
Gambar 2.11 Input Properties Balok	35
Gambar 2.12 Input Data Reinforcement Balok	36
Gambar 2.13 Input Frame Property/ <i>Stiffness Modification Factors</i>	37
Gambar 2.14 Input Properties Kolom.....	38
Gambar 2.15 Input Data Reinforcement Kolom.....	39
Gambar 2.16 <i>Input Frame Property/Siffness Modification Factors</i>	40
Gambar 2.17 Input Shell Section Data	41
Gambar 2.18 <i>Input Property/Siffness Modification Factors</i>	42
Gambar 2.19 Elemen Balok	43
Gambar 2.20 Elemen Kolom	43
Gambar 2.21 Elemen Pelat	44
Gambar 2.22 Elemen Atap.....	44
Gambar 2.23 Display Options.....	45
Gambar 2.24 Hasil Gambar Model Elemen Stuktur.....	45
Gambar 2.25 <i>Assign joint Direction</i>	46
Gambar 2.26 <i>Devide</i> pelat lantai dan atap	48
Gambar 2.27 Jenis- Jenis Beban Yang Berkerja	49
Gambar 2.28 Beban Hidup pelat lantai.....	50
Gambar 2.29 Beban Mati Pelat Lantai.....	50

Gambar 2.30 Pengambilan Hasil Analisis SAP 2000	51
Gambar 3.1 Laboratorium Fakultas Teknik	52
Gambar 3.2. Lokasi Penelitian	53
Gambar 3.3 Denah Pembalokan Lantai 1 Laboratorium	53
Gambar 3.4 Denah Lantai 2 Laboratorium	54
Gambar 3.5 insfeksi Visual	55
Gambar 3.6 Inspeksi Visual	56
Gambar 3.7 Spektrum Respon Desain	58
Gambar 3.8 Spektrum Respon Desain	58
Gambar 3.9 Bagan Alir	60
Gambar 4.1 Denah Bangunan Lantai 1	61
Gambar 4.2 Denah Bangunan Lantai 2	61
Gambar 4.3 Denah Bangunan Lantai 3	62
Gambar 4.4 Input Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai	63
Gambar 4.5 Input Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap	63
Gambar 4.6 Input Beban Mati Tambahan Pada Balok	64
Gambar 4.7 Input Beban Hidup Pada Pelat Lantai 1	64
Gambar 4.8 Input Beban Hidup Pada Pelat Lantai 2	65
Gambar 4.9 Input Beban Hidup Pada Pelat Lantai Atap	65
Gambar 4.10 Define Beban Gempa Statik Ekuivalen	66
Gambar 4.11 Input Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah x-x	66
Gambar 4.12 Input Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah y-y	67
Gambar 4.13 Grafik Respon Spektrum SNI 1726:2019	67
Gambar 4.14 Input Parameter Respon Spektrum	68
Gambar 4.15 Define Load Case Arah -y	68
Gambar 4.16 Define Load Case Arah -x	69
Gambar 4.17 Input Beban Combinations (combo 1)	71
Gambar 4.18 Diagram Interaksi	75
Gambar 4.19 Jumlah Partisipasi Mass Ratios	87
Gambar 4.20 Jumlah Partisipasi Mass ratios	87
Gambar 4.21 Output Geser Dasar	88

Gambar 4.22 Titik Yang Ditinjau Pada Elevasi 3,8 m	89
Gambar 4.23 Titik Ditinjau Pada Elevasi 7,6 m	89
Gambar 4.24 Titik Yang Ditinjau Pada Elevasi 10,2 m	90
Gambar 4.25 Titik Yang Ditinjau Pada Elevasi 11,2 m	90
Gambar 4.26 Detail Tulangan Balok 30x30	91
Gambar 4.27 Input Tulangan belok 30x30	91
Gambar 4.28 Detail Tulangan Balok 30x20	92
Gambar 4.29 Input tulangan balok 30x20.....	92
Gambar 4.30 Detail Tulangan Balok 15x20	93
Gambar 4.31 Input tulangan balok 15x20.....	93
Gambar 4.32 Detail tulangan kolom 35x40.....	94
Gambar 4.33 Input tulangan kolom 35x40	94
Gambar 4.34 Detail tulangan kolom 18x35.....	95
Gambar 4 . 35 Input tulangan kolom 18x35	95
Gambar 4.36 Detail tulangan kolom 18x20.....	96
Gambar 4.37 Input tulangan kolom 18x20	96
Gambar 4.38 Detail tulangan kolom 20x30.....	97
Gambar 4.39 Input tulangan kolom 20x30	97
Gambar 4.40 Titik yang akan ditetapkan pada label 90.....	98
Gambar 4.41 <i>Statik nonlinear case gravity</i>	98
Gambar 4.42 <i>Statik nonlinear case push-x</i>	99
Gambar 4.43 <i>Statik nonlinear case push-y</i>	99
Gambar 4.44 Display Tabel Pushover Curve x-x	99
Gambar 4.45 Display tabel pushover curve y-y.....	100
Gambar 4.46 tahapan keruntuhan sendi plastis.....	100
Gambar 4.47 Step 1 arah -x.....	101
Gambar 4.48 Step 2 arah -x.....	101
Gambar 4.49 Step 3 arah -x.....	102
Gambar 4.50 Step 4 arah -x.....	102
Gambar 4 51 Step 5 arah -x.....	103
Gambar 4.52 Step 1 arah -y.....	104

Gambar 4.53 Step 2 arah $-y$	104
Gambar 4.54 Step 3 arah $-y$	105
Gambar 4.55 Step 4 arah $-y$	105
Gambar 4.56 Step 5 Arah $-y$	106
Gambar 4.57 Input parameter kapasitas spektrum ATC-40	107
Gambar 4.58 Spekteum Kapasitas Arah $x-x$	108
Gambar 4.59 Spektrum Kpasitas Arah $y-y$	108
Gambar 4.60 Denah Bangunan Lantai 1	110
Gambar 4.61 Denah Bangunan Lantai 2.....	110
Gambar 4.62 Denah Bangunan Lantai 3.....	110
Gambar 4.63 <i>Deformed shape</i> (push $-x$) step 1.....	111
Gambar 4.64 <i>Deformed shape</i> (push $-x$) step 2.....	112
Gambar 4.65 <i>Deformed shape</i> (push $-x$) step 3.....	112
Gambar 4.66 <i>Deformed shape</i> (push $-y$) step 1.....	113
Gambar 4.67 <i>Deformed shape</i> (push $-y$) step 2.....	113
Gambar 4.68 <i>Deformed shape</i> (push $-y$) step 3.....	114
Gambar 4.69 <i>Deformed shape</i> (push $-y$) step 4.....	114



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	11
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa	13
Tabel 2.3 Tingkat Kerusakan Struktur Bangunan	18
Tabel 2.4 Berat Bahan Bangunan	19
Tabel 2.5 Berat Komponen Benganan	20
Tabel 2.6 Beban Hidup Pada Lantai Gedung	21
Tabel 3.1 Beban mati yang berkerja pada pelat lantai	57
Tabel 3.2 Beban Mati yang berkerja pada Pelat Atap	57
Tabel 4.1 Hasil Rata-Rata Uji Hammer Test	62
Tabel 4.2 Kapasitas Penampang Kolom	71
Tabel 4.3 Kapasitas Penampang Balok	75
Tabel 4.4 Kapasitas Penampang Pelat	83
Tabel 4.5 Hasil Penjumlahan Geser Dasar	88
Tabel 4.6 Gaya Geser Dasar Setiap Push X	103
Tabel 4.7 Gaya Geser Dasar Stiap Push Y	106
Tabel 4.8 Batas Simpangan Pada Tingkat Kinerja Struktur	109
Tabel 4.9 <i>Deformed shape</i> (push – x)	112
Tabel 4.10 <i>Deformed shape</i> (push – y)	114
Tabel 4.11 Evaluasi kinerja gedung sesuai ATC-40	115

DAFTAR NOTASI

- A = Merupakan Kondisi Dimana Belum Ada Pembebanan Sehingga Belum Terjadi Plasifikasi Pada Sendi Plastis.
- B = Merupakan Kondisi Dimana Elemen Mulai Mengalami Leleh Yang Pertama
- B_{Jc} = Berat Jenis Beton
 B_{Js} = Berat Jenis Baja
- C_s = Koefisien Respon *Seismic*
- C_{vx} = Faktor Distribusi *Vertical*
- C_1 = Faktor Respons Gempa Dari *Spektrum Respons*
- C = Merupakan Kapasitas *Ultimate* Dari Elemen
- CP = Elemen Pada Level Kinerja *Collapse Prevention* (Kondisi Hampir Runtuh)
- D = Kekuatan Sisa Dari Elemen
 D_t = Simpangan Total
- E = Merupakan Batas Dimana Elemen Sudah Mengalami Keruntuhan
 E_c = Modulus Elastisitas Beton
- E_s = Modulus Elastisitas Baja
 f_c = Kuat Tekan Beton
- f_y = Tegangan Leleh
- f_u = Tegangan Putus Tulangan Lentur
- h_i dan h_x = Tinggi Dari Dasar Sampai Tingkat *I* Atau *X*
- IO = Merupakan Tahapan Setelah Leleh (Plastis) Dengan Tingkat Kinerja Pada Elemen *Immediately Occupancy*
- I_e = Faktor Keutamaan Gempa
- K = Eksponen Yang Terkait Dengan Periode Struktur
- LS = Elemen Pada Level Kinerja *Live Savety* (Kondisi Plastis)
- I = Faktor Pmbesaran Defleksi
R = Faktor Modifikasi Respons
- R = Faktor Reduksi Gempa Representatif Dari Struktur Gedung Yang Bersangkutan
- S_{DS} = Parameter Percepatan *Spectrum Respons*

- S_{DI} = Parameter Percepatan *Respon Spectral*
- T = Periode Fundamental Struktur u
= Angka Poisson Beton Atau Baja
- V = Gaya Lateral Desain Total Atau Geser Didasar Struktur
- W = Berat *Seismic* Efektif
- w_i dan w_x = Bagian Berat *Seismic* Efektif Total Struktur W_t
= Berat Total Gedung
- Δ_s = Simpangan Antar Lantai Δ_x
= Simpangan Izin
- δ = Defleksi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara berkembang yang masih berusaha untuk menjadi negara maju. Salah satu cara untuk mencapai tujuan ini adalah dengan meningkatkan aspek pendidikan baik dalam hal teknologi maupun pembangunan. Seiring dengan pesatnya kemajuan teknologi dibidang pendidikan dan pembangunan gedung sekolah, gedung laboratorium, perlu diciptakan struktur yang kuat, aman, transparan, ekonomis, dan berimbang terhadap gempa. Seperti halnya dengan pembangunan laboratorium fakultas teknik di Talao, bukittinggi yang bertujuan untuk meningkatkan sarana dan prasarana pendidikan di daerah tersebut. Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake*) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa. Dalam konteksnya terhadap ruang lingkup kerja teknik sipil, kondisi tersebut diatas berpengaruh besar dalam perencanaan desain struktur bangunan (Masril, 2019)

Perancangan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat lokasi negara Indonesia yang dikelilingi oleh lempeng tektonik dunia (Irfan & Setiawan, 2023). Karena letaknya yang berada di pertemuan tiga lempeng dunia yaitu, Australia, Indo Australia, dan pasifik wilayah Indonesia termasuk negara yang berpotensi mengalami gempa bumi besar. Pengaruh dari gempa menjadi faktor penting dalam perencanaan desain struktur bangunan. Bangunan gedung dijelaskan bahwa ada beberapa faktor yang dapat digunakan sebagai persyaratan menilai kinerja gedung baik itu dari segi persyaratan administratif bangunan gedung, persyaratan teknis baik itu dari segi persyaratan tata bangunan dan dari segi keandalan bangunan gedung (Simbolon, 2021). Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Trend perencanaan yang terkini yaitu performance based seismic design, yang memanfaatkan teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis (Dewobroto, 2005)

Sangat penting melakukan penyelidikan yang menyeluruh, aman, tenteram, ekonomis, dan tertib terhadap sebuah bangunan untuk meminimalkan beban – beban yang menyerupai beban

gempa. Perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen, yang terdiri dari tiga komponen yaitu sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Metode ini digunakan untuk menahan beban gempa. Struktur yang menjadi prioritas perencanaan adalah struktur SRPMK dimana akan dirancang sedemikian mungkin sehingga dapat menahan *respon inelastic* akibat beban gempa agar dapat dikategorikan aman untuk digunakan.

Gedung Laboratorium Fakultas Teknik UM Sumatera Barat yang berlokasi di jalan peninjauan, Campago Guguak Bulek, Kecamatan Mandiangin, Kota Bukittinggi, Sumatera Barat, merupakan salah satu tempat prasarana pendidikan yang berfungsi sebagai tempat perkuliahan dan melakukan praktikum, secara aktual gedung ini baru beroperasi penuh selama kurang lebih 3 tahun, yang dulunya bangunan ini hanya ruko biasa dan sekarang digunakan sebagai tempat praktikum yang dimana baban yang berkerja sudah berbeda. Untuk melindungi struktur gedung dari gempa bumi, maka perlu dilakukannya evaluasi kinerja struktur bangunan laboratorium fakultas teknik UM Sumatera Barat, terutama ditinjau pada kinerjanya saat terjadi gempa bumi. Gedung ini terdiri dari tiga lantai yang dimana tinggi lantai satu 3,80 meter, lantai dua 3,80 meter, dan lantai tiga 2,60 meter. Bangunan ini memiliki lebar 12 meter dan panjang 15,5 meter. Dari perencanaan dimensi balok B1 = 300 x 300mm, balok B2 = 200 x 300 mm, kolom K1 360 x 400 mm, kolom K2 = 180 x 350 mm, kolom K3 = 180 x 200 mm, kolom K4 = 200 x 350 mm, dan tebal plat lantai 120 mm dengan mutu beton K 22,6 Mpa. Bangunan ini tidak mempunyai *basement* serta jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi telapak.

Dengan adanya perkembangan teknologi pada saat ini sangat membantu sekali untuk para pekerja konstruksi dalam perencanaan maupun metode terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan tersedianya dan pemakaian program SAP 2000 yang dinilai mampu untuk menjawab permasalahan dalam bentuk pemodelan yang sangat *kompleks*. Dengan adanya permasalahan tersebut, penulis ingin melakukan analisa kinerja seismaik struktur gedung dengan penerapan *pushover analysis* sesuai dengan pedoman SNI 1726:2019, dan metode analisis *pushover* ATC-40,1996 yang digunakan untuk sarana komponen *performed based desain* yang digunakan kapasitas struktur. Metode yang sederhana ini, mengidentifikasi pola keruntuhan gedung dengan memberikan pola beban *Static* tertentu dalam arah leteral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap sampai target *displacement* tertentu. Untuk melakukan

analisis kinerja struktur ini, penulis menggunakan metode *pushover* bantuan program SAP2000 V.22, dan kemudian membahas output yang terkait dengan Program ini.

Setelah penjelasan di atas, penelitian bertujuan untuk membuat pemodelan SAP 2000 melakukan *pushover analisis* bangunan gedung 3 lantai, penulis akan mengevaluasi kinerja struktur dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Atas Gedung Bertingkat Menggunakan Metode *Pushover Analisis* Pada Program SAP 2000 (Studi Kasus : Gedung Laboratorium Fakultas Teknik UM Sumatera Barat Talao)”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat disimpulkan permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinerja struktur gedung Laboratorium Fakultas Teknik menggunakan metode analisis *pushover*?
2. Bagaimana analisis struktur gedung yang dapat dilihat dari pola keruntuhan dengan *Pushover Analisis*?

1.3. Batasan Masalah

Supaya penelitian ini sesuai rencana dan lebih terarah, maka penulis membuat batasan masalah penelitian ini sebagai berikut :

1. Bangunan yang diteliti terdiri dari tiga lantai.
2. Aspek yang ditinjau pada penelitian ini hanya meninjau struktur atas.
3. Perancangan struktur dibantu dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 dengan program *pushover analysis*.
4. Pembebanan mengacu pada beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain dan juga ketahanan gempa untuk bangunan gedung

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan tingkat keamanan yang disediakan SNI 1726:2019 terhadap keamanan keruntuhan struktur bangunan gedung.
2. Mendapatkan hasil kinerja struktur yang diuji berdasarkan ATC-40 tahun 1996.
3. Mendapatkan hasil perencanaan dimensi penampang struktur baru setelah melakukan uji analisis *pushover*.

Manfaat penelitian ini adalah:

- 1) Berdasarkan ATC-40 diketahuinya tahapan terjadinya keruntuhan suatu struktur bangunan gedung.
- 2) Untuk sebagai pertimbangan bagi pihak universitas Muhammadiyah Sumatera Barat agar elakukan renovasi pada bangunan Laboratorium Falkutas Teknik.

1.5. Sistematika penulisan

Penelitian berikut ditulis secara sistematis dan terdiri dari 5 bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II menjelaskan teori-teori dari buku, jurnal, pedoman teknik dan sumber lain yang berkaitan dengan kinerja suatu bangunan yang tahan terhadap gempa bumi, serta tahapan-tahapan dalam pemodelan SAP 2000V.22.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III berisikan data-data penelitian, metode penelitian, tinjauan umum, alat dan bahan, dan tahap-tahapan prosedur dan penelitian,

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas analisis pengolahan data dengan memakai *software* SAP 2000 V.22 serta perhitungan dan hasil kinerja suatu struktur bangunan dalam program *pushover analysis*.

BAB V PENUTUP

Setelah menganalisis data yang dikumpulkan, bab ini membahas kesimpulan dan saran dari berbagai pihak.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Perencanaan suatu bangunan harus memenuhi syarat tahan gempa, sehingga dapat memperkecil kerusakan dan kecelakaan yang mungkin terjadi akibat terjadinya gempa. Menurut (Sulendra , 2012) “ Persyaratan struktur bangunan gedung meliputi persyaratan kemampuan bangunan gedung terhadap beban muatan, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pembebanan pada bangunan gedung,
2. Struktur atas bangunan gedung,
3. Struktur bawah bangunan gedung,
4. Persyaratan khusus komponen struktur bangunan gedung.

Struktur bangunan gedung Negara harus memenuhi persyaratan keselamatan (*safety*) dan kelayakan (*serviceability*) dan standar konstruksi bangunan yang berlaku. Sistem struktur yang umum adalah sistem rangka pemikul momen (SRPM) yang terdiri dari balok, kolom, dan plat untuk struktur atas, selain itu terdapat sistem ganda yang merupakan SRPM dengan penambahan dinding geser. Penggunaan dinding geser berpengaruh terhadap besarnya *ultimate drift ratio*. Berdasarkan penelitian dari Wibowo dan Zebua, penempatan dinding geser sangat berpengaruh terhadap simpangan gedung yang terjadi (Wibowo & Zebua, 2021). Permasalahan yang akan dibahas dalam artikel ini adalah bagaimana hasil perhitungan struktur balok, kolom, pelat, dan dinding geser bangunan gedung menggunakan peraturan gempa terbaru SNI 1726:2019.

2.2. Pembebanan Pada Struktur

2.2.1 Konsep Pembebanan Struktur

Setiap elemen – elemen struktur mempunyai fungsi dan karakteristik yang berbeda. Pada suatu sistem struktur, elemen – elemen struktur mempunyai suatu mekanisme penyaluran beban dari atas ke tanah (sistem fondasi) (Ariani , Aditya, & Jamal, 2023).

Merujuk pada peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/prt/m/2006 tentang pedoman persyaratan teknik bangunan gedung, setiap bangunan gedung harus memiliki struktur yang kuat,

kokoh dan stabil dalam memikul beban yang akan bekerja. Sebuah struktur bangunan dapat dikatakan stabil dan aman apabila mampu menahan beban – beban yang bekerja pada bangunan itu sendiri.

Beban – beban yang akan bekerja pada suatu struktur bangunan yaitu :

a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri. Yang mencakup komponen structural dan arsitektural. Sedangkan beban mati pada pasal 1 PPIUG 1983 yaitu, beban mati merupakan berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk semua elemen tambahan, mesin – mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu.

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban – beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah – pindah, beban hidup masih bisa dikatakan bekerja secara perlahan – lahan pada struktur. Beban pengguna (*occupancy loads*) adalah beban hidup, yang termasuk kedalam beban pengguna adalah berat badan manusia, perabot, material, yang akan disimpan, dan sebagainya. Beban salju juga termasuk kedalam beban hidup.

c. Beban Gempa (*Earthquake*)

Beban gempa adalah sebuah beban yang datang secara tiba – tiba tanpa diketahui waktu datang beban tersebut. Beban gempa merupakan beban yang berkerja pada suatu struktur akibat dari adanya pergerakan tanah yang menyebabkan terjadinya getaran dari dalam tanah merambat ke permukaan tanah yang kemudian tersalurkan ke bangunan yang berada di atas tanah.

2.2.2 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Analisis dinamik merupakan analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Secara umum analisis struktur terhadap beban dibagi menjadi dua cara, yaitu analisis beban *static ekuivalen* dan analisis dinamik.

1. Analisis Beban Statik Ekuivalen (*Equivalent Static Load Analysis*)

Analisis static ekuivalen merupakan salah satu cara analisis struktur, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban static horizontal untuk menirukan pengaruh gempa akibat gerakan tanah. Metode ini digunakan untuk bangunan beraturan dengan tinggi tidak lebih dari 40 m.

Menurut tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk stuktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726:2019, gaya geser dasar seismic, V , dalam arah yang ditetapkan dapat ditentukan dengan persamaan 1 sampai persamaan 4.

$$V = C_s \cdot W \quad (2.1)$$

$$C_s = \frac{SDS}{R} \quad (2.2)$$

$$C_s = \frac{SDS}{R} \cdot T \quad (2.3)$$

$$C_s = 0,044 S \alpha_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.4)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respon *seismic*, yang dihitung dengan persamaan 1, berdasarkan tidak perlu melebihi C_s persamaan 2, dan harus tidak kurang dari C_s persamaan 3.

W = Berat *seismic* efektif

S_{DS} = Parameter percepatan *spectrum respons* disain dalam rentangan perioda pendek

S_{DI} = Parameter percepatan *respons spectral* desain pada periode sebesar 1,0 detik seperti yang ditentukan dalam 0

T = Periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 0

R = faktor modifikasi respons, sesuai dalam ketentuan SNI 1726:2019

I_e = factor keutamaan gempa yang besarnya ditentukan berdasarkan kategori resiko dalam SNI 1726:2019

Kemudian gaya lateral (F_x) (K_n) yang timbul dari semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan 5.

$$C_{vx} = \frac{W_x H_x^K}{\sum_{i=1}^n W_i H_i^K} \quad (2.5)$$

Keterangan :

C_{vx} = factor distribusi vertical

V = gaya leteral desain total atau geser didasar struktur (kN)

W_i dan W_x = bagian berat *seismic* efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tinggi I atau x

H_i dan H_x = tinggi dari dasar sampai tinggat I atau x

K = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai

untuk struktur $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

untuk struktur $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

untuk struktur $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

2. Analisis Dinamik (*Dynamic Analysis*)

Analisis dengan metode dinamik ini digunakan untuk bangunan dengan struktur tidak beraturan. Analisis dengan metode ini dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Perhitungan beban gempa dengan metode dinamik ini terdiri dari dua cara, yaitu:

1) Analisis Ragam *Spektrum Respons*

Analisis ragam spectrum respons merupakan suatu cara analisis dinamik struktur, yang mana suatu model dari matematika struktur diperlakukan suatu *Spectrum Respons* gempa rencana, lalu ditentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut

2) Analisa *Respons Riwayat Waktu*

Analisa *respons* riwayat waktu merupakan suatu acuan dalam menganalisa sebuah dinamik struktur, yang mana suatu model matematika dari struktur dikarenakan riwayat waktu dari hasil pencatatan gempa yang terjadi.

Karakteristik struktur –struktur bangunan yang perlu di analisa menggunakan metode dinamis, yaitu:

- a) Gedung dengan konfigurasi dengan struktur sangat tidak aman
- b) Dengan keloncatan gedung bidang muka yang besar
- c) Kekakuan gedung tingkat yang tidak merata
- d) Gedung tersebut dengan tinggi lebih dari 40 meter

2.3. Gaya Statik

Dalam perencanaan struktur gedung arah pembebanan gempa harus ditentukan sedemikian rupa agar memberikan pengaruh terhadap struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa harus efektif 100% pada arah sumbu utama dan bersamaan dengan arah tegak lurus sumbu utama sebesar 30%. Struktur harus dirancang agar mampu menahan gaya geser dasar akibat gempa yang dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{C_1}{R} W_t \quad (2.6)$$

Keterangan :

V = Gaya geser dasar nominal

C1 = Faktor respons gempa dari *spectrum respons*

I = Faktor keutamaan

R = Faktor reduksi gempa representative dari struktur gedung yang bersangkutan


Wt = Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai

2.4. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan

Menurut SNI 1726:2019 untuk berbagai kategori resiko struktur gedung dan non gedung sesuai dengan table 2.1 pengaruh gempa terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan *Ie* menurut table 2.2.

Tabel 2.1 Resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kedalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan,</p>	
<p>termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan 	

<ul style="list-style-type: none"> - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung tidak termasuk dalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari – hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	 III
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan – bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah 	

<ul style="list-style-type: none"> - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas beda unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energy dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV.</p>	IV
---	----

Sumber : SNI 1726 : 2019

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, Ie
I atau II	0,1
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726 : 2019

2.5 Konstruksi Bangunan Tahan Gempa

Konstruksi bangunan tahan gempa adalah bangunan yang bisa merespon gempa, dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan *fleksibel* untuk meredam getaran gempa. Menurut ahli struktur bangunan Institut Teknologi Padang Ir. Agus, M.Sc. IPM “prinsip bangunan tahan gempa harus

memperhatikan sistem *structural* dan kualitas material bangunan yang digunakan. Secara teknis bangunan di bagi menjadi dua jenis yaitu, *Non Engineered Buildings* (rumah masyarakat) dan *Engineered Buildings* (gedung bertingkat)”.

Menurut tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung SNI 1726:2019, persyaratan desain *seismic* struktur bangunan gedung harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Persyaratan dasar

Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem pemikul gaya leteral dan *vertical* yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi yang cukup untuk menahan gerak tahanan *seismic* desain harus diasumsikan terjadi pada arah sembarang horizontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan melalui pembuatan model matematika dan pengevaluasiann model tersebut untuk pengaruh gerak tanah *seismic* desain. Gaya *seismic desain*, dan distribusinya di setinggi struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai, dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen struktur tersebut harus ditentukan. Prosedur alternative yang disetujui tidak boleh dipakai untuk menentukan gaya *seismic* dan distribusinya, kecuali bila gaya – gaya dalam dan deformasi yang terkait pada komponen strukturnya ditentukan menggunakan model yang konsisten dengan prosedur yang diadopsi.

2. Desain komponen struktur, desain sambungan, dan batasan deformasi lintasan atau lintasan-lintasan beban yang menerus dengan kekakuan dan kekuatan yang memadai harus disediakan untuk mentransfer semua gaya dari titik pembebanan hingga titik tahanan akhir. Semua bagian struktur antara sambunagn pemisah harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus ke sistem pemikul gaya seismic, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya *seismic* (F_p) yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang terhubung. Setiap bagian struktur yang lebih kecil harus diikat ke bagian struktur sisanya dengan menggunakan elemen yang mempunyai kuat desain yang mampu menyalurkan gaya *seismic* yang dihitung sebagai nilai terbesar antara 0,133SDS kali berat bagian struktur yang lebih kecil atau 5% berat bagian tersebut. Gaya sambungan ini tidak berlaku pada desain sistem pemikul gaya *seismic* secara keseluruhan. Gaya desain sambungan tidak perlu melebihi gaya maksimum yang dapat disalurkan oleh sistem struktur ke sambungan.

a) *Immediate Occupancy (OI)*

Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan structural dan tidak mengalami kerusakan no-structural, sehingga dapat langsung dipakai.

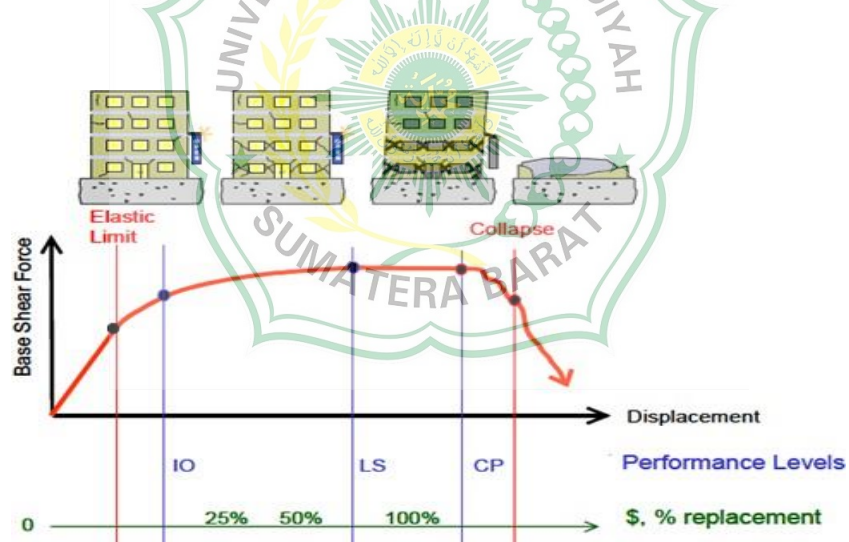
b) *Life Safety (LS)*

Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan structural, manusia tinggal / berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.

c) *Collapse Prevention*

Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan structural yang sangat berat tetapi belum runtuh.

d) *Struktural Stabiiti (SS)* adalah kondisi dimana struktur telah mengalami kerusakan parsial ataupun total, kerusakan yang terjadi telah menyebabkan degradasi kekuatan dan kekakuan pada sistem penahan gaya leteral.










Gambar 2.2 Ilustrasi Keruntuhan Gedung

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

Keterangan:

Tabel 2.3 Tingkat Kerusakan Struktur Bangunan

Ket	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linear kemudian diikuti dengan pelelehan pertama pada struktur
IO		Terjadi kerusakan kecil atau yang tidak berarti pada struktur, kekakuan pada struktur hampir sama pada saat terjadi gempa
LS		Terjadi kerusakan mulai dari tingkat kecil hingga tingkat sedang, kekakuan struktur berkurang namun masih memiliki ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Terjadi kerusakan yang parah terhadap struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
CP		Batas maksimum gaya geser masih mampu ditahan gedung
D		Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

2.6 Pembebanan

Pembebanan dapat terjadi dari bebap konstruksi itu sendiri yang dapat disebut dengan beban mati, dan juga beban orang atau beban benda yang dapat dipindahkan yang bersifat tidak permanen disebut beban gempa. Apabila beban- beban tersebut terjadi secara bersamaan maka akan ditemukan kombinasi pembebanannya.

2.6.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan structural lainnya serta peralatan terpasang lain termasuk berat keran. Berat sendiri dari bahan – bahan bangunan gedung yang harus ditinjau dalam

menentukan beban mati suatu gedung harus diambil dari table berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung berdasarkan PPPURG 1987.

Tabel 2.4 Berat Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Kg/m ³
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500
Batu karang	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Kayu	1000
Kerikil, Korol	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, korol	1850
Tanah, lempung, lanau (kering udara sampai lembab)	1700
Tanah, lempung, lanau (basah)	2000
Timah hitam	11400

Sumber : PPPURG 1987

Tabel 2.5 Berat Komponen Bungalow

Komponen Gedung	Kg/m ²
Adukan per cm tebal:	

- dari semen	21
- dari kapur semen merah atau tras	17
Aspal per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	450
- satu batu	250
- setengah batu	
Dinding pasangan batako Berlubang:	
- 20cm	200
- 10c	120
m Tanpa	
lubang	
- 15	300
- 10	200
Langit-langit dan dinding terdiri dari:	
- semen asbes	11
- kaca 3-5mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu tanpa langit-langit bentang maksimum 5m beban hidup 200kg/m ²	40
Penggantung langit-langit dari kayu	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk	50
Penutup atas sirap	40
Penutup atap seng gelombang	10
Penutup lantai dari ubin	24
Semen asbes gelombang	11

Sumber : PPPURG 1987

2.6.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Tabel 2.6 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Jenis	Kg/ m^2
Lantai dan tangga rumah tinggal	200
Lantai dan tangga sederhana rumah tinggal dan gudang yang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, rumah sakit	250
Lantai ruang olahraga	400
Lantai ruang dansa	500
Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain, daripada yang disebut dalam asampai e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton	400
Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri	500
Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam c	300
Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam d,e,g	500
Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus diencanakan terhadap beban hidup yang ditentukan sendiri	400
Lantai gedung parker bertingkat	
- untuk lantai bawah	800
- untuk lantai tingkat lainnya	400
Balokn-balkon yang menjorok bebas keluar harus	

direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300
---	-----

Sumber : PPPURG 1987

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019”Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung”, suatu struktur bangunan harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur bangunan menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Kombinasi-kombinasi pembebanan untuk metoda ultimit adalah sebagai berikut:

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1. 1,4 DL | Kombinasi 1 |
| 2. 1,2 DL + 1,6 LL | Kombinasi 2 |
| 3. 1,2 DL + LL + E | Kombinasi 3 |
| 4. 0,9 DL + E | Kombinasi 4 |

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

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| 1. 1,4 DL | Kombinasi 1 |
| 2. 1,2 DL + 1,6 LL | Kombinasi 2 |
| 3. 1,2 DL + LL + Ex + 0,3 Ey | Kombinasi 3-1 |
| 4. 1,2 DL + LL + Ex - 0,3 Ey | Kombinasi 3-2 |
| 5. 1,2 DL + LL - Ex + 0,3 Ey | Kombinasi 3-3 |
| 6. 1,2 DL + LL - Ex - 0,3 Ey | Kombinasi 3-4 |
| 7. 1,2 DL + LL + 0,3 Ex + Ey | Kombinasi 3-5 |
| 8. 1,2 DL + LL + 0,3 Ex - Ey | Kombinasi 3-6 |
| 9. 1,2 DL + LL - 0,3 Ex + Ey | Kombinasi 3-7 |
| 10. 1,2 DL + LL - 0,3 Ex - Ey | Kombinasi 3-8 |
| 11. 0,9 DL + Ex + 0,3 Ey | Kombinasi 4-1 |
| 12. 0,9 DL + Ex - 0,3 Ey | Kombinasi 4-2 |
| 13. 0,9 DL - Ex + 0,3 Ey | Kombinasi 4-3 |
| 14. 0,9 DL - Ex - 0,3 Ey | Kombinasi 4-4 |
| 15. 0,9 DL + 0,3 Ex + Ey | Kombinasi 4-5 |

16. $0,9 DL + 0,3 Ex - Ey$

Kombinasi 4-6

17. $0,9 DL - 0,3 EX + EY$

Kombinasi 4-7

18. $0,9 DL - 0,3 EX - EY$

Kombinasi 4-8

Sedangkan untuk kombinasi beban gempa harus dikombinasikan dengan beban mati dan beban hidup sesuai dengan peraturan yang sudah ditetapkan. SNI 1726:2019 diterangkan bahwa pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horisontal dan vertikal. Sehingga semua elemen struktur harus didesain menggunakan pengaruh beban gempa. Perhitungan pengaruh beban gempa adalah sebagai berikut:

1. $1,2 DL + 1,6 LL$

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

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

Maka persamaan gempa yang digunakan yaitu:

$$E = Eh + Ev$$

Untuk kombinasi beban,

1. $0,9D + 1,0E$

2. $0,6D + 0,7E$

Maka persamaan gempa yang digunakan yaitu:

$$E = Eh - Ev$$

Pengaruh beban gempa horizontal, Eh harus diperhitungkan dengan persamaan,

$$Eh = \rho QE$$

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

$$Ev = 0,2SDSD$$

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan yaitu:

$$(1,2 + 0,2 SDS) D + \rho QE + L (0,9 - 0,2 S)$$

$$D + \rho QE + 1,6H$$

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

$$V = CSW$$

Koefisien *respons* dinamik diperhitungkan dengan persamaan

$$CS = SDs/(R/Ie)$$

Dan Cs tidak harus kurang dari



$$C_s = 0,044SDS I_e \leq 0,01$$

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari *respons spektral* percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Untuk penentuan *respons spektral* percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik.

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor implifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter *spektrum respons* percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan persamaan,

$$SMS = F_a.S_s$$

$$SM1 = F_v.S_1$$

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

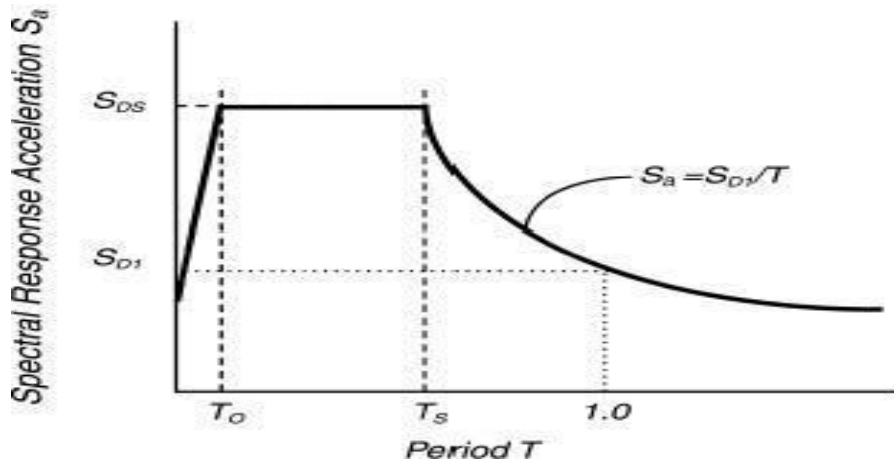
1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , *spektrum respons* percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan
$$S_a = SDS \leq 0,4 + 0,6 \leq$$
2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , *spektrum respons* percepatan desain, S_a , sama dengan SDS
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , *spektrum respons* percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = S_d1/T$$

Dimana :

$$T_0 = 0,2 SD1/S_d$$

$$T_s = SD1/SD_s$$



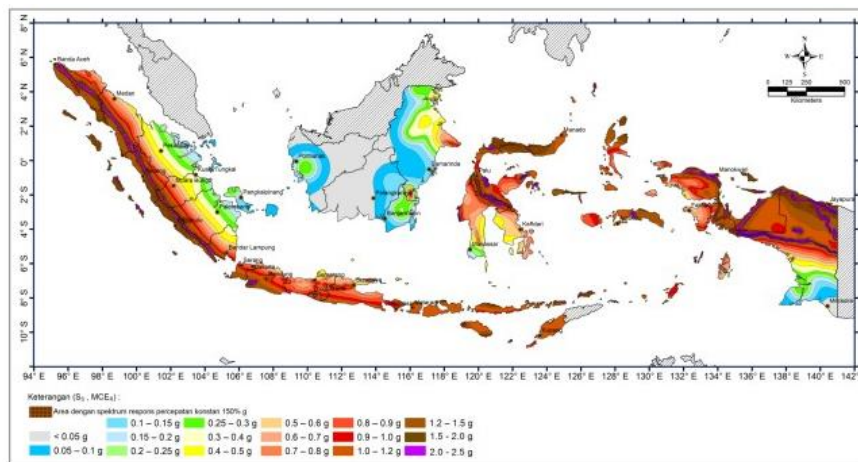
Gambar 2.3 Batas Bawah Spektrum Respons MCER Deterministik

Sumber : SNI 1726 : 2019



2.6.3 Beban Gempa (Eartquake)

Beban gempa ialah semua beban *static ekuivalen* yang berkerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya – gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_a gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0.2-detik (redaman kritis 5%)

tanah akibat gempa itu adalah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa.

Gambar 2.4 Parameter Gerak Tanah

Sumber : SNI 1726 : 2019

2.6.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur dapat dijamin keamanannya dengan cara memberikan kapasitas kekuatan atau kuat rencana yang lebih besar dari kuat perlu. Kekuatan suatu komponen struktur yang diperlukan untuk muatan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi pembebanan efek beban disebut dengan kuat perlu.

Kuat perlu (U) dari suatu struktur harus dihitung dengan beberapa kombinasi beban yang mungkin berkerja pada struktur tersebut. Menurut pasal 3.2.2 SK-SNI-T-15-2012-03.

1. Kuat perlu U yang menahan beban mati D dan beban hidup L paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

2. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D, L, W berikut harus dipilih untuk menentukan nilai U sebesar

$$U = 0,75 (1,2 + 1,6 + 1,6)$$

3. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E turut pula diperhitungkan

$$U = 1,05 (D + L_r \pm E)$$

Dimana :

L_r = beban hidup yang telah direduksi atau

$$U = 0,9 (D \pm E)$$

4. Bila tekanan horizontal tanah H turut diperhitungkan, kuat perlu minimum U harus sama dengan,

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 1,6 H$$

Untuk keadaan yang berpengaruh D dan L mengurangi efek dari H, nilai maximum U ditentukan sebagai,

$$U = 0,9 D + 1,6 H$$

5. Bila penganggu structural T seperti beban penurunan, rangkai, susut, atau pembebanan suhu yang cukup menentukan dalam perencanaan, maka kekuatan yang diperlukan U minimum harus sama dengan :

$$U = 0,75 (1,2 D + 1,6 T + 1,6 L)$$

Dengan nilai U harus lebih besar dari,

$$U = 1,2 (D + T)$$

6. Bila ketahanan terhadap pengaruh kejut diperhitungkan dalam perencanaan maka pengaruh tersebut harus disertakan pada perhitungan baban hidup L.

2.7 Kontrol Perilaku Struktur

2.7.1 Waktu getar alami dan partisipasi massa

Pasal 7.9.1 SNI 1726:2019 menyatakan bahwa partisipasi massa dari stuktur bangunan adalah 100% dari massa strukturnya, namun ada toleransi untuk analisis 90% dari massa actual. Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 :2019 menyatakan bahwa periode struktur harus memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$T_{amin} = Ct. Hn^x < T_{act} < T_{amax} = T_{amin}. Cu \quad (2.7)$$

Dimana C_t dan C_u didapatkan dari table 17 dan 18 SNI 1726:2019 dan tinggi bangunan disimbolkan dengan Hn^x .

2.7.2 Drift antar lantai

Simpangan antara lantai struktur bangunan mengacu pada pasal 7.8.6 SNI 1726 : 2019, dimana simpangan antar tingkat desain harus dilakukan dikalkulasi sebagai perbedaan simpangan antar tingkat. Simpangan tingkat yang ditinjau adalah sebagai berikut :

$$\delta x = C_d \cdot \delta_{xe} / l_e \quad (2.8)$$

C_d adalah factor perbesaran simpangan leteral; δ_{xe} adalah simpangan ditingkat $-x$ dan l_e adalah factor keutamaan gempa

2.8 Penelitian Terdahulu

evaluasi kinerja seismik struktur beton dengan analisis pushover yang dilakukan pada sebuah gedung rumah sakit di Surakarta. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan konsep desain strong colum weak beam (SCWB) telah dipenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis dimulai dari elemen balok, kemudian pada saat mencapai titik kinerja pada sebagian elemen balok mencapai kondisi batas inelastic. (Niken, 2021)

Kapasitas struktur mengacu pada kemampuan suatu bangunan untuk menahan beban tertentu sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan struktural. Sementara itu, daktilitas merujuk pada kemampuan struktur untuk menunjukkan deformasi yang cukup elastis dan memberikan peringatan sebelum mencapai batas kegagalan akhir. Dengan menganalisis kapasitas dan daktilitas struktur melalui pushover analysis, penelitian ini bertujuan untuk memahami sejauh mana kekuatan dan keandalan struktur dalam menghadapi beban eksternal. (Wahyuni et al., 2021)

2.9 Menegnal SAP 2000

2.9.1 Metode *Pushover Analisis* Pada Program SAP 2000

SAP 2000 merupakan program untuk perhitungan kekuatan struktur khususnya bangunan-bangunan bertingkat tinggi dan jembatan. Program ini sangat diminati oleh semua *civil engineer* karena sangat mudah dipelajari dan simple digunakan. Bayangkan sebelum adanya program SAP 2000 ini, para *civil engineer* sering menggunakan rumus analisis stuktur yang membutuhkan waktu lama. Setelah adanya program ini dapat mempercepat hasil dan analisis. Kinerja dari SAP 2000 ini adalah membuat model-model stuktur atau portal bangunan. Kemudian diberi beban-beban kerja seperti beban hidup, beban mati, beban gempa, beban angin dan sebagainya. Output dari program ini adlah momen, gaya geser, dan gaya normal yang diperlukan untuk keperluan mendesain kebutuhan tulangan pada elemen struktur.

Analisis *pushover* adalah suatu cara analisis *static non-linier* dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis.

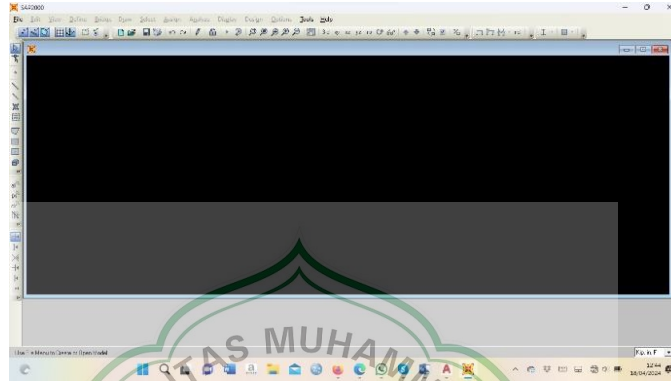
Analisi dilakukan dengan memberikan suatu pola beban leteral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan leteral dari suatu titik acuan atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan mamperhatikan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku *non-linier*. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya leteral yang digunakan sebagai beban dorong.

Melihat pengaruh desain tersebut terhadap gempa bumi, salah satu metode analisis yang digunakan adalah analisis *Pushover*. Analisi *Pushover* atau analisis beban dorong statik merupakan suatu analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan menggunakan program SAP 2000 untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur. Melalui program SAP 2000 dapat diketahui pula level kinerja struktur bangunan tersebut.

2.9.2 Langkah-Langkah Metode *Pushover Analysis* Pada Program SAP 2000

Berikut ini adalah langkah pengevaluasian struktur gedung Laboratorium Fakultas Teknik dengan software SAP 2000 V14.

1. Tampilan Awal Software SAP2000 V.14

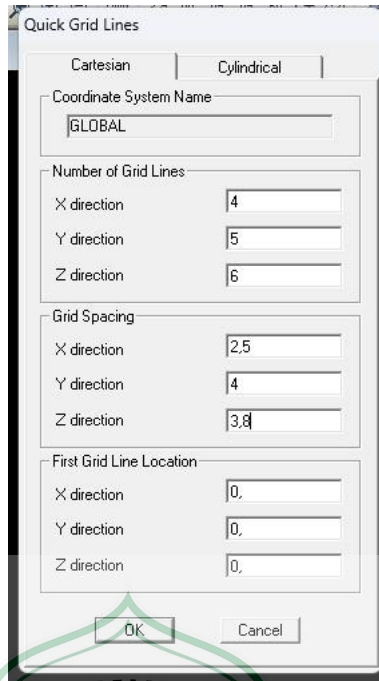


Gambar 2.5 Tampilan Awal Software SAP 2000

Sumber : SAP 2000 V.14

2. Menggambar model grid

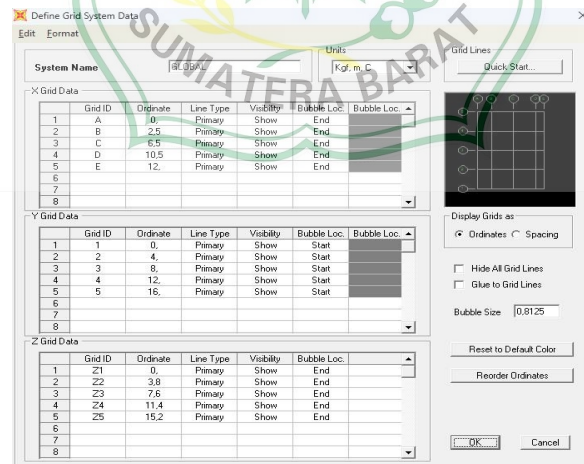
- Klik Menu → *New Model*
- Pilih *option Default Unit* pilih KN, m, C
- Pada *option Select Template* Klik *Grid Only*, maka akan muncul kotak dialog ***Quick Grid Lines***, Input data stuktur seperti Gambar 2



Gambar 2.6 Mendefinidikan Jenis – Jenis Material Stuktur

Sumber : SAP 2000 V. 14

Kemudian klik saja **Oke**, lanjut klik kiri pada tampilan gambar, kemudian pilih **Edit Grid Data**, terlihat pada gambar 2.



Gambar 2.7 Edit Grid Data

Sumber : SAP 2000 V.14

3. Merencanakan material struktur

- a. Klik Define → Material pada kotak dialog *Define Material*. Klik *Add New Material*, pada *Material Type* dan *Standar* pilih *User* klik *Oke*. Kemudian isikan kotak dialog *Material Property Data* sesuai data-data gedung seperti pada gambar 2. Untuk menginputkan data material beton lainnya, lakukan hal yang sama.

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	FC 25
Material Type	Concrete
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	2402.7697
Mass per Unit Volume	245.0143
Units: Kgf, m, C	
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.535E+09
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	1.056E+09
Other Properties for Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f _c	2549290.5
Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>
Shear Strength Reduction Factor	
Switch To Advanced Property Display <input type="checkbox"/>	
OK Cancel	

Gambar 2.8 Input Data Material Beton

Sumber : SAP 2000 V.14

- b. Untuk membuat tulangan baru, klik *Add New Materials* maka akan muncul kotak dialog *Add Material Property*, pada *Material Type* pilih *Rebar* dan *Standart* pilih *User* kemudian klik *Oke*. Selanjutnya isikan kotak dialog *Material Property Data* sesuai dengan data di bawah seperti Gambar 2.7 Untuk material tulangan selanjutnya, lakukan hal yang sama.

Material Property Data

General Data	
Material Name and Display Color	FY 240
Material Type	Rebar
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	2402.7637
Mass per Unit Volume	245.0143
Units	
	Kgf, m, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.535E+09
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	1.056E+09
Other Properties for Rebar Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	24473189
Minimum Tensile Stress, Fu	42184178
Expected Yield Stress, Fye	30935064
Expected Tensile Stress, Fue	46402595
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

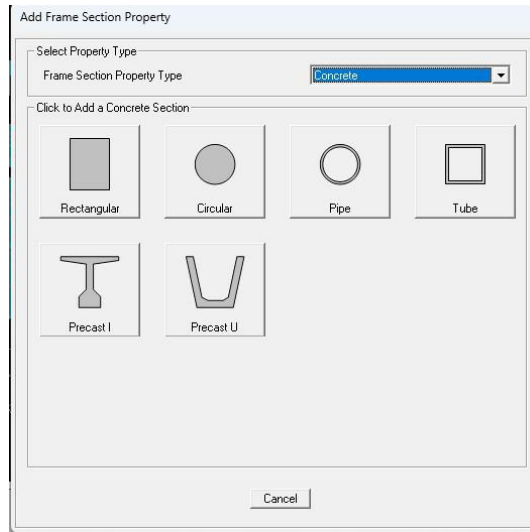
Gambar 2.9 Input Data Material Tulangan

Sumber : SAP 2000 V.14

4. Membuat Penampang Stuktur

Penampang Balok

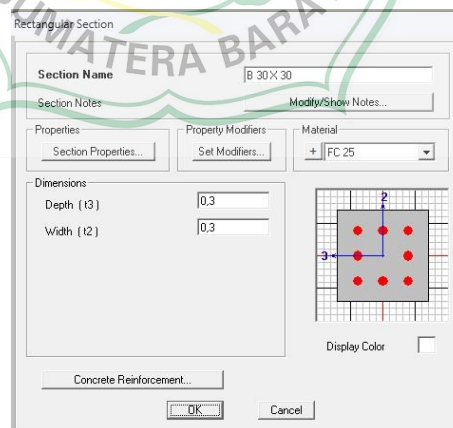
- Input elemen balok dilakukan dengan cara *define – Section Properties – frame Section*. Pada dialog *Define Frame Properties* pilih *Add Frame Section Property* seperti gambar berikut ini:



Gambar 2.10 *Frame Section Property Type*

Sumber : SAP2000 V.14

- b. Pada *option Frame Section Property Type* pilih **ConCreate** dan pilih **Rectangular** maka akan muncul kotak **Rectangular Section**. Pada option pilih **Beton Mutu Fc 25 Mpa**, lalu isikan **Section Name** dengan **Balok 300x300mm**, kemudian isikan **Depth** dan **Width**-nya seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.11 *Input Properties Balok*

Sumber : SAP 2000 V.14

1. Klik **Concrete Reinforcement** maka akan muncul kotak dialog **Reinforcement Data**. Pada Option **design Type** pilih Beam dan pada option **Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center** atau selimut beton isikan **0,04** untuk **Top** dan **Bottom** juga **0,04**, terlihat seperti gambar dibawah ini:

Gambar 2.12 Input Data Reinforcement Balok

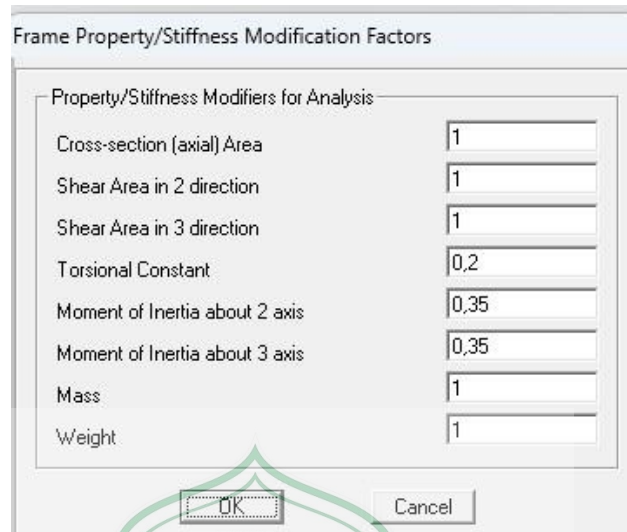
Sumber : SAP 2000 V.14

Note :

Concrete cover to longitudinal rebar center adalah tebal selimut beton berdasarkan SNI beton 03-2847-2019

1. Kembali pada kotak dialog **Rectangular Section** pada option **property modifiers** klik **Set Modifies**, maka akan muncul kotak dialog **Frame Property/Stiffness Modification Factors**.
2. Lalu isikan momen of inertia about 2 axis diisi dengan **0,35** dan Torsion Constant diisi dengan **0,25** seperti pada **Gambar 6.9** Hal ini dilakukan karena persentase penampang efektif moment inersia pada beton < 100 % berdasarkan SNI 2847: 2019 Pasal

6.6.3.1.1. Pada torsi juga direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur.



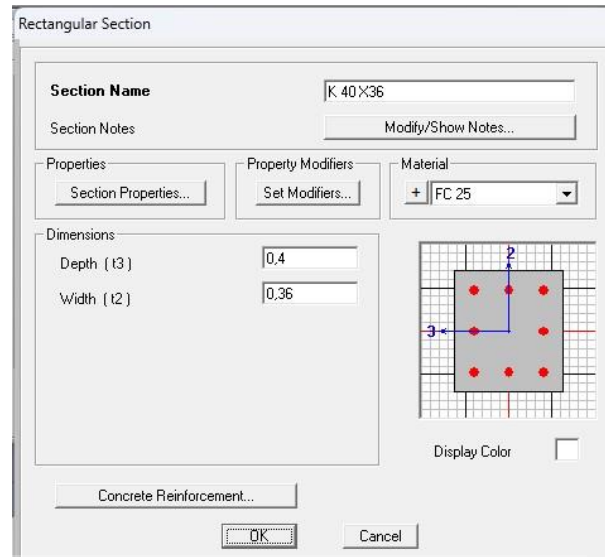
Gambar 2.13 Input Frame Property/Stiffness Modification Factors

Sumber : SAP 2000 V.14

Lalu untuk pembuatan dimensi Balok 200x300 mm dengan cara yang sama dengan Balok 300x300 mm diatas.

Penampang Kolom

- Input elemen kolom dilakukan dengan cara **Define – Section Properties - Frame Section**. Pada dialog **Define Frame Properties** pilih **Add New Property** maka akan muncul kotak dialog **Add Frame Section Property**.
- Pada option **Frame Section Property Type** pilih **Concrete** dan pilih **Rectangular** maka akan muncul kotak dialog **Rectangular Section**. Pada option **material** pilih **Beton Mutu Fc25 Mpa** (sesuai material yang telah dibuat) dan isikan **Section Name** dengan **K1 45/45** lalu isikan **Depth** dan **Width**-nya seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.14 Input Properties Kolom

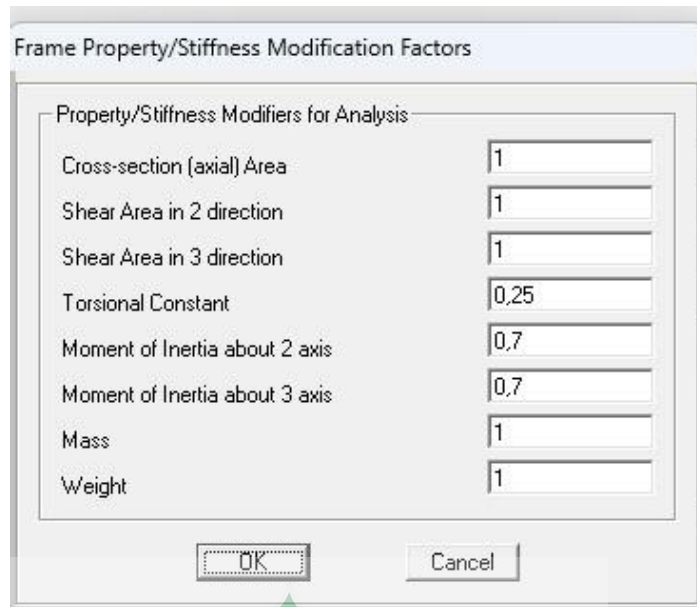
Sumber: SAP 2000 V.14

- a. Klik **Concrete Reinforcement** maka akan muncul kotak dialog **Reinforcement Data**. Pada option *Desain Type* pilih **Column**.
- b. Pada option *Longitudinal Bars* pilih **Baja Tulangan Mutu 240 Mpa** (sesuai material yang telah dibuat) dan pada option *Confinement Bars (Ties)* pilih **Baja Tulangan Mutu 240 Mpa** seperti terlihat pada Gambar 2.13.

Gambar 2.15 Input Data Reinforcement Kolom

Sumber : SAP 2000V.14

- c. Kembali pada kotak dialog kotak dialog *Rectangular Section* pada option *property Modifiers* klik *Set Modifiers*, maka akan muncul kotak dialog *Frame Property/Stiffness Modification Factors*.
- d. Lalu isikan *Momen of Inertia about 2 axis* diisi dengan **0,7** dan *Torsion Constant* diisi dengan **0,25** seperti pada Gambar 5.12. Hal ini dilakukan karena persentase penampang efektif *moment inersia* pada beton < 100 % berdasarkan SNI 2847: 2019 Pasal 6.6.3.1.1. Pada *torsi* juga direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur.



Gambar 2.16 *Input Frame Property/Stiffness Modification Factors*

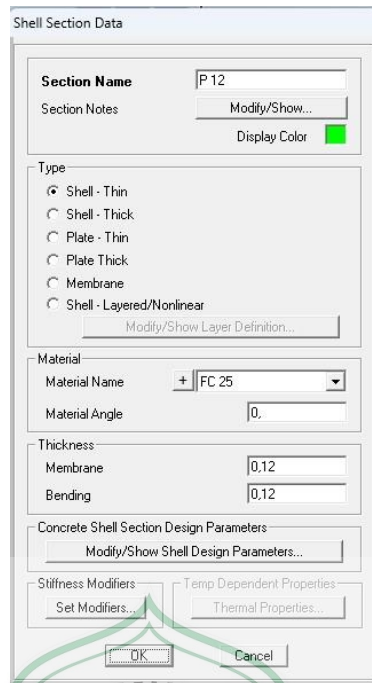
Sumber : SAP 2000 V.14

Untuk pembuatan dimensi Kolom K2 (18/20) dengan cara yang sama dengan Kolom K1 diatas.

Penampang Pelat

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

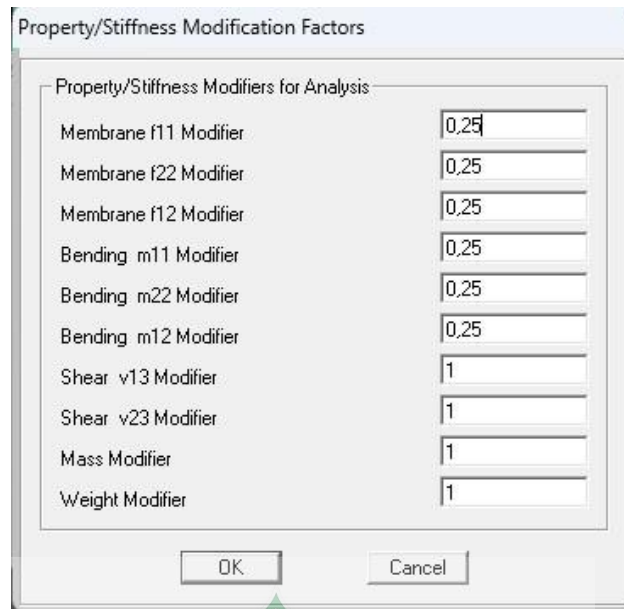
- Input elemen pelat lantai dilakukan dengan cara *Define – Section Properties – Area Section*. Pada kotak dialog *Area Sections* pilih *Add New Section* maka akan muncul kotak dialog *Shell Section Data*.
- Isikan *Section Name* dengan *Pelat 120mm* untuk pelat lantai. Pada option *material name* pilih *Beton Mutu 250 Mpa*.
- Isikan pada option *Thickness* untuk *Mambrene 0.12* dan *Bending 0.12*.
- Pada option *Type* pilih *Shell* (karena pelat lantai dimodelkan sebagai elemen Shell). Seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.17 Input Shell Section Data

Sumber : SAP 2000 V.14

- e. Kembali pada kotak dialog kotak dialog *Shell Section Data* pada option *Stiffness Modifiers* klik *Set Modifiers*, maka akan muncul kotak dialog *Property/Stiffness Modification Factors*.
- f. Lalu isikan *Stiffnes Modifiers* seperti gambar 2.16.



Gambar 2.18 *Input Property/Stiffness Modification Factors*

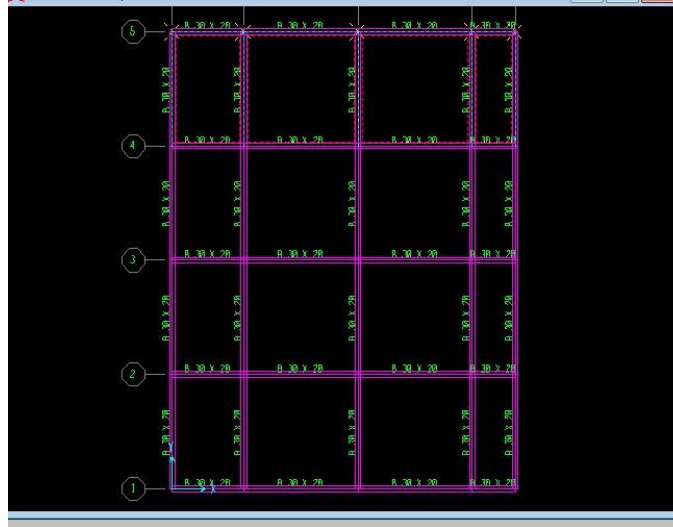
Sumber : SAP 2000 V.14

Menggambar Model Elemen Struktur

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

1. Menggambar Elemen Balok

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

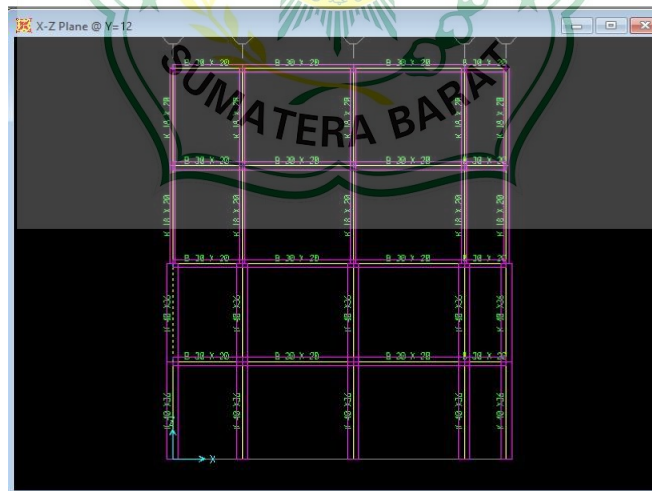


Gambar 2.19 Elemen Balok

Sumber : SAP 2000 V.14

2. Menggambar Elemen Kolom


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

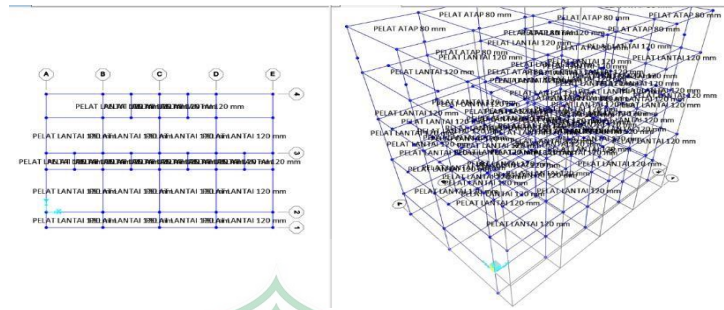


Gambar 2.20 Elemen Kolom

Sumber : SAP 2000 V.14

3. Menggambar Elemen Pelat

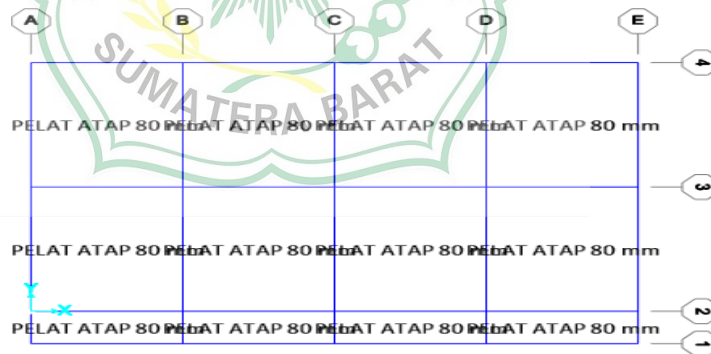
- a. Klik ikon **Quick Draw Area**  pada *menu bar* pada sisi kiri. Maka akan muncul kotak dialog **Propertis of Object**, lalu pada **Setion** pilih **Pelat 12**, (yang digambar adalah pelat lantai).
- b. Gambar pelat lantai dengan cara mengklik ditengah area pelat satu persatu, dalam penandaan usahakan secara berurut agar memudahkan pembacaan data *output*.



Gambar 2.21 Elemen Pelat

Sumber : SAP200 V.14

Selanjutnya gambar elemen pelat atap dengan cara yang sama Sehingga hasil akhir penggambaran dapat dilihat pada Gambar 2.20.

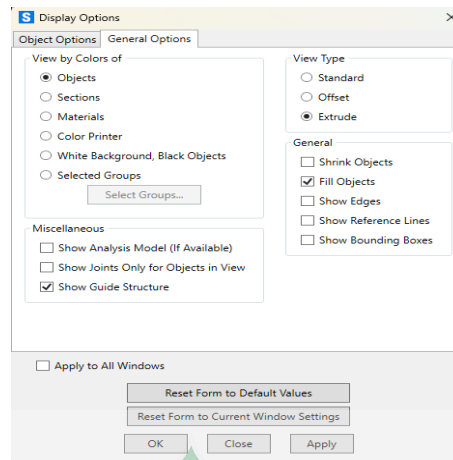


Gambar 2.22 Elemen Atap

Sumber : SAP 2000 V.14

- a. Untuk penampilkkan 3D Frame pada window **3-D View** seperti pada **Gambar 5.21** dapat dilakukan dengan cara klik ikon **Set Display Options** pada *menu bar* pada sisi atas.

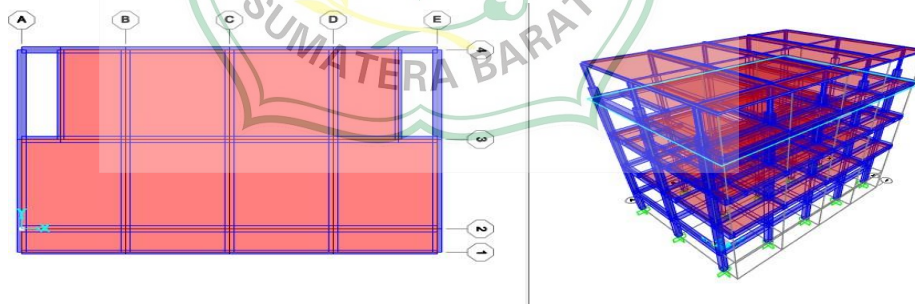
Maka akan muncul kotak dialog *Display Options* klik menu *General Option* seperti pada gambar 2.21.



Gambar 2.23 Display Options

Sumber : SAP 2000 V.14

- b. Pada *option View Tpe* klik *Extrude* dan pada *option General* klik *Fill Objects*.
- c. Lakukan hal yang sama pada *window X-Y Plane* namun pada *option Extrude* tidak perlu di klik.

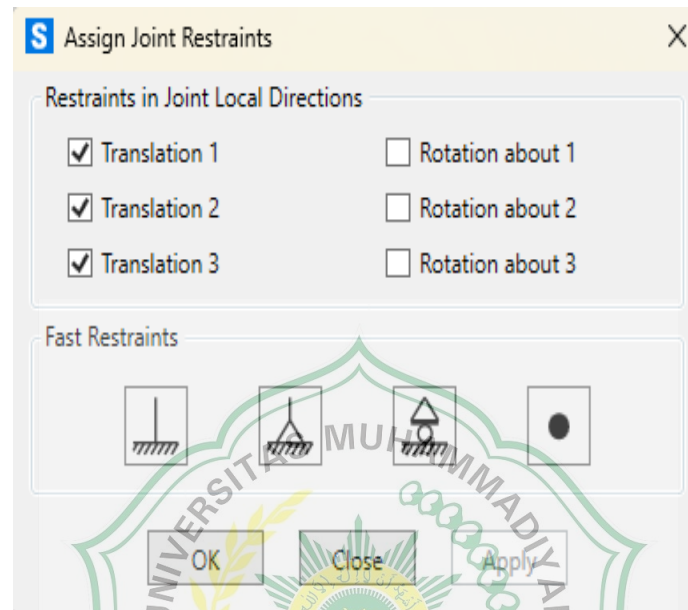


Gambar 2.24 Hasil Gambar Model Elemen Stuktur

Sumber : SAP 2000 V.14

Menetapkan Jenis Perletakan/*Restraint*

Permodelan pondasi diasumsikan sebagai jepit, karena desain pondasi yang menggunakan telapak, sehingga kedudukan pondasi dianggap tidak mengalami rotasi dan *translasi*. Pemodelan tumpuan tersebut dapat dilakukan dengan klik semua kolom pada lantai dasar, kemudian **Assign – Joint – Restrains** sesuai ditunjukkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2.25 Assign joint Direction

Sumber : SAP 2000 V.19

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.**



Gambar 2.26 *Divide* pelat lantai dan atap

Sumber : SAP 2000 V.14

Mengaplikasikan Pembebanan

Jenis beban yang bekerja pada gedung meliputi :

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

Meliputi : balok, kolom, shear wall, dan plat.

- b. Beban mati elemen tambahan (*SuperDead Load*)

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

- c. Beban hidup (*Live Load*)

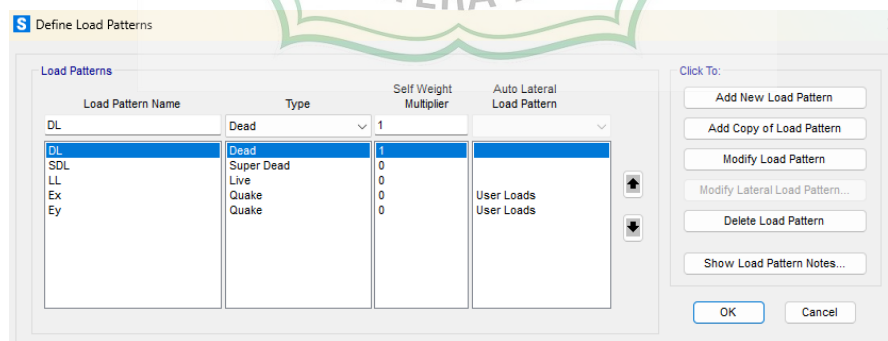
Meliputi : beban luasan per m² yang ditinjau berdasarkan fungsi bangunan.

- d. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

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

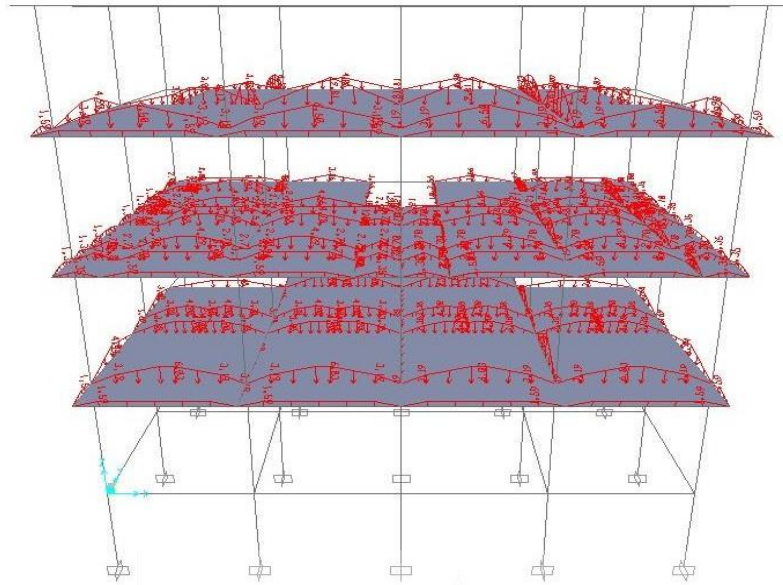
Mendefinisikan Jenis Beban

Jenis beban yang bekerja pada struktur gedung dapat diinput dengan cara *Define – Load Patterns* maka akan muncul kotak dialog *Define Load Patterns* input parameter sesuai pada Gambar 5.24 berikut.



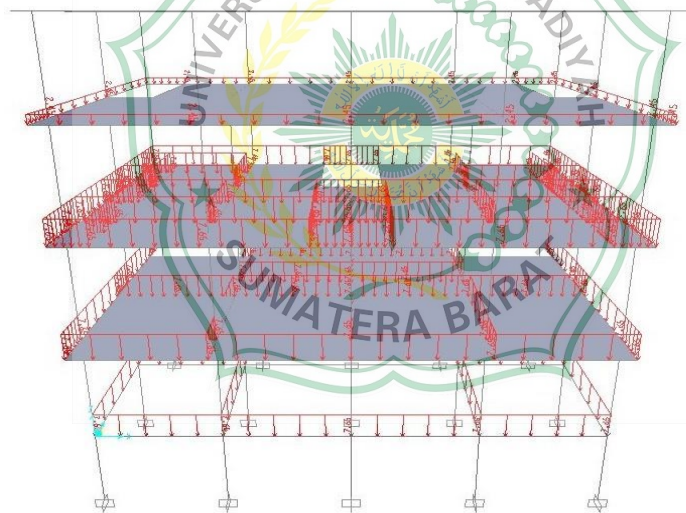
Gambar 2.27 Jenis- Jenis Beban Yang Berkerja

Sumber : SAP 2000 V.14



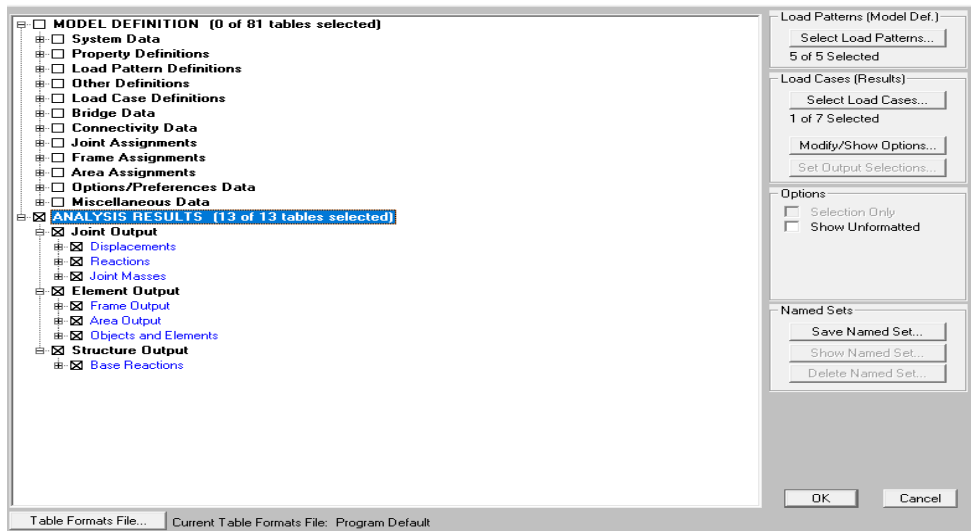
Activate
Go to Sett

Gambar 2.28 Beban Hidup pelat lantai
Sumber : SAP 2000 V.14



Activa
Go to St

Gambar 2.29 Beban Mati Pelat Lantai
Sumber : SAP 2000 V.14



Gambar 2.30 Pengambilan Hasil Analisis SAP 2000

Sumber : SAP 2000 V.14



BAB III

METODE PENELITIAN

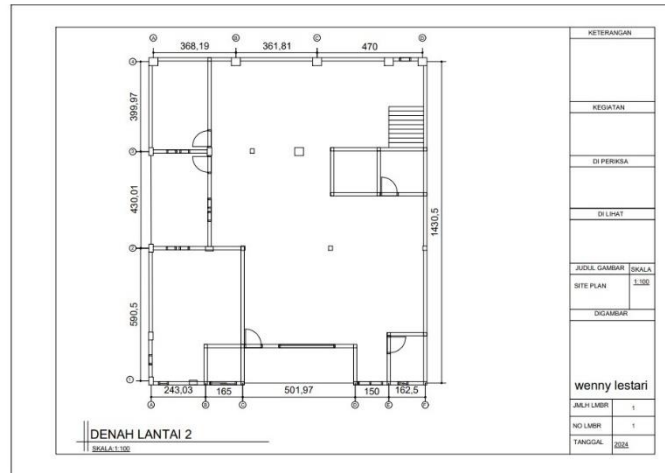
3.1. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada gedung 3 lantai Laboratorium Fakultas Teknik UM Sumatera Barat Jalan Paninjauan Campago Guguk Bulek, Kecamatan Mandiangin Koto Selayan, Kota Bukittinggi, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 3.1 Laboratorium Fakultas Teknik

(Sumber : <https://google.maps/place/Labor+fakultas+Teknik+Sipil>)(03 April 2024)



Gambar 3.4 Denah Lantai 2 Laboratorium

Sumber : Autocad 2017

b) Deskripsi Bangunan

Data – data gedung :

- a. Jenis bangunan = Gedung Laboratorium
- b. Banyak lantai = 3 Lantai
- c. Tinggi bangunan = 10,2 m
- d. Tinggi bangunan per lantai = lantai 1 dan 2 = 3,80 m
Lantai 3 = 2,60 meter
- e. Sistem stuktur = SRPM
- f. Dimensi Balok Lantai 1 = 300 x 300 mm
- g. Dimensi balok lantai 2 = 200 x 300 mm
- h. Dimensi kolom (K1) = 360 x 400 mm
- i. Dimensi kolom (K2) = 180 x 350 mm
- j. Dimensi kolom (K3) = 180 x 200 mm
- k. Dimensi kolom (K4) = 200 x 350 mm
- l. Pelat lantai = 120 mm
- m. Pelat atap = 100 mm

Material Beton

- a. Kuat tekan beton, F_c = 22,60 Mpa
- b. Modulus elastisitas beton, E_c = $4700\sqrt{22,60}$
= 22343,54 Mpa
- c. Poisson ratio beton, ν_c = 0,2
- d. Berat jenis beton, λ_c = 24 kN/m²

Material Baja Tulangan

- a. Tulangan longitudinal = BJ 13 ($f_y=240$ Mpa)
 - b. Tulangan transversal = BJ 13 ($f_y=240$ Mpa)
 - c. Poisson ratio baja, ν_s = 0,3
 - d. Berat jenis baja, λ_s = 78,5 kN/m²
- c) Inspeksi Visual



Gambar 3.5 inspeksi Visual

Sumber : Survey Awal Lapangan (03 April 2024)



Gambar 3.6 Inspeksi Visual

Sumber : Survey Awal (03 April 2024)

d) Beban

Berikut data – data beban yang berkerja pada struktur gedung Laboratorium.

a. Beban Hidup

Beban lantai 1 yang digunakan sebagai labor

$$LL = 6,00 \text{ kN/m}^2$$

Beban lantai 2 yang digunakan sebagai ruang kelas

$$LL = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

Beban lantai 3 yang digunakan sebagai mess atau tempat istirahat

$$LL = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

Beban pada atap

$$LL = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban Mati

1. Beban Mati pada Pelat Lantai

Tabel 3.1 Beban mati yang berkerja pada pelat lantai

Berat pasir setebal 1 cm = $0,01 \times 16$	= 0,16 kN/m ²
Berat spesi setebal 3 cm = $0,03 \times 22$	= 0,66 kN/m ²
Berat keramik setebal 1 cm = $0,01 \times 22$	= 0,22 kN/m ²
Berat plafond an penggantung	= 0,2 kN/m ²
Berat instalasi ME	= 0,25 kN/m ²
Total baban mati pada pelat lantai	= 1,49 kN/m ²

Sumber : Buku Desain Struktur Bangunan

2. Beban Mati Pada Pelat Atap

Tabel 3.2 Beban Mati yang berkerja pada Pelat Atap

Berat <i>waterproofing</i> dengan aspal tebal 2 cm	= 0,28 kN/m ²
Berat plafond dan penggantung	= 0,2 kN/m ²
Berat instalasi ME	= 0,25 kN/m ²
Total beban mati	= 0,73 kN/m ²

Sumber : Buku Desain Stuktur Bangunan

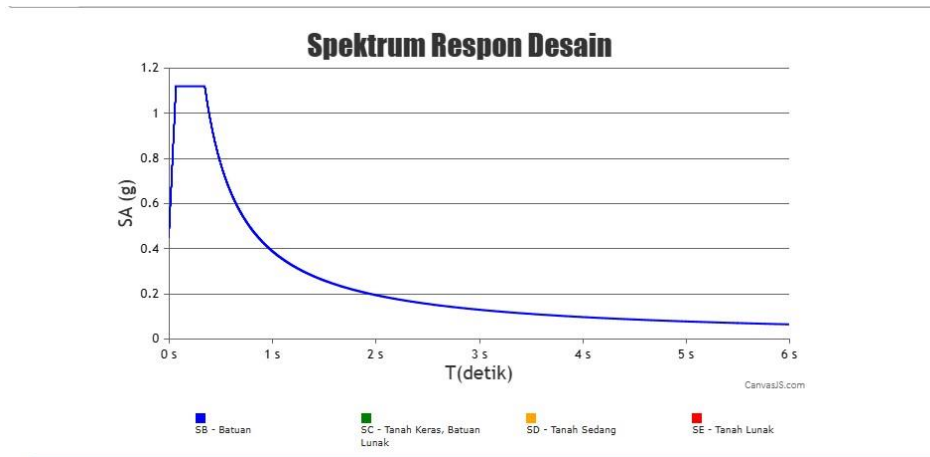
3. Beban mati pada balok

Beban mati yang berkerja pada balok meliputi :

Beban dinding pasangan batu bata ½ batu

$$(4m - 0,5) \times 2,50 = 8,75 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban Gempa



Gambar 3.7 Spektrum Respon Desain

Sumber : Ciptakarya.pu.go.id

The screenshot shows a software interface for defining design response spectrum parameters. The 'Kelas' is set to 'SBC - Batuan'. The 'Rentang T(s)' is set to 6. The 'PGA MCEG' is 0.7207 (g) bedrock, 'SS MCEr' is 1.8707 (g) bedrock, and 'S1 MCEr' is 0.7413 (g) bedrock. The 'TL' is set to 8 Detik. The 'T0(detik)' is 0.07, 'Ts(detik)' is 0.95, 'Sds(g)' is 1.12, and 'Sd1(g)' is 0.39. A 'Save' button is visible on the right.

Gambar 3.8 Spektrum Respon Desain

Sumber : Ciptakarya.pu.go.id

3.3. Metoda Penelitian

- a. Permodelan elemen Struktur dengan SAP 2000

Metode analisis yang di pakai menggunakan metode kuantitatif dimana data angka yang didapatkan di awal *survey* ke lapangan kemudian di analisa dengan merujuk SNI 1726:2019 dengan metode ACT-40.

- b. Pembebanan dan kombinasi

Beban yang berkerja merupakan beban mati, hidup, gempa, serta beban kombinasi. Dan beban tersebut akan dimasukkan pada *Software* SAP 2000.

c. Cek perilaku struktur

Melakukan *survey* ke lapangan kondisi gedung dengan melakukan Hammer Tes pada kolom, dan balok bangunan tersebut. Untuk menentukan kapasitas elemen struktur pada bangunan tersebut.

d. Analisa kapasitas elemen struktur

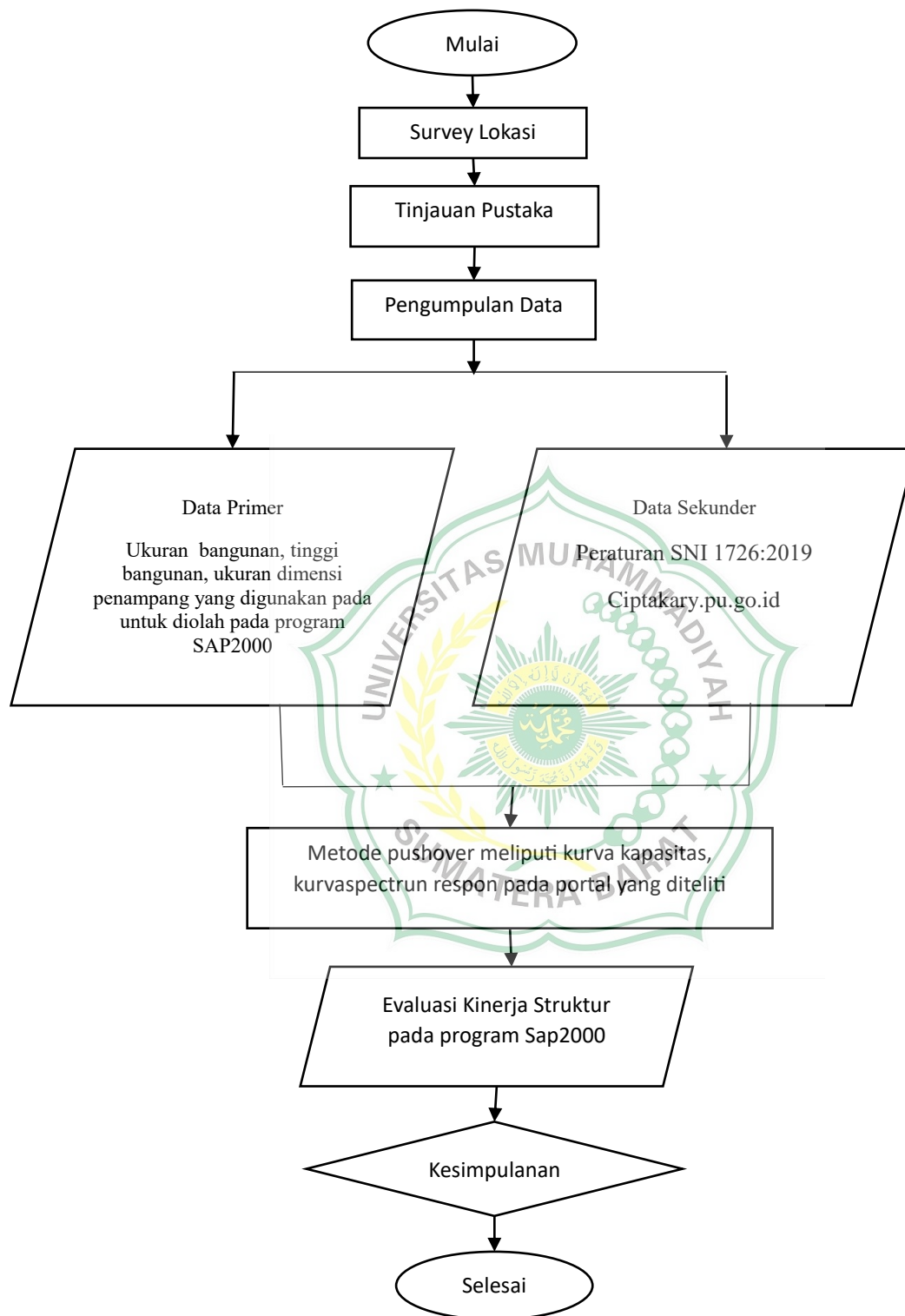
Setelah melakukan *survey* ke lapangan, lalu peneliti menganalisis kinerja struktur gedung tersebut menggunakan metode *Pushover Analysis* pada SAP 2000.

e. Pushover Analisis

Dalam menganalisis respon terhadap struktur digunakan metode *pushover analysis*. *Pushover* merupakan cara untuk menganalisis struktur dengan beban static monotonic yang diaplikasikan sepanjang ketinggian stuktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target yang ditentukan.



3.4 Bagan Alir Penelitian



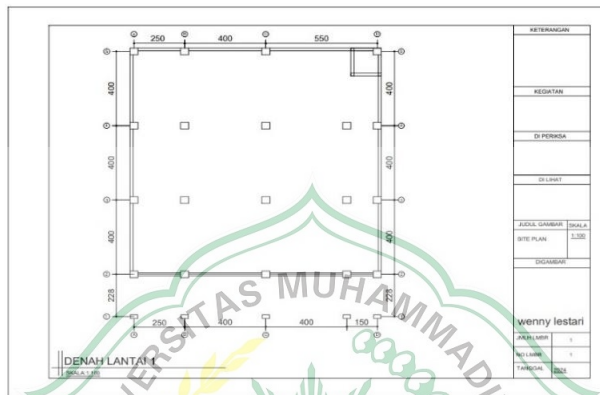
Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

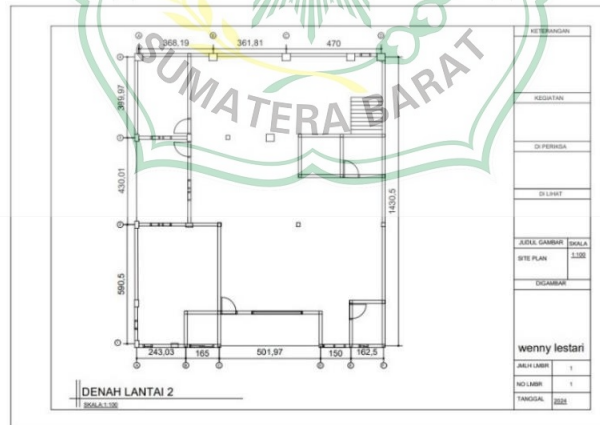
4.1 Hasil Inspeksi Struktur Eksisting

4.1.1 Denah Bangunan

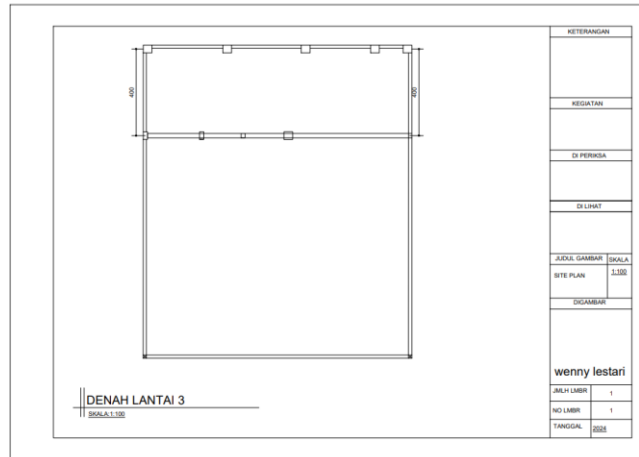
Berikut ini adalah denah bangunan Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat yang di desain menggunakan software Autocad.



Gambar 4.3 Denah Bangunan Lantai 1
Sumber : Pengolah Data Autocad 2017



Gambar 4.4 Denah Bangunan Lantai 2
Sumber : Pengolah Data Autocad 2017



Gambar 4.3 Denah Bangunan Lantai 3

Sumber : Pengolah Data Autocad 2017

4.1.2 Hasil Uji Hammer Test

Setelah penulis melakukan survey awal dan melakukan pengujian hammer test maka diperoleh hasil uji hammer test yang di tampilkan pada table berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Rata-Rata Uji Hammer Test

Type Kolom	Rata-rata Uji Hammer
Kolom K1	19,44 Mpa
Kolom K2	27,07 Mpa
Kolom K3	24,90 Mpa
Kolom K4	2,66 Mpa
Kolom K5	26,06 Mpa
Kolom K6	35,50 Mpa
Total Rata-Rata	= 22,60 Mpa

Sumber : Data Uji Hammer Lapangan

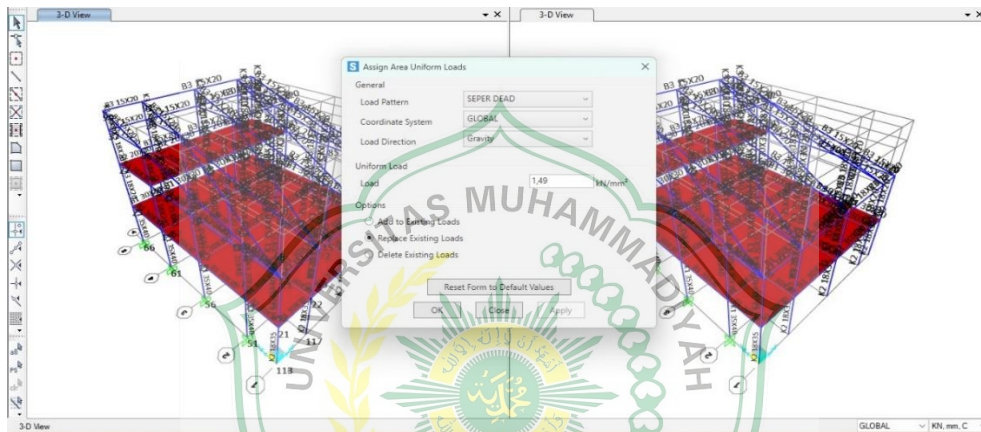
4.1.3 Analisis Pembebanan Struktur Gedung

Analisis pembebanan struktur gedung tersebut dengan tujuan supaya dapat pada elemen-elemen struktur yang dibuat pada permodelan program SAP2000 sesuai dengan data-data yang telah ditentukan

4.1.3.1 Beban Mati Tambahan

- a. Beban mati tambahan yang berkerja pada pelat lantai

Beban pasir setebal 1cm = 0,01 x 16	= 0,16 kN/m ²
Berat spesi setebal 3 cm = 0,03 x 22	= 0,66 kN/m ²
Berat keramik setebal 1 cm = 0,1 x 22	= 0,22 kN/m ²
Berat plafond an pengantung	= 0,2 kN/m ²
Berat instalasi ME	= 0,25 kN/m ²
Total baban mati tambahan plat lantai	= 1,49 kN/m²

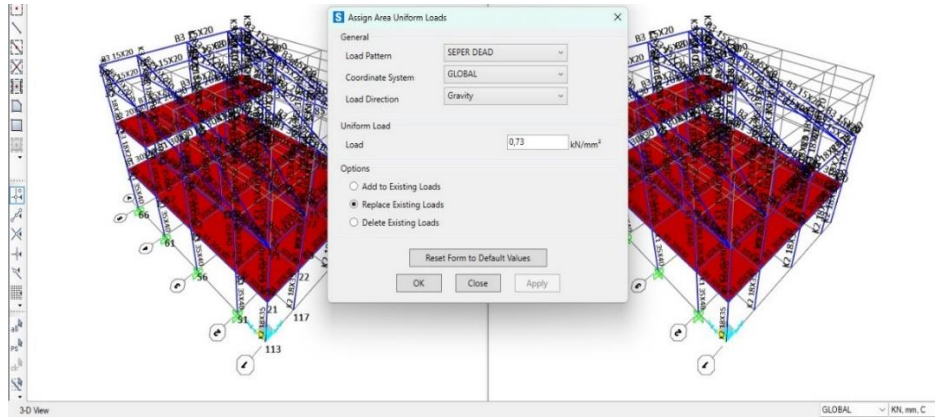


Gambar 4.4 Input Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

- b. Beban Mati tambahan yang berkerja pada pelat atap

Berat <i>waterproofing</i>	= 0,28 kN/m ²
Beban plafond an pengantung	= 0,2 kN/m ²
Berat instalasi ME	= 0,25 kN/m ²
Total beban mati tambahan pelat lantai	= 0,73 kN/m ²

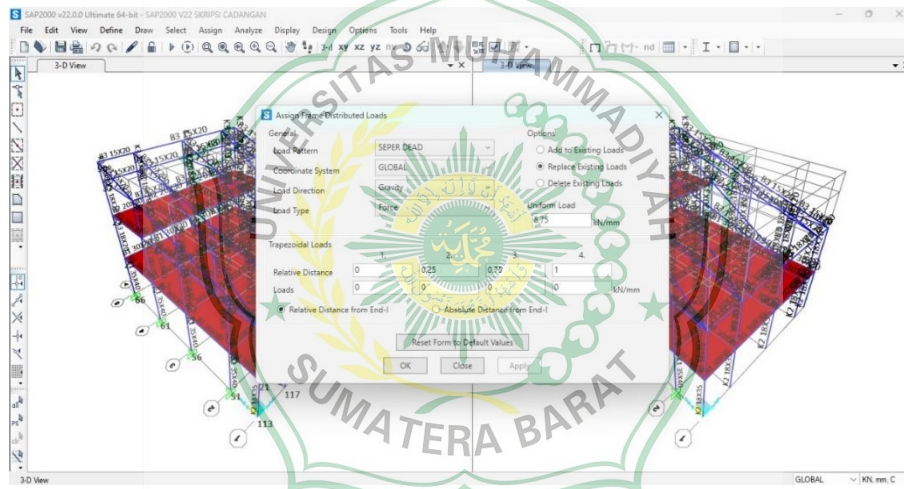


Gambar 4.5 Input Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

c. Beban Mati Pada Balok

Baban dinding pasangan bata ½ batu = 8,75 kN/m²



Gambar 4.6 Input Beban Mati Tambahan Pada Balok

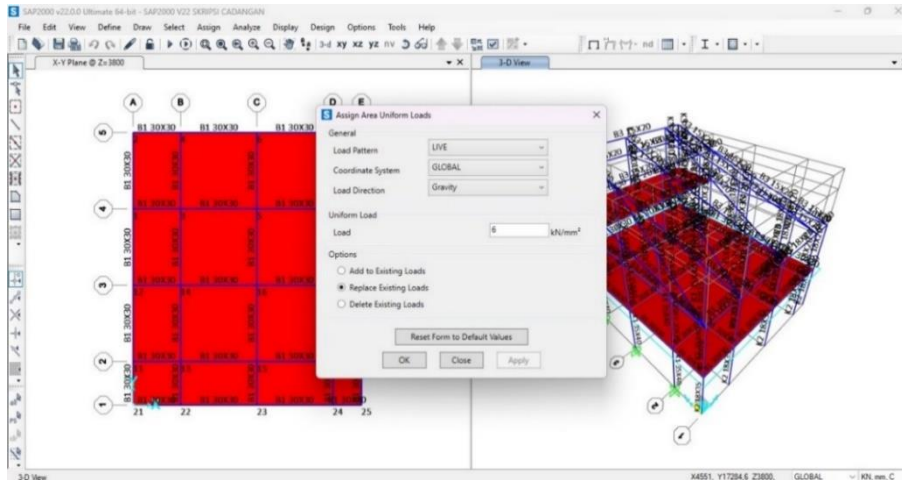
Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

4.1.3.2 Beban Hidup

Beban hidup yang berkerja pada gedung ini berdasarkan SNI 1727;2020

a) Beban hidup yang berkerja pada lantai 1

Labor = 6,00 kN/m²



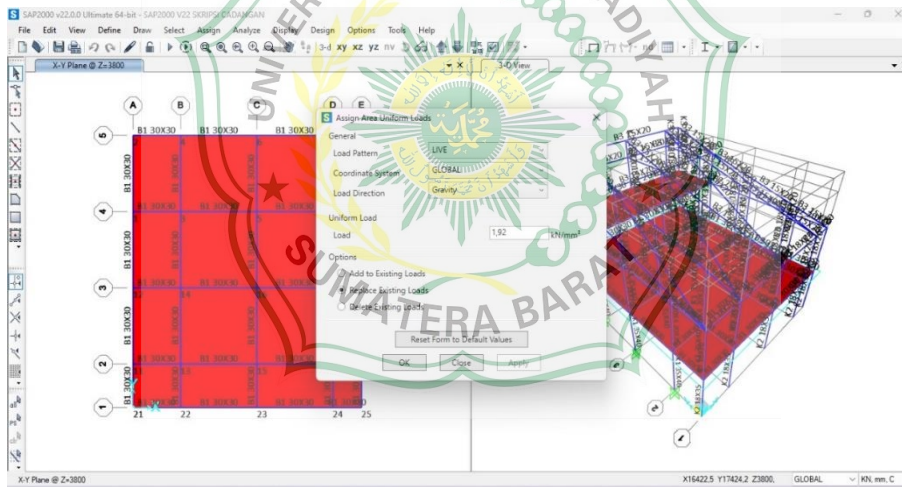
Gambar 4.7 Input Beban Hidup Pada Pelat Lantai 1

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

b) Baban hidup yang berkerja pada labtai 2 dan 3

Ruang kelas = 1,92 kN/m²

Mess atau tempat istirahat = 1,92 kN/m²

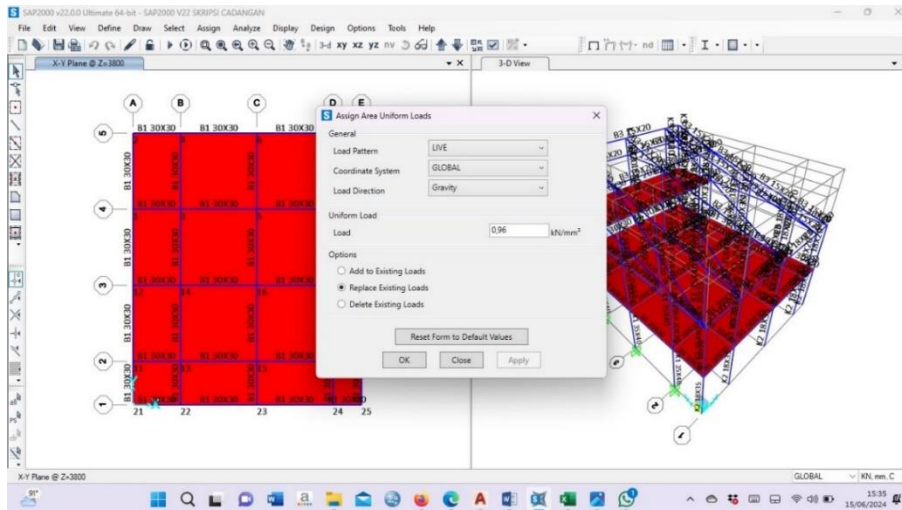


Gambar 4.8 Input Beban Hidup Pada Pelat Lantai 2

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

c) Beban hidup pada atap

Atap datar, lengkung dan berbubung = 0,96 kN/m²



Gambar 4.9 Input Beban Hidup Pada Pelat Lantai Atap

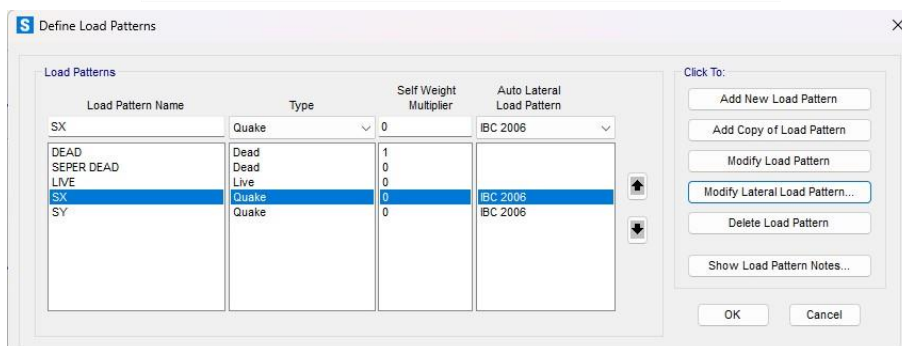
Sumber : Pengolah Data SAP 2000 V.22

4.1.3.3 Beban Gempa

Data Gempa yang digunakan adalah data gempa dinagari Campago Guguak Bulek, Kec, Mandiangin Koto Selayan, Kota Bukittinggi. Dengan jenis tanah adalah tanah batuan. Data gempa yang dimasukan dalam perhitungan desain respon spectrum yang didapat melalui website puskim.go.id.

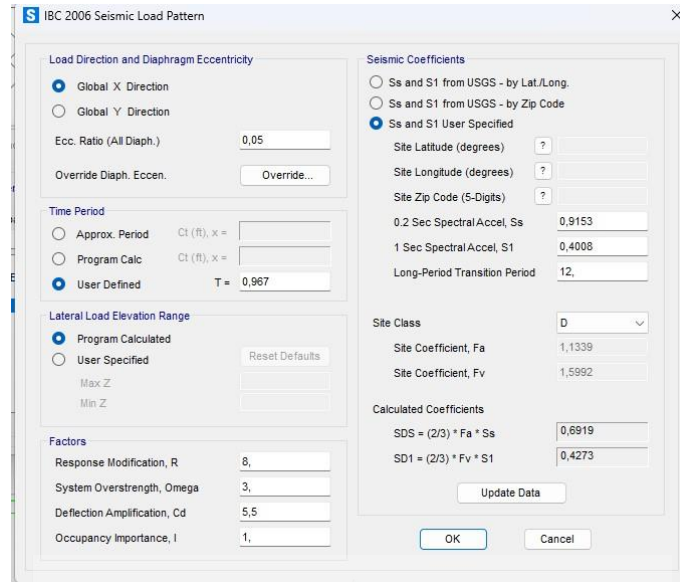
a. Gempa Statik Ekuivalen

Penyederhanaan dari perhitungan beban gempa yang sebenarnya, dengan asumsi tanah dasar yang tidak bergerak (tetap), sehingga beban gempa diekuivalensikan menjadi beban leteral static yang berkerja pada pusat massa struktur tiap lantai gedung merupakan beban gempa static ekuivalen.



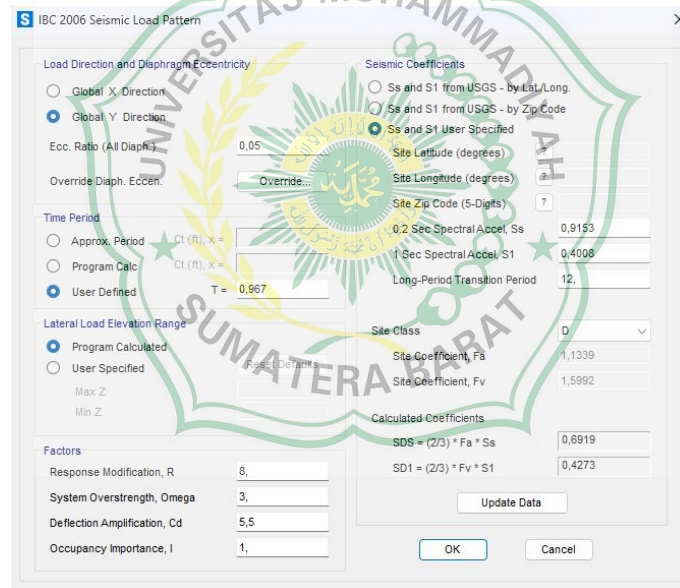
Gambar 4.10 Define Beban Gempa Statik Ekuivalen

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22



Gambar 4.11 Input Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah x-x

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22



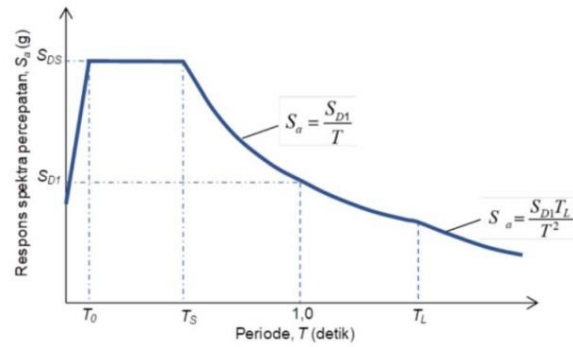
Gambar 4.12 Input Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah y-y

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

b. Gempa Dinamik Respon Spektrum

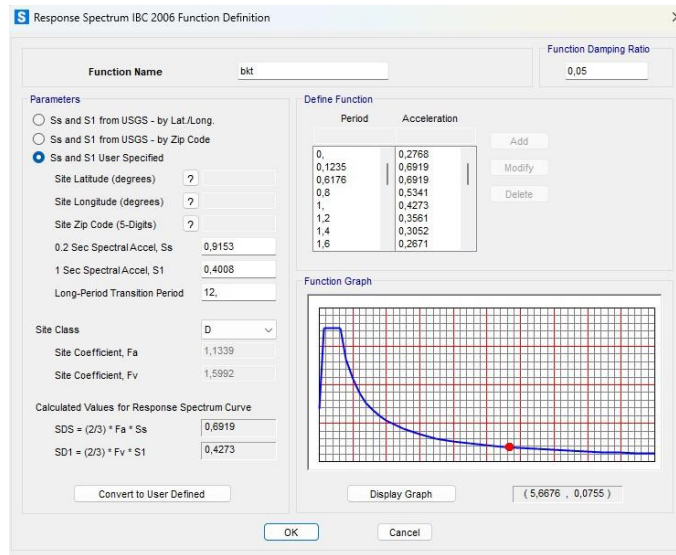
Spektrum yang ditampilkan dalam bentuk grafik atau plot antar periode getar struktur T versus respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu merupakan respon *spectrum*. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan

maksimum, kecepatan maksimum atau percepatan maksimum dari massa struktur *single degree of freedom* (SDOF).



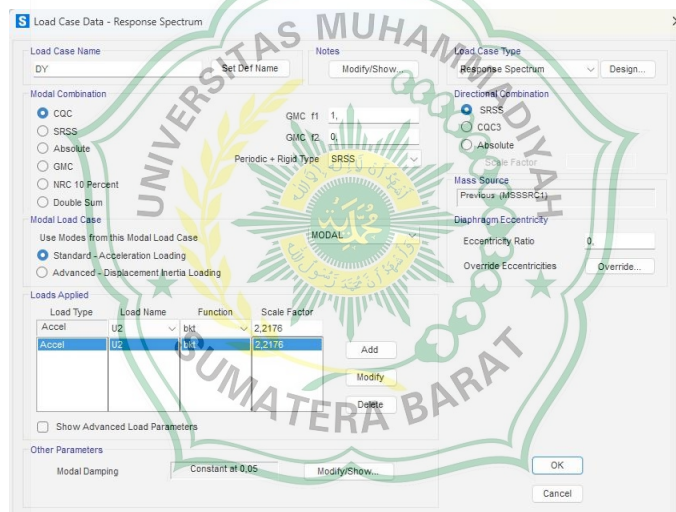
Gambar 4.13 Grafik Respon Spektrum SNI 1726:2019

Kelas tanah	= Tanah Batuan
Lintang	= 0,2
Bujur	= 100,38744
PGA MCEG	= 0,7207
Ss MCEr	= 1,8707
S1 MCEr	= 0,7413
TL	= 8
T0	= 0,07
Ts	= 0,35
Sds	= 1,12
Sd 1	= 0,39



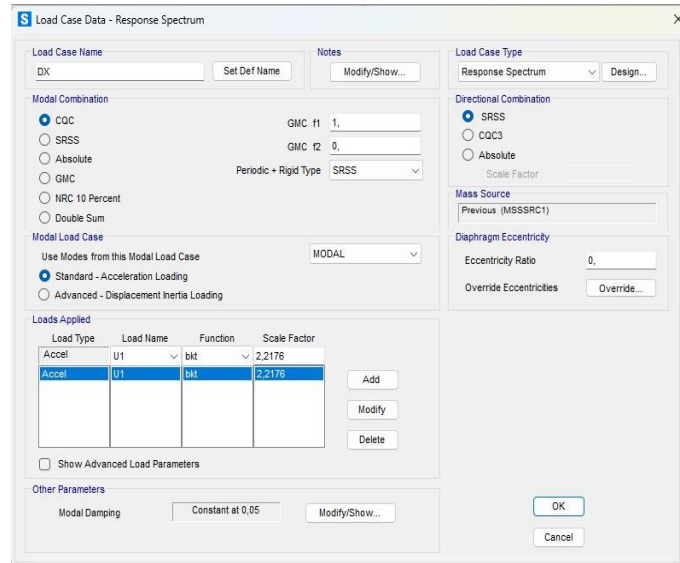
Gambar 4.14 Input Parameter Respon Spektrum

Sumber : Pengolah Data SAP 2000 V.22



Gambar 4.15 Define Load Case Arah -y

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22



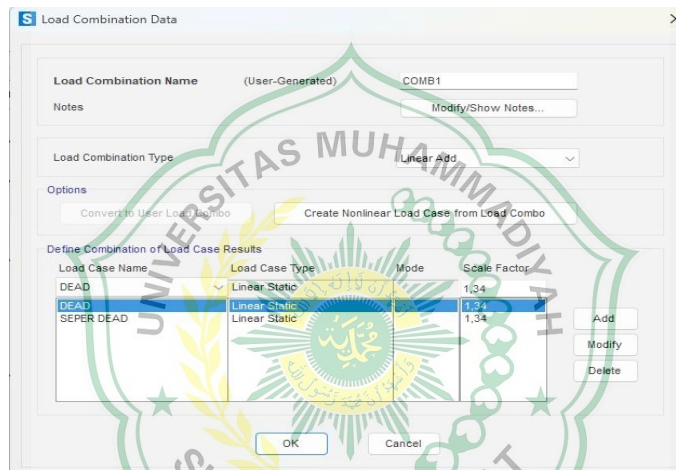
Gambar 4.16 Define Load Case Arah -x

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

Kombinasi pembebanan yang akan dilakukan sebagai berikut :

- DL : Dead Load (Beban Mati)
- SDL : Super Dead Load (Beban Mati Tambahan)
- LL : Live Load (Beban Hidup)
- EX : Beban Gempa Arah - X
- EY : Beban Gempa Arah - Y
- ENVELOPE : Gabungan dari Comb. 1 sampai Comb. 18
- 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



Gambar 4.17 Input Beban Combinaation (combo 1)

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

4.1.4 Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Kolom

Berdasarkan hasil dari analisis kapasitas penampang kolom pada program SAP2000 maka di dapatkan hasilnya sebagai berikut.

Tabel 4.2 Kapasitas Penampang Kolom

Kolom	P (KN)	M2 (KN/m2)	M3 (KN/m2)
Kolom (K1)	41,179	86,731	54,278
Kolom (K2)	45,943	100,541	59,381
Kolom (K3)	22,855	2,989	13,077
Kolom (K4)	22,058	38,536	24,647

Sumber : Pengolah Data SAP2000 V.22

- 1) Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom Menggunakan Diagram Interaksi K1(35x40)

$$P_n \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{41,179}{0,65} = 63,352 \text{ kN/m}^2$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_c}{\phi} = \frac{86,731}{0,65} = 133,432 \text{ kN/m}^2$$

Eksentritas,

$$e = \frac{M_n \text{ Perlu}}{P_n \text{ perlu}} = \frac{133,432}{63,352} = 200,106 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 15 + 0,03 \cdot h = 15 + 0,03 \cdot 400 = 27 \text{ mm}$$

syaratnya $e_{\min} < e$ (oke)

$$\text{hitung nilai } p = \frac{d'}{h} = \frac{p + \frac{D}{2} + sk}{h} = \frac{40 + \frac{14}{2} + 10}{400} = 0,142$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{P_u}{\phi \cdot a_g \cdot 0,85 \cdot f_c'} = \frac{41179}{0,65 \times 400 \times 350 \times 0,85 \times 22,6} = 0,023$$

Sumbu horizontal

$$\frac{P_u}{\phi \cdot a_g \cdot 0,85 \cdot f_c'} \times \frac{e}{h} = 0,023 \times \frac{200,106}{400} = 0,011$$

Dari diagram interaksi kolom diperoleh

$$\beta = 1,2$$

$$r = 0,006$$

$$\text{maka, } p = \beta \cdot r = 1,2 \times 0,006 = 0,0072$$

- 2) Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom Menggunakan Diagram Interaksi K2(18x35)

$$P_n \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{45,943}{0,65} = 70,681 \text{ kN}$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_c}{\phi} = \frac{100,541}{0,65} = 154,678 \text{ kN}$$

Eksentritas,

$$e = \frac{M_n \text{ Perlu}}{P_n \text{ perlu}} = \frac{154,678}{70,681} = 2,188 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 15 + 0,03 \cdot h = 15 + 0,03 \cdot 350 = 25,5 \text{ mm}$$

syaratnya $e_{\min} < e$ (oke)

hitung nilai p

$$\frac{d'}{h} = \frac{p + \frac{D}{2} + sk}{h} = \frac{40 + \frac{13}{2} + 10}{350} = 0,161$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{Pu}{\phi_{ag} \cdot 0,85 \cdot f_c'} = \frac{45943}{0,65 \times 350 \times 180 \times 0,85 \times 22,6} = 0,058$$

Sumbu horizontal

$$\frac{Pu}{\phi_{ag} \cdot 0,85 \cdot f_c'} \times \frac{e}{h} = 0,058 \times \frac{2,188}{350} = 0,036$$

Dari diagram interaksi kolom diperoleh

$$\beta = 1,2$$

$$r = 0,006$$

$$\text{maka, } p = \beta \cdot r = 1,2 \times 0,006 = 0,0072$$

3) Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom Menggunakan Diagram Interaksi K3(18x20)

$$P_n \text{ perlu} = \frac{Pu}{\phi} = \frac{22,855}{0,65} = 35,161 \text{ kN/m}^2$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{Mc}{\phi} = \frac{13,077}{0,65} = 20,010 \text{ kN/m}^2$$

Eksentritas,

$$e = \frac{M_n \text{ Perlu}}{P_n \text{ perlu}} = \frac{20,010}{35,161} = 1,757 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 15 + 0,03 \cdot h = 15 + 0,03 \cdot 200 = 21 \text{ mm}$$

syaratnya $e_{\min} < e$ (oke)

hitung nilai p

$$\frac{d'}{h} = \frac{p + \frac{D}{2} + sk}{h} = \frac{40 + \frac{12}{2} + 10}{200} = 0,28$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{Pu}{\phi_{ag} \cdot 0,85 \cdot f_c'} = \frac{22855}{0,65 \times 200 \times 180 \times 0,85 \times 22,6} = 0,050$$

Sumbu horizontal

$$\frac{Pu}{\phi_{ag} \cdot 0,85 \cdot f_c'} \times \frac{e}{h} = 0,050 \times \frac{1,757}{200} = 0,043$$

Dari diagram interaksi kolom diperoleh

$$\beta = 1,2$$

$$r = 0,006$$

$$\text{maka, } p = \beta \cdot r = 1,2 \times 0,006 = 0,0072$$

4) Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom Menggunakan Diagram Interaksi K4(20x35)

$$P_n \text{ perlu} = \frac{Pu}{\phi} = \frac{22,058}{0,65} = 33,935 \text{ kN/m}^2$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{Mc}{\phi} = \frac{38,536}{0,65} = 59,286 \text{ kN/m}^2$$

Eksentritas,

$$e = \frac{M_n \text{ Perlu}}{P_n \text{ perlu}} = \frac{33,935}{59,286} = 1,747 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = 15 + 0,03 \cdot h = 15 + 0,03 \cdot 350 = 25,5 \text{ mm}$$

syaratnya $e_{\text{min}} < e$ (oke)

hitung nilai p

$$\frac{d_v}{h} = \frac{p + \frac{D}{2} + sk}{h} = \frac{40 + \frac{12}{2} + 10}{350} = 0,16$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{Pu}{\phi \cdot a_g \cdot 0,85 \cdot f_c'} = \frac{22058}{0,65 \times 200 \times 350 \times 0,85 \times 22,6} = 0,025$$

Sumbu horizontal

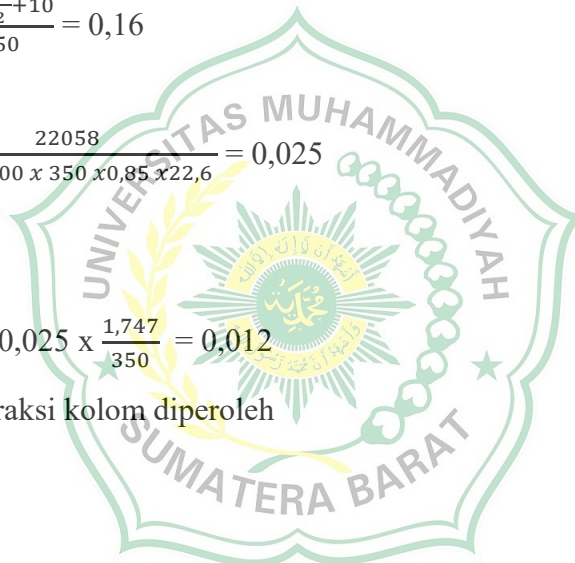
$$\frac{Pu}{\phi \cdot a_g \cdot 0,85 \cdot f_c'} \times \frac{e}{h} = 0,025 \times \frac{1,747}{350} = 0,012$$

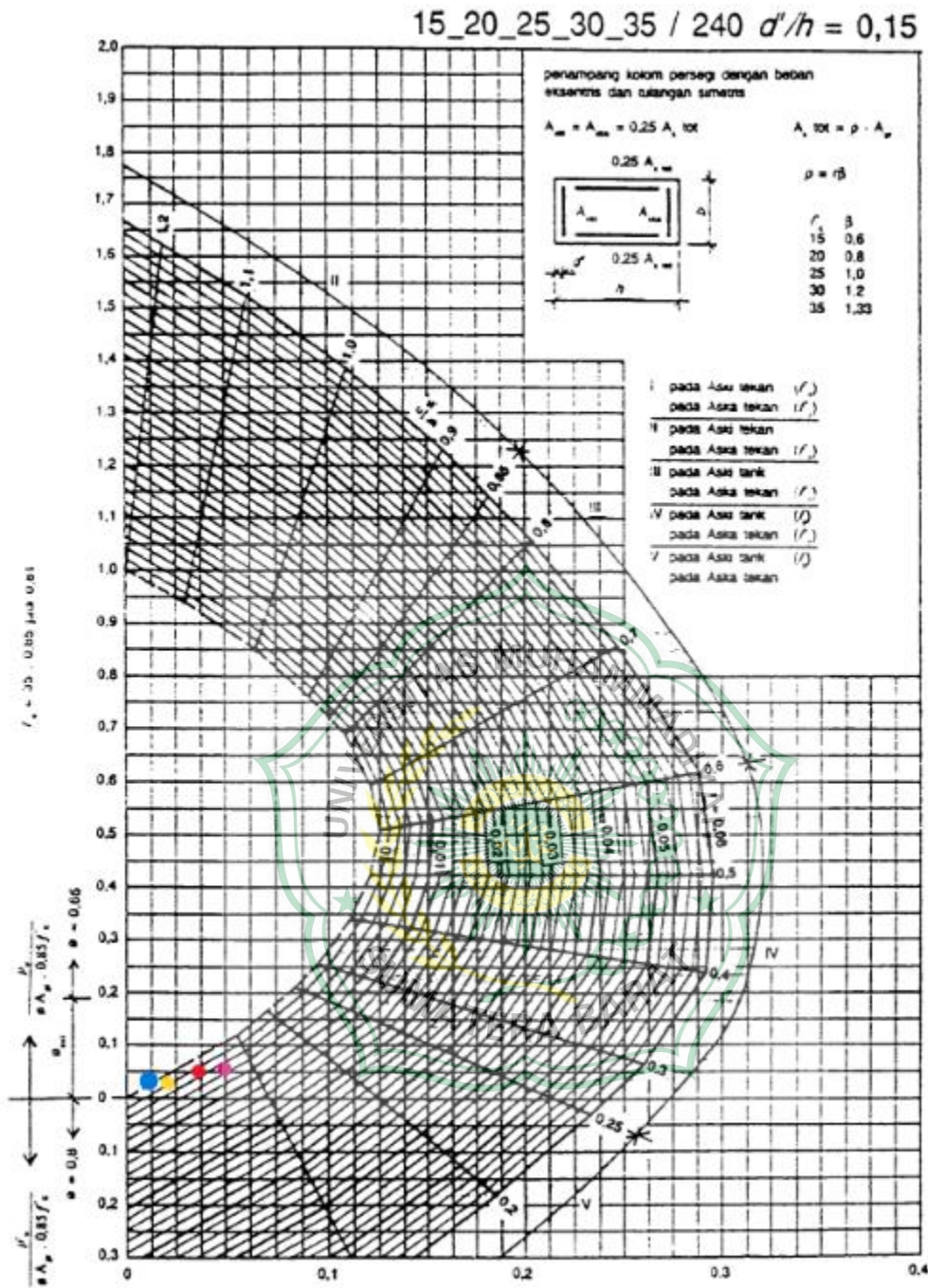
Dari diagram interaksi kolom diperoleh

$$\beta = 1,2$$

$$r = 0,006$$

$$\text{maka, } p = \beta \cdot r = 1,2 \times 0,006 = 0,0072$$





Gambar 4.18 Diagram Interaksi

Dari Hasil Diagram interaksi diatas maka dapat dilihat posisi K1(yang berwarna biru), K2(yang berwarna merah), K3(yang berwarna pink), K4(yang berwarna kuning) berada di dalam garis hitam dan dinyatakan kolom yang di gunakan pada bangunan tersebut aman.

4.1.5 Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Balok

Berdasarkan hasil dari analisis kapasitas penampang balok pada program SAP2000 maka di dapatkan hasilnya sebagai berikut.

Tabel 4.3 Kapasitas Penampang Balok

Balok	P (KN)	M2 (KN/m2)	M3 (KN/m2)
Balok (B1)	33,968	0,203	52,435
Balok (B2)	3,940	0,031	9,084
Balok (B3)	40,963	3,319	8,820

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

1. Perhitungan Kapasitas Pemanpang Balok B1(30x30)

a. Terhadap Lentur

Suatu balok dinyatakan aman ketika memenuhi persyaratan gaya lentur $\phi M_n \geq M_u$ dimana nilai dari $\phi = 0,8$. Sedangkan property material dan penampang yang telah diketahui sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_y(\text{leleh tulangan}) &= 240 \text{ Mpa} \\ F_c'(\text{mutu beton}) &= 22,6 \text{ Mpa}(\text{hasil uji hammer test}) \\ S_b(\text{selimut beton}) &= 40 \text{ mm} \\ \text{Lebar penampang (b)} &= 300 \text{ mm} \\ \text{Tinggi penampang (h)} &= 300 \text{ mm} \\ \beta &= 0,85 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan tekan}(A_s') = 3D13 = 397,995 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan tarik}(A_s) = 4D13 = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$d = h - (p + D_{\text{tul,utama}} + D_{\text{tul.geser}} + \frac{1}{2} \cdot 25)$$

$$= 300 - (40 + 13 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25)$$

$$= 224,5 \text{ mm}$$

$$d' = p + \frac{1}{2} D_{\text{tul,utama}} + D_{\text{tul.geser}}$$

$$= 40 + \frac{1}{2} \cdot 13 + 10$$

$$= 56,5 \text{ mm}$$

Untuk nilai a ditentukan dahulu dengan asumsi tulangan tekan sudah leleh dengan persamaan berikut.

$$a = \frac{(As - As')fy}{0,85fc.b} = \frac{(530,66 - 397,995) \times 240}{0,85 \times 22,6 \times 300} = 5,524 \text{ mm}$$

sehingga

$$\begin{aligned} &= \frac{d'}{a} >= \frac{1}{\beta} \left(1 - \frac{fy}{600} \right) \\ &= \frac{56,5}{5,524} >= \frac{1}{0,85} \left(1 - \frac{240}{600} \right) \\ &= 10,228 > 0,705 \end{aligned}$$

Persyaratan diatas menyebutkan bahwa tulangan tekan belum leleh momen nominal balok sudah dapat ditentukan dengan menentukan nilai garis netral dibawah ini.

$$c = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4xz}}{2x}$$

dimana :

$$x = 0,85fc.b.\beta = 0,85 \times 22,6 \times 300 \times 0,85 = 4,898 \times 10^3$$

$$y = 600 As' - Asfy = 600 \times 397,99 - 530,66 \times 240 = 11,143 \times 10^3$$

$$z = -600 d' As' = -600 \times 56,5 \times 397,995 = -13492030,5 \times 10^3$$

sehingga,

$$c = \frac{-(11,143) \pm \sqrt{11,143^2 - 4 \times 4,898 \times (-13492030,5)}}{2 \times 4,898}$$

$$c1 = 1658,56 \text{ mm}$$

$$c2 = -1660,83 \text{ mm}$$

Setelah nilai c diperoleh, nilai a ditentukan sebagai berikut

$$a = \beta c = 0,85 \times 1658,56 = 1409,77 \text{ mm}$$

Besarnya nilai regangan (ϵ_s')

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{d-c} \times \epsilon_s \quad \text{dengan } \epsilon_s = \frac{fy}{Es} = \frac{240}{200000} = 0,001$$

$$\epsilon_s' = \frac{1658,56 - 56,5}{224,5 - 1658,56} \times 0,001 = 0,001109$$

sehingga:

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$$

$$f_s' = 200000 \times 0,001109 = 221,8 \text{ Mpa} < f_y = 240 \text{ Mpa}$$

nilai momen nominal dapat ditentukan dengan :

$$M_n = (A_s - (\frac{f_{s'}}{f_y} A_s')) f_y (d - \frac{a}{2}) + A_s' f_s' (d - d')$$

$$M_n = (530,66 - (\frac{221,8}{240} \times 397,995)) \times 240 (224,5 - \frac{1409,77}{2}) + 397,995 \times 221,8 \times (224,5 - 56,5)$$

$$= 3944690,428 \text{ N} = 39,446 \text{ kN}$$

Cek penampang berdasarkan momen sesuai dengan SPRMM

$$\frac{M_{n+}}{M_{n-}} = \frac{39,446}{39,446} = 1 \geq \frac{1}{3}$$

Jadi telah diketahui hasil dari analisis kapasitas penampang balok ini sebagai berikut

$$= \phi M_n > M_u$$

$$= 39,446 < 52,435 \text{ (Tidak Aman)}$$

b. Terhadap Geser

Balok dinyatakan aman terhadap geser ketika memenuhi persyaratan gaya geser $\phi V_n \geq V_u$ dimana nilai $\phi = 0,75$. Berikut analisa kapasitas penampang balok terhadap gaya geser.

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c)

$$V_c = (\frac{\sqrt{f_{c'}}}{6}) b_w d = (\frac{\sqrt{22,6}}{6}) 300 \times 224,5 = 53363,040 \text{ N} = 5,363 \text{ kN}$$

Kuat geser disumbangkan oleh tulangan (V_s)

$$A_v = 3 \times 0,40 \times 3,14 \times 10^2 = 276,8 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{276,8 \times 240 \times 224,5}{150} = 99426,56 \text{ N} = 9,942 \text{ kN}$$

Sehingga :

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi (V_c + V_s) = 0,75 \times (5,363 + 9,942) = 39,989 < 52,435$$

Dari hasil diatas nilai geser terkoreksi lebih kecil dari gaya terfaktor, sehingga penampang balok tidak mampu menahan gaya geser.

2. Perhitungan Kapasitas Penampang Balok B2(30x20)

a. Terhadap Lentur

Suatu balok dinyatakan aman ketika memenuhi persyaratan gaya lentur $\phi M_n \geq M_u$ dimana nilai dari $\phi = 0,8$. Sedangkan property material dan penampang yang telah diketahui sebagai berikut.

Fy(leleh tulangan)	= 240 Mpa
Fc'(mutu beton)	= 22,6 Mpa(hasil uji hammer test)
Sb (selimut beton)	= 40 mm
Lebar penampang (b)	= 300 mm
Tinggi penampang (h)	= 200 mm
β	= 0,85
Luas tulangan tekan(A_s')	= 3D13 = 397,995 mm ²
Luas tulangan tarik(A_s)	= 3D13 = 397,995 mm ²

$$d = h - (p + Dtul,utama + Dtul.geser + \frac{1}{2} \cdot 25)$$

$$= 200 - (40 + 13 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25)$$

$$= 121,5 \text{ mm}$$

$$d' = p + \frac{1}{2} Dtul,utama + Dtul.geser$$

$$= 40 + \frac{1}{2} \cdot 13 + 10$$

$$= 56,5 \text{ mm}$$

Untuk nilai a ditentukan dahulu dengan asumsi tulangan tekan sudah leleh dengan persamaan berikut.

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f_c b} = \frac{(397,995 - 397,995) \times 240}{0,85 \times 22,6 \times 300} = 16,643 \text{ mm}$$

sehingga

$$= \frac{d'}{a} > = \frac{1}{\beta} \left(1 - \frac{f_y}{600} \right)$$

$$= \frac{56,5}{16,643} > = \frac{1}{0,85} \left(1 - \frac{240}{600} \right)$$

$$= 3,390 > 0,705$$

Persyaratan diatas menyebutkan bahwa tulangan tekan belum leleh momen nominal balok sudah dapat ditentukan dengan menentukan nilai garis netral dibawah ini.

$$c = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4xz}}{2x}$$

dimana :

$$x = 0,85fc.b.\beta = 0,85 \times 22,6 \times 300 \times 0,85 = 4,898 \times 10^3$$

$$y = 600 As' - Asfy = 600 \times 397,99 - 397,995 \times 240 = 14,327 \times 10^3$$

$$z = - 600 d' As' = - 600 \times 56,5 \times 397,995 = - 13492030,5 \times 10^3$$

sehingga,

$$c = \frac{-(14,327) \pm \sqrt{-14,327^2 - 4 \times 4,898 \times (-13492030,5)}}{2 \times 4,898}$$

$$c1 = 1658,23 \text{ mm}$$

$$c2 = - 1661,16 \text{ mm}$$

Setelah nilai c diperoleh, nilai a ditentukan sebagai berikut

$$a = \beta1c = 0,85 \times 1658,23 = 1409,49 \text{ mm}$$

Besarnya nilai regangan ($\epsilon s'$)

$$\epsilon s' = \frac{c-d'}{d-c} \times \epsilon s \quad \text{dengan } \epsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{240}{200000} = 0,001$$

$$\epsilon s' = \frac{1658,23-56,5}{121,5-1658,23} \times 0,001 = 1,042$$

sehingga:

$$fs' = Es. \epsilon s'$$

$$fs' = 200000 \times 1,042 = 208 \text{ Mpa} < fy = 240 \text{ Mpa}$$

nilai momen nominal dapat ditentukan dengan :

$$Mn = (As - (\frac{fs'}{fy} As'))fy (d - \frac{a}{2}) + As' fs' (d - d')$$

$$\begin{aligned} Mn &= (397,995 - (\frac{208}{240} \times 397,995)) \times 240 \times (121,5 - \frac{16,643}{2}) + 397,995 \times 208 \times (121,5 \\ &\quad - 56,5) \\ &= 68223,667 \text{ N} = 6,822 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek penampang berdasarkan momen sesuai dengan SPRMM

$$\frac{Mn+}{Mn-} = \frac{6,822}{6,822} = 1 \geq \frac{1}{3}$$

Jadi telah diketahui hasil dari analisis kapasitas penampang balok ini sebagai berikut

$$= \phi Mn > Mu$$

$$= 6,822 < 52,435 \text{ (Tidak Aman)}$$

b. Terhadap Geser

Balok dinyatakan aman terhadap geser ketika memenuhi persyaratan gaya geser $\phi V_n \geq V_u$ dimana nilai $\phi = 0,75$. Berikut analisa kapasitas penampang balok terhadap gaya geser.

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c)

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f_{c'}}}{6}\right) b_w \cdot d = \left(\frac{\sqrt{22,6}}{6}\right) 300 \times 121,5 = 28880,22 \text{ N} = 2,888 \text{ kN}$$

Kuat geser disumbangkan oleh tulangan (V_s)

$$A_v = 3 \times 0,40 \times 3,14 \times 10^2 = 276,8 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{276,8 \times 240 \times 121,5}{150} = 53809,92 \text{ N} = 5,380 \text{ kN}$$

Sehingga :

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi (V_c + V_s) = 0,75 \times (2,888 + 5,380) = 6,201 < 52,435$$

Dari hasil diatas nilai geser terkoreksi lebih kecil dari gaya terfaktor, sehingga penampang balok tidak mampu menahan gaya geser.

3. Perhitungan Kapasitas Penampang Balok B3(15x20)

a. Terhadap Lentur

Suatu balok dinyatakan aman ketika memenuhi persyaratan gaya lentur $\phi M_n \geq M_u$ dimana nilai dari $\phi = 0,8$. Sedangkan property material dan penampang yang telah diketahui sebagai berikut.

$$F_y (\text{leleh tulangan}) = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_c' (\text{mutu beton}) = 22,6 \text{ Mpa} (\text{hasil uji hammer test})$$

$$S_b (\text{selimut beton}) = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar penampang (b)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang (h)} = 200 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\text{Luas tulangan tekan}(A_s') = 2D13 = 265,33 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan tarik}(A_s) = 2D13 = 265,33 \text{ mm}^2$$

$$d = h - (p + D_{\text{tul,utama}} + D_{\text{tul.geser}} + \frac{1}{2} \cdot 25)$$

$$= 200 - (40 + 13 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25)$$

$$= 121,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= p + \frac{1}{2} Dt_{ul,utama} + Dt_{ul.geser} \\
 &= 40 + \frac{1}{2} \cdot 13 + 10 \\
 &= 56,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai a ditentukan dahulu dengan asumsi tulangan tekan sudah leleh dengan persamaan berikut.

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f_c b} = \frac{(265,33 - 265,33) \times 240}{0,85 \times 22,6 \times 150} = 22,007 \text{ mm}$$

sehingga

$$\begin{aligned}
 &= \frac{d'}{a} >= \frac{1}{\beta} \left(1 - \frac{f_y}{600} \right) \\
 &= \frac{56,5}{22,007} >= \frac{1}{0,85} \left(1 - \frac{240}{600} \right) \\
 &= 2,567 > 0,705
 \end{aligned}$$

Persyaratan diatas menyebutkan bahwa tulangan tekan belum leleh momen nominal balok sudah dapat ditentukan dengan menentukan nilai garis netral dibawah ini.

$$c = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4xz}}{2x}$$

dimana :

$$x = 0,85 f_c b \beta = 0,85 \times 22,6 \times 150 \times 0,85 = 2,449 \times 10^3$$

$$y = 600 A_s' - A_s f_y = 600 \times 265,33 - 265,33 \times 240 = 9,551 \times 10^3$$

$$z = -600 d' A_s' = -600 \times 56,5 \times 265,33 = -8,994 \times 10^3$$

sehingga,

$$c = \frac{-(9,551) \pm \sqrt{9,551^2 - 4 \times 2,449 \times (-8,994)}}{2 \times 2,449}$$

$$c_1 = 1,404 \text{ mm}$$

$$c_2 = -3,759 \text{ mm}$$

Setelah nilai c diperoleh, nilai a ditentukan sebagai berikut

$$a = \beta_1 c = 0,85 \times 1,404 = 1,193 \text{ mm}$$

Besarnya nilai regangan (ϵ_s')

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{d - c} \times \epsilon_s \quad \text{dengan } \epsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{240}{200000} = 0,001$$

$$\epsilon_s' = \frac{1,193 - 56,5}{121,5 - 1,193} \times 0,001 = 0,000459$$

sehingga:

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$$

$$f_s' = 200000 \times 0,000459 = 91,8 \text{ Mpa} < f_y = 240 \text{ Mpa}$$

nilai momen nominal dapat ditentukan dengan :

$$M_n = (A_s - (\frac{f_s'}{f_y} A_s')) f_y (d - \frac{a}{2}) + A_s' f_s' (d - d')$$

$$M_n = (265,33 - (\frac{91,8}{240} \times 265,33)) \times 240 (121,5 - \frac{1,193}{2}) + 265,33 \times 91,8 \times (121,5 - 56,5)$$

$$= 63373,80 \text{ N} = 6,337 \text{ kN}$$

Cek penampang berdasarkan momen sesuai dengan SPRMM

$$\frac{M_{n+}}{M_{n-}} = \frac{6,337}{6,337} = 1 \geq \frac{1}{3}$$

Jadi telah diketahui hasil dari analisis kapasitas penampang balok ini sebagai berikut

$$= \phi M_n > M_u$$

$$= 6,337 < 52,435 \text{ (Tidak Aman)}$$

b. Terhadap Geser

Balok dinyatakan aman terhadap geser ketika memenuhi persyaratan gaya geser $\phi V_n \geq V_u$ dimana nilai $\phi = 0,75$. Berikut analisa kapasitas penampang balok terhadap gaya geser.

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c)

$$V_c = (\frac{\sqrt{f_c'}}{6}) b_w \cdot d = (\frac{\sqrt{22,6}}{6}) 150 \times 121,5 = 14440,11 \text{ N} = 1,444 \text{ kN}$$

Kuat geser disumbangkan oleh tulangan (V_s)

$$A_v = 3 \times 0,40 \times 3,14 \times 10^2 = 276,8 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{276,8 \times 240 \times 121,5}{150} = 53809,92 \text{ N} = 5,380 \text{ kN}$$

Sehingga :

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi (V_c + V_s) = 0,75 \times (1,444 + 5,380) = 5,118 < 52,435$$

Dari hasil diatas nilai geser terkoreksi lebih kecil dari gaya terfaktor, sehingga penampang balok tidak mampu menahan gaya geser.

4.1.6 Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Pelat

Berdasarkan hasil dari analisis kapasitas penampang pelat pada program SAP2000 maka di dapatkan hasilnya sebagai berikut.

Tabel 4.4 Kapasitas Penampang Pelat

Pelat	P (KN)	M2 (KN/m2)	M3 (KN/m2)
Pelat (P1)	33,968	0,203	52,435
Pelat (P2)	3,940	0,031	9,084

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

a. Perhitungan Kapasitas Penampang Pelat Lantai

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_c = 22,6 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 7D10 = 549,5 \text{ mm}^2$$

$$l_l = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$l_d = 1,49 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 1/12 \times 300 \times 300^3 \\ &= 675000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 1/12 \times 4000 \times 120^3 \\ &= 567 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\alpha_m = \frac{E_b l_b}{E_p I_p} = \frac{200000 \times 675000}{200000 \times 567 \times 10^6} = 0,117$$

$$\text{dimana } I_n = 4000 - 75 - 75 = 3850 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_y}{l_x} = \frac{3850}{3850} = 1$$

$$\text{sehingga } h = \frac{3850 \left(0,8 + \frac{240}{1500} \right)}{36 + 5 \times 1 (0,117 - 0,2)} = 13,848 \text{ mm}$$

$$l_{n1} = 4000 - 300 = 3600$$

$$l_{n2} = 4000 - 300 = 3600$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{l_{n1}}{l_{n2}} = \frac{3600}{3600} = 1$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot 44,25 \\ &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 44,25 \\ &= 6,562 \text{ kNm (per meter lebar)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot 24 \\ &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 24 \\ &= 3,559 \text{ kNm (per meter lebar)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot 84 \\ &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 84 \\ &= 12,456 \text{ kNm (per meter lebar)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot 72,75 \\ &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 72,75 \\ &= 10,788 \text{ kNm (per meter lebar)} \end{aligned}$$

Digunakan D=10 mm dengan selimut beton = 20mm.

$$\begin{aligned} d &= h - s_b - d/2 \\ &= 120 - 20 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{549,5 \times 240}{0,85 \times 22,6 \times 1000} = 6,86$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 549,5 \times 240 \left(95 - \frac{6,86}{2} \right)$$

$$M_n = 12,076 \text{ kNm}$$

Cek aman atau tidak nya

$$\frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1,0$$

$$\frac{6,562}{0,8 \times 12,076} \leq 1,0$$

$$0,679 \leq 1,0 \quad (\text{Aman})$$

Jadi pelat pada lantai **aman** digunakan walaupun sudah diberi beban.

2. Perhitungan Kapasitas Penampang Pelat Atap

$$\begin{aligned} F_y &= 240 \text{ Mpa} \\ F_c &= 22,6 \text{ Mpa} \\ A_s &= 6D10 = 471 \text{ mm}^2 \\ L_l &= 0,96 \text{ kN/m}^2 \\ D_l &= 0,73 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 1/12 \times 300 \times 200^3 \\ &= 5000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 1/12 \times 4000 \times 120^3 \\ &= 567 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\alpha_m = \frac{E_b I_b}{E_p I_p} = \frac{200000 \times 675000}{200000 \times 567 \times 10^6} = 0,117$$

$$\text{dimana } I_n = 4000 - 75 - 75 = 3850 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_y}{l_x} = \frac{3850}{3850} = 1$$

$$\text{sehingga } h = \frac{3850 \left(0,8 + \frac{240}{1500} \right)}{36 + 5 \times 1 (0,117 - 0,2)} = 13,848 \text{ mm}$$

$$l_{n1} = 4000 - 300 = 3600$$

$$l_{n2} = 4000 - 200 = 3800$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{l_{n1}}{l_{n2}} = \frac{3800}{3600} = 1,05$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot 44,25 \\ &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 44,25 \\ &= 6,562 \text{ kNm (per meter lebar)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot 24 \\ &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 24 \\ &= 3,559 \text{ kNm (per meter lebar)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \cdot W_u \cdot Lx^2 \cdot 84 \\
 &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 84 \\
 &= 12,456 \text{ kNm (per meter lebar)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \cdot W_u \cdot Lx^2 \cdot 72,75 \\
 &= 0,001 \times 18,256 \times (2,85^2) \times 72,75 \\
 &= 10,788 \text{ kNm (per meter lebar)}
 \end{aligned}$$

Digunakan D=10 mm dengan selimut beton = 20mm.

$$\begin{aligned}
 d &= h - sb - d/2 \\
 &= 120 - 20 - 10/2 \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{549,5 \times 240}{0,85 \times 22,6 \times 1000} = 6,86$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$$

$$M_n = 471 \times 240 \left(95 - \frac{6,86}{2} \right)$$

$$M_n = 10,351 \text{ kNm}$$

Cek aman atau tidak nya

$$\frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1,0$$

$$\frac{6,562}{0,8 \times 10,351} \leq 1,0$$

$$0,803 \leq 1,0 \quad (\text{Aman})$$

Jadi pelat pada atap **aman** digunakan walaupun sudah diberi beban.



4.1.7 Analisis Struktur

Dalam menganalisa stuktur bangunan ada tahapan yang dilalui yaitu geometrik struktur, dan pengecekan perilaku struktur.

4.1.7.1 Geometrik Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis kapasitas pada program SAP2000 struktur gedung dinyatakan tidak aman, dan berdasarkan inspeksi visual pada lapangan terdapat beberapa balok yang sudah menurun.

4.1.7.2 Pengecekan Perilaku Struktur

Setelah permodelan struktur dan pembebanan selesai dilakukan, pengecekan perilaku struktur dievaluasi melalui tiga hal yaitu : pemeriksaan jumlah ragam, perbandingan geser dasar, dan pemeriksaan antar lantai.

a. 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 orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless	Unit
MODAL	Mode	1	1,070497	0,02468	0,37205	4,708E-08	0,02468	0,37205	4,708E-08	0,07535	
MODAL	Mode	2	1,031266	0,41657	0,05139	1,233E-07	0,44125	0,42344	1,704E-07	0,0106	
MODAL	Mode	3	0,952688	0,0397	0,06184	1,304E-08	0,48095	0,48528	1,834E-07	0,01248	
MODAL	Mode	4	0,599668	0,00421	2,477E-09	5,921E-10	0,48516	0,48528	1,84E-07	4,392E-09	
MODAL	Mode	5	0,53705	0,00413	3,002E-08	3,177E-09	0,48929	0,48528	1,872E-07	6,512E-12	
MODAL	Mode	6	0,436889	0,01715	1,206E-03	1,671E-08	0,50644	0,48529	2,039E-07	1,795E-06	
MODAL	Mode	7	0,419995	0,01658	0,00116	7,421E-09	0,52301	0,49845	2,113E-07	0,00014	
MODAL	Mode	8	0,405488	0,00935	0,00116	2,422E-09	0,53236	0,48661	2,135E-07	1,619E-06	
MODAL	Mode	9	0,376908	0,02709	0,01802	2,017E-08	0,55845	0,50464	2,336E-07	0,00083	
MODAL	Mode	10	0,362425	0,03347	0,06173	8,465E-06	0,59292	0,56637	3,183E-07	0,00355	
MODAL	Mode	11	0,31115	0,00501	0,14617	1,078E-08	0,59793	0,71254	3,291E-07	0,00906	
MODAL	Mode	12	0,294128	0,13809	0,00289	2,877E-08	0,73005	0,71543	3,578E-07	0,00025	

Gambar 4.19 Jumlah Partisipasi Mass Ratios
Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

Dari gambar 4.20 jumlah partisipasi massa pada 12 Mode arah-x dan arah-y belum sebesar 99%, maka ditambahkan jumlah ragam sebanyak 28 ragam untuk mendapatkan jumlah partisipasi yang memenuhi syarat. Berikut output jumlah partisipasi setelah ditambahkan jumlah ragamnya.

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless	Unit
MODAL	Mode	13	0,334225	0,00667	0,00253	0,01328	0,78922	0,64908	0,14718	0,0197	
MODAL	Mode	14	0,327317	0,00136	0,00968	2,448E-07	0,77117	0,65076	0,14718	0,0012	
MODAL	Mode	15	0,316788	0,00457	0,00888	2,138E-05	0,77574	0,65965	0,1472	0,00028	
MODAL	Mode	16	0,313929	0,02729	0,06463	0,0001	0,80363	0,72428	0,14731	0,00713	
MODAL	Mode	17	0,309534	0,00631	0,01383	5,024E-10	0,80935	0,7381	0,14731	0,00213	
MODAL	Mode	18	0,305855	0,00015	0,00373	6,265E-05	0,8095	0,74163	0,14737	0,00023	
MODAL	Mode	19	0,299238	0,02536	0,0688	0,00019	0,83486	0,80844	0,14756	0,00761	
MODAL	Mode	20	0,287452	0,00117	0,00066	0,00057	0,83603	0,8091	0,14813	0,00024	
MODAL	Mode	21	0,282947	0,04946	0,01091	1,765E-05	0,88549	0,82	0,14815	0,00158	
MODAL	Mode	22	0,280969	0,08891	0,12691	0,00044	0,9744	0,94691	0,14859	0,01916	
MODAL	Mode	23	0,225154	0,02471	0,0445	0,00034	0,99011	0,99141	0,14893	0,00793	
MODAL	Mode	24	0,216446	0,00043	6,889E-06	3,405E-05	0,99953	0,99141	0,14896	1,185E-05	
MODAL	Mode	25	0,213479	0,35E-06	0,00042	2,004E-05	0,99954	0,99103	0,14898	5,692E-05	
MODAL	Mode	26	0,207708	1,198E-05	0,00018	1,472E-06	0,99955	0,99201	0,14898	5,488E-05	
MODAL	Mode	27	0,183586	3,33E-05	0,00079	0,00073	0,99958	0,9920	0,14971	0,00194	

Gambar 4.20 Jumlah Partisipan Mass ratios
Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

Berdasarkan output jumlah parsitipasi massa pada 22 Mode arah-x dan arah-y sebesar 99%, telah memenuhi syarat yaitu sebesar 90% atau 0,9.

b. Perbandingan Geser Dasar Statik Dan Dinamik

Berdasarkan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1 mengenai skala gaya, peraturan ini mengisyaratkan bahwa gaya geser dinamik harus lebih besar dari 100% gaya geser statik. Dirumuskan sebagai $V_D > 100\% V_S$, bila gaya tersebut tidak memenuhi maka perlu dilakukan skala gaya pada model struktur gedung tersebut.

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalIMX KN-m	GlobalIMY KN-m	GlobalIMZ KN-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
SX	LinStatic		-161,595	2,909E-14	-3,055E-13	-5,798E-12	-1109,0216	1368,6248	0	0	0
SY	LinStatic		-2,125E-12	-161,595	-6,004E-13	1109,0216	-2,089E-11	-985,7834	0	0	0
DY	LinRespSpec	Max	54,43	194,384	32,293	1173,2581	340,9227	1386,2191	0	0	0
DX	LinRespSpec	Max	191,536	54,43	5,942	248,4121	1159,3931	1594,9469	0	0	0

Gambar 4.21 Output Geser Dasar

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

Tabel 4.5 Hasil Penjumlahan Geser Dasar

Geser Dasar	Dinamik (Vd)	Statik (Vs)	Faktor Skala (Vs/Vd)	Kontrol Vd > 100%Vs
X	194,384	161,595	0,831	Memenuhi
Y	194,384	161,595	0,831	Memenuhi

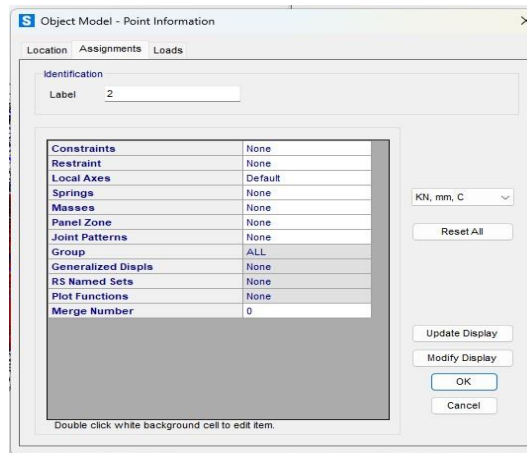
$V_d > 100\% V_s$

$194,384 > 100\% 161,595$

$194,384 > 161,595 \dots\dots OK$

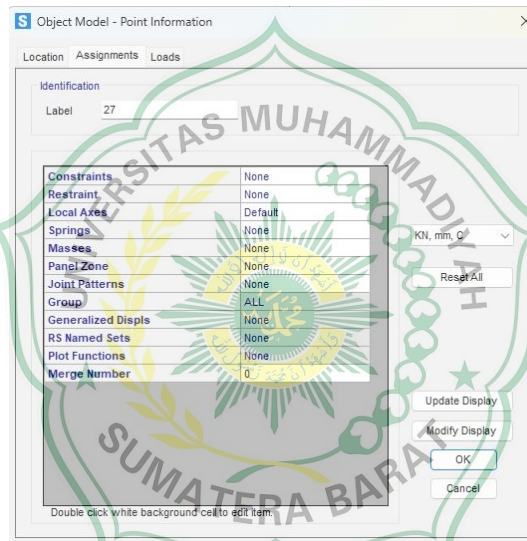
c. Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai

Di dasari pada peraturan SNI 1726:2019 simpangan antar tingkat desain tidak boleh lebih dari simpangan antar tingkat izin. Untuk penentuan simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah. Simpangan antar lantai ditentukan dengan persamaan berikur ini :



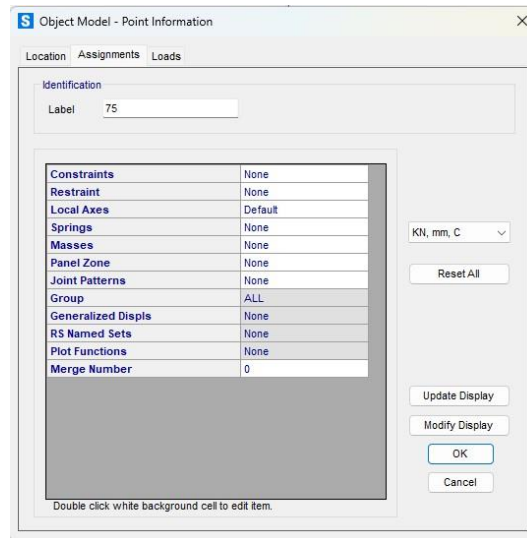
Gambar 4.22 Titik Yang Ditinjau Pada Elevasi 3,8 m

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22



Gambar 4.23 Titik Ditinjau Pada Elevasi 7,6 m

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



Gambar 4.24 Titik Yang Ditinjau Pada Elevasi 10,2 m

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



Gambar 4.25 Titik Yang Ditinjau Pada Elevasi 11,2 m

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

4.2 Analisis Pushover

4.2.1 Menambahkan Tulangan Terpasang Pada Elemen Struktur

Untuk memungkinkan pengerjaan *Pushover Analysis*, tulangan yang terpasang sudah dihitung oleh perencana harus ditambahkan pada program SAP2000 V.22.

1. Tulangan Balok (B1) 30X30

	LAPANGAN	TUMPUAN
ATAS	3 D 13	3 D 13
TENGAH	2 D 13	2 D 13
BAWAH	3 D 13	3 D 13
JARAK BEGOL	10	15
UKURAN BEGOL	Ø 10 - 10	Ø 10 - 15
GAMBAR PENAMPANG		

Gambar 4.26 Detail Tulangan Balok 30x30

Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017

Untuk tulangan tarik pada tumpuan balok 30X30 cm

$$\text{Luas} = \text{jumlah tulangan} \times 0,25 \times \pi \times (\text{Diameter tulangan})^2$$

$$= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 530,66 \text{ mm}^2 / 2 = 265,33 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.27 Input Tulangan belok 30x30

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22.

2. Tulangan Balok (B2) 30 X 20

	LAPANGAN	TUMPUAN
ATAS	3 D 13	3 D 13
TENGAH		
BAWAH	3 D 13	3 D 13
JARAK BEGOL	10	15
UKURAN BEGOL	Ø 10 - 10	Ø 10 - 15
GAMBAR PENAMPANG		

Gambar 4.28 Detail Tulangan Balok 30x20

Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017

Untuk tulangan tarik pada tumpuan balok 30X30 cm

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \text{jumlah tulangan} \times 0,25 \times \pi \times (\text{Diameter tulangan})^2 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 398 \text{ mm}^2 / 2 = 199 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: # fy 240

Confinement Bars (Ties): # fy 240

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top: 40

Bottom: 40

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	199	199
Bottom	199	199

OK Cancel

Gambar 4.29 Input tulangan balok 30x20

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22.

3. Tulangan Balok (B3) 15 X 20

	LAPANGAN	TUMPUAN
ATAS	2 D 13	2 D 13
TENGAH		
BAWAH	2 D 13	2 D 13
JARAK BEGOL	10	15
UKURAN BEGOL	Ø 10 - 10	Ø 10 - 15
GAMBAR PENAMPANG		

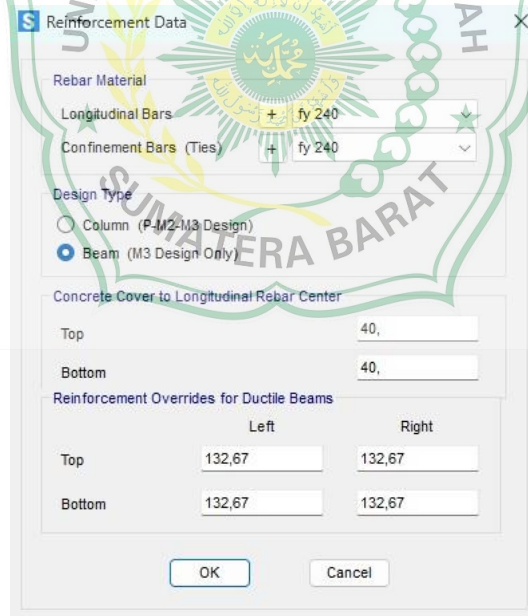
Gambar 4.30 Detail Tulangan Balok 15x20

Sumber : Pengolahan Data Autocad2017

Untuk tulangan tarik pada tumpuan balok 30X30 cm

Luas = jumlah tulangan x $0,25 \times \pi \times (\text{Diameter tulangan})^2$

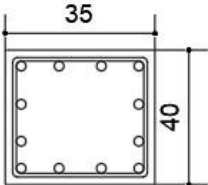
$$= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 132,67 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.31 Input tulangan balok 15x20

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

4. Tulangan Kolom (K1) 35 X 40

KOLOM K1 (35x40)	TULANGAN POKOK	TULANGAN BEGOL
	12 D 13	Ø 10 - 15

Gambar 4.32 Detail tulangan kolom 35x40

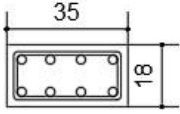
Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017



Gambar 4.33 Input tulangan kolom 35x40

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

5. Tulangan Kolom (K2) 18 X 35

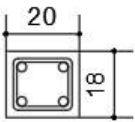
KOLOM K2 (18X35)	TULANGAN POKOK	TULANGAN BEGOL
	8 D 12	Ø 10 - 15

Gambar 4.34 Detail tulangan kolom 18x35
 Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017



Gambar 4 . 35 Input tulangan kolom 18x35
 Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

6. Tulangan Kolom (K3) 18 X 20

KOLOM K3 (18X20)	TULANGAN POKOK	TULANGAN BEGOL
	4 D 12	Ø 10 - 15

Gambar 4.36 Detail tulangan kolom 18x20

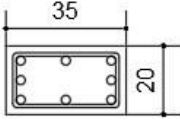
Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017



Gambar 4.37 Input tulangan kolom 18x20

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

7. Tulangan Kolom (K4) 20 X 35

KOLOM K4 (35X20)	TULANGAN POKOK	TULANGAN BEGOL
	8 D 12	Ø 10 - 15

Gambar 4.38 Detail tulangan kolom 20x30

Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017

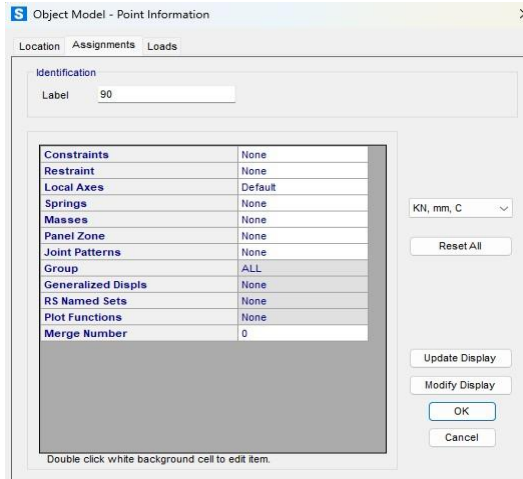


Gambar 4.39 Input tulangan kolom 20x30

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

4.2.2 Membuat Nonlinear Case

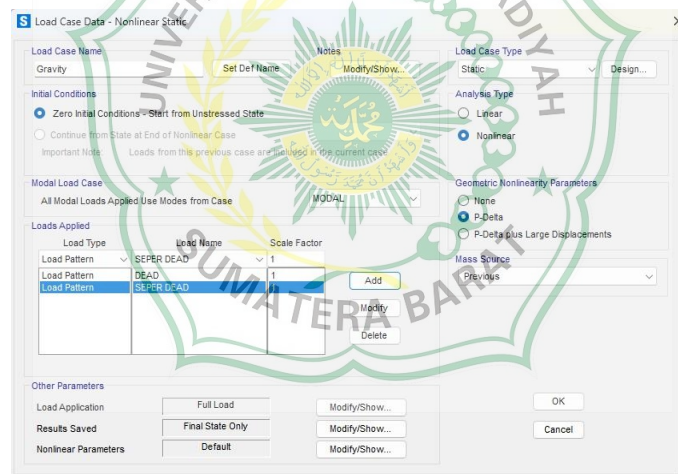
Menentukan titik yang akan ditetapkan sebagai dasar metode guna menghitung deformasi yang terjadi pada puncak gedung sebelum membuat *nonlinear case*, titik yang ditetapkan berapa pada lantai 3 pada gedung.



Gambar 4.40 Titik yang akan ditetapkan pada label 90

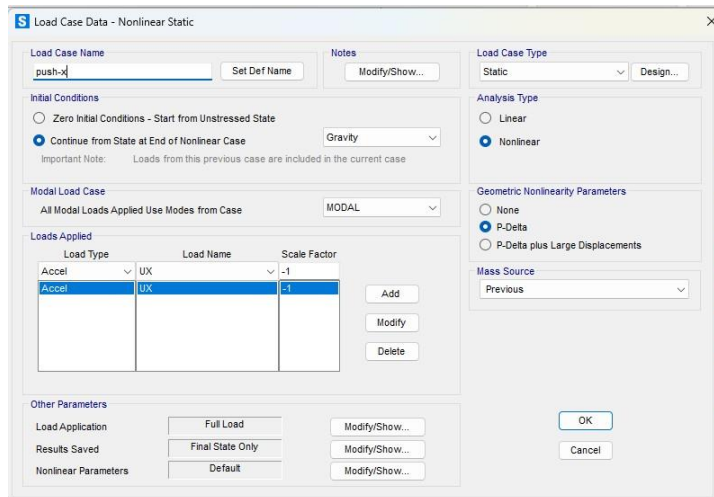
Sumber : Pengolahan Data Sap2000 V.22

Dalam hal ini presentase beban yang dipakai dalam *pushover analysis* adalah 100% beban mati dan juga termasuk beban mati tambahan, beban hidup tidak perlu dihitung karena tidak dapat dapat lantai yang menyimpan beban hidup yang melebihi dari 5 kN/m^2 , SNI 1726:2019 Pasal 8.8.1.



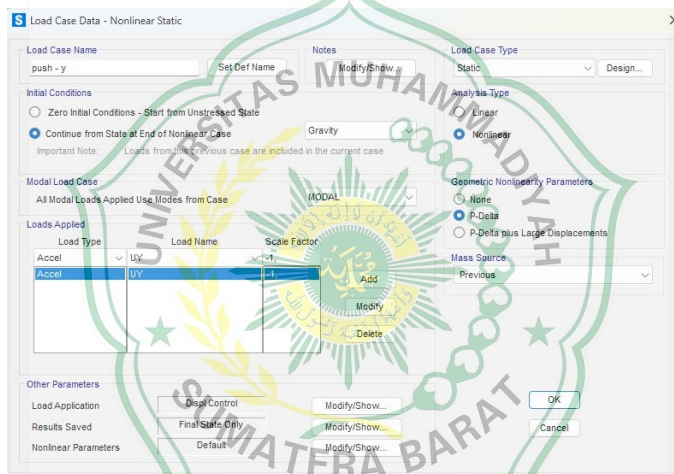
Gambar 4.41 Statik nonlinear case gravity

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22



Gambar 4.42 Statik nonlinear case push-x

Sumber: Pengolahan Data SAP 2000 V.22



Gambar 4.43 Statik nonlinear case push-y

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

4.3 Letak Sendi Plastis

Pushover Capacity Curve

Units: As Noted

Filter:

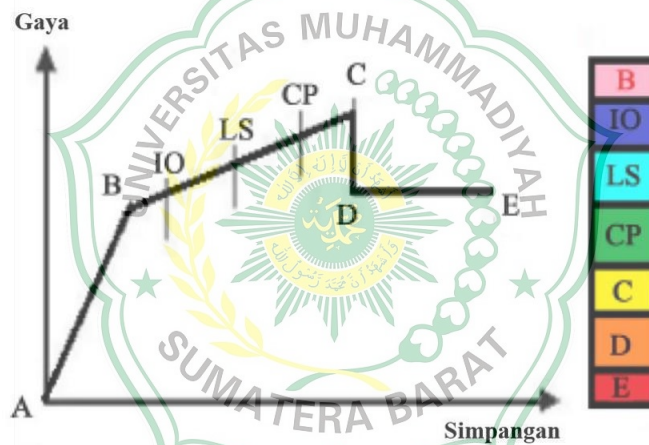
LoadCase Text	Step Unitless	Displacement	BaseForce N	AtotD Unitless	BtotD Unitless	ICtotL5 Unitless	LStotCP Unitless	CPtotC Unitless	CtotD Unitless	DtotE Unitless	DtotU
push-x	0	-0,443508	0	337	3	8	0	0	4	0	
push-x	1	19,556492	160446,92	338	4	8	0	0	4	0	
push-x	2	19,560492	160155,08	338	3	9	0	0	4	0	
push-x	3	19,564492	160113,51	338	3	9	0	0	4	0	
push-x	4	61,434840	463174,58	317	17	14	0	0	4	0	
push-x	5	78,060925	549019,51	302	27	17	0	1	5	0	

Record: <<< < 1 > >>> of 6

Gambar 4.44 Display Tabel Pushover Curve x-x
 Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

LoadCase Text	Step Unitless	Displacement	BaseForce N	AtoB Unitless	BtoIO Unitless	IOtoLS Unitless	LStoCP Unitless	CPtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	B4 U
push - y	0	0,937038	0	337	3	8	0	0	4	0	
push - y	1	40,937038	436190,74	324	16	8	0	0	4	0	
push - y	2	44,889703	475177,88	323	17	8	0	0	4	0	
push - y	3	70,399661	671700,27	285	47	15	0	1	4	0	
push - y	4	88,762916	745275,88	265	51	30	0	2	4	0	
push - y	5	116,836774	802813,14	251	49	42	0	3	7	0	

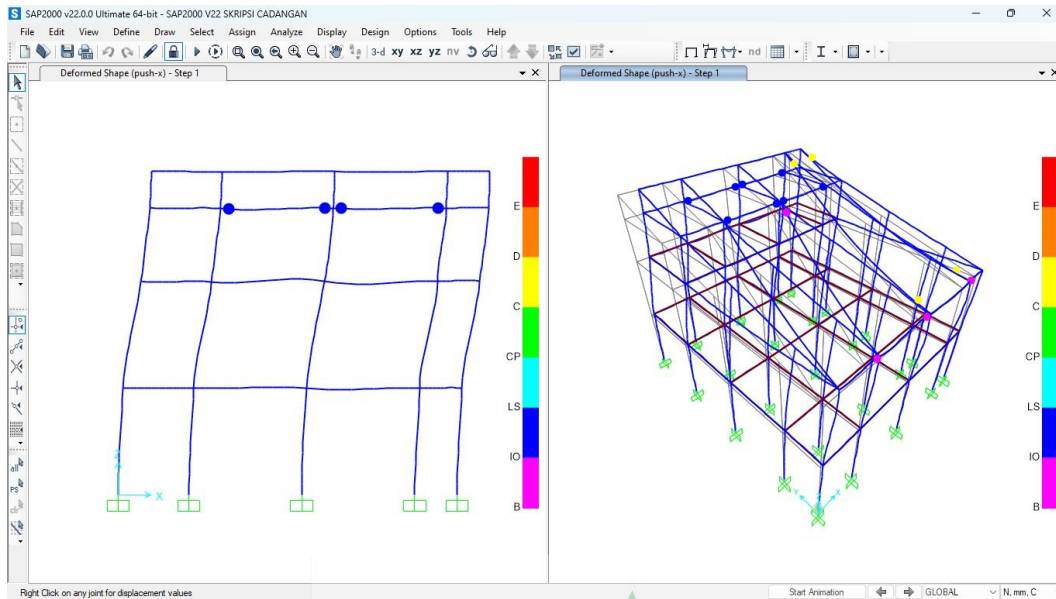
Gambar 4.45 Display tabel pushover curve y-y
 Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



Gambar 4.46 tahapan keruntuhan sendi plastis

4.4 Running Program

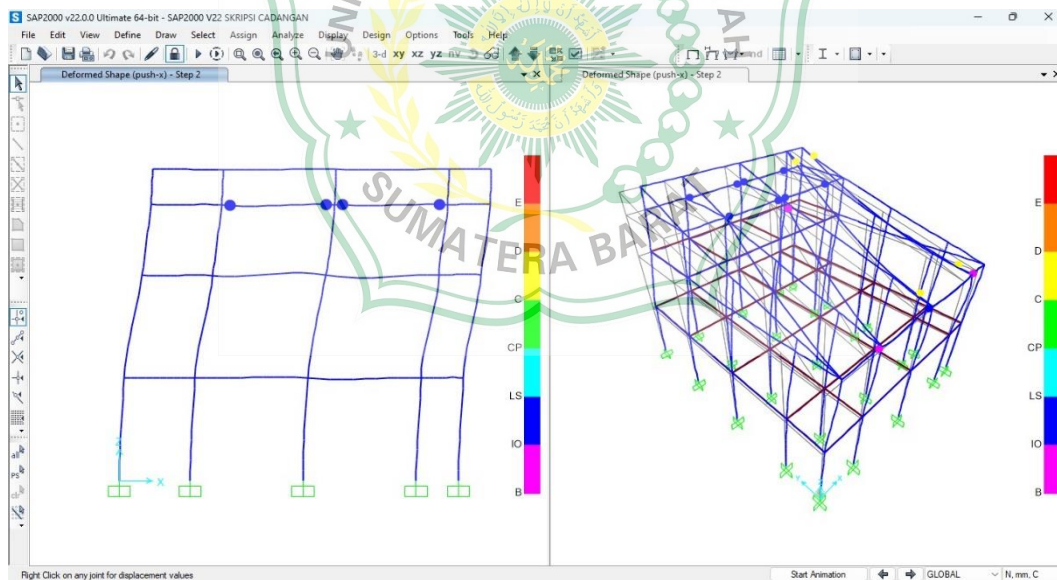
Dari hasil *running pushover analysis* dengan program SAP2000 V.22 untuk arah x-x didapatkan 5 Step dan untuk arah y-y didapatkan 5 Step, pola beban dorong yang diberikan pada struktur sehingga struktur mengalami keruntuhan.



Gambar 4.47 Step 1 arah -x

Sumber : Pengolahan Data SAP.2000 V.22

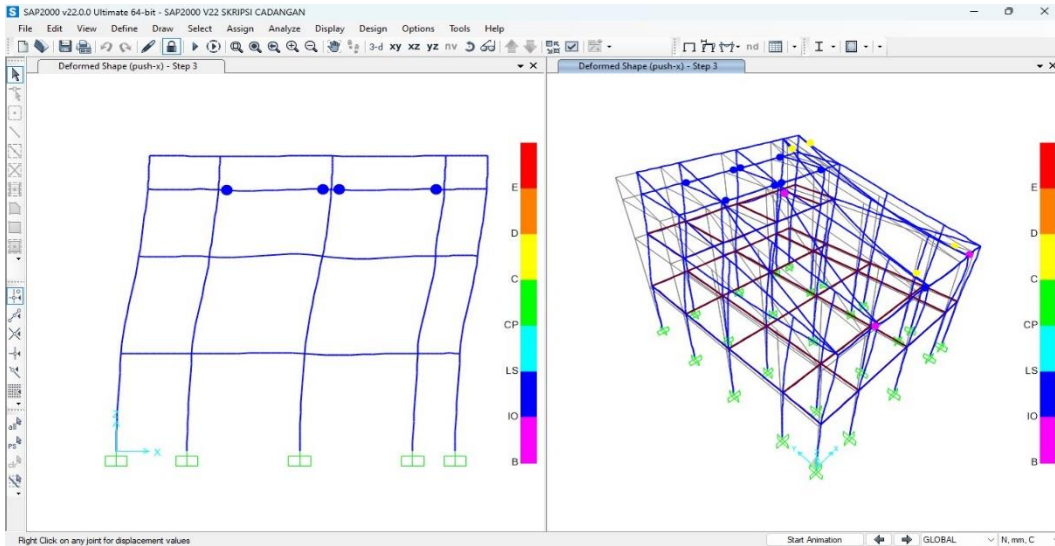
Dari gambar 4.47 Step 1 arah – X di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna biru tua pada balok lantai 3, ketika struktur diberi gaya dorong pada arah-x sebesar 16,361 kg.



Gambar 4.48 Step 2 arah -x

Sumber : Pengolahan Data SAP.2000 V.22

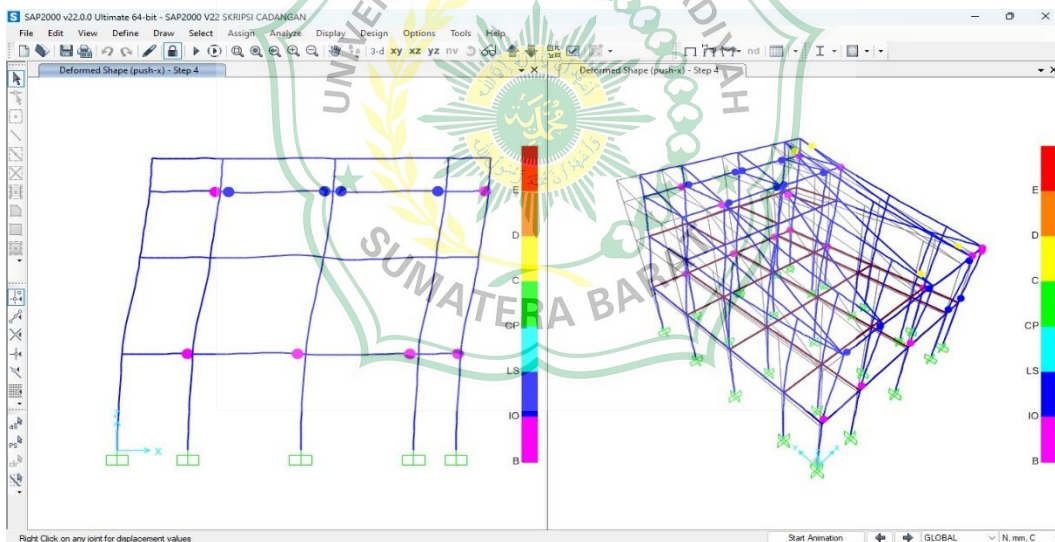
Dari gambar 4.48 step 2 arah – x di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna biru tua pada balok lantai 3, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah –x sebesar 16,333 kg



Gambar 4.49 Step 3 arah -x

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

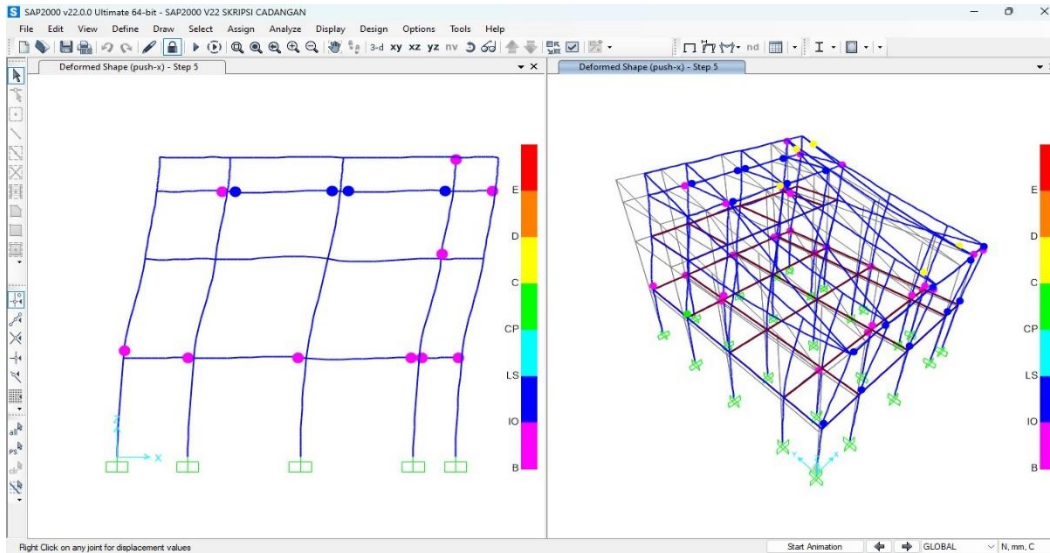
Dari gambar 4.49 step 3 arah -x di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna biru tua pada balok lantai 3, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah -x sebesar 16,327 kg



Gambar 4.50 Step 4 arah -x

Sumber : Pengolahan Data SAP200 V.22

Dari gambar 4.50 step 4 arah -x di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna biru tua pada balok lantai 3 dan sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah -x sebesar 47,230 kg



Gambar 4.51 Step 5 arah -x

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

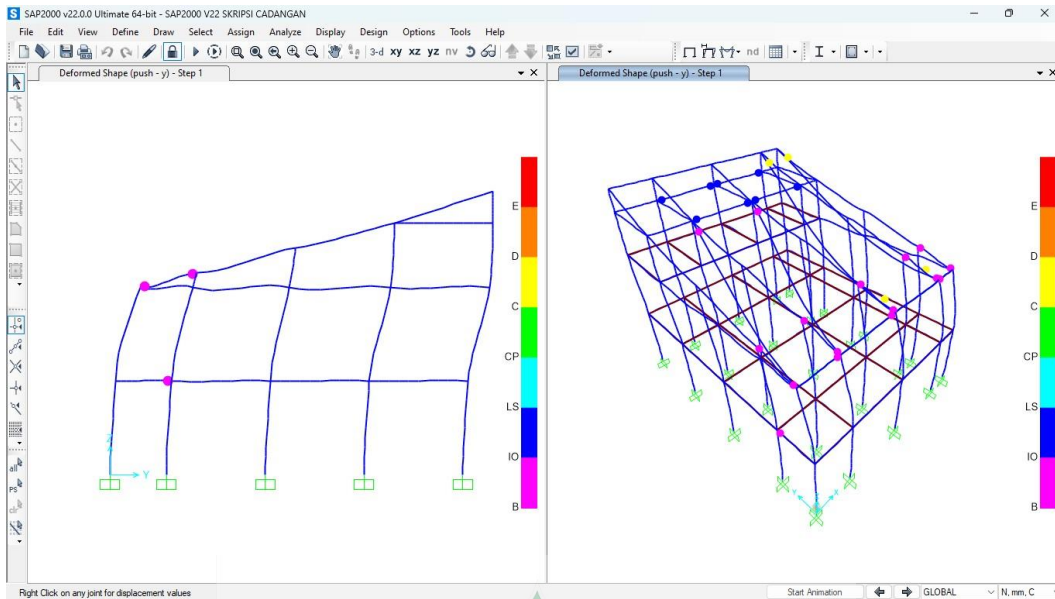
Dari gambar 4.51 step 5 arah - x di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna biru tua pada balok lantai 3 dan sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1 serta kolom lantai 3, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah -x sebesar 55,984 kg

Tabel 4.6 Gaya Geser Dasar Setiap Push X

PUSH - X		
Step	Displacement (mm)	Base Force (Ton)
1	19,556	16,361
2	19,560	16,333
3	19,564	16,327
4	61,434	47,230
5	72,096	55,984

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

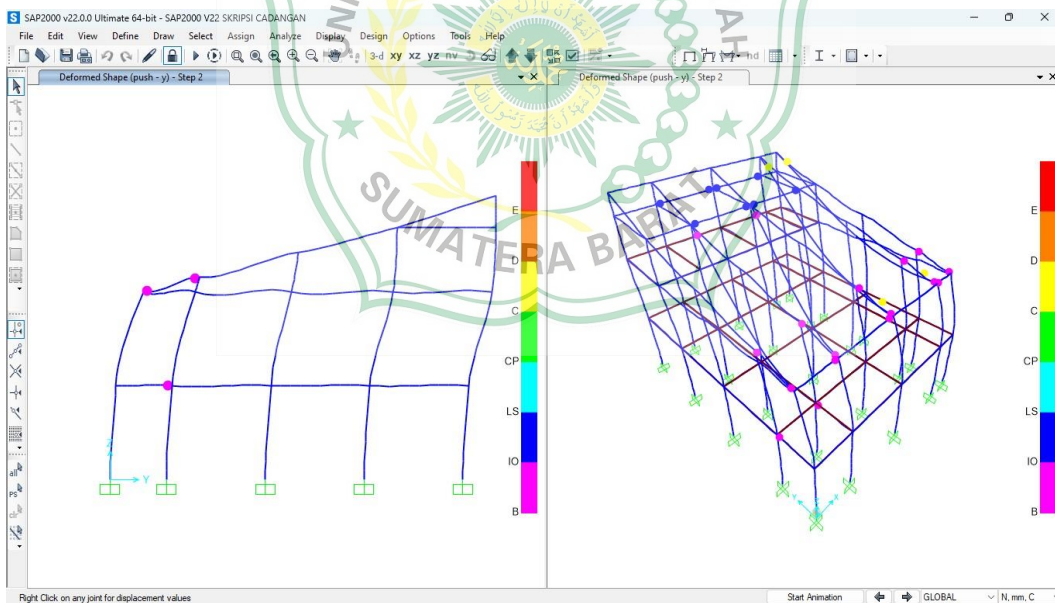
Berdasarkan hasil metode ATC-40 arah-y terdapat 5 step. Kondisi sendi plastis si arah x-x berada di daerah yang merupakan kondisi dimana elemen mulai mengalami leleh pertama kali, berarti gedung masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia masih kecil.



Gambar 4.52 Step 1 arah -y

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

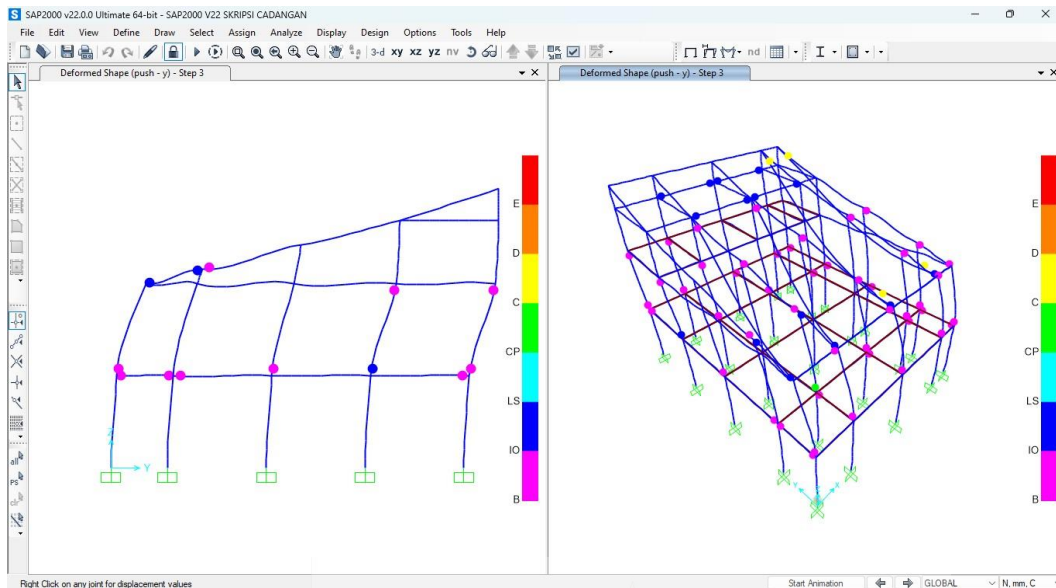
Dari gambar 4.52 step 1 arah – y di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1 dan 2 , ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah –y sebesar 44,479 kg



Gambar 4.53 Step 2 arah -y

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

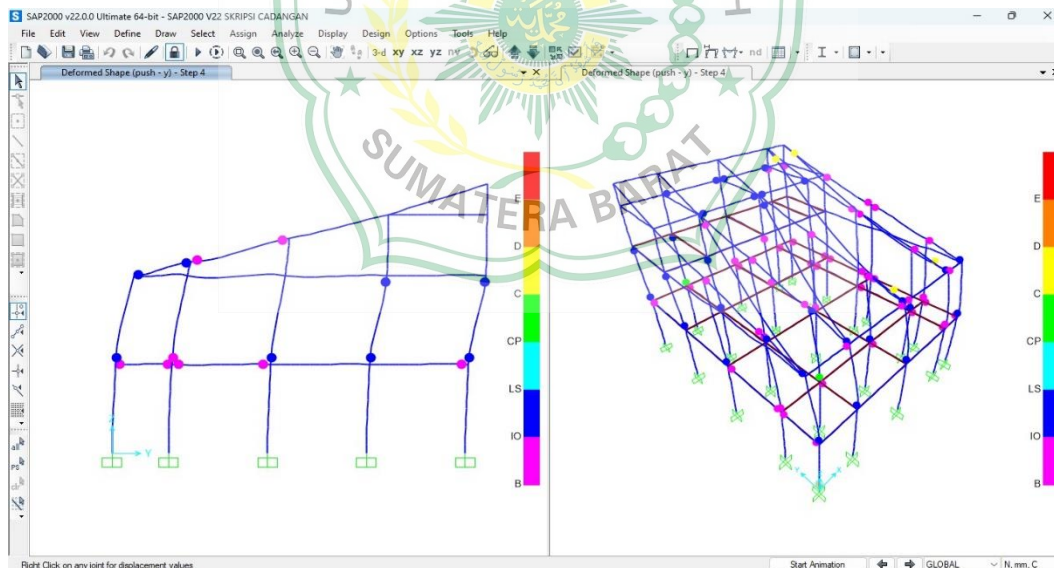
Dari gambar 4.53 step 2 arah – y di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1 dan 2, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah –y sebesar 48,454 kg



Gambar 4.54 Step 3 arah -y

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

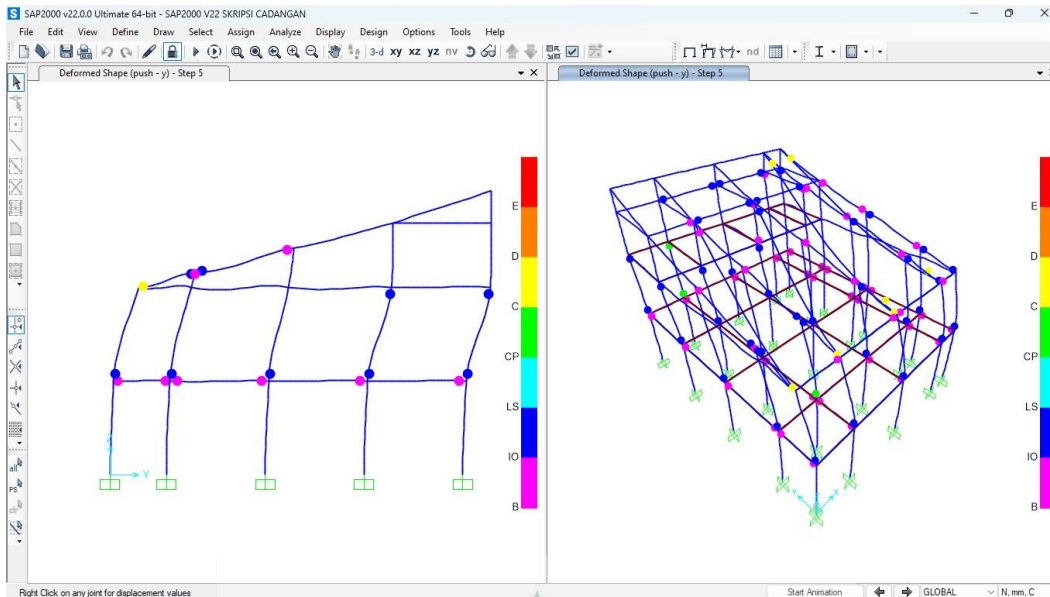
Dari gambar 4.54 step 3 arah – y di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1 dan 2, serta kolom antai 2, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah – y sebesar 68,494 kg



Gambar 4.55 Step 4 arah -y

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

Dari gambar 4.55 step 4 arah – y di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1 dan lantai 3. Sendi plasti berwarna bitu tua pada kolom lantai 2 dan balok lantai 2, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah –y sebesar 75,997 kg



Gambar 4.56 Step 5 Arah -y

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

Dari gambar 4.56 step 5 arah - y di atas, sudah terbentuk sendi plastis berwarna merah jambu pada balok lantai 1 dan lantai 3. Sendi plasti berwarna bitu tua pada kolom lantai 2 dan balok lantai 2, terdapat sendi plastis berwarna kuning pada balok lantai 2, ketika struktur bangunan diberi gaya dorong pada arah -y sebesar 81,843 kg

Tabel 4.7 Gaya Geser Setiap Step Push-y

PUSH - Y		
Step	Dislacement (mm)	Base Force (Ton)
1	40,937	44,479
2	44,889	448,454
3	70,399	68,494
4	88,762	75,997
5	116,836	81,843

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

4.5 Kurva Kapasitas *Pushover*

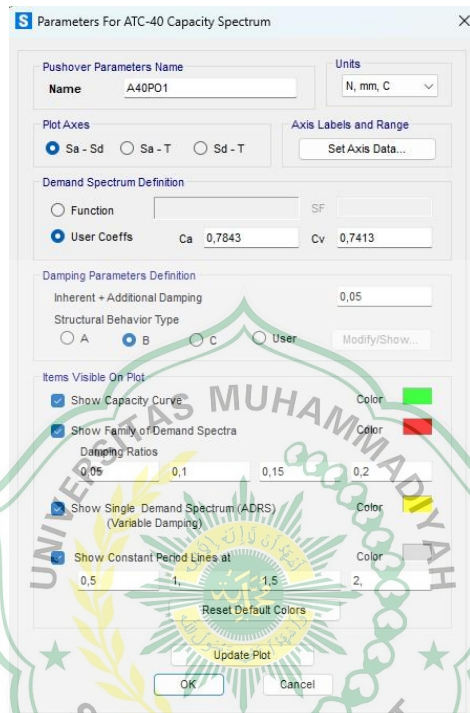
Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 respon gempa pada wilayah Bukittinggi dengan tanah berbatuan diketahui :

Parameter respon percepatan pada periode 0,2 dt, $S_{MS} = 1,8707 g$

Parameter respon percepatan pada periode 1,0 dt, $S_{M1} = 0,7413 g$

Selanjutnya dapat dihitung parameter nilai C_A dan C_V berdasarkan ATC-40 sebagai berikut:

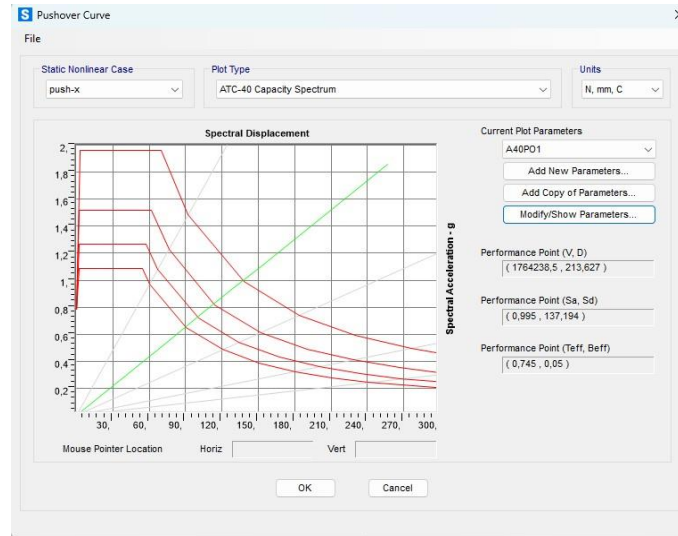
$$\begin{aligned} C_A &= 0.4 \times S_{MS} \\ &= 0.4 \times 1,8707 \text{ g} \\ &= 0.78428 \text{ g} \\ C_V &= S_{M1} \\ &= 0.7413 \text{ g} \end{aligned}$$



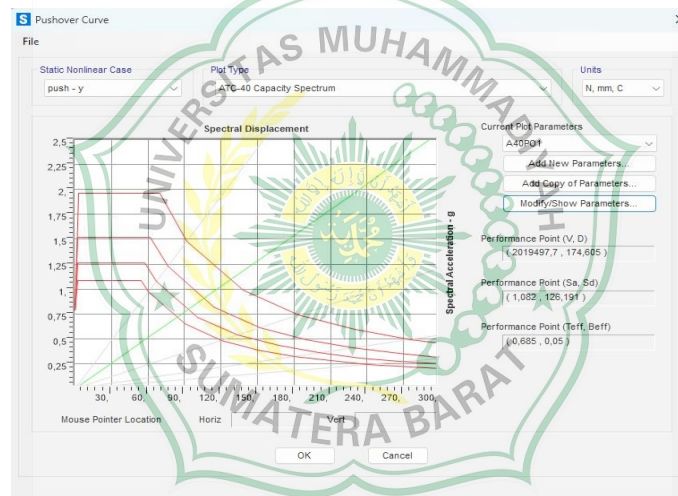
Gambar 4.57 Input parameter kapasitas spektrum ATC-40

Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

Di dapatkan hasil dari spectrum kapasitas dari masing-masing arah dapat dilihat pada gambar 4.58 dan gambar 4.59 berikut ini.



Gambar 4.58 Spektrum Kapasitas Arah x-x
 Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22



Gambar 4.59 Spektrum Kpasitas Arah y-y
 Sumber : Pengolahan Data SAP 2000 V.22

4.6 Level Kinerja Struktur

Dalam menentukan level kinerja struktur dapat mengikuti pedoman ATC-40. Secara global level kinerja struktur dapat ditentukan berdasarkan rasio nilai perpindahan atap saat *performance point* dengan tinggi bangunan.

Tabel 4.8 Batas Simpangan Pada Tingkat Kinerja Struktur

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

Sumber : ATC-40 1996

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja, parameter yang di perlukan adalah nilai perpindahan atap saat *performace point* dan nilai perpindahan atap saat *first yield* (beban dorong ke -3) dimana tinggi bangunan = 11,2 m

1. Simpangan Total Maksimum

$$\text{Arah x-x} = \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{72,096}{11200} = 0,0064 \text{ mm (Immediate Occupancy)}$$

$$\text{Arah y-y} = \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{116,836}{11200} = 0,0104 \text{ mm (Immediate Occupancy)}$$

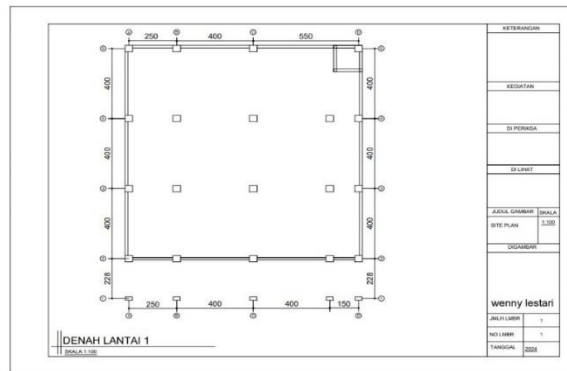
2. Simpangan Inelastis Maksimum

$$\text{Arah x-x} = \frac{Dt-D3}{H_{total}} = \frac{72,096 - 19,564}{11200} = 0,0046 \text{ mm (Immediate Occupancy)}$$

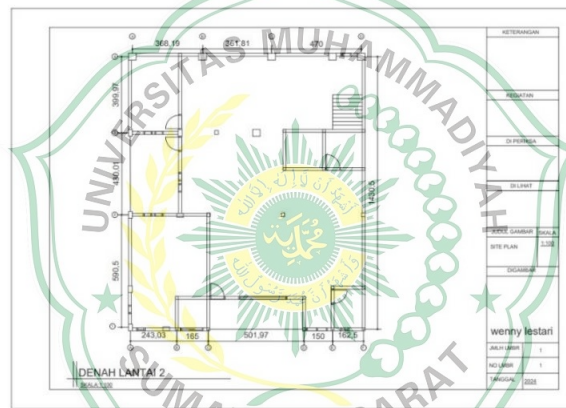
$$\text{Arah y-y} = \frac{Dt-D3}{H_{total}} = \frac{116,836 - 70,399}{11200} = 0,0041 \text{ mm (Immediate Occupancy)}$$

Hasil dari perhitungan diatas yang mengacu pada metode ATC – 40 simpangan total maksimum dan simpangan inelastic maksimum termasuk dalam kategori **Immediate Occupancy** dengan hasil < 0,01, berarti terdapat kerusakan struktur tapi tidak signifikan, belum terjadi penurunan kekakuan struktur dan bangunan masih layak fungsi meskipun harus dilakukan perbaikan dan perkuatan pada bagian-bagian yang mengalami kerusakan setelah terjadinya guncangan.

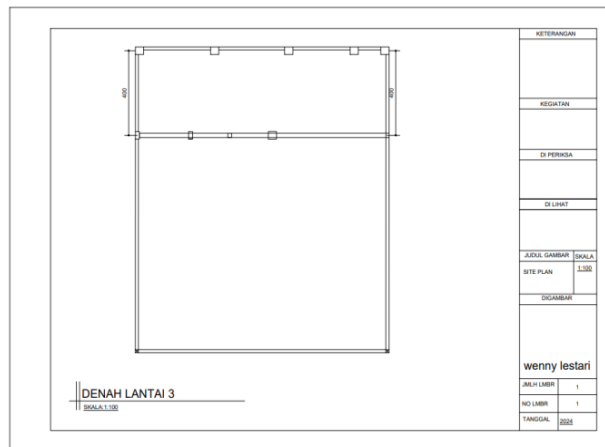
4.7 Dimensi Struktur Yang Baru



Gambar 4.60 Denah Bangunan Lantai 1
 Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017



Gambar 4.61 Denah Bangunan Lantai 2
 Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017



Gambar 4.62 Denah Bangunan Lantai 3

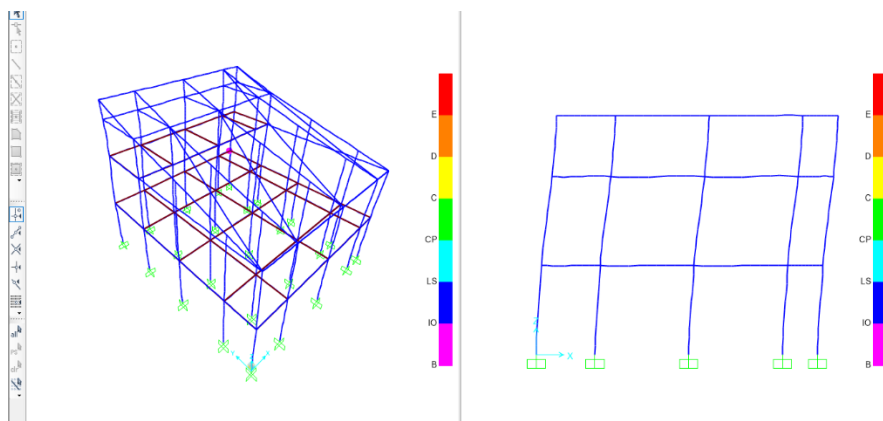
Sumber : Pengolahan Data Autocad 2017

e) Deskripsi Bangunan

Data – data gedung :

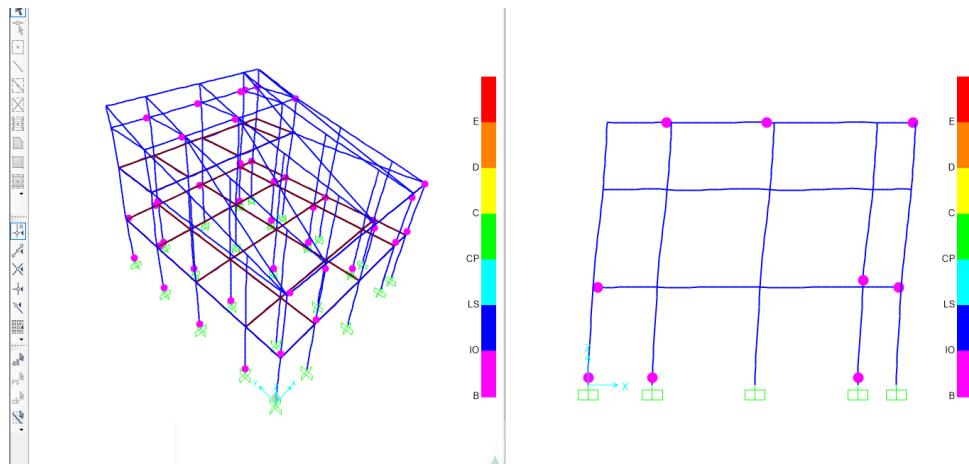
- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| n. Jenis bangunan | = GedungLaboratorium |
| o. Banyak lantai | = 3 Lantai |
| p. Tinggi bangunan | = 10,2 m |
| q. Tinggi bangunan perlantai | = lantai 1 dan 2 = 3,80 m |
| | = Lantai 3 = 2,60 meter |
| r. Sistem stuktur | = SRPM |
| s. Dimensi Balok Lantai 1 | = 300 x 400 mm |
| t. Dimensi balok lantai 2 | = 300 x 350 mm |
| u. Dimensi kolom (K1) | = 400 x 400 mm |
| v. Dimensi kolom (K2) | = 250 x 350 mm |
| w. Dimendi kolom (K3) | = 300 x 300 mm |
| x. Dimensi kolom (K4) | = 350 x 350 mm |
| y. Pelat lantai | = 120 mm |
| z. Pelat atap | = 100 mm |

Berdasarkan penampang yang telah perbesar menjadi ukuran Kolom (K1) 40 X 40 , Kolom (K2) 25 X 35, Kolom (K3) 30 X 30, Kolom (K4) 35 X 35, dan ukuran Balok (B1) 30 X 40, Balok (B2) 30 X 35, Balok (B3) 25 X 30. Setelah running pada program SAP2000 V22 maka didapatkan *deformed shape* (push – x) sebanyak 3 step dan *deformed shape* (push – y) sebanyak 4 step.



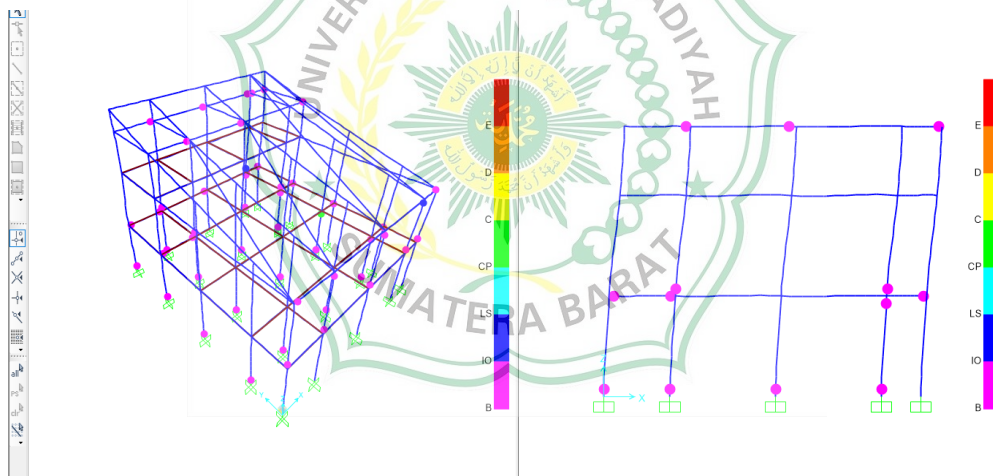
Gambar 4.63 *Deformed shape* (push – x) step 1

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



Gambar 4.64 *Deformed shape* (push – x) step 2

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



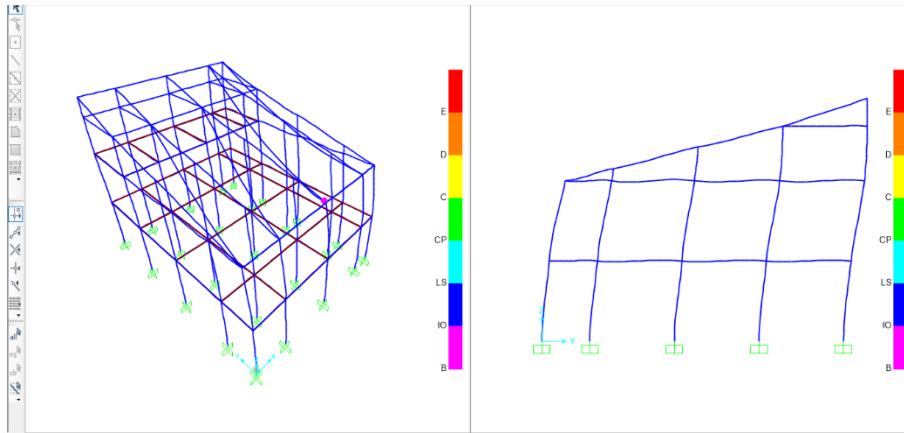
Gambar 4.65 *Deformed shape* (push – x) step 3

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

Tabel 4.9 *Deformed shape* (push – x)

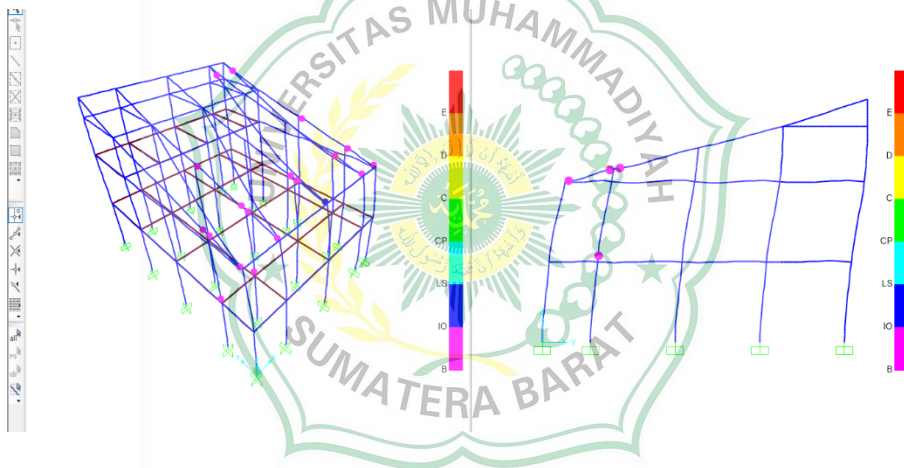
Step	Displacement (mm)	Base Force(Ton)
1	39,736	85,66
2	86,341	168,42
3	132,471	195,72

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



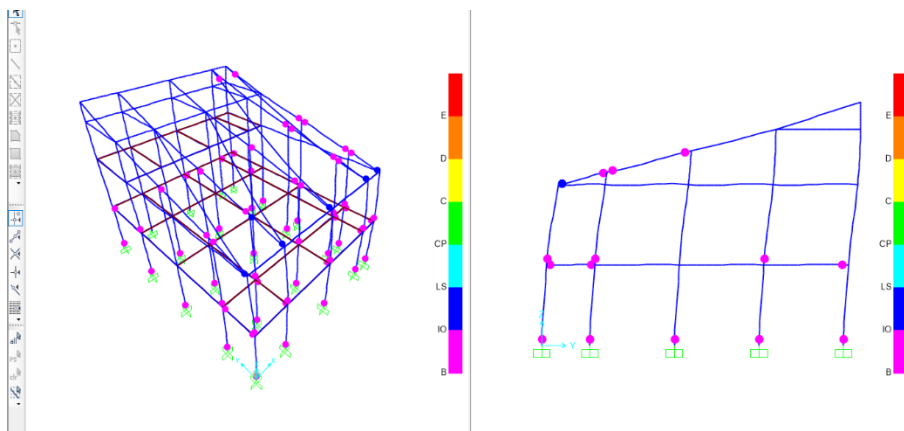
Gambar 4.66 *Deformed shape (push – y) step 1*

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



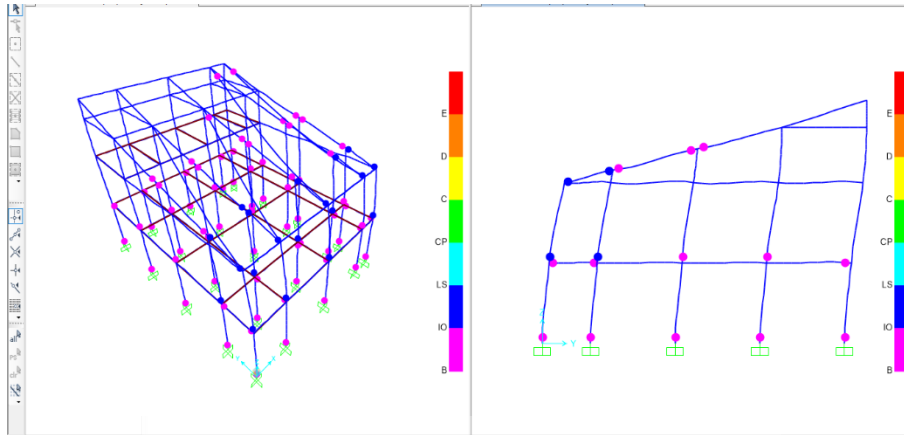
Gambar 4.67 *Deformed shape (push – y) step 2*

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



Gambar 4.68 *Deformed shape* (push – y) step 3

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22



Gambar 4.69 *Deformed shape* (push – y) step 4

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

Tabel 4.10 *Deformed shape* (push – y)

Step	Displacement (mm)	Base Force(Ton)
1	14,057	40,78
2	55,034	147,41
3	80,286	185,26
4	105,211	202,03

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

Berdasarkan hasil pushover analisis dengan penampang yang sudah diperbesar terdapat 3 Step dari arah X dan 4 Step untuk arah Y, yang diambil data dari step yang terbesar dari step arah X dan Arah Y, menghasilkan data seperti Tabel dibawah ini:

Tabel 4.11 Evaluasi kinerja gedung sesuai ATC-40

Hasil	Displacemen (mm)	Base Force (Ton)
Push-x (terbesar)	132,471	195,72
Push-y (terbesar)	105,211	202,03

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

a. Push arah X

Gaya geser dari *pushover Analysis* Adalah 195,72 ton. Gaya geser tersebut lebih besar dari gaya geser rencana 55,984 ton , sehingga struktur aman terhadap gempa rencana.

Displacement maksimum = $0,02 \cdot H = 0,02 \times 11200 \text{ mm} = 224 \text{ mm}$. *Displacement* dari analisis pushover adalah 132,471 mm. *Displacement pushover* < *Displacement* maksimum, maka struktur aman ditinjau dari *Displacement*.

Batasan rasio pada *performance poin* (PP) pada gedung, dengan parameter maksimum total dan inelastik maksimum

Simpangan total maksimum :

$$\text{Arah x-x} = \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{132,471}{11200} = 0,011 \text{ mm}$$

Simpangan inelastik maksimum:

$$\text{Arah x-x} = \frac{Dt-D3}{H_{total}} = \frac{132,471 - 39,736}{11200} = 0,008 \text{ mm}$$

Berdasarkan batasan rasio diatas menurut ATC-40 hasil perhitungan simpangan totoal maksimum dan simpangan inelastik maksimum menunjukkan bahwa dalam level kinerja ***Damage Control***, yang berarti antara Immediate Ocupancy SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

b. Push arah Y

Gaya geser dari *pushover Analysis* Adalah 202,03 ton. Gaya geser tersebut lebih besar dari gaya geser rencana 81,843 ton , sehingga struktur aman terhadap gempa rencana.

Displacement maksimum = $0,02 \cdot H = 0,02 \times 11200 = 224 \text{ m}$. *Displacement* dari analisis pushover adalah 105,211 mm. *Displacement pushover* < *Displacement* maksimum, maka struktur aman ditinjau dari *Displacement*.

Batasan rasio pada *performance poin* (PP) pada gedung, dengan parameter maksimum total dan inelastik maksimum

Simpangan total maksimum :

$$\text{Arah y-y} = \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{105,211}{11200} = 0,009 \text{ mm}$$

Simpangan inelastik maksimum:

$$\text{Arah y-y} = \frac{Dt-D3}{H_{total}} = \frac{105,211 - 14,057}{11200} = 0,008 \text{ mm}$$

Berdasarkan batasan rasio diatas menurut ATC-40 hasil perhitungan simpangan totoal maksimum dan simpangan inelestik maksimum menunjukkan bahwa dalam level kinerja **Damage Control**, yang berarti antara Immediate Ocupancy SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Tabel 4.12 Perbandingan Dimensi dan tulangan

Inspeksi Lapangan	Perencanaan
Kolom (K1) 360 x 400 mm dengan tulangan terpasang D13	Kolom (K1) 400 x 400 mm dengan rencana tulangan yang terpasang D16
Kolom (K2) 180 x 350 mm dengan tulangan terpasang D13	Kolom (K2) 250 x 350 mm dengan rencana tulangan yang terpasang D16
Kolom (K3) 180 x 200 mm dengan tulangan terpasang D13	Kolom (K3) 300 x 300 mm dengan rencana tulangan yang terpasang D16
Kolom (K4) 200 x 350 mm dengan tulangan terpasang D13	Kolom (K4) 350 x 350 mm dengan rencana tulangan yang terpasang D16
Balok (B1) 300 x 300 mm dengan tulangan terpasang D13	Balok (B1) 300 x 400 mm dengan rencana tulangan yang terpasang D16
Balok (B2) 200 x 300 mm dengan tulangan terpasang D13	Balok (B2) 300 x 350 mm dengan rencana tulangan yang terpasang D16

Sumber : Pengolahan Data SAP2000 V.22

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis data pada struktur gedung Laboratorium Fakultas Teknik Um Sumatera Barat dengan memakai metode Pushover Analisis pada program SAP2000 didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pushover analisis pada step 5 PUSH-Y beban yang diberikan sebesar 802613,14 kg, pada struktur sudah muncul sendi plastis berwarna kuning, yang dimana dapat disimpulkan bahwa struktur sudah berapa diambang keruntuhan, apabila diberi sedikit saja beban dorong tambahan maka gedung akan mengalami keruntuhan.
2. Berdasarkan hasil analisis kinerja struktur arah X dan arah Y, yang berdasarkan pada ATC-40 tahun 1996 nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastic maksimum dapat dihasilkan dari perhitungan tersebut, yang dimana masuk dalam kelas *Immediate Occupancy* (IO) yang hasilnya $< 0,01$ yang berarti gedung tersebut masih mampu menahan gempa yang terjadi dengan resiko korban jiwa manusia yang sangat kecil.
3. Dengan kondisi esiting balok pada lapangan sangat berbahaya maka perlu dilakukan perbesaran dimensi pada struktur seperti balok dan kolom yang dimana penampang yang diperbesar menjadi balok K1 30x40 cm dan kolom K1 40x40 cm.
4. Titik-titik yang mengalami kerusakan pada gedung Laboratorium Fakultas Teknik terjadi pada step 5 arah-x dan arah -y. sedangkan setelah melakukan pembesaran penampang Step berkurang menjadi Arah -x 3 Step dan Arah -y 4 Step.

5.2 Saran

1. Disarankan untuk melakukan uji ketahanan beban gempa menggunakan berbagai macam metode yang berbeda dengan tujuan gedung mendapatkan perbandingan nilai kinerja struktur gedung terhadap beban gempa.
2. Disarankan untuk melakukan analisa ketahanan struktur terhadap beban gempa menggunakan metode yang berbeda dengan tujuan mendapatkan ketahanan terhadap kinerja struktur.
3. Disarankan sebelum melakukan rehap, terlebih dulu melakukan perkuatan struktur pada balok dan kolom, guna untuk mendapatkan ketahanan struktur terhadap beban gempa.
4. Disarankan untuk melakukan perubahan dimensi struktur yang ada menjadi lebih besar agar mampu menahan beban gempa.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggen, W. S. (2014). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs Studi Kasus: Hotel Di Karanganyar Performance Evaluation Of Multistoried Building Structure With Dynamic Time History Analysis Using Etabs Case Study: Hote.*
- Badan Standardisasi Nasional, & 1726. (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional, & 1726. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketaanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- Batara, I. (2021). *Contoh desain struktur bangunan dengan SAP2000* (p. 273).
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Universitas Pelita Harapan.*
- Irfan, M., & Setiawan, A. A. (2023). EVALUASI KINERJA GEDUNG A UNIVERSITAS PEMBANGUNAN JAYA DENGAN PUSHOVER ANALYSIS BERDASARKAN FEMA 356. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 7(1), 28–39.
- Masril, M. (2019). Analisis perilaku struktur atas Gedung Asrama Pusdiklat IPDN Baso, Bangunan Wing 1 dengan beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012. *Rang Teknik Journal*, 2(1).
- Niken, C. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur (Studi Kasus: The Venetian Tower). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain (JRSD)*, 9(1), 177–188.
- Nugroho, F. (2016). Penerapan Analisis Pushover Untukmenentukan Kinerja Struktur Padabangunan Eksisting Gedung Beton Bertulang. *Jurnal Momentum ISSN 1693-752X*, 18(2).
- Rifai, M. (2022). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Time History (Studi Kasus: Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro).*
- Simbolon, L. N. S. (2021). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5(2).
- Syahputra, R. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Jamaliah Yayasan Syafiatul Amaliyah Medan Berdasarkan SNI 1726: 2019.* Universitas Medan Area.
- Wahyuni, S. D., Khamid, A., Wahidin, W., Imron, I., & Feriska, Y. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Dinding Bata dengan Metode Analisis Pushover pada Bangunan Sederhana. *Infratech Building Journal*, 2(2), 29–39.
- Yanto, N., Imani, R., & Andika, Z. (2019). Evaluasi kinerja struktur gedung Rumah Sakit Paru Sumatera Barat dengan pushover analysis. *Civil Engineering Collaboration*, 1–9.