

TUGAS AKHIR

**PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR RENCANA GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BOSOWA
DENGAN METODE BERBASIS KINERJA**



DISUSUN OLEH :

ASRIADI A
4515041023

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA
MAKASSAR
2022**



LEMBAR PENGAJUAN UJIAN TUTUP
TUGAS AKHIR

Judul : **“Perhitungan Super Struktur Rencana Gedung Fakultas
Kedokteran Universitas Bosowa Dengan Metode Berbasis
Kinerja“**

Disusun dan diajukan oleh :

N a m a : **ASRIADI A.**

No.Stambuk : **45 15 041 023**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program
Studi Teknik Sipil / Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa
Makassar


Telah disetujui oleh Komisi Pembimbing :

Pembimbing I : **Ir. Arman Setiawan, S.T., M.T** (.....)

Pembimbing II : **Ir. Eka Yuniarto, S.T., M.T.** (.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ridwan, S.T., M.Si. //
NIDN.09-101271-01

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil


Dr. H. A. Rumpang Yusuf., MT.
NIDN.00-010565-02



LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Nomor : A.110/FT/UNIBOS/I/2022 Tertanggal 21 Januari 2022, perihal Pengangkatan Panitia dan Tim Penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Rabu / 26 Januari 2022

Nama : **ASRIADI A.**

Nim : **4515041023**

Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Sipil

Judul Tugas Akhir : **PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR RENCANA GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN METODE BERBASIS KINERJA**

Telah diterima dan disahkan oleh Panitia Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Bosowa setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Ujian Sarjana Strata Satu (S – 1) untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa.


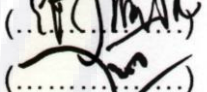


Tim Penguji Tugas Akhir

Ketua / Ex. Officio : **Ir. Arman Setiawan, ST., MT.**

Sekretaris / Ex. Officio : **Ir. Eka Yuniarto, ST., MT.**

Anggota : **Prof. Dr. Ir. M. Natsir Abduh, M.Si.**

: **Dr. Ir. H. Syahrul Sariman, MT.**

()
()
()
()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Bosowa



Dr. Ridwan, S.T., M.Si.
NIDN.09-101271-01

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Bosowa



Dr. Ir. H. A. Rumpang Yusuf, MT.
NIDN.00-010565-02

SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **ASRIADI A.**
Nomor Stambuk : **4515041023**
Program Studi : **Teknik Sipil**
Judul Tugas Akhir : **PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR RENCANA
GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN METODE
BERBASIS KINERJA**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tugas Akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, megalith mediakan / mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan dan menampilkannya untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia atau menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 23 Februari 2022 :

nyatakan

ASRIADI A.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **ASRIADI A.**

Nomor Stambuk : **4515041023**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Judul Tugas Akhir : **PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR RENCANA
GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN METODE
BERBASIS KINERJA**

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

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 Universitas Bosowa.

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

Makassar, 23 Februari 2022!

at pernyataan

ASRIADI A
4515041023

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Taala, karena hanya atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam kita haturkan kepada Rasulullah Sallallahu Alaihi Wasallam, keluarga dan sahabatnya. Setiap kemudahan dan kesabaran yang telah diberikan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Perhitungan Super Struktur Rencana Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Bosowa dengan Metode Berbasis Kinerja”** sebagai salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan materi serta selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Dr. Ridwan, S.T. M.Si, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa.
3. Dr. Ir. H. A. Rumpang Yusuf, M.T selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa.
4. Bapak Ir. Arman Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Eka Yuniarto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II

yang selalu sabar dan tulus meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Serta

Bapak Dr. Ir. H. Syahrul Sariman, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Bidang Kajian Struktur serta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa.

5. Saudara/Saudari seperjuangan Teknik Sipil 2015, terkhusus kepada saudara Atkal Gunawan, ST, Hardianto Putra Pratama, ST, Arif Hidayat, ST, Muh. Kinantang Putra dan teman-teman Keluarga Besar Jipang Raya terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
6. Teman-teman di organisasi KBM FT UNIBOS, HMI Komisariat Teknik "45", HMS FT UNIBOS, terkhusus kepada adinda Laode Amal Saputra Tiasa Teknik Sipil 2020 yang telah membantu dan mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Adek tersayang Adinda Andi Marwah yang telah senantiasa memberikan semangat kepada saya selama pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Makassar, 23 Februari 2022

**PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR RENCANA GEDUNG FAKULTAS
KEDOKTERAN UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN METODE
BERBASIS KINERJA**

Asriadi A¹⁾ Arman Setiawan²⁾ Eka Yuniarto³⁾

¹ Mahasiswa ^{2,3} Dosen Pembimbing

¹asriadi.aa33@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara yang termasuk daerah rawan gempa, tercatat gempa terdahsyat yang terjadi dalam kurun waktu 50 tahun terjadi di Aceh yang mengakibatkan tsunami dengan besaran gempa skala 9,1 magnitude. Di Indonesia sendiri dilewati oleh lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia sehingga bencana gempa dapat terjadi kapan saja, maka dari itu bangunan gedung dan non-gedung di Indonesia harus didesain mampu menahan gaya gempa yang besar.

Perencanaan berbasis kinerja merupakan salah satu konsep mendesain dimana target kinerja bangunan ditentukan terlebih dahulu. Dan pada akhir proses desain, target tersebut dijadikan parameter minimum yang harus dipenuhi.

Dalam penelitian ini terdapat dua metode yang dipakai dalam analisis yaitu metode Direct Displacement Based Desain dan metode Analisis statik non-linier (Pushover).

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi hasil output dari kurva kapasitas dan kinerja struktur dengan metode ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440. Tipe bangunan yang dimodelkan berupa bangunan sistem rangka baja pemikul momen khusus yang menghasilkan level kinerja menurut ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440 yaitu Immediate Occupancy.

Kata kunci : Gempa, Berbasis Kinerja, Direct Displacement Based Design, Pushover, Level Kinerja.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGAJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR TABEL	xxiv
DAFTAR GAMBAR.....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	I - 1
1.2. Rumusan Masalah	I - 3
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	I - 3
1.3.1. Tujuan.....	I - 3
1.3.2. Manfaat.....	I - 3
1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah.....	I - 4
1.4.1. Pokok Bahasan.....	I - 4
1.4.2. Batasan Masalah	I - 5
1.5. Sistematika Penulisan.....	I - 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1.	Tinjauan Umum.....	II - 1
2.2.	Perkembangan Teknologi Desain Tahan Gempa.....	II - 2
2.3.	Konsep Dasar Perencanaan	II - 3
2.3.1.	<i>LRFD</i>	II - 3
2.3.2.	Perencanaan Gempa Berbasis Kinerja	II - 4
2.3.3.	Metode Berbasis Kinerja untuk Sistem Rangka	II - 6
2.3.4.	Analisis Beban Dorong Statik Non Linier	II - 7
2.3.5.	Kinerja Struktur	II - 9
2.3.5.1.	Kinerja Struktur Metode <i>ATC-40</i>	II - 9
2.3.5.2.	Kinerja Struktur Metode <i>FEMA 356</i>	II - 13
2.3.5.3.	Kinerja Struktur Metode <i>FEMA 440</i>	II - 15
2.3.5.4.	Kinerja Batas Ultimit	II - 15
2.4.	Konsep Pembebanan	II - 17
2.4.1.	Beban Mati	II - 17
2.4.2.	Beban Hidup	II - 18
2.4.3.	Beban Gempa	II - 19
2.4.4.	Kombinasi Pembebanan.....	II - 26
2.5.	Desain Kapasitas	II - 27
2.6.	Kekuatan Desain	II - 28
2.7.	Studi Literatur	II - 28

BAB III KONSEP PERENCANAAN/PERHITUNGAN

3.1.	Model Struktur Bangunan	III - 1
------	-------------------------------	---------

3.2.	Pendekatan Penelitian	III - 2
3.3.	Data Dasar Perencanaan.....	III - 2
3.4.	Bagan Alir	III - 4
3.5.	Prosedur Percobaan	III - 5
3.6.	<i>Preliminary Design</i>	III - 6
3.7.	Pemodelan Struktur	III - 6
3.8.	Sistem Rangka Pemikul Momen	III - 6
3.9.	Desain <i>DDBD</i> Sistem Rangka.....	III - 7
3.9.1.	Desain Perpindahan Tingkat.....	III - 7
3.9.2.	Desain Perpindahan <i>SDOF</i>	III - 7
3.9.3.	Massa Efektif	III - 8
3.9.4.	Tinggi Efektif.....	III - 8
3.9.5.	Desain Daktilitas Perpindahan	III - 9
3.9.6.	Redaman <i>Viscous</i> Ekuivalen	III - 10
3.9.7.	Periode Efektif	III - 10
3.9.8.	Kekakuan Efektif.....	III - 11
3.9.9.	Gaya Geser Dasar	III - 12
3.10.	Kontrol Perencanaan Struktur	III - 12
3.10.1.	Kontrol Elemen Struktur	III - 12
3.10.2.	Perencanaan Sambungan	III - 18
3.11.	Evaluasi Kinerja Struktur	III - 20
3.11.1.	Titik Kinerja Struktur Metode <i>ATC-40</i>	III - 20
3.11.2.	Batasan Deformasi	III - 25

3.11.3. Titik Kinerja Struktur Metode <i>FEMA</i> 356	III - 26
3.11.4. Titik Kinerja Struktur Metode <i>FEMA</i> 440	III - 28

BAB IV TINJAUAN PERENCANAAN/PERHITUNGAN

4.1. Penentuan Target Kinerja Struktur	IV - 1
4.2. Pembebanan	IV - 1
4.2.1. Beban Mati.....	IV - 2
4.2.2. Beban Hidup	IV - 2
4.2.3. Beban Gempa.....	IV - 2
4.3. Perencanaan Struktur Sekunder	IV - 16
4.3.1. Perencanaan Pelat	IV - 16
4.3.1.1. Perencanaan Pelat Atap	IV - 17
4.3.1.2. Perencanaan Pelat Lantai.....	IV - 27
4.3.2. Perencanaan Balok Anak.....	IV - 38
4.3.2.1. Dimensi Balok Anak Atap.....	IV - 38
4.3.2.2. Dimensi Balok Anak Lantai	IV - 45
4.3.3. Perencanaan Tangga	IV - 51
4.3.3.1. Perencanaan Jumlah Injakan Tangga.....	IV - 51
4.3.3.2. Perencanaan Tebal Pelat Anak Tangga.....	IV - 53
4.3.3.3. Perencanaan Pengaku Pelat Anak Tangga.....	IV - 54
4.3.3.4. Perencanaan Pelat Bordes	IV - 57
4.3.3.5. Perencanaan Balok Bordes	IV - 59
4.3.3.6. Perhitungan Balok Utama Tangga	IV - 64
4.3.3.7. Perencanaan Balok Penumpu Tangga.....	IV - 71

4.3.4.	Perencanaan Balok Lift	IV - 77
4.3.4.1.	Perencanaan Balok Penggantung Lift	IV - 78
4.3.4.2.	Perencanaan Balok Penumpu Lift	IV - 84
4.4.	Perencanaan Struktur Primer	IV - 90
4.4.1.	Perhitungan Balok Induk	IV - 90
4.4.1.1.	Balok Induk Arah X	IV - 90
4.4.1.2.	Balok Induk Arah Y	IV - 94
4.4.2.	Perhitungan Kolom	IV - 98
4.4.3.	Perhitungan Sambungan	IV - 104
4.4.3.1.	Sambungan Balok Anak Lantai dengan Balok Induk	IV - 104
4.4.3.2.	Sambungan Balok Anak Atap dengan Balok Induk	IV - 111
4.4.3.3.	Sambungan Tangga	IV - 119
4.4.3.4.	Sambungan Balok Induk dengan Kolom	IV - 132
4.4.3.5.	Sambungan Antar Kolom	IV - 137
4.4.3.6.	Sambungan Kolom dengan <i>Base Plate</i>	IV - 143
4.5.	Evaluasi Kinerja	IV - 151
4.5.1.	Kapasitas Struktur.....	IV - 151
4.5.2.	Evaluasi Kinerja Struktur.....	IV - 158
4.5.2.1.	Menentukan Spektrum Kapasitas <i>ATC 40</i>	IV - 159
4.5.2.2.	Metode <i>FEMA 356</i>	IV - 162
4.5.2.3.	Metode <i>FEMA 440</i>	IV - 164
4.5.2.4.	<i>Resume</i>	IV - 165
4.5.2.5.	Perbandingan <i>Drift</i> dan <i>Displacement</i>	IV - 166

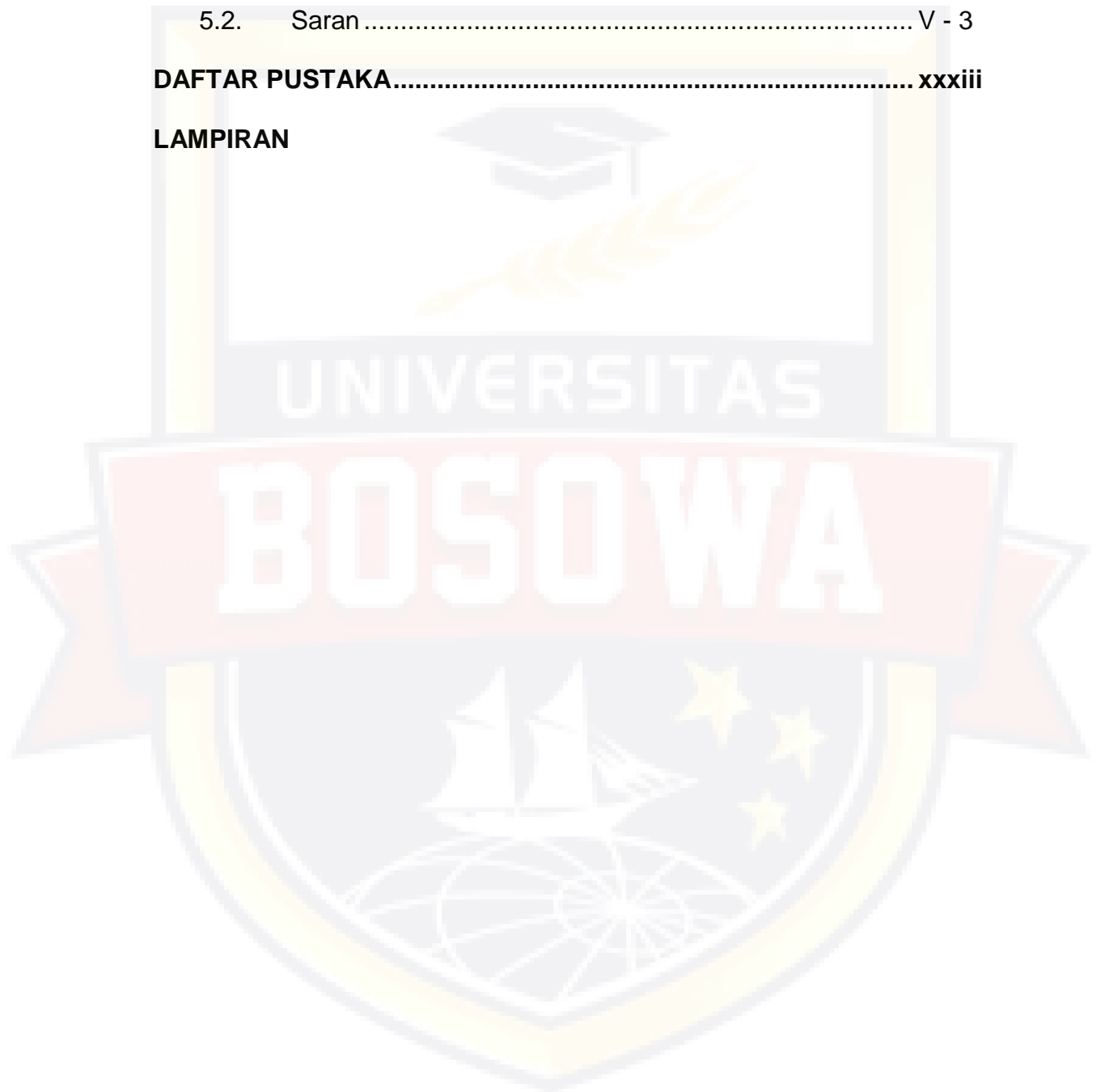
BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan V - 1

5.2. Saran V - 3

DAFTAR PUSTAKA..... xxxiii

LAMPIRAN



DAFTAR NOTASI

Δ	: Simpangan
Δ_{DI}	: Profil perpindahan rencana
Δ_a	: Simpangan izin
Δ_i	: Perpindahan yang terjadi pada lantai i
Δ_{roof}	: Perpindahan Atap
Δ_{yi}	: Profil perpindahan leleh
A	: Luas profil
a	: Tinggi profil
a	: Kemiringan tangga
a	: Ukuran las sudut
a	: Panjang rencana haunch
A_b	: Luas bruto penampang baut
A_{BM}	: Luas penampang logam dasar
A_e	: Luas neto efektif
A_g	: Luas penampang bruto
A_n	: Luas elemen-elemen yang tersambung langsung
A_{nt}	: Luas neto penahan tarik
A_{nv}	: Luas neto yang menahan geser
A_{nv}	: Luas neto penahan geser
A_w	: Luas badan, tinggi keseluruhan dikali tebal badan (d.t _w)
A_{we}	: Luas efektif las
b	: Tinggi rencana haunch
B	: Lebar base plate
b_f	: Lebar profil
b_s	: Lebar pelat pengaku minimum
C_0	: Faktor modifikasi untuk perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, ditentukan berdasarkan table 3-2 FEMA 356

- C_1 : Faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastic linier
- C_2 : Faktor modifikasi yang mewakili efek dari bentuk histeristis pada perpindahan maksimum, ditentukan berdasarkan *table 3-3 FEMA 356*
- C_3 : Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat efek *P delta*
- C_b : Faktor modifikasi tekuk torsi lateral untuk diagram momen nonmerata
- C_d : Faktor pembesaran defleksi
- C_m : Faktor massa efektif ditentukan berdasarkan *table 3-10 FEMA 356*
- C_m : Koefisien yang diperhitungkan untuk momen nonmerata
- C_m : Koefisien dengan asumsi tanpa translasi lateral dari portal
- C_p, C_N : Koefisien tekanan eksternal
- C_S : Koefisien respons seismik
- $C_{t, x}$: Parameter periode pendekatan untuk T
- C_v : Koefisien geser badan
- D : Beban mati
- D : Gaya geser
- d : Diameter
- d : Tinggi profil balok
- d_b : Diameter baut
- E : Beban gempa
- E : Modulus elastis baja (200 000 Mpa)
- e : Eksentrisitas pada sambungan
- f : Lendutan
- f : Gaya (kg)

- F_a : Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
 f'_c : Kuat tekan beton atau mutu beton
 F_{cr} : Tegangan kritis
 F_{cr} : Tegangan kritis
 F_e : Tegangan tekuk elastis
 F_E : Mutu las
 F_i : Bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i
 F_{nBM} : Tegangan nominal dari logam dasar
 F_{nw} : Tegangan nominal dari logam las
 f_u : Tegangan putus baja
 F_v : Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
 F_x : Gaya lateral
 f_y : Tegangan leleh baja
 g : Faktor percepatan gravitasi 9,81 m/det²
 G : Modulus elastis geser dari baja (77200 MPa)
 G : Faktor kekangan akibat adanya batang lentur yang merangka ke batang tekan yang sedang ditinjau
 GC_{pi} : Koefisien tekanan internal
 h : Tinggi atap rata-rata
 h : Tinggi penampang
 h : Tinggi bersih badan profil
 h : Tinggi efektif
 H : Geser tingkat
 h_b : Tinggi efektif blok padaa rangka
 H_e : Tinggi efektif struktur
 H_i : Tinggi struktur pada lantai ke i
 h_i, h_x : Tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x

h_n	: Batasan tinggi struktur
H_n	: Total tinggi struktur pada lantai
I_e	: Faktor keutamaan gempa
I_x	: Inersia sumbu x profil (mm^4)
i_x	: Jari-jari girasi sumbu x profil (mm)
I_y	: Inersia sumbu y profil (mm^4)
i_y	: Jari-jari girasi sumbu y profil (mm)
J	: Konstanta torsi (mm^4)
J_1	: Sambungan titik 1 (portal 1)
J_{2A}	: Sambungan titik 2 (portal 1-2)
J_{2B}	: Sambungan titik 2 (portal 2-3)
J_3	: Sambungan titik 3 (portal 3)
k	: Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
k	: Faktor panjang efektif kolom
K	: Kontrol beban
K_{DS}	: Kategori desain seismik
K_e	: Faktor elevasi permukaan tanah
L	: Panjang penampang
l	: Lebar injakan
L	: Dimensi bangunan paralel arah angin
L	: Panjang bentang
L	: Dimensi horizontal bangunan gedung, diukur paralel terhadap arah angin
L	: Beban hidup
L_b	: Jarak penahan lateral
L_b	: Panjang bentang bersih balok pada rangka
L_p	: Panjang sendi plastis
L_r	: Panjang bentang minimum balok yang tahanannya

ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateal

- K_e : Kekakuan efektif
- K_e : Kekakuan lateral efektif
- K_i : Kekakuan lateral elastik
- M : Gaya momen
- m : Jumlah bidang geser
- M_1 : Momen terkecil ujung bawah
- M_2 : Momen terbesar ujung atas
- MA : Nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen
- MB : Nilai mutlak momen pada titik seperdua dari segmen
- MC : Nilai mutlak momen pada titik tiga-perempat dari segmen
- M_c : Kekuatan lentur tersedia
- M_e : Massa efektif
- M_i : Massa pada lantai ke i
- M_{lt} : Momen orde pertama menggunakan kombinasi beban lateral
- M_{maks} : Nilai mutlak momen maksimum dalam segmen
- M_n : Kuat lentur nominal
- M_{nt} : Momen orde pertama menggunakan kombinasi beban no lateral
- M_p : Momen lentur plastis
- M_r : Kekuatan lentur perlu menggunakan kombinasi beban
- M_r : Momen lentur orde kedua yang diperlukan menggunakan kombinasi beban
- M_u : Kuat lentur ultimate
- N : Nilai hasil test penetrasi standar rata-rata
- n : Jumlah tulangan/baut
- N : Gaya normal

- N : Panjang base plate
 \emptyset : Diameter tulangan/baut
 P : Beban titik
 P_c : Kekuatan aksial tersedia
 $P_{e\text{ story}}$: Kekuatan tekuk kritis elastis untuk tingkat pada arah translasi yang diperhitungkan
 P_{e1} : Kekuatan tekuk kritis elastis komponen struktur pada bidang lentur
 P_{lt} : Gaya aksial orde pertama menggunakan kombinasi beban lateral
 P_{lt} : Gaya aksial orde-pertama yang menggunakan kombinasi beban *DFBK* atau *DKI*, akibat translasi lateral hanya dari struktur
 P_{mf} : Beban vertikal total pada kolom dalam tingkat yang merupakan bagian dari rangka momen
 P_n : Kuat tekan nominal
 P_{nt} : Gaya aksial orde pertama menggunakan kombinasi beban no lateral
 P_r : Kekuatan aksial perlu menggunakan kombinasi beban
 P_r : Kekuatan aksial orde kedua yang diperlukan menggunakan kombinasi beban *DFBK*
 P_{story} : Beban vertikal total didukung oleh tingkat menggunakan kombinasi beban *DFBK* atau *DKI*, yang sesuai, termasuk beban-beban dalam kolom-kolom yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral
 P_u : Kekuatan aksial nominal
 P_u : Kuat tekan *ultimate*
 q : Beban merata
 q_z, q_h : Tekanan velositas di tingkat z atau h

R	: Faktor modifikasi respons
r	: Radius joint permukaan
R	: Rasio perbandingan kapasitas
R	: Koefisien modifikasi respon
r_1	: 0.5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser 0.4 untuk baut ada ulir pada bidang geser
R_d	: Kuat tumpu desain
R_M	: Koefisien untuk menghitung pengaruh P- δ pada P- Δ
R_n	: Kekuatan nominal
R_n	: Kuat nominal baut
R_{pg}	: Faktor reduksi kekuatan lentur
R_u	: Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK
R_u	: Kuat ultimate baut
RV	: Reaksi vertikal
s	: Jarak antar tulangan
S	: Jarak antar baut
S	: Jarak baut ketepi tidak terbebani
S_1	: Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik
S_1	: Jarak baut ketepi terbebani
SA	: Batuan keras
S_a	: Spektrum respon percepatan desain
SB	: Batuan
SC	: Tanah keras
SD	: Tanah sedang
S_d	: Spectra perpindahan
S_{D1}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik
S_{DS}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode

	pendek
SE	: Tanah lunak
SF	: Tanah khusus
S_{M1}	: Parameter percepatan spektral pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	: Parameter percepatan spektral pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	: Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek
S_x	: Modulus elastisitas sumbu x profil (cm^3)
S_{xc}	: Modulus penampang elastis
S_y	: Modulus elastisitas sumbu y profil (cm^3)
T	: Periode fundamental struktur
t	: Tebal tertipis pelat yang disambung
t	: Tinggi injakan
T	: Gaya kopel pada sayap
T	: Gaya tarik (kg)
T_a	: Periode fundamental pendekatan
T_c	: Periode fundamental analisis software
T_e	: Tebal efektif las
T_e	: Waktu getar efektif
t_f	: Tebal sayap profil
t_p	: Tebal tertipis pelat
t_s	: Tebal pelat pengaku minimum
T_s	: Waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respon spectrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan
t_w	: Tebal badan profil
T_1	: Waktu getar elastik

U	: Mutu baja tulangan
U	: Faktor geser yang tidak diperhitungkan
V	: Gaya geser dasar seismik
V_{base}	: Gaya geser dasar total
V_d	: Kuat geser desain
V_f	: Gaya geser dasar pada rangka
V_i	: Gaya geser dasar lantai ke i
V_n	: Kuat geser nominal
V_s	: Besaran percepatan rambat gelombang geser rata-rata
V_u	: Kuat geser ultimate
W	: Berat profil
W	: Modulus Tekuk
W_e	: Jarak baut ke tepi
w_i	: Bagian berat seismik efektif total struktur tingkat i
W_t	: Berat seismik efektif
w_x	: Bagian berat seismik efektif total struktur tingkat x
x	: Indeks sehubungan dengan sumbu kuat lentur
y	: Indeks sehubungan dengan sumbu lemah lentur
z	: Tinggi di atas tanah
z	: Tinggi dinding
Z_x	: Modulus plastisitas sumbu x profil (cm^3)
Z_y	: Modulus plastisitas sumbu y profil (cm^3)
α	: Faktor lokasi penulangan
β	: Faktor pelapis
δ	: Faktor amplifikasi momen
δ_x	: Defleksi pada lantai ke-x
θ	: Sudut rencana
ρ	: Faktor redudansi

- σ_u : Tegangan ultimate
 σ_y : Tegangan leleh
 γ : Faktor ukuran batang tulangan
 ϕ : Faktor reduksi kekuatan
 Ω_0 : Faktor kuat lebih sistem
 α : Faktor penyesuaian level gaya *DFBK/DKI*
 λ : Parameter kelangsingan
 λ_p : Parameter batas kelangsingan untuk elemen kompak
 λ_r : Parameter batas kelangsingan untuk elemen nonkompak

UNIVERSITAS

BOSOWA

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Kategori Bangunan Pada Tingkat Kinerja Struktur	12
Tabel 2. 2: Kondisi Bangunan Pasca Gempa Dan Kategori Bangunan	14
Tabel 2. 3: Simpangan Antar Izin $\Delta_{Aa,B}$	16
Tabel 2. 4: Berat Sendiri Bangunan Dan Komponen Gedung	18
Tabel 2. 5: Beban Hidup Terdistribusi Merata Untuk Bangunan.....	18
Tabel 2. 6: Koefisien Situs Fa	23
Tabel 2. 7: Koefisien Situs Fv	23
Tabel 2. 8: Klasifikasi Situs	25
Tabel 2. 9: Kategori Resiko Bangunan Untuk Beban Gempa.....	25
Tabel 2. 10: Faktor Keutamaan Gempa	25
Tabel 2. 11: Kategori Desain Seismic Periode Pendek.	26
Tabel 2. 12: Kategori Desain Seismic Periode 1 Detik.	26
Tabel 2. 13: Faktor Reduksi Kekuatan Baja	28
Tabel 3. 1: Lendutan Izin Penampang	17
Tabel 3. 2: Lendutan Maksimum Penampang	17
Tabel 3. 3: Ukuran Minimum Las Sudut	20
Tabel 4 1: Batasan Simpangan Pada Tingkat Kinerja Struktur	1
Tabel 4 2: Desain Respon Spktrum	4
Tabel 4 3: Perhitungan Berat Struktur Lantai 7 (Atap).....	5
Tabel 4 4: Perhitungan Berat Struktur Lantai 6	5
Tabel 4 5: Perhitungan Berat Struktur Lantai 5	6
Tabel 4 6: Perhitungan Berat Struktur Lantai 4	7

Tabel 4 7: Perhitungan Berat Struktur Lantai 3	7
Tabel 4 8: Perhitungan Berat Struktur Lantai 2	8
Tabel 4 9: Berat Seimik Efektif.....	9
Tabel 4 10: Perhitungan Profil Perpindahan Rencana	10
Tabel 4 11: Perhitungan Drift Leleh Pada Rangka, Arah X-X.....	11
Tabel 4 12: Perhitungan Drift Leleh Pada Rangka, Arah Y-Y.....	11
Tabel 4 13: Perhitungan Spektra Displacement	12
Tabel 4 14: Distribusi Gaya Geser Tiap Lantai.....	15
Tabel 4 15: Rekapitulasi Analisis Struktur Sekunder.....	152
Tabel 4 16: Rekapitulasi Analisis Struktur Primer	153
Tabel 4 17: Output Beban Dorong Arah X-X.....	154
Tabel 4 18: Output Beban Dorong Arah Y-Y	162
Tabel 4 19: Structural Behavior Type.....	168
Tabel 4 20: Output Spektrum Kapasitas Arah X-X:	170
Tabel 4 21: Output Spektrum Kapasitas Arah Y-Y	171
Tabel 4 22: Output Data Perhitungan Target Perpindahan	172
Tabel 4 23: Resume Target Perpindahan	174
Tabel 4 24: Perbandingan Nilai Drift Dan Displacement Arah X-X.....	175
Tabel 4 25: Perbandingan Nilai Drift Dan Displacement Arah Y-Y	176

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Tipikal Kurva Kapasitas Pada Tingkat Kinerja Struktur	10
Gambar 2. 2: Mekanisme Plastifikasi Struktur Selama Respon Lateral.....	11
Gambar 2. 4: Peta Parameter Gerak Tanah S_s , 0,2 Detik	21
Gambar 2. 5: Peta Parameter Gerak Tanah S_1 , 1 Detik	22
Gambar 3. 1: Denah Struktur.....	1
Gambar 3. 2: Tampak Depan Struktur	1
Gambar 3. 3: Tampak Samping Struktur.....	2
Gambar 3. 4: Respon Spektrum Desain Dan Spectra Displacement	11
Gambar 3. 5: Penampang Steel Floor Deck	18
Gambar 3. 6: Contoh Faktor Partisipasi Dan Modal Koefisien Massa	22
Gambar 3. 7: Kurva Kapasitas Dan Spektrum Kapasitas.....	22
Gambar 3. 8: Respon Spektrum Standar Dan Respon Spektrum ADRS..	23
Gambar 3. 9: Titik Kinerja Struktur Sesuai ATC-40.....	24
Gambar 3. 10: Titik Kinerja Struktur Pada Redaman Struktur.....	25
Gambar 3. 11: Perilaku Pasca Leleh Struktur (Fema 356)	27
Gambar 4. 1: Desain Respon Spektrum	4
Gambar 4. 2: Respon Spektrum Desain & Spektra Displacement.....	14
Gambar 4. 3: Denah Pelat	17
Gambar 4. 4: Detail Pelat Atap	17
Gambar 4. 5: Penulangan Pelat Atap	27
Gambar 4. 6: Detai Pelat Lantai.....	27
Gambar 4. 7: Penulangan Pelat Lantai	38

Gambar 4. 8: Konfigurasi Balok Anak Gedung.....	38
Gambar 4. 9: Denah Tangga	52
Gambar 4. 10: Potongan A-A Tangga.....	52
Gambar 4. 11: Tinggi Dan Lebar Injakan Tangg	52
Gambar 4. 12: Pelat Anak Tangga.....	53
Gambar 4. 13: Pembebanan Pengaku Anak Tangga.....	55
Gambar 4. 14: Pembebanan Balok Utama Tangga	66
Gambar 4. 15: Pembebanan Balok Utama Tangga (SAP2000)	66
Gambar 4. 16: Reaksi Perletakan	67
Gambar 4. 17: Bidang Momen (M3).....	67
Gambar 4. 18: Bidang Lintang (V2)	68
Gambar 4. 19: Bidang Normal (Axial P)	68
Gambar 4. 20: Lendutan Balok Utama Tangga.....	70
Gambar 4. 21: Pembebanan Balok Penumpu Tangga.....	71
Gambar 4. 22: Pembebanan Balok Penumpu Tangga (SAP2000).....	72
Gambar 4. 23: Bidang Momen (M3).....	73
Gambar 4. 24: Gaya Geser (V2).....	73
Gambar 4. 25: Bidang Normal (Axial P)	74
Gambar 4. 26: Posisi MA, MB, MC Balok Penumpu Tangga	75
Gambar 4. 27: Lendutan Balok Penumpu Tangga	77
Gambar 4. 28: Denah Lift.....	78
Gambar 4. 29: Denah Balok Lift.....	78
Gambar 4. 30: Pembebanan Balok Penggantung Lift	80

Gambar 4. 31: Reaksi Perletakan	80
Gambar 4. 32: Momen (M_3).....	80
Gambar 4. 33: Gaya Geser (V_2)	81
Gambar 4. 34: Bidang Normal (Axial P)	81
Gambar 4. 35: Posisi M_a, M_b, M_c Balok Penggantung Tangga	83
Gambar 4. 36: Lendutan Balok Penggantung Lift	84
Gambar 4. 37: Pembebanan Balok Penumpu Lift	85
Gambar 4. 38: Reaksi Perletakan	86
Gambar 4. 39: Momen Maksimum (M_3).....	87
Gambar 4. 40: Gaya Geser (V_2)	87
Gambar 4. 41: Bidang Normal (Axial P)	87
Gambar 4. 42: Posisi M_a, M_b, M_c Pada Balok Penumpu Lift	89
Gambar 4. 43: Lendutan Penumpu Lift	90
Gambar 4. 44: Denah Dan Gaya Dalam Elemen 50 Balok Induk Arah X .	91
Gambar 4. 45: Posisi M_A, M_B, M_C Balok Induk Arah X	93
Gambar 4. 46: Lendutan Balok Induk Arah X	94
Gambar 4. 47: Denah Dan Diagram Gaya Dalam Balok Induk Arah Y	95
Gambar 4. 48: Posisi M_A, M_B, M_C Balok Induk Arah Y	97
Gambar 4. 49: Lendutan Balok Induk Arah Y	98
Gambar 4. 50: Faktor Panjang Efektif (K)	102
Gambar 4. 51: Sambungan Balok Anak Dan Induk Yang Ditinjau	105
Gambar 4. 52: Bidang Geser Pada Bidang Profil L60x60x6	108
Gambar 4. 53: Sambungan J_1 Dan J_2a	108

Gambar 4. 54: Bidang Geser Pada Bidang Profil L60x60x6.....	111
Gambar 4. 55: Sambungan J2b Dan J3.....	112
Gambar 4. 56: Sambungan Balok Anak Atap Yang Ditinjau.....	112
Gambar 4. 57: Bidang Geser Pada Profil L60x60x6	115
Gambar 4. 58: Sambungan J1 Dan J2a.....	116
Gambar 4. 59: Bidang Geser Pada Profil L60x60x6	119
Gambar 4. 60: Sambungan J2b Dan J3.....	119
Gambar 4. 61: Sambungan Tangga Yang Ditinjau.....	120
Gambar 4. 62: Bidang Geser Pada Profil L60x60x6	123
Gambar 4. 63: Sambungan J1a	123
Gambar 4. 64: Bidang Geser Pada Profil L60x60x6	126
Gambar 4. 65: Sambungan J1b Dan J1c.....	127
Gambar 4. 66: Sambungan J2 Dan J3.....	129
Gambar 4. 67: Bidang Geser Pada Profil L60x60x6	131
Gambar 4. 68: Sambungan J4.....	133
Gambar 4. 69: Desain Geometris Haunch	133
Gambar 4. 70: Bidang Geser Pada Profil End Plate	137
Gambar 4. 71: Sambungan Balok Induk Dengan Kolom.....	138
Gambar 4. 72: Titik Berat Sambungan Antar Kolom	143
Gambar 4. 73: Sambungan Antar Kolom	144
Gambar 4. 74: Rencana Las Pada Base Plate.....	145
Gambar 4. 75: Arah Sumbu X Pada Base Plate	147
Gambar 4. 76: Arah Beban Sumbu Y Pada Base Plate	148

Gambar 4. 77: Tingkatan Plastifikasi Sendi Pastis Elemen	155
Gambar 4. 78: Pushover Arah X Step 4.....	157
Gambar 4. 79: Pushover Arah X Step 5.....	157
Gambar 4. 80: Pushover Arah X Step 6.....	158
Gambar 4. 81: Pushover Arah X Step 7.....	158
Gambar 4. 82: Pushover Arah X Step 8.....	159
Gambar 4. 83: Pushover Arah X Step 9.....	159
Gambar 4. 84: Pushover Arah X Step 10.....	160
Gambar 4. 85: Pushover Arah X Step 11.....	160
Gambar 4. 86: Pushover Arah X Step 12.....	161
Gambar 4. 87: Kurva Kapasitas Arah X-X.....	162
Gambar 4. 88: Pushover Arah Y Step 4.....	163
Gambar 4. 89: Pushover Arah Y Step 5.....	163
Gambar 4. 90: Pushover Arah Y Step 6.....	164
Gambar 4. 91: Pushover Arah Y Step 7.....	164
Gambar 4. 92: Pushover Arah Y Step 8.....	165
Gambar 4. 93: Pushover Arah Y Step 9.....	165
Gambar 4. 94: Pushover Arah Y Step 10.....	166
Gambar 4. 95: Kurva Kapasitas Arah Y-Y.....	167
Gambar 4. 96: Spektrum Kapasitas Arah X-X.....	169
Gambar 4. 97: Spektrum Kapasitas Arah Y-Y.....	170
Gambar 4. 98: Kurva Biner Pushover Arah X Dan Arah Y	172
Gambar 4. 99: Faktor Modifikasi C1 Dan C2.....	173

Gambar 4. 100: Perbandingan Drift Dan Perbandingan Displacement ..176

Gambar 4. 101: Perbandingan Drift Dan Perbandingan Displacement ..177



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu dan kemajuan zaman pembangunan gedung sarana dan prasarana Universitas Bosowa terus ditingkatkan. Minimnya lahan yang tersedia menjadi sebuah permasalahan dalam pembangunan yang diperlukan, sehingga dibutuhkan sebuah *alternative* dalam pembangunan yakni pembangunan gedung bertingkat sehingga dapat meminimalisir penggunaan lahan.

Indonesia merupakan Negara yang termasuk daerah rawan gempa, tercatat gempa terdahsyat yang terjadi dalam kurun waktu 50 tahun terjadi di Aceh yang mengakibatkan tsunami dengan besaran gempa skala 9,1 *magnitude*. Di Indonesia sendiri dilewati oleh lempeng *Eurasia* dan lempeng *Indo-Australia* sehingga bencana gempa dapat terjadi kapan saja, maka dari itu bangunan gedung dan non-gedung di Indonesia harus didesain mampu menahan gaya gempa yang besar. (Tavio, dkk. 2018)

Perencanaan gedung Fakultas Kedokteran Universitas Bosowa merupakan gedung 7 lantai yang terletak di Jalan Urip Sumahrjo KM 4 Makassar. Gedung berada di Kota Makassar dengan wilayah gempa D dalam sistem kategori desain seismik sesuai dengan SNI 1726:2019, Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa.

Oleh karena itu perencana dituntut agar dapat membuat perencanaan struktur yang matang dan aman, sehingga bila terjadi gempa struktur bangunan dapat menahan gaya gempa sehingga bangunan tidak rusak dan runtuh. Selain dari beban gempa bangunan juga harus aman terhadap beban lainnya selama penggunaan gedung tersebut. Trend perencanaan yang terkini yaitu *performance based seismic design* atau perencanaan berbasis kinerja yang memanfaatkan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa). (Wiryanto Dewobroto, 2006)

Perencanaan berbasis kinerja merupakan salah satu konsep mendesain dimana target kinerja bangunan ditentukan terlebih dahulu. Dan pada akhir proses desain, target tersebut dijadikan parameter minimum yang harus dipenuhi. Kinerja struktur di rencanakan sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan, dengan pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan. (Tavio, dkk. 2018)

Dalam perencanaan pemilihan material juga menjadi sangat penting untuk bangunan struktur. Material baja sebagai bahan konstruksi memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan menggunakan material konstruksi lainnya. Baja mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga dapat mengurangi ukuran struktur dan berat sendiri dari struktur itu sendiri,

keawetan yang tinggi, juga dalam penyambungan antar elemen yang dapat menggunakan alat sambung las maupun baut. (Agus Setiawan, 2008).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan target kinerja struktur ?
2. Bagaimana menghitung beban dan menentukan dimensi struktur atas bangunan ?
3. Bagaimana menghitung *drift* aktual dan menentukan level kinerja struktur ?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan dan manfaat sebagai berikut :

1.3.1. Tujuan

1. Menentukan target kinerja struktur.
2. Menghitung beban dan menentukan dimensi struktur atas bangunan.
3. Menghitung *drift* aktual dan menentukan level kinerja struktur pada saat titik kinerja struktur tercapai.

1.3.2. Manfaat

1. Pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang ketekniksipilan yaitu perencanaan struktur berbasis kinerja.
2. Mengetahui kriteria kinerja struktur berdasarkan *performance level*.
3. Sebagai acuan bahan bacaan atau referensi pustaka untuk melakukan penelitian selanjutnya.

1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih mengarah pada latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan maka diperlukan batasan-batasan masalah guna membahas ruang lingkup penulisan sebagai berikut :

1.4.1. Pokok Bahasan

1. Bangunan yang ditinjau yaitu struktur atas rencana gedung Fakultas Kedokteran Universitas Bosowa dengan Metode Berbasis Kinerja
2. Perhitungan analisa struktur, pembebanan, dan *Pushover Analysis* menggunakan aplikasi SAP2000 V22.
3. Analisis perhitungan mengacu pada :
 - Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SK SNI 1729:2015)
 - Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI2 1727:2020),

- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2019)

1.4.2. Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dibatasi pada :

1. Struktur atas yang didesain adalah pelat, tangga, balok, kolom dan sambungan.
2. Mutu Material yang digunakan adalah baja BJ41, Beton $f'c$ 20 Mpa, Baut A325, dan las F_{E70xx} .
3. Jenis beban yang bekerja pada struktur adalah beban gravitasi, dan beban gempa.
4. Dinding dianggap sebagai beban
5. Tidak melakukan peninjauan terhadap struktur bawah, rencana anggaran biaya, dan waktu pelaksanaan
6. Perilaku struktur dievaluasi secara tiga dimensi (3D) berdasarkan analisis beban dorong statik berbasis kinerja dengan menggunakan software aplikasi SAP2000 V22.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum mengenai keseluruhan penyusunan Tugas Akhir ini, maka berikut ini penulis uraikan secara singkat sistematika penulisan yang dibagi dalam 5 (lima) bab, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan garis besar sekaligus pengantar dalam penyusunan yang menguraikan secara umum tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, pokok bahasan dan batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan dasar dasar teori mengenai struktur bangunan dan metode perhitungan.

BAB III : KONSEP PERENCANAAN/PERHITUNGAN

Bab ini menguraikan tentang data-data perencanaan dan metode perhitungan struktur dengan berbasis kinerja.

BAB IV : TINJAUAN PERENCANAAN/PERHITUNGAN

Bab menyajikan hasil analisi perhitungan data-data yang diperoleh serta pembahasan dari hasil analisis.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang penulis kemukakan sesuai dengan pembahasan dalam tulisan ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Perencanaan merupakan suatu kegiatan yang sangat penting sebelum dilaksanakannya suatu proyek. Kesalahan pemasangan ataupun urutan proses yang tidak benar dapat menyebabkan terjadinya kerugian. Perencanaan yang matang sebelum dimulainya suatu pekerjaan tidak hanya menghemat biaya tetapi juga dapat menghemat waktu dan tenaga. Terdapat tiga hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan struktur antara lain beban, kekuatan bahan dan keamanan. (Hendra Laksono, dkk. 2010)

Struktur baja adalah struktur logam yang terbuat dari komponen baja struktural yang saling terhubung untuk mengangkut beban dan memberikan kekakuan penuh. Karena tingkat kekuatan baja yang tinggi, struktur ini dapat diandalkan dan membutuhkan lebih sedikit bahan baku dibandingkan jenis struktur lain seperti struktur beton dan struktur kayu. (Atad Steel Structure Corporation, 2004)

Lingkup perencanaan pada bangunan struktur baja meliputi pemilihan dimensi elemen dan perhitungan sambungan yang diperlukan agar penampang elemen mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul beban-beban pada kondisi kerja (*service load*) dan kondisi batas (*ultimate load*). Pemilihan jenis struktur atas mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Dalam proses desain struktur perlu

dicari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah seperti *arsitektural*, efisiensi, *serviceability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. (Hendra Laksono, dkk. 2010)

2.2. Perkembangan Teknologi Desain Tahan Gempa

Menurut Tavio (2018), Dalam desain struktur bangunan tahan gempa, ada tiga konsep desain yaitu, Metode Desain Layan, Metode Desain Ultimit, dan Metode Desain Berbasis Kinerja.

Perkembangan konsep desain layan yang menggunakan konsep material izin, kontrol pada batas deformasi pada beban rencana saat ini sudah ditinggalkan dan beralih pada konsep desain ultimit yang berbasis kriteria keruntuhan material, kapasitas penampang untuk beban terfaktor dan yang terbaru saat ini adalah konsep desain berbasis kinerja dimana daktilitas, kapasitas deformasi dan kapasitas beban pada deformasi yang besar menjadi parameternya.

Pada konsep tegangan izin dan desain ultimit hanya memuaskan satu tingkat desain tidak memastikan bahwa tingkat desain lainnya akan terpenuhi sedangkan pada konsep desain berbasis kinerja memastikan desain terpenuhi tingkat kinerja yang ditentukan, dimana pada konsep desain berbasis kinerja ini mampu memenuhi kapasitas layan dan kuat rencana.

Dalam desain struktur berbasis kinerja tingkatan performa dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan struktur pada saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu, oleh karenanya tingkat

kinerja struktur akan selalu berhubungan dengan biaya perbaikan terhadap bangunan tersebut. Adapun perbedaan dari ketiga konsep desain sebagai berikut :

1. Desain layan hanya memastikan kapasitas material, defleksi dan vibrasi, untuk beban layan didalam batas izin tetapi tidak untuk kekuatan dan kekakuan.
2. Desain ultimit hanya memastikan faktor keamanan tertentu terhadap kelebihan beban didalam struktur atau penampang.
3. Desain berbasis kinerja memastikan struktur mampu memenuhi kapasitas layan dan kapasitas ultimit serta memenuhi tingkat kinerja yang ditentukan.

2.3. Konsep Dasar Perencanaan

Metode yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah analisis yang menggunakan metode yang umumnya disebut perencanaan Kekuatan Batas atau *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* serta menggunakan analisis beban dorong statik yang berdasar pada konsep perencanaan tahan gempa berbasis kinerja yang dikenal dengan *Performanced Based Design* dengan bantuan aplikasi SAP2000 V22.

2.3.1. LRFD

Load and Resistance Factor Design (LRFD) / Desain Faktor Beban dan Keamanan (DBFK) adalah spesifikasi yang dikeluarkan oleh *American Institute of Steel Construction (AISC)* untuk mendesain konstruksi baja berdasarkan ketahanan metode kekuatan ultimit (Metode

Plastis). Metode *LRFD* memproporsikan komponen struktur sedemikian sehingga kekuatan desain sama atau melebihi kekuatan perlu komponen akibat aksi kombinasi beban *LRFD*. (SNI 1729 2015)

Secara umum, desain *LRFD* untuk struktur baja dikatakan aman apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (2.1)$$

Bagian kiri dari persamaan 2.1 mempresentasikan tahanan atau kekuatan dari sebuah komponen atau sistem struktur. Dan bagian kanan persamaan menyatakan beban yang harus dipikul oleh bagian struktur tersebut. Jika tahanan nominal R_n dikalikan suatu factor keamanan ϕ maka akan diperoleh tahanan rencana. Namun demikian, berbagai macam beban pada bagian kanan persamaan dikalikan suatu factor beban γ_i untuk mendapatkan jumlah beban terfaktor $\sum \gamma_i Q_i$. (Agus Setiawan, 2008)

2.3.2. Perencanaan Gempa Berbasis Kinerja

Umumnya bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*). Peraturan dibuat untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi, dan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan atau kerugian harta benda terhadap gempa sedang yang sering terjadi. Meskipun demikian prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kinerja

bangunan terhadap gempa yang sebenarnya, kinerja tadi tentunya terkait dengan resiko yang diambil. (Wiryanto Dewobroto, 2006)

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin akan terjadi akibat gempa yang akan datang. (Wiryanto Dewobroto, 2006)

Menurut Wiryanto Dewobroto (2006), Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai macam kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan.

Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa, asuransi, pemerintahan atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan kondisi apa yang dipilih,

selanjutnya ketentuan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya.

Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performed level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa terjamin. Mengacu pada *FEMA 273/356 (1997)* yang menjadi acuan klasik bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur, adalah :

- Segera dapat dipakai (IO = *Immediate Occupancy*),
- Keselamatan penghuni terjamin (LS = *Life-safety*),
- Terhindar dari keruntuhan total (CP = *Collapse Prevention*).

2.3.3. Metode Berbasis Kinerja Untuk Sistem Rangka

Metode *Direct Displacement Based Design* adalah metode Berbasis Kinerja yang digunakan saat ini untuk perencanaan gempa. Metode *DDBD* muncul untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dalam desain metode berbasis gaya atau *Force Based Design (FBD)*. Metode *DDBD* menekankan pada nilai *displacement* sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain.

Perbedaan mendasar dari metode *Force Based Design* adalah *DDBD* ditandai dengan struktur akan didesain oleh satu derajat kebebasan (*Single Degree of Freedom/SDOF*) dengan representasi dari kinerja pada respon perpindahan puncak, bukan oleh karakteristik elastic awal.

Dasar dari prosedur *DDBD* adalah struktur tidak didesain lagi dengan karakteristik elastic awal, akan tetapi struktur akan didesain dengan karakteristik inelastik struktur pada tingkat kinerja desain. (Tavio, dkk. 2018)

2.3.4. Analisis Beban Dorong Statik *Non Linier*

Analisis beban dorong statik non linier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover*. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana maka analisa ini memerlukan program komputer untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengalih sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap.

Analisis *pushover* menghasilkan kurva *pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D). Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. (Wiryanto Dewobroto, 2006)

Analisis *Pushover* merupakan salah satu komponen *Performance Based Seismic Design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan penambahan beban akan ada elemen-elemen yang lain mengalami leleh dan mengalami deformasi inelastic. Hasil akhir dari analisis ini berupa nilai-nilai gaya-gaya geser dasar (*base shear*) untuk menghasilkan perpindahan dari struktur tersebut. Nilai-nilai tersebut akan digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas yang merupakan gambaran perilaku struktur dalam bentuk perpindahan lateral terhadap beban (*demand*) yang diberikan. Selain itu, analisis *pushover* dapat menampilkan secara visual elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan, sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan melakukan pendetailan khusus pada elemen struktur tersebut. (ATC 40, 1996)

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

- Hasil analisa *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisa *pushover* adalah statik monotonik.

- Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisa adalah sangat penting.
- Untuk membuat model analisa nonlinier akan lebih rumit dibanding model analisa linier. Model tersebut harus memperhitungkan karakteristik inelastic beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek P- Δ

2.3.5. Kinerja Struktur

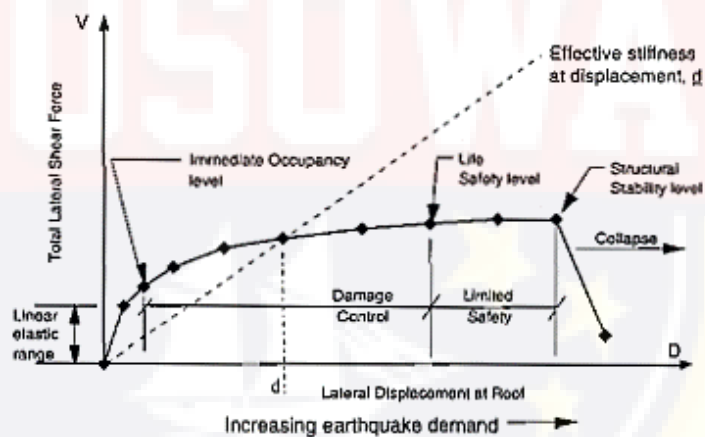
Kinerja struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan performa struktur dapat diketahui dengan melihat kerusakan pada struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu, oleh karenanya tingkat kinerja struktur akan selalu berhubungan dengan biaya perbaikan terhadap bangunan tersebut. (Tavio, dkk. 2018)

2.3.5.1. Kinerja Struktur Metode ATC-40

Respon bangunan terhadap gerakan tanah akibat gempa menyebabkan perpindahan lateral dan deformasi pada setiap elemen struktur. Pada level respon rendah, deformasi elemen akan dalam rentang elastis (*linier*) dan tidak akan ada kerusakan yang timbul. Pada level respon tinggi, deformasi elemen akan melebihi kapasitas linier elastis dan bangunan akan mengalami kerusakan. Untuk memberikan kinerja seismic yang andal, bangunan harus memiliki sistem penahan gaya lateral yang lengkap, mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan.

Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral untuk melakukan hal tersebut meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan konfigurasi : kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakter gerakan tanah. (ATC-40, 1996)

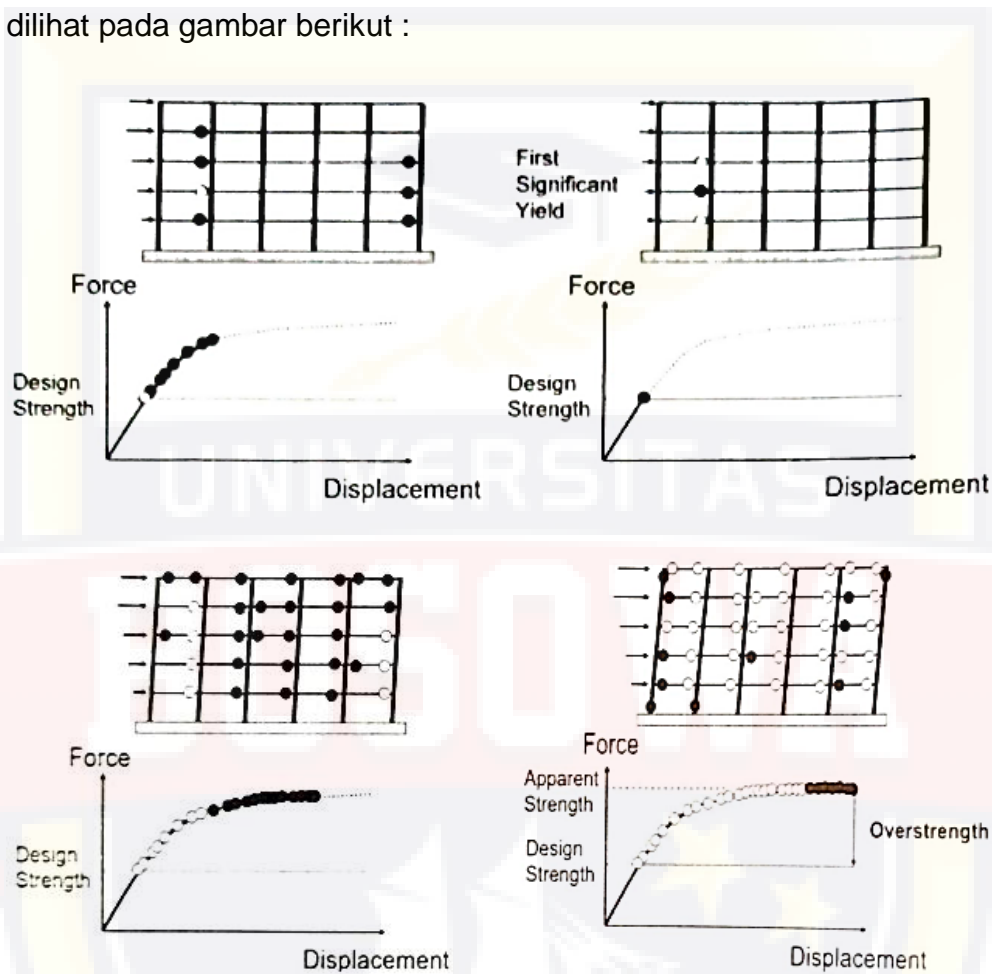
Menurut Tavio (2018), ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Kurva kapasitas menggambarkan plot dari total gaya geser akibat gempa pada struktur, untuk berbagai kenaikan pembebanan dan perpindahan lateral gedung pada atap pada tingkat gaya lateral tertentu.



Gambar 2. 1: Tipikal Kurva Kapasitas pada Berbagai Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996)

Pada Gambar 2.1, simbol “♦” pada kurva kapasitas mewakili kejadian-kejadian penting tersebut selama respon lateral terhadap struktur. Kejadian-kejadian penting tersebut seperti pelelehan pertama pada salah satu elemen struktur atau kerusakan tertentu misalnya pecahnya atau terkelupasnya selimut beton atau kegagalan geser pada

spandel hingga keruntuhan total pada sistem. Untuk lebih jelasnya kejadian-kejadian penting selama respon lateral terhadap struktur dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 2: Mekanisme Plastifikasi Struktur Selama Respon Lateral dengan *Pushover Analysis* (FEMA 451, 2006)

Tujuan utama dari desain berbasis kinerja yaitu untuk menentukan tingkat kinerja yang diinginkan dari bangunan. Kinerja seismik digambarkan dengan menetapkan tingkat kerusakan maksimum yang diizinkan (*performance point*) untuk mengidentifikasi bahaya gempa. Pada Gambar 2.1, telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap

beban lateral, dimana terdapat level-level kinerja tertentu. Level kinerja tersebut di deskripsikan lagi atas bagaimana kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan yang di izinkan terhadap level kinerja tertentu berdasarkan pada tabel berikut :

Tabel 2. 1: Kategori Bangunan Pada Tingkat Kinerja Struktur.(ATC-40, 1996: Chap 3.2)

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya Rumah sakit, gudang bahan bakar/ bahan berbahaya lainnya dll.
SP-2 <i>Damage Control (DO)</i>	Merupakan transisi antara <i>Immediate Occupancy (IO)</i> SP-1 dan <i>Life Safety (LS)</i> SP-3 .Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan bahan bahan yang berharga.
SP-3 <i>Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia. Setelah terjadi gempa bangunan dapat berfungsi kembali.	Fasilitas umum , gedung perkantoran/pendidikan, perumahan, gudang dan lain-lain

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-4 <i>Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	-
SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keruntuhan	-
SP-6 <i>Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau retrofit.	-

2.3.5.2. Kinerja Struktur Metode *FEMA 356*

Berdasarkan *FEMA 356* (2000), maka kinerja struktur bangunan saat terjadi gempa dibagi menjadi beberapa kategori. Tingkat kinerja pada *FEMA 356* ini secara garis besar sama dengan tingkat kinerja dalam *ATC-40*. Sedangkan kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur sesuai *FEMA 356* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 2: Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur (FEMA 356, 2000)

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

Program SAP2000 sudah bisa mengadopsi tingkat kinerja dari *FEMA* tersebut, seperti pada mekanisme plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur. Properti sendi plastis atau *plastic hinge properties* yang didasarkan pada standar *FEMA 356* yaitu untuk balok pada Tabel 6-7,

untuk kolom 6-8, dan untuk dinding geser Tabel 6-18 dan Tabel 6-19 masing-masing tertera pada *FEMA 356*. Secara umum kurva hubungan gaya dan perpindahan serta karakteristik sendi plastis sudah di *build in* pada program SAP2000. (Tavio, dkk. 2018)

2.3.5.3. Kinerja Struktur Metode *FEMA 440*

Metode *FEMA 440* merupakan metode pengembangan dari metode koefisien perpindahan *FEMA 356* atau juga bisa disebut metode koefisien perpindahan yang diperbaiki. Secara garis besar dalam perhitungan metode *FEMA 440* ini sama dengan *FEMA 356*, yaitu dengan hasil akhir menentukan nilai target perpindahan (δ_T).

2.3.6. Kinerja Batas Ultimit Menurut SNI-1726:2019

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan. Simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan yaitu dengan membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Sesuai pasal 7.12 SNI-1726:2019 simpangan antar tingkat dan deformasi. Batasan simpangan antar tingkat sebagai berikut :

Tabel 2. 3: Simpangan antar izin $\Delta_{a,b}$

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

CATATAN :

- h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x.
- Untuk system pemikul gaya seismic yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismic D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus dengan persyaratan 0.
- Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan system dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasikan simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 0 tidak terabaikan.
- Struktur dimana system struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertical kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

Kriteria simpangan ultimit tersebut selanjutnya digunakan sebagai target perpindahan versi SNI 1726-2019.

2.4. Konsep Pembebanan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan pembebanan merupakan faktor penting dalam perancangan struktur bangunan. Oleh karena itu dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja. Menurut *Schueller* beban-beban yang bekerja pada struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan buatan manusia. Secara umum struktur dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati dan hidup) dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Proses Pembebanan pada struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan Software SAP2000 V22 dengan asumsi pembebanan disesuaikan dengan SNI2-1727:2020 sebagai berikut :

2.4.1. Beban Mati

Sesuai dengan pasal 3.1 SNI2 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, 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 struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Tabel 2. 4: Berat sendiri bangunan dan komponen gedung

Bahan bangunan dan komponen gedung	Berat sendiri
Bahan bangunan	
Baja	7850 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Kaca	2579 kg/m ³
Komponen gedung	
Dinding setengah batu	250 kg/m ²
Adukan per cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Aspal, per cm tebal	14 kg/m ²
Plafond	11 kg/m ²
Penutup lantai tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Penggantung langit-langit (kayu)	7 kg/m ²

2.4.2. Beban Hidup

Sesuai dengan pasal 4.1 SNI2 1727:2020, beban hidup merupakan 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. Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan. Perubahan tersebut terjadi sepanjang waktu, baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang (Schueller, 2010).

Tabel 2. 5: Beban hidup terdistribusi merata untuk bangunan

Penggunaan	Beban (kN/m ²)	Beban (kg/m ²)
Kursi tetap (terikat di lantai)	2.87	292.65
Ruang komputer	4.79	488.44
Ruang baca	2.87	292.65
Atap datar	0.96	97.89

Penggunaan	Beban (kN/m ²)	Beban (kg/m ²)
Ruang kelas	1.92	195.78
Koridor diatas lantai 1	3.83	390.55
Koridor lantai 1	4.79	488.44
Ruang rapat	4.79	488.44

2.4.3. Beban Gempa

Beban gempa adalah besarnya getaran yang terjadi di dalam struktur

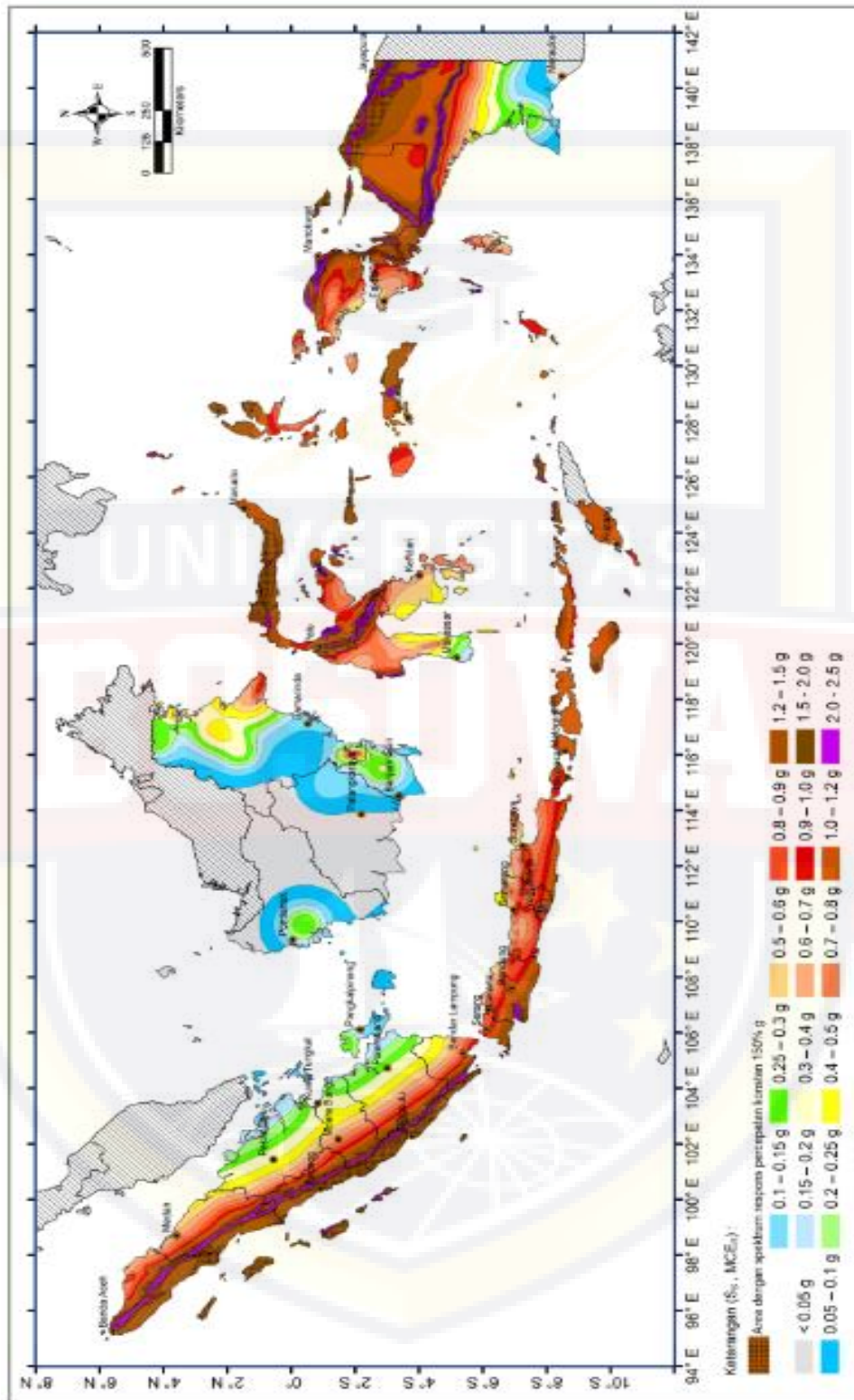
Pada dasarnya ada dua metode Analisa Perencanaan Gempa, yaitu :

1. Analisis Beban Statik Ekuivalen (*Equivalent Static Load Analysis*) adalah suatu cara analisa struktur, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal untuk menirukan pengaruh gempa yang sesungguhnya akibat gerakan tanah. Metode ini digunakan untuk bangunan struktur yang beraturan dengan ketinggian tidak lebih dari 40 m.
2. Analisis Dinamik (*Dynamic Analysis*), Metode ini digunakan untuk bangunan dengan struktur yang tidak beraturan. Perhitungan gempa dengan analisis dinamik ini terdiri dari :
 - Analisa Ragam *Spektrum Respons* adalah suatu cara analisa dinamik struktur, dimana suatu model dari matematik struktur diberlakukan suatu spektrum respons gempa rencana, dan ditentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut.
 - Analisa Respons Riwayat Waktu adalah suatu cara analisa dinamik struktur, dimana suatu model matematik dari struktur dikenakan

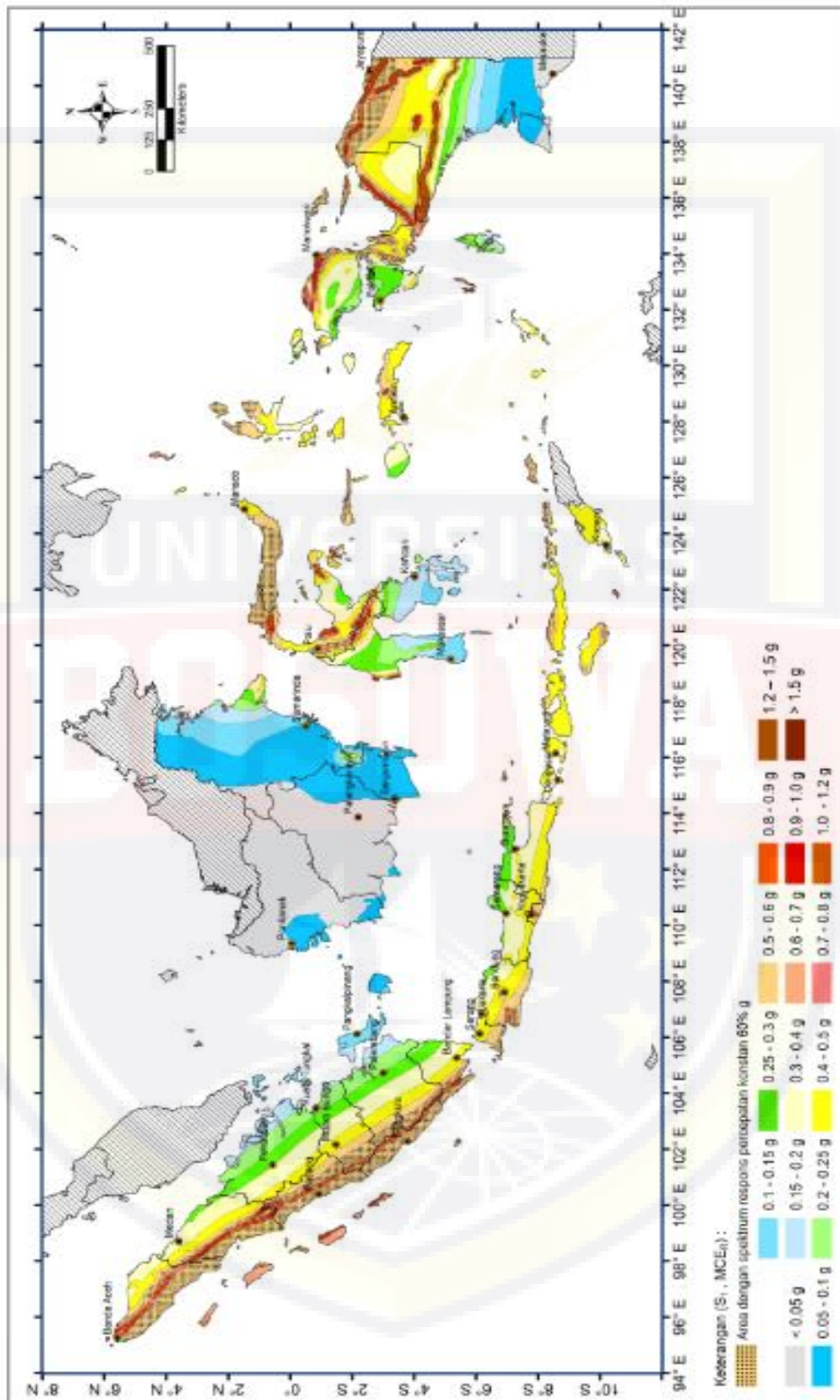
riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respons struktur ditentukan.

Menurut *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (SNI 1726:2019), pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Terdapat 2 buah peta wilayah gempa, yaitu untuk gempa dengan periode $T = 0,2$ detik dan gempa dengan periode $T = 1$ detik. Grafik respons spektrum tidak disediakan, melainkan harus direncanakan sendiri menggunakan parameter-parameter percepatan yang dapat dihitung berdasarkan wilayah gempa dan struktur gedung yang dibangun. Langkah-langkah membuat respons spektrum desain adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan S_s (diperoleh dari peta gempa SNI 1726:2019 dengan periode ulang 2500 tahun dan $T = 0,2$ detik) dan S_1 (diperoleh dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T = 1$ detik)



Gambar 2. 3: Peta parameter gerak tanah S_s , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) untuk spektrum respon 0,2 detik



Gambar 2. 4: Peta parameter gerak tanah S_1 , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) untuk spektrum respon 1 detik

- b. Menentukan jenis tanah dan koefisien situs, setelah jenis tanah ditentukan, dengan nilai S_s dan S_1 yang diperoleh dilangkah awal maka f_s dan f_v akan diperoleh melalui tabel berikut :

Tabel 2. 6: Koefisien situs F_a

Kelas situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Pada Periodik Pendek, $T = 0.2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1.25$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.8
SF	SS^b				

Tabel 2. 7: Koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Pada Periodik Pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2
SF	SS^b				

- c. Menghitung S_{MS} dan S_{M1} (parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.2)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.3)$$

d. Menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik S_{D1} harus ditentukan melalui persamaan berikut:

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

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

e. Spektrum respons desain,

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

$$S_a = S_{DS} \left\{ 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right\} \quad (2.5)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS}

- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.8)$$

- Sesuai pasal 5.3 SNI 1726-2019, jenis tanah dikelompokkan menjadi 6 bagian, dengan pembagiannya berdasarkan besaran

percepatan rambat gelombang geser rata-rata (V_s), nilai hasil test penetrasi standar rata-rata (N), dan kuat geser nilai rata-rata.

Tabel 2. 8: Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		

- Sesuai pasal 4.1.2 SNI 1726-2019, menentukan kategori resiko struktur bangunan gedung atau non gedung. Pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan.

Tabel 2. 9: Kategori resiko bangunan untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dengan resiko redah terhadap jiwa manusia	I
Semua gedung lain	II
Gedung dengan resiko tinggi terhadap jiwa manusia	III
Gedung yang ditunjukkan untuk fasilitas penting	IV

Tabel 2. 10: Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

- f. Kategori Desain Seismik (KDS), dihitung berdasarkan pasal 6.5 SNI 1726-2019

Tabel 2. 11: Kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek.

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I, II, dan III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 < S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 < S_{DS}$	D	D

Tabel 2. 12: Kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik.

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I, II, dan III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 < S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 < S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{D1}$	D	D

Berdasarkan hasil perhitungan Kategori Desain Seismik (KDS) maka didapatkan nilai $S_{DS} = 0,400$ dengan kategori resiko IV adalah D, dan nilai $S_{D1} = 0,315$ dengan kategori resiko IV adalah C.

2.4.4. Kombinasi Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada sruktur akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur. Maka dari itu, beban-beban yang bekerja dijumlahkan dengan faktor beban *LRFD (Load Resistance Factor Design)* yang menurut SNI disebut Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Kombinasi beban menurut pasal 4.2.2 SNI 1726-2019, yaitu sebagai berikut:

$$1,4D \quad (2.9)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.10)$$

$$1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.11)$$

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.12)$$

$$0,9D + 1,0W \quad (2.13)$$

$$1,2D + E_v + E_h + L \quad (2.14)$$

$$0,9D - E_v + E_h \quad (2.15)$$

Keterangan :

D = Beban mati

L = Beban hidup

E = Beban gempa

W = Beban angin

L_r = Pengaruh beban hidup diatap

R = Beban air hujan

E_h = Pengaruh gaya seismik horizontal

E_v = Pengaruh gaya seismik vertikal

Berdasarkan pasal 13.4.3 SNI 1726:2019 tentang kombinasi efek beban dalam peninjauan pembebanan gempa, massa total diperkenankan untuk menggunakan faktor beban 25% pada beban hidup. Besaran massa elemen struktur ini digunakan untuk analisa modal pembebanan gempa pada aplikasi SAP2000 V22.

2.5. Desain Kapasitas

Struktur gedung harus memenuhi persyaratan “kolom kuat balok lemah”, artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh Gempa rencana, sendi sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh terjadi pada ujung ujung balok dan pada kaki kolom saja. Implementasi persyaratan ini didalam perencanaan struktur baja ditetapkan dalam standar baja yang berlaku.

2.6. Kekuatan Desain

Menurut SNI2 1727:2020 Kekuatan desain adalah hasil kali antara kekuatan nominal dengan faktor ketahanan. Kekuatan nominal adalah kemampuan suatu struktur atau komponen struktur untuk menahan efek beban, yang dihitung dengan menggunakan kekuatan bahan yang disyaratkan serta dimensi dan rumus yang diturunkan dari prinsip mekanika rekayasa yang diakui atau melalui hasil uji lapangan ataupun hasil uji laboratorium dari model yang diskalakan, yang memperhitungkan perbedaan antara kondisi laboratorium dan lapangan Sedangkan Faktor ketahanan adalah Faktor yang memperhitungkan penyimpangan kekuatan sebenarnya dari kekuatan nominal (disebut juga faktor reduksi kekuatan).

Tabel 2. 13: Faktor Reduksi Kekuatan Baja

Gaya atau Elemen Struktur	ϕ
Faktor Ketahanan untuk tekan	0,90
Faktor Ketahanan untuk lentur	0,90
Faktor Ketahanan untuk keruntuhan tarik	0,75
Faktor Ketahanan untuk tegangan	0,75
Faktor Ketahanan untuk geser	0,75

2.7. Studi Literatur

Pada sub bab ini membahas mengenai literatur yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah penelitian terdahulu. Literature ini sangat bermanfaat guna menambah informasi dan sebagai rujukan ilmiah dalam penyelesaian tugas akhir ini. Adapun penelitian terdahulu sebagai berikut :

1. Penelitian 1 - Ulfa Nurdianti (2013)

Penelitian berjudul "*Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis Pada Tanah Medium*".

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana perilaku/kinerja struktur gedung tinggi tidak beraturan berdasarkan titik evaluasi kerjanya pada kondisi inelastis. Dan berdasarkan hasil penelitian maka didapatkan titik kinerja gedung berdasarkan rasio simpangan yaitu pada pembebanan arah-x dan arah-y adalah 0,198 dan 0,199. Berdasarkan simpangan yang disyaratkan *FEMA 356* dan *ATC-40* untuk level *Immediate Occupancy* adalah 0,01. Oleh karena itu level kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy*.

2. Penelitian 2 - Panji Wibowo (2016)

Judul penelitian adalah "*Perencanaan Ulang Gedung I.T.S Tower Jakarta Menggunakan Metode Performance Based Design*".

Tugas akhir ini membahas mengenai perencanaan berbasis kinerja, perencanaan yang dilakukan meliputi struktur primer dan struktur sekunder.

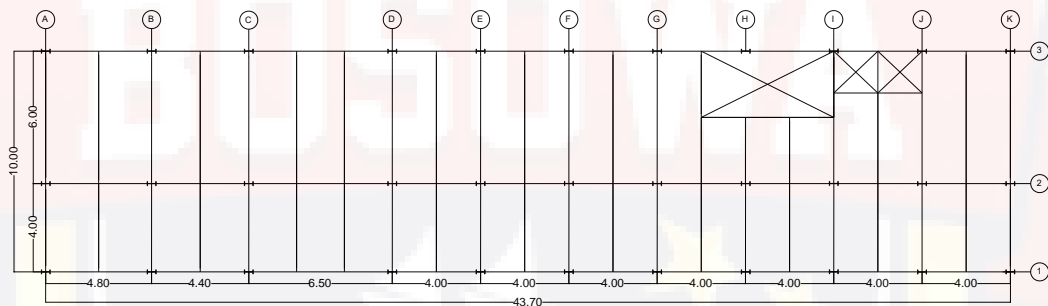
Dari hasil analisa nonlinier *time history*, didapatkan defleksi maksimum yang terjadi yaitu gempa arah x = 0,3316 m dan gempa arah y = 0,293 m sehingga gedung I.T.S tower Jakarta memenuhi persyaratan target displacemen yaitu = 0,6235 m.

BAB III

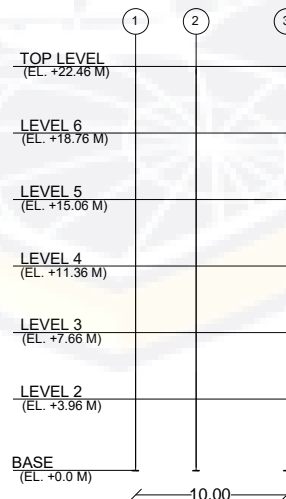
KONSEP PERENCANAAN/PERHITUNGAN

3.1. Model Struktur Bangunan

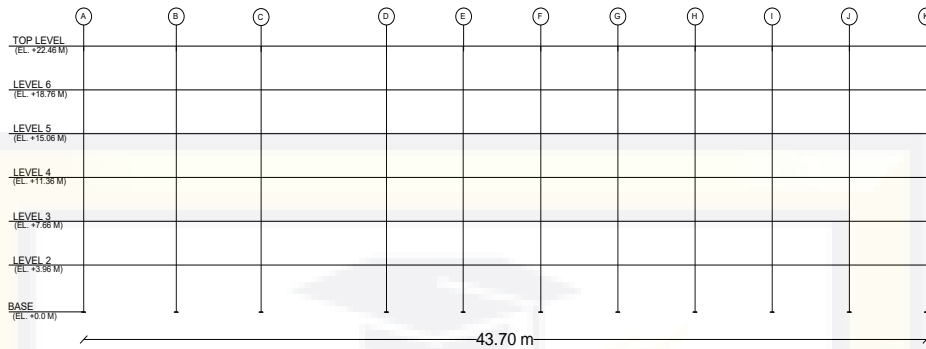
Pemodelan struktur atas pada tugas akhir ini dilakukan dengan bantuan software SAP2000 V22 dan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang kemudian akan di evaluasi menggunakan Metode Rekasaya Gempa Berbasis Kinerja untuk mengetahui Level kinerja struktur gedung. Struktur yang akan direncanakan merupakan bangunan perkuliahan 7 lantai, dengan denah rencana struktur sebagai berikut :



Gambar 3. 1: Denah Struktur



Gambar 3. 2: Tampak depan struktur



Gambar 3. 3: Tampak samping struktur

3.2. Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif karena hasil penelitian berupa angka atau bilangan hasil dari perhitungan pembebanan, analisa struktur, dan evaluasi kinerja struktur berdasarkan metode perencanaan berbasis kinerja yang di olah pada aplikasi SAP2000 dan *Microsoft Excel*.

3.3. Data Dasar Perencanaan

Data bangunan Fakultas Kedokteran Universitas Bosowa sebagai berikut :

a. Data Primer

- Tipe bangunan : Gedung Fasilitas Pendidikan
- Lokasi : Jalan Urip Sumoharjo KM. 4 Makassar
- Tinggi gedung : 22.46 m
- Tinggi lantai dasar : 3.96 m
- Tinggi lantai 2-7 : 3.70 m
- Panjang gedung : 43.70 m
- Lebar gedung : 10.00 m

- Material struktur : Baja
- Sistem struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen

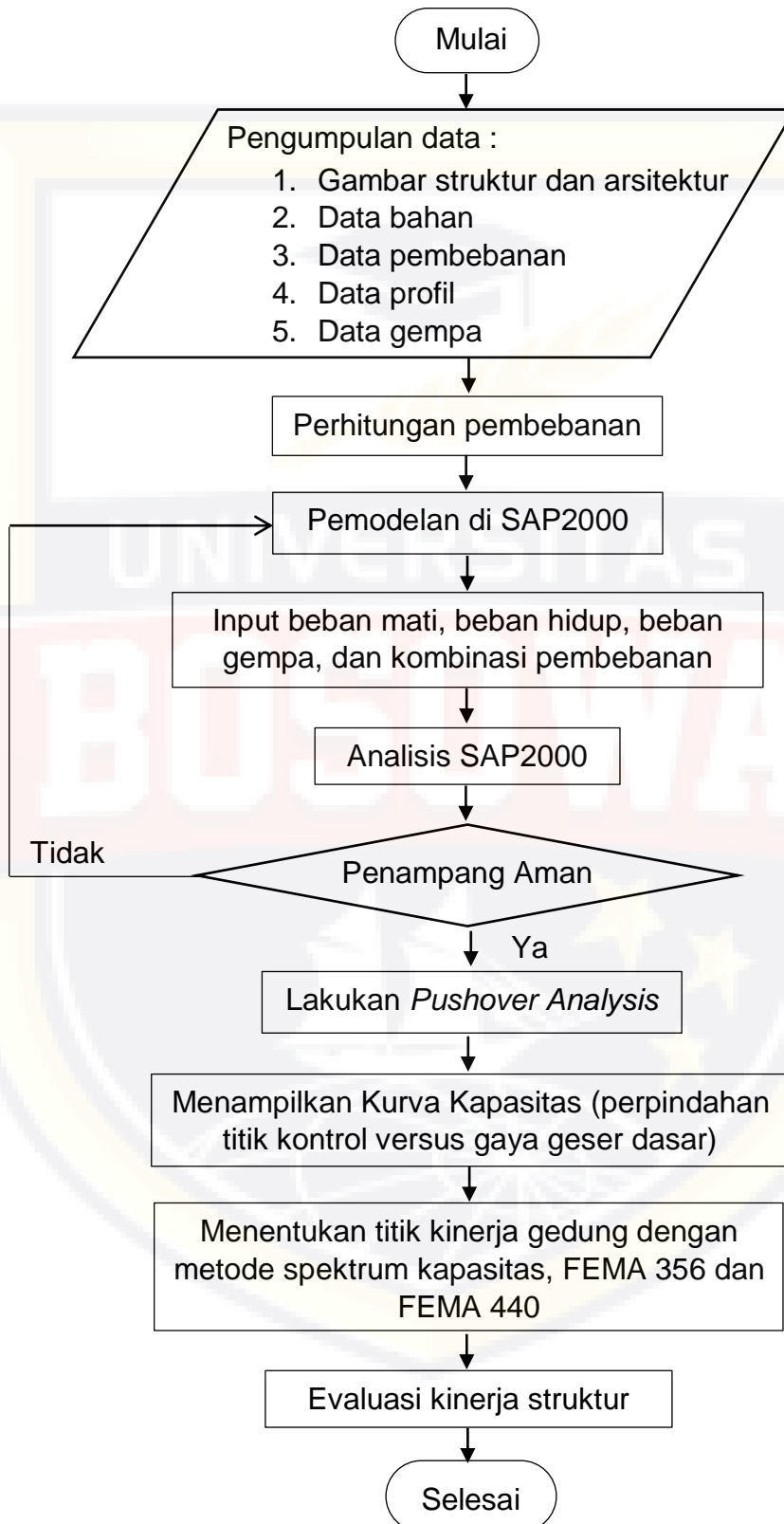
- Baja : BJ 41
- Beton : f'_c 20 MPa
- Sambungan Baut : A325
- Sambungan Las : F_{E70xx}

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data penunjang yang mendukung proses penelitian didapatkan dari buku referensi dan literatur skripsi Teknik Sipil.

BOSOWA

3.4. Bagan Alir



3.5. Prosedur Perencanaan

Berikut merupakan prosedur dalam pengolahan data perencanaan/perhitungan sebagai berikut :

- a. Pengumpulan data-data seperti gambar struktur dan arsitektur bangunan, data bahan, data pembebanan, data profil, dan data gempa
- b. Melakukan perhitungan pembebanan
- c. Pemodelan struktur seperti pendefinisian dimensi kolom, balok induk, balok anak serta memasukkan material yang digunakan
- d. Menginput hasil perhitungan pembebanan yakni beban mati, beban hidup, beban gempa serta kombinasi pembebanan di SAP2000 V22
- e. Kemudian menganalisis penampang di SAP2000 V22
- f. Setelah menganalisis penampang maka keluarlah hasil analisis jika penampang sudah dalam keadaan aman terhadap beban gravitasi dan beban lateral
- g. Selanjutnya hasil perencanaan kita uji dengan melakukan *Pushover Analysis* di SAP2000 V22
- h. Menampilkan kurva kapasitas hasil analisis *Pushover*, kemudian menentukan titik kinerja gedung dengan metode spectrum kapasitas
- i. Kemudian menetapkan level kinerja gedung berdasarkan hasil perencanaan
- j. Kemudian membuat sebuah kesimpulan berdasarkan hasil analisis sesuai dengan tujuan penelitian.

3.6. Preliminary Design

Preliminary desain atau Perencanaan awal merupakan perencanaan yang dilakukan untuk memperkirakan dimensi awal elemen struktur untuk menentukan mutu bahan material struktur dan dimensi profil yang akan digunakan. Dalam perencanaan awal meliputi perencanaan struktur sekunder dan perencanaan struktur primer. Dalam perencanaan struktur sekunder yang akan diperkirakan adalah pelat lantai, pelat atap, balok anak, tangga, dan balok penggantung lift. Sedangkan pada perencanaan struktur primer yang akan diperkirakan adalah balok induk, kolom serta sambungan.

3.7. Pemodelan Struktur

Dalam Pemodelan struktur ini perencana/penulis akan menggunakan program SAP2000 V22. Struktur akan ditinjau dalam model 3 dimensi, analisa pembebanan gempa yang digunakan adalah analisa respon spectrum pada program SAP2000 V22, dan analisa system strukturnya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen dan kemudian akan di tinjau dengan menggunakan analisa pushover dengan bantuan program SAP2000 V22.

3.8. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom, dan joint-jointnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial.

3.9. Desain *Direct Displacement Based Design* Sistem Rangka

Secara berurutan *step-by-step* perhitungan gaya geser desain dengan metode *DDBD* untuk system rangka sebagai berikut :

3.9.1. Desain Perpindahan Tingkat

Desain perpindahan untuk sistem rangka ditentukan berdasarkan inelastic *mode shape* dan tinggi masing-masing lantai. Perhitungan nilai inelastik *mode shape* berdasarkan jumlah lantai rencana.

$$\text{Untuk } n \leq 4, \delta_i = \frac{H_i}{H_n} \quad (3.1)$$

$$\text{Untuk } n > 4, \delta_i = \frac{4}{3} \left(\frac{H_i}{H_n} \right) \left(1 - \frac{H_i}{4H_n} \right) \quad (3.2)$$

Desain perpindahan atau profil perpindahan rencana untuk system rangka dapat dihitung dengan persamaan 3.3 dan 3.4, dimana profil perpindahan rencana dipengaruhi oleh nilai simpangan desain struktur yang di desain.

$$\text{Untuk lantai pertama : } \Delta_1 = \theta \times H_1 \quad (3.3)$$

$$\text{Untuk lantai berikutnya : } \Delta_i = \delta_i \frac{\Delta_1}{\delta_1} \quad (3.4)$$

Dimana :

θ : Simpangan desain (*drift design*) pada tingkat kinerja desain

3.9.2. Desain Perpindahan *SDOF* yang setara (Ekuivalen)

Desain perpindahan tingkat *Multy Degree of Freedom* (*MDOF*) harus dikonversi kedalam system *Single Degree of Freedom* (*SDOF*), dimana perpindahan maksimum merupakan ekuivalen dari desain

perpindahan tingkat *MDOF*, sehingga dapat dihitung dengan persamaan

3.5.

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (3.5)$$

Dimana :

Δ_d : Perpindahan maksimum desain *SDOF*, m

m_i : Massa pada tingkat ke-*i*, ton

Δ_i : Perpindahan pada lantai ke-*i*, m

3.9.3. Massa Efektif

Massa efektif untuk system *SDOF* pada sistem rangka dihitung dengan persamaan 3.6.

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} \quad (3.6)$$

Dimana :

m_e : Massa efektif, ton/g

3.9.4. Tinggi Efektif

Tinggi efektif struktur yang setara dengan sistem *SDOF* dapat dihitung dengan persamaan 3.7.

$$H_E = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (3.7)$$

Dimana :

H_E : Tinggi efektif struktur, m

3.9.5. Desain Daktilitas Perpindahan

Daktibilitas perpindahan untuk sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) ekuivalen ditentukan dengan karakteristik perpindahan leleh sistem dapat dihitung dengan persamaan 3.8.

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad (3.8)$$

Dimana :

- μ : Daktibilitas perpindahan system
- Δ_d : Perpindahan rencana SDOF ekuivalen sistem
- Δ_y : Perpindahan leleh SDOF ekuivalen sistem

Perpindahan leleh untuk sistem rangka ditentukan dengan karakteristik simpangan leleh pada rangka dan dapat dihitung dengan persamaan 3.9.

$$\Delta_y = \theta_y \cdot H_e \quad (3.9)$$

Dimana :

- θ_y : Simpangan leleh pada frame

Simpangan leleh pada tingkat ke-i dipengaruhi dengan karakteristik dengan geometri bangunan dan kekuatan elemen itu sendiri. Kekuatan elemen dipengaruhi oleh nilai regangan material, panjang balok juga tinggi efektif balok.

$$\text{Rangka baja : } \theta_y = 0,65 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b} \quad (3.10)$$

Dimana :

- L_b : Panjang bentang bersih balok pada rangka
- h_b : Tinggi efektif balok pada rangka
- ε_y : Regangan material tulangan pada balok (f_{ye} / E)

f_{ye} : Yield strength tulangan ($1,1 f_{ye}$), MPa

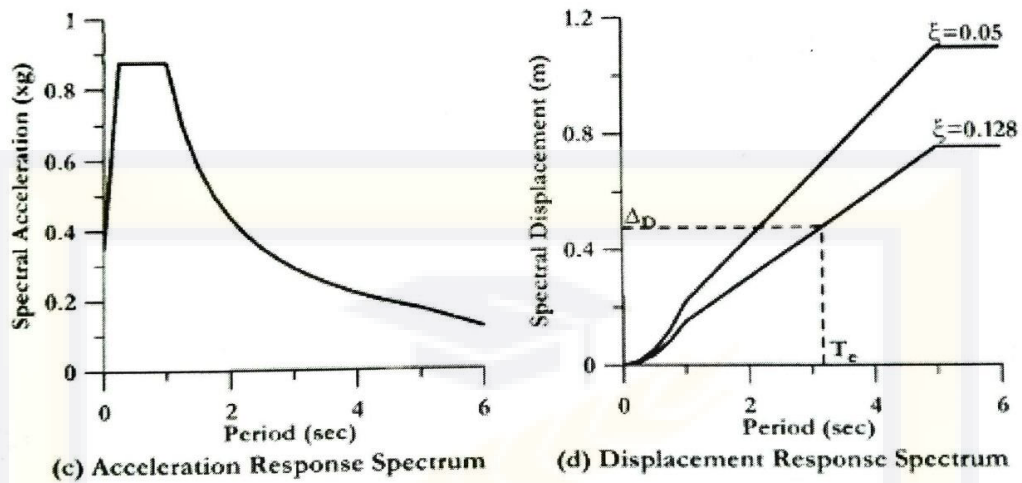
3.9.6. Redaman *Viscous* Ekuivalen

Nilai redama *viscous* ekuivalen untuk sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) dihitung dengan persamaan 3.11.

$$\text{Rangka baja : } \xi_F = 0,05 + 0,577 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \pi} \right) \quad (3.11)$$

3.9.7. Periode Efektif

Nilai periode efektif sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) pada saat respon perpindahan puncak dengan redaman inelastis dari sistem dihitung dengan mengkonversi respon spectrum desain ke grafik spektra perpindahan (S_d) dengan mengkonversi ketinggian redaman *viscous* ekuivalen (ξ_{eq}). Lalu pada grafik spektra perpindahan ditarik nilai perpindahan rencana (Δ_d) sehingga nilai periode efektif sistem dapat diketahui. Untuk lebih jelasnya konversi kurva respon spectrum desain ke spektra perpindahan dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4: Respon Spektrum Desain dan *Spectra Displacement* (Priestley et al. 2007)

Nilai *Spectra Displacement* (S_d) dihitung dengan persamaan 3.12 dan nilai *Spectra Displacement* (S_d) pada tingkat redaman *viscous* ekuivalen (ξ_{eq}) harus dikalikan faktor koreksi untuk tingkat redaman yang dihitung dengan persamaan 3.13.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (3.12)$$

$$R_\xi = \left[\frac{0,02 + \xi}{0,07} \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

Dimana :

- S_d : *Spectra displacement*, m
- S_a : *Spectra acceleration*, g
- G : Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- R_ξ : Faktor koreksi *Spectra displacement* pada tingkat redaman
- T : Periode getar fundamental, detik

3.9.8. Kekakuan Efektif

Nilai kekakuan efektif bergantung pada nilai massa efektif dan

dihitung dengan persamaan 3.14.

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \quad (3.14)$$

Dimana :

K_e : Kekakuan efektif sistem, KN/m

3.9.9. Gaya Geser Dasar

Setelah nilai kekakuan efektif sistem dihitung maka nilai gaya geser dasar desain dapat dihitung dengan persamaan 3.15.

$$V_{base} = K_e \times \Delta_d \quad (3.15)$$

3.10. Kontrol Perencanaan Struktur

3.10.1. Kontrol Elemen Struktur

Desain elemen struktur dikontrol berdasarkan SNI 1729-2015 agar dapat memikul gaya-gaya yang terjadi. Perencanaan elemen struktur meliputi:

1. Kolom (SNI 1729:2015 pasal E3)

Kolom merupakan elemen struktur yang menerima gaya tekan. Kolom menahan beban aksial melalui titik centroid. Komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u harus memenuhi syarat:

$$P_u \leq \phi P_n \rightarrow \phi = 0,9 \quad (3.16)$$

a. Kontrol tekuk lentur

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (3.17)$$

keterangan =

- P_n = Kuat tekan nominal
 F_{cr} = Tegangan kritis
 A_g = Luas penampang bruto

b. Kontrol tekuk punter

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + G \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.18)$$

- C_w = Konstanta pilin, (mm^6)
 G = Modulus elastis geser dari baja (77200 MPa)
 K_z = Faktor panjang efektif untuk tekuk torsi
 J = Konstanta torsi (mm^4)
 I_x, I_y = Momen inersia disumbu utama (mm^4)

c. Persamaan interaksi antara gaya normal tekan dan lentur

- Momen lentur dominan

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0,20 \text{ maka } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \times \frac{(M_{rx})}{(M_{cx})} + \frac{(M_{ry})}{(M_{cy})} \leq 1,00 \quad (3.19)$$

- Momen aksial dominan

$$\frac{P_r}{P_c} < 0,20 \text{ maka } \frac{P_r}{2P_c} + \frac{(M_{rx})}{(M_{cx})} + \frac{(M_{ry})}{(M_{cy})} \leq 1,00 \quad (3.20)$$

Keterangan :

- P_r = Kekuatan aksial perlu menggunakan kombinasi beban
 P_c = Kekuatan aksial yang tersedia
 M_r = Kekuatan lentur perlu menggunakan kombinasi beban
 M_c = Kekuatan lentur yang tersedia
 x = Indeks sehubungan dengan sumbu kuat lentur
 y = Indeks sehubungan dengan sumbu lemah lentur

d. Amplifikasi momen

Kekuatan lentur yang diperlukan (M_r) dan kekuatan aksial (P_r)

dari semua komponen struktur harus ditentukan sebagai berikut:

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (3.21)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (3.22)$$

Keterangan :

B_1 = Pengali untuk menghitung efek P- δ , ditentukan untuk setiap struktur yang menahan tekan dan lentur

B_2 = Pengali untuk menghitung efek P- δ , ditentukan untuk setiap tingkat dari struktur

M_{lt} = Momen orde pertama menggunakan kombinasi beban lateral

M_{nt} = Momen orde pertama menggunakan kombinasi beban no lateral

M_r = Momen lentur orde kedua yang diperlukan menggunakan kombinasi beban

P_{lt} = Gaya aksial orde pertama menggunakan kombinasi beban lateral

P_{nt} = Gaya aksial orde pertama menggunakan kombinasi beban no lateral

P_r = Kekuatan aksial orde kedua yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBK

2. Balok (SNI 1729:2015 Pasal F1)

Pada elemen balok bekerja gaya lentur dan gaya geser. Kapasitas lentur dan gaya geser harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\phi_b M_n > M_u \quad (3.23)$$

$$\phi_v V_n > V_u \quad (3.24)$$

Dengan ϕ_b adalah faktor reduksi lentur dan ϕ_v adalah faktor reduksi geser yang nilainya sebesar 0,9. Pada perencanaan elemen balok harus dilakukan pengecekan terhadap hal-hal sebagai berikut:

a. Cek kelangsingan penampang

- Sayap (Flange)

$$\text{Penampang kompak, } \lambda \leq \lambda_p \quad (3.25)$$

$$\text{Penampang tidak kompak, } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \quad (3.26)$$

- Badan (web)

$$\text{Penampang kompak, } \lambda \leq \lambda_p \quad (3.27)$$

$$\text{- Penampang tidak kompak, } \lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \quad (3.28)$$

b. Cek terhadap kapasitas lentur penampang

- Penampang kompak

$$M_n = R_{pg} \cdot F_{cr} \cdot S_{xc} \quad (3.29)$$

- Penampang tidak kompak

$$F_{cr} = \left[F_y - (0,3F_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (3.30)$$

- Penampang langsing

$$F_{cr} = \frac{0,9Ek_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2} \quad (3.31)$$

Keterangan :

R_{pg} = Factor reduksi kekuatan lentur

F_{cr} = Tegangan kritis

S_{cx} = Modulus penampang elastis

Secara umum harus dipenuhi persamaan :

$$\phi_b M_n > M_u \quad (3.32)$$

Keterangan :

M_n = Momen nominal

M_u = Momen ultimate

c. Cek terhadap tekuk torsi lateral

- Bentang pendek

$$L_b < L_p \quad (3.33)$$

- Bentang menengah

$$L_p \leq L_b \leq L_r \quad (3.34)$$

- Bentang panjang

$$L_b > L_r \quad (3.35)$$

d. Cek nominal geser

Kuat geser balok tergantung perbandingan antara tinggi bersih pelat badan (h) dengan tebal pelat badan (t_w)

- Pelat badan leleh (plastis)

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad (3.36)$$

$$V_n \leq \phi F_n \rightarrow \phi = 0,9 \quad (3.37)$$

Keterangan :

F_y = Momen nominal

A_w = Luas badan, tinggi keseluruhan dikali tebal badan ($d \cdot t_w$)

C_v = Koefisien geser badan

V_n = Kuat geser nominal

e. Kontrol lendutan

Tabel 3. 1: Lendutan izin penampang

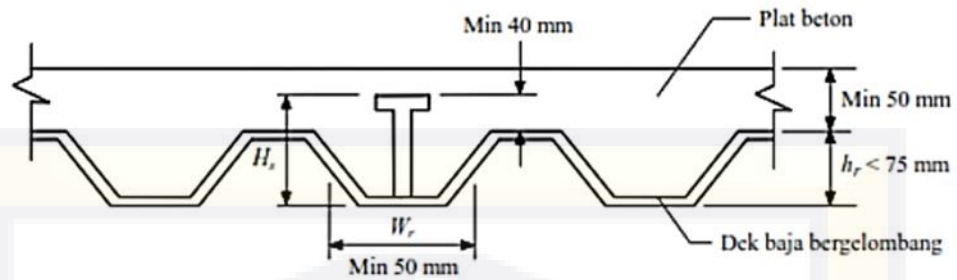
Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis orde kedua	h/300	h/200

Tabel 3. 2: Lendutan maksimum penampang

Struktur & Pembebanan	Momen Maksimum	Defleksi Maksimum
	$\frac{1}{4} PL$	$\frac{PL^3}{48EI}$
	$\frac{1}{8} qL^2$	$\frac{5qL^4}{384EI}$

3. *Steel Floor Deck*

Steel Floor Deck yaitu suatu material yang bisa difungsikan sebagai media pengganti konvensional berbentuk papan lembar yang terbuat dari bahan baja galvanis berkekuatan tinggi. Biasanya steel floor deck dipakai sebagai pengganti bekisting dalam proses pembuatan lantai atau atap dari beton dan juga berfungsi sebagai penulangan positif satu arah. Penggunaan dek baja juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras. Arah dari gelombang dek baja biasanya diletakkan tegak lurus balok penompangnya.



Gambar 3. 5: Penampang *Steel floor deck*

3.10.2. Perencanaan Sambungan

1. Sambungan baut (SNI 1729:2015 Pasal J3.6)

- Kuat geser

$$V_d = \phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (3.38)$$

- Kuat tumpu

$$R_d = \phi_f \cdot V_n = 2.4 \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (3.39)$$

“dari nilai V_d dan R_d dipilih nilai terkecil”

- Jumlah baut (n)

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} \quad (3.40)$$

Keterangan :

ϕ_f = Faktor reduksi kekuatan fraktur (0,85)

r_1 = 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser,
0,4 untuk baut ada ulir pada bidang geser

f_u^b = Tegangan tarik putus baut

A_b = Luas bruto penampang abut

f_u = Tegangan tarik putus yang terendah dari baut dan pelat

t_p = Tebal tertipis pelat

- Kontrol jarak baut

$$\text{Jarak tepi minimum} = 1,5 \text{ db}$$

$$\text{Jarak tepi maksimum} = (4tp + 100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum antar baut} = 3 \text{ db}$$

$$\text{Jarak maksimum antar baut} = 5 \text{ tp atau } 200 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan pelat

$$\phi R_n = \phi 0,60 F_u \cdot A_{nv} \quad (3.41)$$

$$\phi R_n > V_u \quad (3.42)$$

Keterangan :

ϕ = Faktor reduksi keruntuhan geser (0,75)

f_u = Tegangan tarik putus pelat

A_{nv} = Luas neto yang menahan geser

V_u = Kuat geser ultimate

2. Sambungan Las (SNI 1729:2015 Pasal J2.3.4)

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.43)$$

- Tahanan terhadap bahan dasar las

$$R_u = F_{nw} \cdot A_{we} \quad (3.44)$$

- Tahanan terhadap bahan dasar baja

$$R_u = F_{nBM} \cdot A_{BM} \quad (3.45)$$

Keterangan :

F_{nBM} = Tegangan nominal dari logam dasar

F_{nw} = Tegangan nominal dari logam las

A_{BM} = Luas penampang logam dasar

A_{we} = Luas efektif las

Tabel 3. 3: Ukuran minimum las sudut

Ketebalan material dari bagian paling tipis yang tersambung (mm)	Ukuran minimum las sudut (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 13$	5
$13 < t \leq 19$	6
$t > 19$	8

3.11. Evaluasi Kinerja Struktur

3.11.1. Titik Kinerja Struktur Metode ATC-40

Dalam metode ATC-40 (1996), metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dari struktur adalah dengan metode spektrum kapasitas. Metode spektrum kapasitas adalah dengan memplotkan *demand* respon spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spektral percepatan vs spektral perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*.

Kurva kapasitas diperoleh dari analisis *pushover*, yaitu dengan memberikan beban lateral static tertentu pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap sehingga struktur mencapai suatu batas tertentu atau mengalami kegagalan struktur. Respon struktur terhadap pemberian beban lateral yang diberikan secara bertahap tadi dicatat dan dibuat kurva hubungan gaya geser dasar (V) dan perpindahan atap (Δ_{atap}), kurva tersebutlah yang disebut kurva kapasitas. (Tavio, dkk. 2018)

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing

komponen struktur. Untuk merubah kurva kapasitas kedalam format *ADRS* atau menjadi spektrum kapasitas maka terlebih dahulu kita harus memahami tentang hubungan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Hubungan tersebut akan digambarkan pada Gambar 3.6, dan untuk merubah kurva kapasitas kedalam format *ADRS* maka digunakan persamaan-persamaan berikut :

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_i) / g}{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g} \quad (3.46)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_i) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_i) \right] \left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.47)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3.48)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (3.49)$$

dimana :

PF_1 : faktor partisipasi modal pada *mode* pertama.

α_1 : modal koefisien massa pada *mode* pertama.

w_i/g : massa pada tingkat ke-*i*.

ϕ_{i1} : amplitudo *mode*- 1 pada tingkat ke-*i*.

N : tingkat *N*, tingkat tertinggi pada proporsi utama struktur.

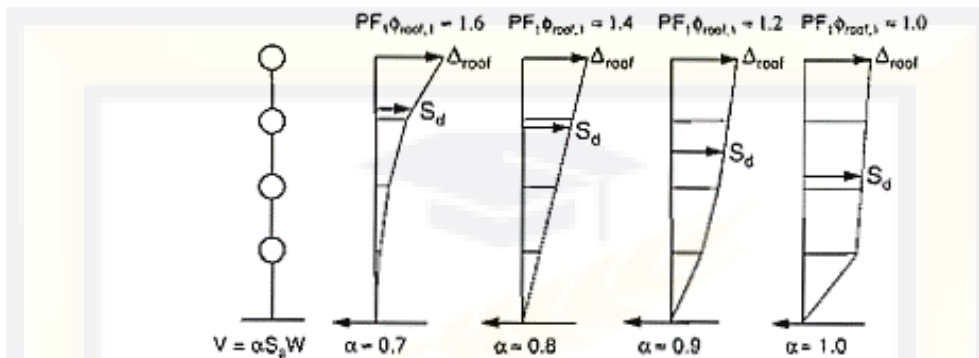
V : gaya geser dasar.

W : berat bangunan.

Δ_{roof} : perpindahan atap.

S_a : spektra percepatan.

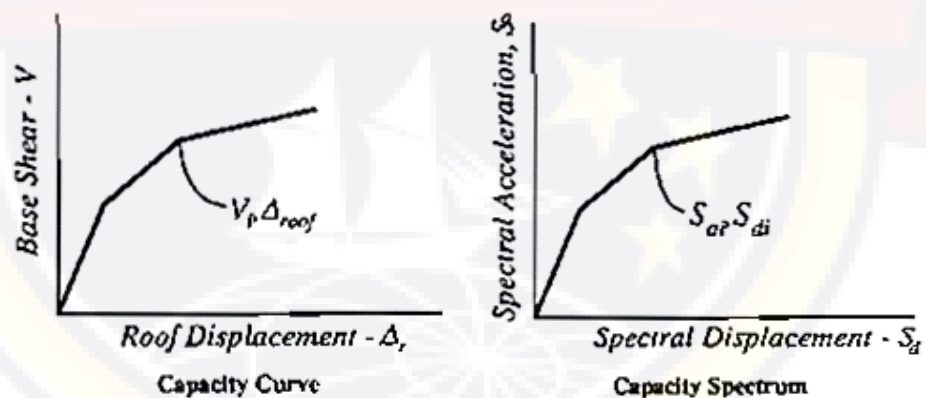
S_d : spektra perpindahan.



Gambar 3. 6: Contoh Faktor Partisipasi dan Modal Koefisien Massa.

(ATC-40, 1996 : 8-5)

Pada gambar diatas terlihat hubungan antara faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk nilai simpangan antar lantai yang berbeda disetiap ketinggian bangunan.

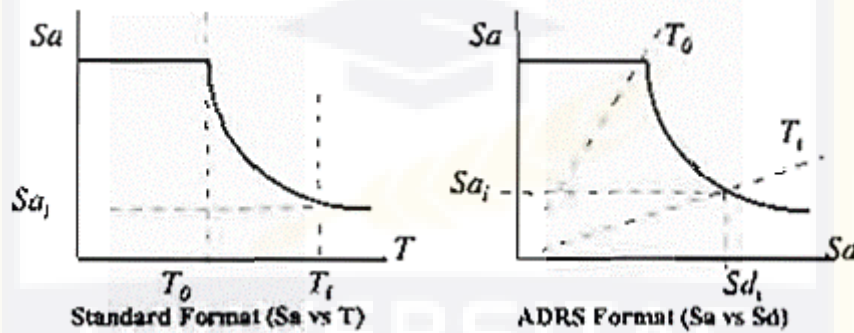


Gambar 3. 7: Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas. (ATC-40,1996: 8)

Demand spektrum didapatkan dengan merubah respon spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektra percepatan (S_a) dan periode (T) menjadi format *ADRS* (S_a , S_d). untuk mengubah spektra percepatan ke

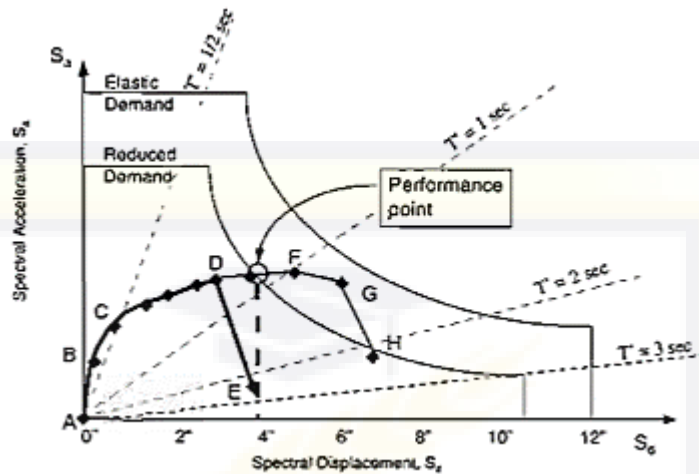
spektra perpindahan digunakan persamaan berikut sehingga hasil kurva *demand* spektrum dapat dilihat pada gambar berikut :

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a(g) \quad (3.50)$$



Gambar 3. 8: Respon Spektrum Standar dan Respon Spektrum Format ADRS. (ATC-40,1996:6-9)

Selanjutnya grafik spektrum kapasitas dan spektrum *demand* disajikan dalam satu grafik *ADRS*. Dalam grafik dengan format *ADRS* tersebut akan ada titik perpotongan antara spektrum kapasitas dengan spektrum *demand* yang disebut dengan titik kinerja atau *performance point*.



Gambar 3. 9: Titik Kinerja Struktur Sesuai ATC-40

Redaman yang terjadi saat struktur terkena gerakan gempa pada keadaan inelastik dapat dilihat pada redaman *viscous* yang melekat pada redaman struktur dan redaman histeristik. Redaman histeristik berhubungan dengan area didalam *loop* kurva gaya dan perpindahan akibat gaya gempa. Redaman histeristik ini dapat mewakili redaman *viscous* ekuivalen. Dalam ATC-40 redaman *viscous* ekuivalen dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\beta_{eq} = \beta_o + 0,05 \quad (3.51)$$

Dimana :

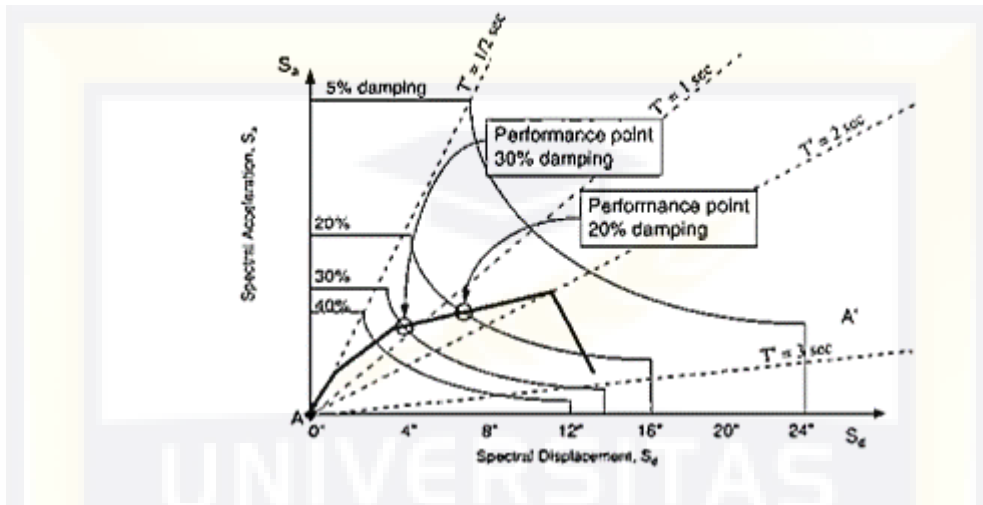
β_{eq} : redaman *viscous* ekuivalen struktur.

β_o : redaman histeristik yang mewakili redaman *viscous* ekuivalen.

0,05 : redaman yang melekat pada struktur (redaman awal)

Jika menggunakan program SAP2000 untuk mengetahui titik kinerja struktur, maka untuk menghitung redaman *viscous* ekuivalen ini akan dihitung secara otomatis pada program, sehingga akan tersaji beberapa

demand spektra pada berbagai tingkat redaman dan di ilustrasikan pada gambar berikut :



Gambar 3. 10: Titik Kinerja Struktur pada Redaman Struktur. (ATC-40, 1996:6-13)

Selain itu, jika akan menghitung respon spektrum gempa desain menggunakan parameter-parameter dalam SNI 1726 2019, maka perencana perlu mengkonversi parameter respon percepatan periode 0,2 detik (S_{MS}) kedalam C_A , dan parameter respon percepatan periode 1 detik (S_{M1}) kedalam C_V dengan persamaan berikut sesuai dengan ATC-40 Pasal 4.4.3.1 sebagai berikut :

$$C_A = 0,4S_{MS} \quad (3.52)$$

$$C_V = S_{M1} \quad (3.53)$$

Selain parameter C_A dan C_V ada satu lagi parameter lagi yaitu “*Structural Behavior Type*” dipilih sesuai peruntukan bangunan itu apakah termasuk bangunan baru atau tidak. Penetapan parameter tersebut dilihat pada ATC-40 Pasal 8.2.2.1.

3.11.2. Batasan Deformasi

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit ditetapkan dalam ATC-40, 1996 Bab 11.3.3 deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja.

Simpangan total maksimum adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Simpangan inelastis maksimum adalah proporsi simpangan total maksimum diluar titik leleh efektif. Untuk *structural stability level*, simpangan total maksimum pada lantai ke-*i* saat titik kinerja harus tidak melebihi $0,33 V_i / P_i$, dimana V_i adalah total gaya geser pada pada lantai ke-*i* dan P_i adalah total gaya gravitasi lantai ke-*i*.

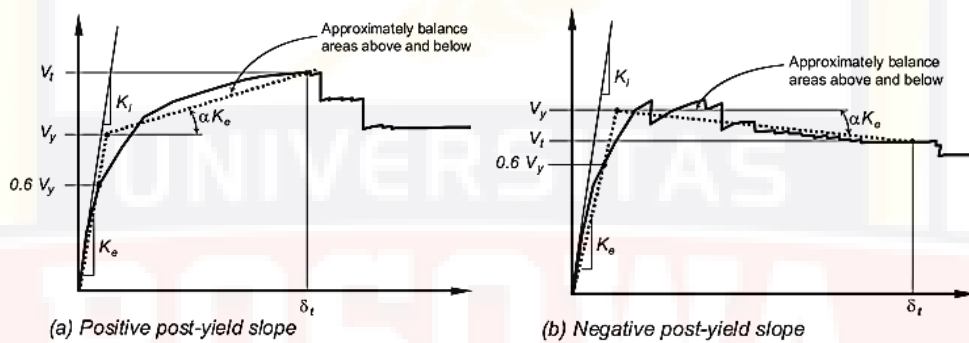
Pada desain bangunan baru, level kinerja yang direkomendasikan adalah *Life Safety Level*, saat simpangan total maksimum 0,02, hal ini dikarenakan pada berbagai eksperimen yang dilakukan menghasilkan respon dengan deformasi yang besar sehingga proporsional untuk *detailing* pada bangunan baru. (ATC-40, 1997:11-5).

3.11.3. Titik Kinerja Struktur Metode FEMA 356

Metode koefisien perpindahan FEMA 356 adalah suatu metode pendekatan yang menyediakan perhitungan numeric langsung dari perpindahan global maksimum pada struktur. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respon elastis dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global

maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut dengan target perpindahan (δ_T).

Parameter-parameter tersebut diambil dari idealisasi kurva kapasitas struktur atau kurva bilinear struktur. Kurva kapasitas tersebut biasanya memiliki kemungkinan perilaku, yaitu berkemiringan positif dan negatif. (Tavio, dkk. 2018)



Gambar 3. 11: Perilaku Pasca Leleh Struktur (FEMA 356)

Prosedur dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif (T_e) yang memperhitungkan kondisi elastic bangunan. Waktu getar efektif didapat dengan persamaan berikut :

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_1}{K_e}} \quad (3.54)$$

Kekakuan lateral efektif ditentukan tergantung dari perilaku struktur.

Kekakuan lateral efektif ini sangat tergantung dari penggambaran kurva bilinear dari kurva kapasitasnya. Kekakuan lateral efektif dihitung dengan

persamaan berikut :

$$k_e = \frac{0,6 \times V_y}{0,6 \times \Delta_y} \quad (3.55)$$

Selanjutnya target perpindahan (δ_T) didapat dari modifikasi respon elastic linier dari sistem *SDOF* ekuivalen dengan beberapa faktor koefisien dan dihitung dengan persamaan berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (3.56)$$

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e \geq T_e \quad (3.57)$$

$$C_1 = [1,0 + (R - 1) T_s / T_e] / R \text{ untuk } T_e \leq T_e \quad (3.58)$$

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} \times C_m \quad (3.59)$$

3.11.4. Titik Kinerja Struktur Metode *FEMA 440*

Secara garis besar metode *FEMA 440* ini sama dengan *FEMA 356*, yaitu dengan hasil akhir menentukan nilai target perpindahan (δ_T). Perbaikan atau modifikasinya diberikan untuk menentukan parameter C_1 dan C_2 ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_1 = 1 + \frac{R - 1}{\alpha T_e^2} \quad (3.60)$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R - 1}{T_e} \right) \quad (3.61)$$

dimana :

α : konstansa (nilainya = 130, 90 dan 60 untuk *site* kategori B, C dan D.

BAB IV

TINJAUAN PERENCANAAN/PERHITUNGAN

4.1. Penentuan Target Kinerja Struktur

Dengan berbagai macam tingkat kinerja seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 , maka pendesain memilih untuk menggunakan tingkat kinerja struktur *life safety* karena sesuai kegunaan bangunan yaitu fasilitas pendidikan sesuai yang tertera pada Tabel 2.1. Kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur (*ATC 40,1996 Chap.32*). tabel 4.1 akan menunjukkan tingkat kinerja *life safety*.

Tabel 4 1: Batasan Simpangan pada tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996:11-4)

Batasan simpangan antar tingkat	Tingkat kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01 - 0,02	0,02	$0,33 V_i/P_i$
Simpangan inelastic maksimum	0,005	0,005 - 0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

4.2. Pembebanan

Pembebanan pada struktur dilakukan dengan menggunakan alat bantu (software) program aplikasi SAP 2000 v22 dengan asumsi pembebanan yang diambil dari SNI 1729-2015 sebagai berikut :

4.2.1. Beban Mati

Beban mati adalah bagian bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisah dari bangunan.

- Beton bertulang	=	2400 kg/m ³
- Baja	=	7800 kg/m ³
- Kaca	=	2579 kg/m ³
- Dinding setengah bata	=	250 kg/m ³
- Pelat bondek	=	10,10 kg/m ²
- Aspal per cm	=	14 kg/m ²
- Spesi per cm	=	22 kg/m ²
- Keramik per cm	=	24 kg/m ²
- Ducting & Plumbing	=	25 kg/m ²
- Plafond & Penggantung	=	18 kg/m ²

4.2.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bertumpu pada bangunan yang kemungkinan lepas dari bangunan tersebut. Beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi ruangan dengan rincian sebagai berikut :

- Pelat atap	=	97,89 kg/m ²
- Pelat lantai	=	488,44 kg/m ²

4.2.3. Beban Gempa

Perhitungan beban gempa pada bangunan ini dilakukan dengan menggunakan Metode Berbasis Kinerja atau *Performanced Based Design*. Untuk parameter beban mengacu pada SNI 1726:2019.

Lokasi	= Kota Makassar
Tanah dasar	= Tanah Lunak
Kategori resiko	= IV (Tabel 2.8)
Faktor keutamaan gempa (I_e)	= 1,50 (Tabel 2.9)
Percepatan batuan dasar perioda 0,2 dt (S_s)	= 0,25 (Gambar 2.9)
Percepatan batuan dasar perioda 1 dt (S_1)	= 0,14 (Gambar 2.10)
Klasifikasi situs	= SE (Tabel 2.7)
Koefisien situs perioda 0,2 dt (F_a)	= 2,40 (Tabel 2.5)
Koefisien situs perioda 1 dt (F_v)	= 3,37 (Tabel 2.6)

1. Menghitung parameter respon percepatan periode 0,2 detik (S_{MS})

dan 1 detik (S_{M1}) :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 0,60 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 0,47 \text{ g}$$

2. Menghitung parameter percepatan spektral desain periode 0,2 detik

(S_{DS}) dan 1 detik (S_{D1}) :

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 0,40 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 0,315 \text{ g}$$

3. Menghitung periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,157 \text{ sec}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,786 \text{ sec}$$

4. Perhitungan Spektrum Percepatan

Untuk $T < T_0$ maka, $S_a = S_{DS} \left\{ 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right\}$

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

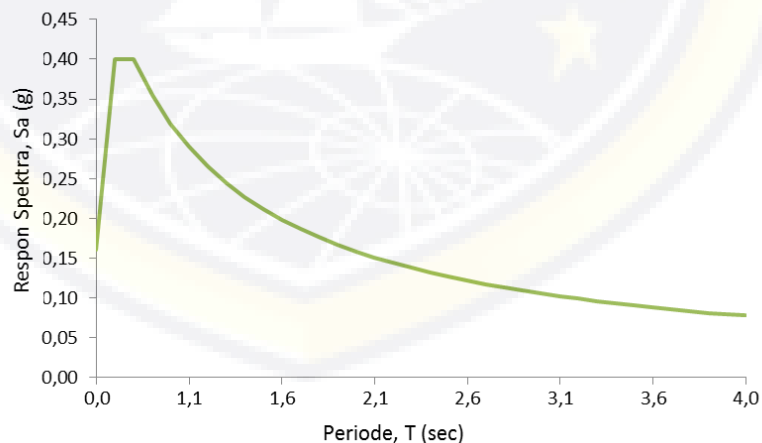
Untuk $T \geq T_s$ maka, $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Maka dapat ditentukan hubungan Percepatan Spektra (S_a) dan Periode (T) sebagai berikut :

Tabel 4 2: Desain Respon Spketrum

T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)
0	0,160	1,486	0,212	2,386	0,132	3,286	0,096
0,157	0,400	1,586	0,198	2,486	0,127	3,386	0,093
0,786	0,400	1,686	0,187	2,586	0,122	3,486	0,090
0,886	0,355	1,786	0,176	2,686	0,117	3,586	0,088
0,986	0,319	1,886	0,167	2,786	0,113	3,686	0,085
1,086	0,290	1,986	0,158	2,886	0,109	3,786	0,083
1,186	0,265	2,086	0,151	2,986	0,105	3,886	0,081
1,286	0,245	2,186	0,144	3,086	0,102	3,986	0,079
1,386	0,227	2,286	0,138	3,186	0,099	4	0,079

Respon Spektrum



Gambar 4. 1: Desain Respon Spektrum

5. Perhitungan Berat Bangunan

Perhitungan berat bangunan perantai digunakan untuk menentukan berat seismik efektif dari gedung.

Tabel 4 3: Perhitungan Berat Struktur Lantai 7 (Atap)

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Beban Mati		
Pelat	<i>Output SAP2000</i>	98640
Balok Anak	<i>Output SAP2000</i>	3515,98
Balok Induk	<i>Output SAP2000</i>	8290,86
Kolom	<i>Output SAP2000</i>	16363,66
Spesi	43,7 x 10 x (2*21)	18354
Aspal	43,7 x 10 x (2*14)	12236
Dinding Kaca	3,7/2 x (2*43,7 + 2*10) x 0,005 x 25	2562
Plafond	43,7 x 10 x 17	7429
MEP	43,7 x 10 x 25	10925
Total Beban		178316,60
Beban Hidup	43,7 x 10 x 97,89 x 25%	42667,59
Total Beban		42667,59

Tabel 4 4: Perhitungan Berat Struktur Lantai 6

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Beban Mati		
Pelat	<i>Output SAP2000</i>	123300
Balok Anak	<i>Output SAP2000</i>	4647,92
Balok Induk	<i>Output SAP2000</i>	12599,6
Kolom	<i>Output SAP2000</i>	16363,66
Spesi	43,7 x 10 x (2*21)	18354
Keramik	43,7 x 10 x (2*14)	20976
Dinding Kaca	3,7 x (2*43,7 + 2*10) x 0,005 x 25	5124

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Plafond	43,7 x 10 x 17	7429
MEP	43,7 x 10 x 25	10925
Total Beban		219719,40
Beban Hidup		
Teatrer	251,67 x 292,65 x 25%	18412,81
Koridor	78,1 x 390,55 x 25%	7625,49
Ruang Kelas	337,18 x 195,78 x 25%	16504,12
Total Beban		42542,41

Tabel 4 5: Perhitungan Berat Struktur Lantai 5

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Beban Mati		
Pelat	<i>Output SAP2000</i>	123300
Balok Anak	<i>Output SAP2000</i>	4647,92
Balok Induk	<i>Output SAP2000</i>	12599,6
Kolom	<i>Output SAP2000</i>	16363,66
Spesi	43,7 x 10 x (2*21)	18354
Keramik	43,7 x 10 x (2*14)	20976
Dinding Kaca	3,7 x (2*43,7 + 2*10) x 0,005 x 25	5124
Plafond	43,7 x 10 x 17	7429
MEP	43,7 x 10 x 25	10925
Total Beban		219719,40
Beban Hidup		
Lab.Komputer	144,05 x 488,44 x 25%	17589,95
Koridor	136,31 x 390,55 x 25%	13308,97
Ruang Kelas	278,97 x 195,78 x 25%	13654,88
Total Beban		44553,80

Tabel 4 6: Perhitungan Berat Struktur Lantai 4

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Beban Mati		
Pelat	<i>Output SAP2000</i>	123300
Balok Anak	<i>Output SAP2000</i>	4647,92
Balok Induk	<i>Output SAP2000</i>	12599,6
Kolom	<i>Output SAP2000</i>	20600,81
Spesi	43,7 x 10 x (2*21)	18354
Keramik	43,7 x 10 x (2*14)	20976
Dinding Kaca	3,7 x (2*43,7 + 2*10) x 0,005 x 25	5124
Plafond	43,7 x 10 x 17	7429
MEP	43,7 x 10 x 25	10925
Total Beban		223956,545
Beban Hidup		
Ruang Rapat	38,07 x 488,44 x 25%	4648,73
Koridor	144,3 x 390,55 x 25%	14089,09
Ruang Kelas	270,98 x 195,78 x 25%	13263,79
Total Beban		32001,61

Tabel 4 7: Perhitungan Berat Struktur Lantai 3

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Beban Mati		
Pelat	<i>Output SAP2000</i>	123300
Balok Anak	<i>Output SAP2000</i>	4647,92
Balok Induk	<i>Output SAP2000</i>	12599,6
Kolom	<i>Output SAP2000</i>	20600,81
Spesi	43,7 x 10 x (2*21)	18354
Keramik	43,7 x 10 x (2*14)	20976
Dinding Kaca	3,7 x (2*43,7 + 2*10) x 0,005 x 25	5124
Plafond	43,7 x 10 x 17	7429

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
MEP	43,7 x 10 x 25	10925
Total Beban		223956,55
Beban Hidup		
Koridor	126,53 x 390,55 x 25%	12354,07
Ruang Kelas	288,75 x 195,78 x 25%	14133,59
Total Beban		26487,66

Tabel 4 8: Perhitungan Berat Struktur Lantai 2

Elemen	Keterangan	Beban (kg)
Beban Mati		
Pelat	<i>Output SAP2000</i>	123300
Balok Anak	<i>Output SAP2000</i>	4689,89
Balok Induk	<i>Output SAP2000</i>	4689,89
Kolom	<i>Output SAP2000</i>	22048,43
Spesi	43,7 x 10 x (2*21)	18354
Keramik	43,7 x 10 x (2*14)	20976
Dinding Kaca	3,7 x (2*43,7 + 2*10) x 0,005 x 25	5124
Plafond	43,7 x 10 x 17	7429
MEP	43,7 x 10 x 25	10925
Total Beban		217536,43
Beban Hidup		
Koridor	126,53 x 390,55 x 25%	12354,07
Beban Hidup	288,75 x 195,78 x 25%	14133,59
Total Beban		26487,66

Sehingga berat seismic efektif diambil dari 1,0 Beban Mati + 0,5

Beban Hidup dihitung di Tabel berikut:

Tabel 4 9: Berat Seimik Efektif

Level	DL	LL	1D+0,5L	1D+0,5L
	kg	kg	kg	ton
7	178316,61	42667,59	199650,40	199,65
6	219719,40	42542,41	240990,60	240,99
5	219719,40	44553,80	241996,29	242,00
4	223956,55	44553,80	246233,44	246,23
3	223956,55	26487,66	237200,38	237,20
2	217536,43	26487,66	230780,26	230,78
1	0,00	0,00	0,00	0,00

6. Desain Gaya Geser Dasar dengan Metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)*.

a. Profil Perpindahan Rencana

Menentukan inelastik mode *shape* digunakan rumus berikut :

$$\text{Untuk } n > 4, \delta_i = \frac{4}{3} \left(\frac{H_i}{H_n} \right) \left(1 - \frac{H_i}{4H_n} \right)$$

Menentukan profil perpindahan :

$$\Delta_1 = \theta \times H_1, \text{ untuk lantai pertama}$$

$$\Delta_i = \delta_i \frac{\Delta_1}{\delta_1}, \text{ untuk lantai berikutnya}$$

Nilai Δ_i harus dikalikan faktor koreksi yang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\omega_\theta = 1,15 - 0,0034 H_n \leq 1,0$$

Perhitungan profil perpindahan rencana ditabelkan pada Tabel 4.10, dimana nilai $\theta = 0,02$ (*Life Safety*)

Tabel 4 10: Perhitungan Profil Perpindahan Rencana

Level	Tinggi H _i (m)	Mass m _i (Ton)	δ _i	ω _θ	Δ _i (m)	m _i ·Δ _i	m _i ·Δ _i ²	m _i ·Δ _i ·H _i
7	22,46	199,65	1,000	1,0	0,35	70,36	24,80	1580,37
6	18,76	240,99	0,881	1,0	0,31	74,84	23,24	1403,95
5	15,06	242,00	0,744	1,0	0,26	63,47	16,65	955,83
4	11,36	246,23	0,589	1,0	0,21	51,12	10,61	580,77
3	7,66	237,20	0,416	1,0	0,15	34,77	5,10	266,36
2	3,96	230,78	0,225	1,0	0,08	18,28	1,45	72,38
1	0,00	0,00	0,000	0,0	0,000	0,00	0,00	0,00
Jumlah	79,26	1396,85				312,84	81,84	4859,66

b. Desain Perpindahan *Single Degree of Freedom (SDOF)*

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{81,84}{312,84} = 0,262 \text{ m}$$

c. Tinggi Efektif

$$H_E = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{4859,66}{312,84} = 15,53 \text{ m}$$

d. Massa Efektif

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} = \frac{312,84}{0,262} = 1195,83 \text{ ton}$$

e. Redaman *Efektif Ekuivalen*

Daktilitas pada frame arah x-x dan y-y dihitung berdasarkan bentang (L_b) dan tinggi balok (H_b), dan nilai M₁ = M_i (asumsi semua balok akan didesain tipikal, sehingga, nilai momennya sama). Nilai drift

leleh frame, θ_{yf} dihitung dengan rumus dibawah ini dan ditabelkan pada tabel berikut:

$$\theta_y = 0,65\varepsilon_y \frac{L_b}{h_b}$$

Tabel 4 11: Perhitungan *drift* leleh pada rangka, arah x-x

L_b	H_b	M	(n)	θ_y	$\Sigma M \cdot \theta_y$	$\Sigma.M$
3,40	0,4	1	7	0,0076	0,0532	7
3,80	0,4	1	1	0,0085	0,0085	1
4,20	0,4	1	1	0,0094	0,0094	1
5,90	0,4	1	1	0,0132	0,0132	1
Jumlah					0,0842	10

Tabel 4 12: Perhitungan *drift* leleh pada rangka, arah y-y

L_b	H_b	M	(n)	θ_y	$\Sigma M \cdot \theta_y$	$\Sigma.M$
3,40	0,4	1	1	0,0076	0,0076	1
5,40	0,25	1	1	0,0193	0,0193	1
Jumlah					0,0269	2

Nilai *yield displacement* pada frame arah x-x, :

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \theta_i)}{\sum_{i=1}^n (M_i)} H_e = \frac{0,0842}{10} \times 15,53 = 0,131$$

Nilai *yield displacement* pada frame arah y-y, :

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \theta_i)}{\sum_{i=1}^n (M_i)} H_e = \frac{0,0269}{2} \times 15,53 = 0,209$$

Sehingga daktilitas strukturnya dapat dihitung sebagai berikut :

arah x-x

$$\mu_F = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} = \frac{0,262}{0,131} = 1,999$$

arah y-y

$$\mu_F = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} = \frac{0,262}{0,209} = 1,252$$

Nilai redaman *frame* :

arah x-x

$$\xi_F = 0,05 + 0,577 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \pi} \right)$$

$$\xi_F = 0,05 + 0,577 \left(\frac{1,999 - 1}{1,999 \times 3,14} \right)$$

$$= 0,142 = 14,18 \%$$

arah y-y

$$\xi_F = 0,05 + 0,577 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \pi} \right)$$

$$\xi_F = 0,05 + 0,577 \left(\frac{1,252 - 1}{1,252 \times 3,14} \right)$$

$$= 0,087 = 8,70 \%$$

f. Periode Efektif

Periode efektif dihitung berdasarkan grafik *Spectra Displacement* (SD)

dari tabel berikut :

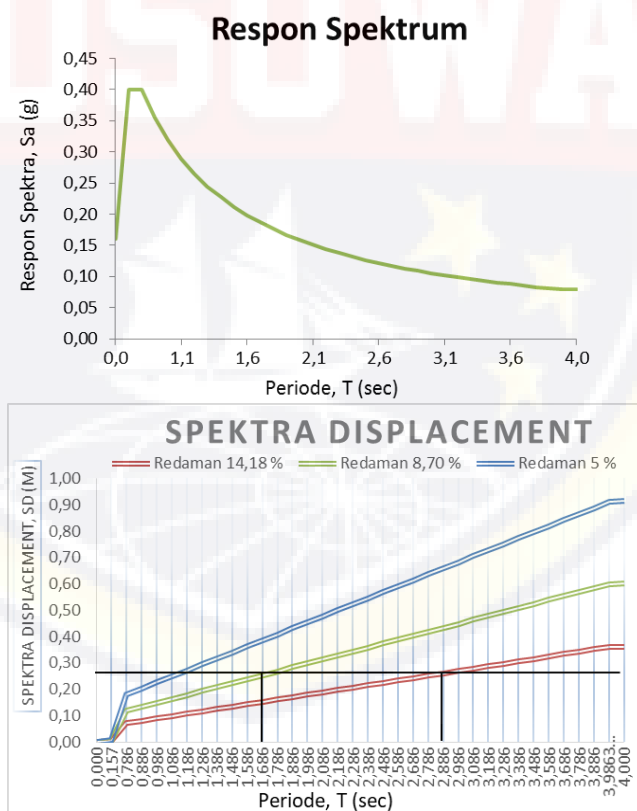
Tabel 4 13: Perhitungan *Spektra Displacement*

T (sec)	S _a (g)	Redaman 5% SD (m)	Redaman 14,18 %		Redaman 8,70 %		Δ _d (m)
			R _ξ	SD (m)	R _ξ	SD (m)	
0,000	0,160	0,000	1,156	0,000	0,764	0,000	0,262
0,157	0,400	0,002	1,156	0,003	0,764	0,002	0,262
0,786	0,400	0,062	1,156	0,071	0,764	0,047	0,262

T (sec)	S _a (g)	Redaman 5% SD (m)	Redaman 14,18 %		Redaman 8,70 %		Δ _d (m)
			R _ξ	SD (m)	R _ξ	SD (m)	
0,886	0,355	0,069	1,156	0,080	0,764	0,053	0,262
0,986	0,319	0,077	1,156	0,089	0,764	0,059	0,262
1,086	0,290	0,085	1,156	0,098	0,764	0,065	0,262
1,186	0,265	0,093	1,156	0,107	0,764	0,071	0,262
1,286	0,245	0,101	1,156	0,116	0,764	0,077	0,262
1,386	0,227	0,108	1,156	0,125	0,764	0,083	0,262
1,486	0,212	0,116	1,156	0,134	0,764	0,089	0,262
1,586	0,198	0,124	1,156	0,143	0,764	0,095	0,262
1,686	0,187	0,132	1,156	0,153	0,764	0,101	0,262
1,786	0,176	0,140	1,156	0,162	0,764	0,107	0,262
1,886	0,167	0,148	1,156	0,171	0,764	0,113	0,262
1,986	0,158	0,155	1,156	0,180	0,764	0,119	0,262
2,086	0,151	0,163	1,156	0,189	0,764	0,125	0,262
2,186	0,144	0,171	1,156	0,198	0,764	0,131	0,262
2,286	0,138	0,179	1,156	0,207	0,764	0,137	0,262
2,386	0,132	0,187	1,156	0,216	0,764	0,143	0,262
2,486	0,127	0,195	1,156	0,225	0,764	0,149	0,262
2,586	0,122	0,202	1,156	0,234	0,764	0,155	0,262
2,686	0,117	0,210	1,156	0,243	0,764	0,161	0,262
2,786	0,113	0,218	1,156	0,252	0,764	0,167	0,262
2,886	0,109	0,226	1,156	0,261	0,764	0,173	0,262
2,986	0,105	0,234	1,156	0,270	0,764	0,179	0,262
3,086	0,102	0,241	1,156	0,279	0,764	0,185	0,262
3,186	0,099	0,249	1,156	0,288	0,764	0,191	0,262
3,286	0,096	0,257	1,156	0,297	0,764	0,197	0,262
3,386	0,093	0,265	1,156	0,306	0,764	0,202	0,262
3,486	0,090	0,273	1,156	0,315	0,764	0,208	0,262
3,586	0,088	0,281	1,156	0,324	0,764	0,214	0,262

T (sec)	S _a (g)	Redaman 5% SD (m)	Redaman 14,18 %		Redaman 8,70 %		Δ _d (m)
			R _ξ	SD (m)	R _ξ	SD (m)	
3,686	0,085	0,288	1,156	0,333	0,764	0,220	0,262
3,786	0,083	0,296	1,156	0,342	0,764	0,226	0,262
3,886	0,081	0,304	1,156	0,352	0,764	0,232	0,262
3,986	0,079	0,312	1,156	0,361	0,764	0,238	0,262
4,000	0,079	0,313	1,156	0,362	0,764	0,239	0,262

Selanjutnya nilai T_e pada redaman efektif 8 14,18 % adalah 2,886 detik dan redaman efektif 8,70 % adalah 1,686 detik. Nilai T_e ini dihitung berdasarkan grafik *spectra displacement* (SD) pada gambar berikut :



Gambar 4. 2: Respon Spektrum Desain & Spektra Displacement Redaman 14,18 % dan 8,70 %

g. Kekakuan Efektif

arah x-x

$$K_e = \frac{4\pi^2 \cdot m_e}{T_e^2} = \frac{4 \times 3,14^2 \times 1195,83}{2,886^2} = 5662,33 \text{ KN/m}$$

arah y-y

$$K_e = \frac{4\pi^2 \cdot m_e}{T_e^2} = \frac{4 \times 3,14^2 \times 1195,83}{1,686^2} = 16590,99 \text{ KN/m}$$

h. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar hasil perhitungan *Direct Displacement Based Design (DDBD)* pada saat pelelehan pertama adalah sebagai berikut:

Arah x-x

$$V_{Base} = K_e \times \Delta_d = 5662,33 \times 0,262 = 1481,34 \text{ KN}$$

Arah y-y

$$V_{Base} = K_e \times \Delta_d = 16590,99 \times 0,262 = 4340,43 \text{ KN}$$

Distribusi gaya geser tiap lantai dapat dihitung dengan rumus dan perhitungan ditabelkan pada tabel berikut :

$$F_i = F_t + 0,9V_{Base} \frac{m_i \Delta_i}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i}$$

Tabel 4 14: Distribusi Gaya Geser Tiap Lantai

Level	Tinggi H _i (m)	Mass m _i (Ton)	Δ _{Di} (m)	m _i ·Δ _i	arah x-x		arah y-y	
					V _b (KN)	F _i (KN)	V _b (KN)	F _i (KN)
7	22,46	199,65	0,352	70,36	1481,34	447,99	4340,43	1312,65
6	18,76	240,99	0,311	74,84	1481,34	318,92	4340,43	934,47
5	15,06	242,00	0,262	63,47	1481,34	270,47	4340,43	792,51

Level	Tinggi H _i (m)	Mass m _i (Ton)	Δ _{Di} (m)	m _i .Δ _i	arah x-x		arah y-y	
					V _b (KN)	F _i (KN)	V _b (KN)	F _i (KN)
4	11,36	246,23	0,208	51,12	1481,34	217,87	4340,43	638,36
3	7,66	237,20	0,147	34,77	1481,34	148,19	4340,43	434,21
2	3,96	230,78	0,079	18,28	1481,34	77,89	4340,43	228,23
1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jumlah	79,26	1396,85		312,84		1481,34		4340,43

4.3. Perencanaan Struktur Sekunder

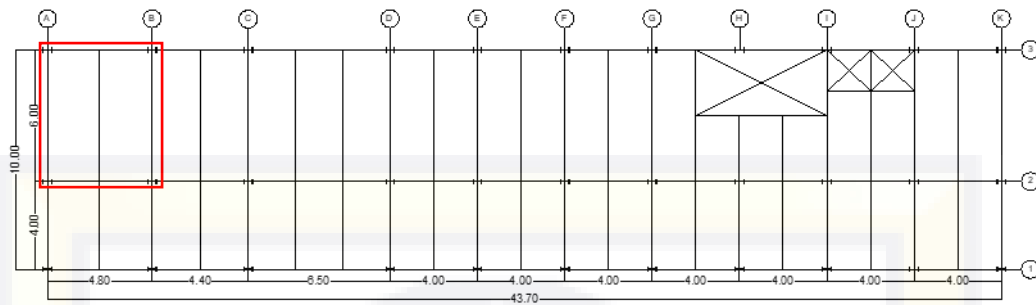
Perencanaan struktur sekunder meliputi perencanaan pelat lantai, balok anak, balok lift, dan tangga.

4.3.1. Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat pada gedung ini menggunakan Bondex dengan tabel perencanaan praktis yang ada dari *Super Floor Deck*. Struktur pelat direncanakan dengan tanpa penyangga (*no props*) selama proses pengerasan pelat beton. Bondex digunakan sebagai pengganti tulangan positif untuk analisa perhitungan pelat bondex menggunakan rumus dari *Steel Deck Institute*. Spesifikasi pelat yang akan digunakan sebagai berikut :

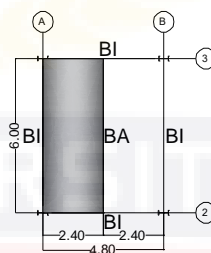
Super Floor Deck :

$$\begin{aligned}
 d_d &= 53 & \text{mm} & & F_y &= 500 & \text{Mpa} \\
 t &= 0,75 & \text{mm} & & F_u &= 570 & \text{Mpa} \\
 w_1 &= 10,10 & \text{kg/m}^2 & & w_2 &= 6,06 & \text{kg/m} \\
 A_s &= 1241 & \text{mm}^2 & & b &= 600 & \text{mm} \\
 I_p &= 511000 & \text{mm}^4 & & & &
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 3: Denah Pelat

4.3.1.1. Perencanaan Pelat Atap



Gambar 4. 4: Detail Pelat Atap

Digunakan tebal pelat = 10 cm

Beban Mati

Berat pelat bondek = 10,10 kg/m²

Berat pelat beton = 0,10 x 2400 = 240 kg/m²

Berat ducting & plumbing = 25 kg/m²

Berat plafon+penggantung 11 + 7 = 18 kg/m²

Berat Aspal 1 cm 14 x 1 = 14 kg/m²

Berat Spesi 2 cm 21 x 2 = 42 kg/m²

$q_D = 349,10 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020)

Atap gedung pendidikan = 0,96 kN/m², $q_L = 97,89 \text{ kg/m}^2$

Beban Air Hujan

Diasumsikan tinggi genangan air hujan maks di pelat atap 10 cm

$q_R = 0,10 \times 1000 = 100 \text{ kg/m}^2$

Beban berguna yang dipakai, $1.2q_D + 1.6q_L + 0.5q_R = Q$

$Q = 418,92 \times 156,63 \times 50 = 625,55 \text{ kg/m}^2$

- Kontrol kekuatan bondek

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$L_y = 6000 \text{ mm} \quad \frac{L_y}{L_x} = 2,50 \quad \text{Pelat 1 Arah}$$

$$L_x = 2400 \text{ mm}$$

$$F_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$d = h - \frac{1}{2} \times \text{tinggi gelombang}$$

$$= 100 - \frac{1}{2} \times 53$$

$$= 73,50 \text{ mm}$$

$$h_c = h - \text{tinggi gelombang}$$

$$= 100 - 53$$

$$= 47 \text{ mm}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{203000}{0,043 \times (W_c)^{1,5} \times \sqrt{F_c}} = \frac{203000}{0,043 \times (2400)^{1,5} \times \sqrt{20}}$$

$$= 8,978$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1241}{600 \times 73,50} = 0,028$$

maka didapatkan,

$$Y_{cc} = d \sqrt{\frac{2pn + (pn)^2}{3}} = 73,50 \sqrt{\frac{2 \times 0,028 \times 8,978 + (0,028 \times 8,978)^2}{3}}$$

$$= 41,35 \text{ mm}$$

$$Y_{cc} \leq h_c = 41,35 \text{ mm} \leq 47 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Y_{cs} = d - Y_{cc}$$

$$= 73,50 - 41,35$$

$$= 32,15 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{b}{3 \times h} \times Y_{cc}^3 + A_s \times Y_{cs}^2 + I_{sf}$$

$$= \frac{600}{3 \times 100} \times 41,35^3 + 1241 \times 32,15^2 + 511000$$

$$= 1935180,00 \text{ mm}^4$$

Menghitung *Flexural Strength*

$$M_y = \frac{F_y \times I_c}{h - Y_{cc}} = \frac{500 \times 1935180}{100 - 41,35} = 16497487 \text{ Nmm}$$

$$= 16,50 \text{ KNm}$$

$$M_{ru} = \phi \times M_y$$

$$= 0,85 \times 16,50$$

$$= 14,02 \text{ KNm}$$

Hasil analisis SAP 2000 untuk pelat atap

Arah x-x (M11)

$$M_{u+} = 3,82 \text{ KNm}$$

$$M_{u-} = -0,06 \text{ KNm}$$

Arah y-y (M22)

$$M_{u+} = 1,26 \text{ KNm}$$

$$M_{u-} = -0,02 \text{ KNm}$$

Bondek dikatakan aman apabila *flexural strength*nya memiliki nilai $M_{ru} > M_{u+}$. Dimana dari hasil perhitungan didapatkan M_{u+} terbesar adalah 3,82 KNm sedangkan nilai M_{ru} sebesar 14,02 KNm untuk pelat atap dengan tebal 100 mm. Maka bondek yang digunakan pada pelat atap aman dengan safety factor :

$$S_f = \frac{M_{ru}}{M_{u+}} = \frac{14,02}{3,82} = 3,67$$

- Tebal efektif pelat

$$\text{Tebal pelat} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Mutu beton} \quad f_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu tulangan} \quad \text{BjTP280, } f_y = 280 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 350 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal selimut beton } (p) = 2 \text{ cm} \quad \text{SNI 2847:2019 Pas 20.6.1.3.2}$$

$$\text{Ø tulangan pokok arah X} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Ø tulangan susut arah Y} = 8 \text{ mm}$$

Tinggi efektif

$$D_x = d - p - (0,5 \times \text{Ø tulangan pokok arah X})$$

$$= 49,50 \text{ mm}$$

$$D_y = d - p - (0,5 \times \text{Ø tulangan susut arah y}) - (\text{Ø tulangan pokok arah X})$$

$$= 41,50 \text{ mm}$$

- Penulangan pelat

Tulangan utama arah x-x

$$\text{Peninjauan plat lantai selebar } (b_w) = 1 \text{ m}$$

SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2

Luas tulangan yang digunakan (A_s)

$$A_s = \frac{0.25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d_x$$

$$= 197,65 \text{ mm}^2$$

dan A_s tidak lebih kecil dari

$$A_s = \frac{1.4}{f_y} b_w d_x$$

$$= 247,50 \text{ mm}^2$$

A_s yang dipakai 247,5 mm²

Dipakai tulangan ø8 mm

Luas tulangan (A_v)

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 50,24 \text{ mm}^2$$

Kontrol Rasio Tulangan

$$\rho = \frac{A_{s\text{pakai}}}{b_w \cdot dx}$$

$$= 0,005$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= 0,005$$

SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3

$$17 < f'_c < 28, \beta_1 = 0,85$$

$$28 < f'_c, \beta_1 = 0,85 - \left(0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}\right)$$

$$= 0,91$$

$$m = \frac{f_y}{(\beta_1 \times f'_c)}$$

$$= 16,47$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{\beta_1}{m} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,028$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,005 < 0,005 < 0,028 \quad \text{OK}$$

Jumlah tulangan dalam 1 m

$$n = \frac{A_s}{A_v}$$

$$= 4,93, \text{ digunakan } 5 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam 1 m

$$s = \frac{b}{n}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{pakai}} = n \times A_v$$

$$= 251,20 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{pakai}} > A_s$$

$$251,20 > 247,50 \quad \text{OK}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{(A_{spakai} \times f_y)}{(0,85 \times f'_c \times b_w)}$$

$$= 4,137 \text{ mm}$$

Menghitung momen nominal

$$\begin{aligned} M_n &= A_{spakai} \times f_y \times \left(d_x - \frac{a}{2} \right) \\ &= 3336128 \text{ Nmm} \\ &= 3,34 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Menghitung momen yang timbul

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,80 \times M_n \\ &= 2,67 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_{ux}$$

$$2,67 > 0,06 \quad \text{OK}$$

Tulangan susut arah y-y

$$\text{Peninjauan plat lantai selebar } (b_w) = 1 \text{ m}$$

SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2

Luas tulangan yang digunakan (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d_y \\ &= 165,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dan A_s tidak lebih kecil dari

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1,4}{f_y} b_w d_y \\ &= 207,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ yang dipakai } 207,50 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\phi 8$ mm

Luas tulangan (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 50,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan dalam 1 m

$$n = \frac{A_s}{A_v}$$

$$= 4,13 \text{ , digunakan } 5 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam 1 m

$$s = \frac{b}{n}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \times A_v$$

$$= 251,20 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} > A_s$$

$$251,20 > 207,50 \text{ OK}$$

Kontrol Rasio Tulangan

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b_w \cdot d_y}$$

$$= 0,006$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= 0,005$$

SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3

$$17 < f'_c < 28 \text{ , } \beta_1 = 0,85$$

$$28 < f'_c \text{ , } \beta_1 = 0,85 - \left(0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7} \right)$$

$$= 0,91$$

$$m = \frac{f_y}{(\beta_1 \times f'_c)}$$

$$= 16,47$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{\beta_1}{m} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,028$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,005 < 0,006 < 0,028 \quad \mathbf{OK}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{(A_{spakai} \times f_y)}{(0,85 \times f'_c \times b_w)}$$

$$= 4,14 \text{ mm}$$

Menghitung momen nominal

$$M_n = A_{spakai} \times f_y \times \left(d_y - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2773440 \text{ Nmm}$$

$$= 2,77 \text{ kNm}$$

Menghitung momen yang timbul

$$\phi M_n = 0,80 \times M_n$$

$$= 2,22 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_{uy}$$

$$2,22 > 0,02 \quad \mathbf{OK}$$

- Kontrol lendutan pelat atap

$$f'_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$f_{y\text{bondok}} = 500 \text{ Mpa}$$

Modulus Elastisitas Beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (SNI 2847:2019 pasal 19.2.2)}$$

$$= 21019,04 \text{ MPa}$$

Modulus Elastisitas Baja Tulangan

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Beban Merata Pada Pelat Atap

$$Q = 625,55 \text{ kg/m}$$

$$= 6,26 \text{ N/mm}$$

$$L_x = 2400 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$d = 73,50 \text{ mm}$$

$$D_x = 49,50 \text{ mm}$$

$$A_e = 251.20 \text{ mm}^2$$

Lendutan Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 24.2.2 tabel 24.2.2)

$$\Delta_{ijin} = \frac{L_x}{360} = \frac{2400}{360} = 6,67 \text{ mm}$$

$$I_g = \frac{1}{12} L_x d^3 = 79413075 \text{ mm}^4$$

Modulus Keruntuhan Lentur (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.3)

λ untuk beton normal = 1 (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.4.2)

$$\begin{aligned} f_r &= 0.62 \times \lambda \sqrt{f'_c} \\ &= 2,77 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Nilai Pebandingan Modulus Elastisitas

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{21019,04} = 9,52 \text{ n dapat digunakan (n > 6)}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,14}{0,85} = 4,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{E_s}{E_c} \left(A_s + \frac{Q}{f_y} \frac{d}{2D_x} \right) (D_y - c)^2 + \frac{L_x c^3}{3} \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 11.8.3)} \\ &= 4853877,8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

Momen retak (SNI 2847:2019 Pasal 24.2.3.5 persamaan 24.2.3.5b)

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{y_t} = \frac{2,77 \times 79413075}{50} \\ &= 4403811 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Maksimum

$$\begin{aligned} M_a &= 1/8 \times Q \times L_x^2 \\ &= 187,66 \text{ kgm} \\ &= 1876638 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Inersia Efektif (SNI 2847:2019 Pasal 24.2.3.5 persamaan 24.2.3.5a)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$= 968341099,44 \text{ mm}^4$$

Berdasarkan pasal 24.2.3.5, I_e tidak boleh melebihi I_g

$I_e > I_g$ maka digunakan nilai I_g sebagai inersia efektif

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\Delta_e = \frac{5 \times Q \times L_x^4}{384 \times E_c \times I_e}$$

$$= 1,62 \text{ mm}$$

Rasio Tulangan (ρ) arah lendutan $x = 0,005$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 24.2.4 faktor tergantung waktu (ξ)

untuk beban tetap dengan waktu 60 bulan atau lebih, $\xi = 2$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50 \rho}$$

$$= 1,60$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut,

$$\Delta_g = \frac{\lambda_{\Delta} 5 \times Q \times l^4}{384 \times E_c \times I_e}$$

$$= 2,58 \text{ mm}$$

Lendutan total,

$$\Delta_{total} = \Delta_e + \Delta_g$$

$$= 4,20 \text{ mm}$$

Kontrol Lendutan

$$\Delta_{total} < \Delta_{ijin}$$

$$4,20 < 6,67 \text{ OK}$$

Lendutan yang terjadi saat pengecoran

Beban merata pada pelat bondek

$$\text{Berat pelat bondek} = 6,06 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pelat beton} = 2400 \times \text{Luas Area}$$

$$= 2400 \times 0,10 \times 0,60 = 144 \text{ kg/m}$$

$$Q = 150 \text{ kg/m}$$

$$= 1,50 \text{ N/mm}$$

$$\Delta_b = \frac{5 \times Q \times l^4}{384 \times E_s \times I_e}$$

$$= 6,34 \text{ mm}$$

Lendutan ijin,

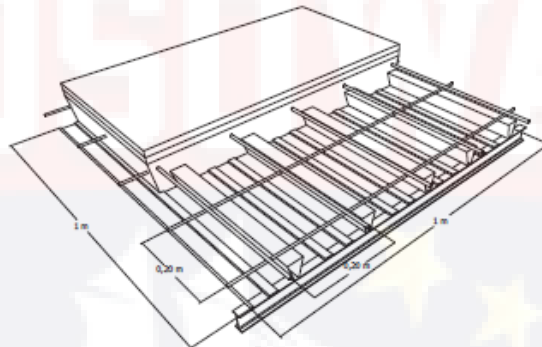
$$\Delta_{ijin} = \frac{L_x}{240} = \frac{2400}{240} = 10 \text{ mm}$$

Kontrol Lendutan

$$\Delta_b < \Delta_{ijin}$$

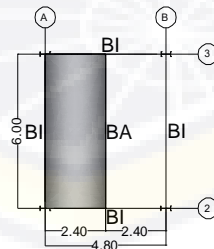
$$6,34 < 10 \quad \text{OK}$$

Berikut adalah gambar dari desain pelat atap berdasarkan hasil perhitungan penulangan.



Gambar 4. 5: Penulangan Pelat Atap

4.3.1.2. Perencanaan Pelat Lantai



Gambar 4. 6: Detai Pelat Lantai

Digunakan tebal pelat = 12,5 cm

Beban Mati

Berat pelat bondek = 10,10 kg/m²

Berat pelat beton = 0,125 x 2400 = 300 kg/m²

Berat ducting & plumbing = 25 kg/m²

Berat plafon+penggantung 11 + 7 = 18 kg/m²

Berat spesi 2 cm 21 x 2 = 42 kg/m²

Berat tegel 2 cm 24 x 2 = 48 kg/m²

q_D = 443,10 kg/m²

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020)

Lantai gedung pendidikan = 4,79 kN/m² q_L = 488,44 kg/m²

Beban berguna yang dipakai, 1.2q_D + 1.6q_L = Q

Q = 531,72 + 781,50 = 1313,22 kg/m²

- Kontrol kekuatan bondek

h = 125 mm

b = 600 mm

L_y = 6000 mm $\frac{L_y}{L_x} = 2,50$ Pelat 1 Arah

L_x = 2400 mm

F_c = 20 Mpa

d = h - $\frac{1}{2}$ x tinggi gelombang

= 125 - $\frac{1}{2}$ x 53

= 98,50 mm

h_c = h - tinggi gelombang

= 125 - 53

= 72 mm

n = $\frac{E_s}{E_c} = \frac{203000}{0,043 \times (W_c)^{1,5} \times \sqrt{F_c}} = \frac{203000}{0,043 \times (2400)^{1,5} \times \sqrt{20}}$

= 8,978

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1241}{600 \times 98,50} = 0,021$$

maka didapatkan,

$$\begin{aligned} Y_{cc} &= d \{ \sqrt{2pn + (pn)^2} - pn \} \\ &= 98,50 \{ \sqrt{2 \times 0,021 \times 8,978 + (0,021 \times 8,978)^2} - 0,021 \times 8,978 \} \\ &= 46,63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Y_{cc} \leq h_c = 46,63 \text{ mm} \leq 72 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} Y_{cs} &= d - Y_{cc} \\ &= 98,50 - 46,63 \\ &= 51,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{b}{3 \times h} \times Y_{cc}^3 + A_s \times Y_{cs}^2 + I_{sf} \\ &= \frac{600}{3 \times 125} \times 46,63^3 + 1241 \times 51,87^2 + 511000 \\ &= 4012564,67 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Menghitung *Flexural Strength*

$$\begin{aligned} M_y &= \frac{F_y \times I_c}{h - Y_{cc}} = \frac{500 \times 4012564,67}{125 - 46,63} = 25598935 \text{ Nmm} \\ &= 25,60 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ru} &= \phi \times M_y \\ &= 0,85 \times 25,60 \\ &= 21,76 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Hasil analisis SAP2000 untuk pelat lantai

Arah x-x (M11)

$$M_{u+} = 8,02 \text{ KNm}$$

$$M_{u-} = -0,12 \text{ KNm}$$

Arah y-y (M22)

$$M_{u+} = 2,64 \text{ KNm}$$

$$M_{u-} = -0,04 \text{ KNm}$$

Bondek dikatakan aman apabila *flexural strength*nya memiliki nilai $M_{ru} > M_{u+}$. Dimana dari hasil perhitungan didapatkan M_{u+} terbesar adalah 8,02 KNm sedangkan nilai M_{ru} sebesar 21,76 KNm untuk pelat atap dengan tebal 100 mm. Maka bondek yang digunakan pada pelat atap aman dengan safety factor :

$$S_f = \frac{M_{ru}}{M_{u+}} = \frac{21,76}{8,02} = 2,71$$

- Tebal efektif pelat

Tebal pelat = 12,50 cm

Mutu beton $f_c = 20$ Mpa

Mutu tulangan BJTP280, $f_y = 280$ Mpa

$f_u = 350$ Mpa

Tebal selimut beton (p) = 2 cm *SNI 2847:2019 Pas 20.6.1.3.2*

Ø tulangan pokok arah X = 8 mm

Ø tulangan susut arah Y = 8 mm

Tinggi efektif

$D_x = d - p - (0,5 \times \text{Ø tulangan pokok arah X})$

= 74,50 mm

$D_y = d - p - (0,5 \times \text{Ø tulangan susut arah y}) - (\text{Ø tulangan pokok arah X})$

= 66,50 mm

- Penulangan pelat lantai

Tulangan utama arah x-x

Peninjauan plat lantai selebar (b_w) = 1 m

SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2

Luas tulangan yang digunakan (A_s)

$$A_s = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d_x$$

= 297,48 mm²

dan A_s tidak lebih kecil dari

$$A_s = \frac{1.4}{f_y} b_w dx$$

$$= 372,50 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ yang dipakai } 372,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\varnothing 8 \text{ mm}$

Luas tulangan (A_v)

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 50,24 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan dalam 1 m

$$n = \frac{A_s}{A_v}$$

$$= 7,41, \text{ digunakan } 8 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam 1 m

$$s = \frac{b}{n}$$

$$= 125 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \times A_v$$

$$= 401,92 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} > A_s$$

$$401,92 > 372,50 \text{ OK}$$

Kontrol Rasio Tulangan

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b_w \cdot dx}$$

$$= 0,005$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= 0,005$$

SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3

$$17 < f'_c < 28, \beta_1 = 0,85$$

$$28 < f'_c, \beta_1 = 0,85 - \left(0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}\right)$$

$$= 0,91$$

$$m = \frac{f_y}{(\beta_1 \times f'_c)}$$

$$= 16,47$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{\beta_1}{m} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,028$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,005 < 0,005 < 0,028 \quad \text{OK}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{(A_{spakai} \times f_y)}{(0,85 \times f'_c \times bw)}$$

$$= 6,62 \quad \text{mm}$$

Menghitung momen nominal

$$M_n = A_{spakai} \times f_y \times \left(d_x - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 8011560 \quad \text{Nmm}$$

$$= 8,01 \quad \text{kNm}$$

Menghitung momen yang timbul

$$\phi M_n = 0,80 \times M_n$$

$$= 6,41 \quad \text{kNm}$$

$$\phi M_n > M_{ux}$$

$$6,41 > 0,12 \quad \text{OK}$$

Tulangan susut arah y-y

Peninjauan plat lantai selebar (b_w) = 1 m

SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2

Luas tulangan yang digunakan (A_s)

$$A_s = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d_y$$
$$= 265,53 \text{ mm}^2$$

dan A_s tidak lebih kecil dari

$$A_s = \frac{1.4}{f_y} b_w d_y$$
$$= 332,50 \text{ mm}^2$$

A_s yang dipakai 332,50 mm²

Dipakai tulangan $\varnothing 8$ mm

Luas tulangan (A_v)

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$
$$= 50,24 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan dalam 1 m

$$n = \frac{A_s}{A_v}$$
$$= 6,62, \text{ digunakan } 7 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam 1 m

$$s = \frac{b}{n}$$
$$= 143 \text{ mm} = 140 \text{ mm}$$

Digunakan 140 mm agar mempermudah pekerja

$$A_{s \text{ pakai}} = n \times A_v$$
$$= 351,68 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} > A_s$$

$$351,68 > 332,50 \text{ OK}$$

Kontrol Rasio Tulangan

$$\rho = \frac{A_{spakai}}{b_w \cdot d_y}$$

$$= 0,005$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= 0,005$$

SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3

$$17 < f'_c < 28, \beta_1 = 0,85$$

$$28 < f'_c, \beta_1 = 0,85 - \left(0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7} \right)$$
$$= 0,91$$

$$m = \frac{f_y}{(\beta_1 \times f'_c)}$$

$$= 16,47$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{\beta_1}{m} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,028$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,005 < 0,005 < 0,028 \quad \mathbf{OK}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{(A_{spakai} \times f_y)}{(0,85 \times f'_c \times b_w)}$$

$$= 5,792 \text{ mm}$$

Menghitung momen nominal

$$M_n = A_{spakai} \times f_y \times \left(d_y - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 6263093 \text{ Nmm}$$

$$= 6,26 \text{ kNm}$$

Menghitung momen yang timbul

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.80 \times M_n \\ &= 5,01 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &> M_{uy} \\ 5,01 &> 0,04 \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

- Kontrol lendutan pelat lantai

$$f'_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$f_{y\text{bondek}} = 500 \text{ Mpa}$$

Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned}E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \quad (\text{SNI 2847:2019 pasal 19.2.2}) \\ &= 21019,04 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Modulus Elastisitas Baja Tulangan

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Beban Merata Pada Pelat Lantai

$$\begin{aligned}Q &= 1313,22 \text{ kg/m} \\ &= 13,13 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$L_x = 2400 \text{ mm}$$

$$h = 125 \text{ mm}$$

$$d = 98,50 \text{ mm}$$

$$D_x = 74,50 \text{ mm}$$

$$A_s = 351,68 \text{ mm}^2$$

Lendutan Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 24.2.2)

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L_x}{360} = \frac{2400}{360} = 6,67 \text{ mm}$$

$$I_g = \frac{1}{12} L_x d^3 = 191134325 \text{ mm}^4$$

Modulus Keruntuhan Lentur (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.3)

λ untuk beton normal 1 (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.4.2)

$$\begin{aligned}f_r &= 0.62 \times \lambda \sqrt{f'_c} \\ &= 2,77 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Nilai Pebandingan Modulus Elastisitas

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{21019,04} = 9,52 \quad n \text{ dapat digunakan } (n > 6)$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,79}{0,85} = 6,81 \text{ mm}$$

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} \left(A_s + \frac{Q}{f_y} \frac{d}{2D_x} \right) (D_y - c)^2 + \frac{L_x c^3}{3} \quad (\text{SNI 2847:2019 Pasal 11.8.3})$$
$$= 15584386 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

Momen retak (SNI 2847:2019 Pasal 24.2.3.5 persamaan 24.2.3.5b)

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t} = \frac{2,77 \times 191134325}{62,5}$$
$$= 8479405 \text{ Nmm}$$

Momen Maksimum

$$M_a = 1/8 \times Q \times L_x^2$$
$$= 393,97 \text{ kgm}$$
$$= 3939654 \text{ Nmm}$$

Inersia Efektif (SNI 2847:2019 Pasal 24.2.3.5 persamaan 24.2.3.5a)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$
$$= 1765924432,55 \text{ mm}^4$$

Berdasarkan pasal 24.2.3.5, I_e tidak boleh melebihi I_g

$I_e > I_g$ maka digunakan nilai I_g sebagai inersia efektif

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\Delta_e = \frac{5 \times Q \times L_x^4}{384 \times E_c \times I_e}$$
$$= 1,41 \text{ mm}$$

Rasio Tulangan (ρ) arah lendutan $x = 0,005$

SNI 2847:2019 pasal 24.2.4 faktor pengaruh waktu (ξ) untuk beban tetap dengan waktu 60 bulan atau lebih, $\xi = 2$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50 \rho}$$

$$= 1,58$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut,

$$\Delta_g = \frac{\lambda_{\Delta} 5 \times Q \times l^4}{384 \times E_c \times I_e}$$

$$= 2,22 \text{ mm}$$

Lendutan total,

$$\Delta_{\text{total}} = \Delta_e + \Delta_g$$

$$= 3,64 \text{ mm}$$

Kontrol Lendutan

$$\Delta_{\text{total}} < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$3,64 < 6,67 \quad \text{OK}$$

Lendutan yang terjadi saat pengecoran

Beban merata pada pelat bondek

$$\text{Berat pelat bondek} = 6,06 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pelat beton} = 2400 \times \text{Luas Area}$$

$$= 2400 \times 0,125 \times 0,60 = 180 \text{ kg/m}$$

$$Q = 186 \text{ kg/m}$$

$$= 1,86 \text{ N/mm}$$

$$\Delta_b = \frac{5 \times Q \times l^4}{384 \times E_s \times I_e}$$

$$= 7,86 \text{ mm}$$

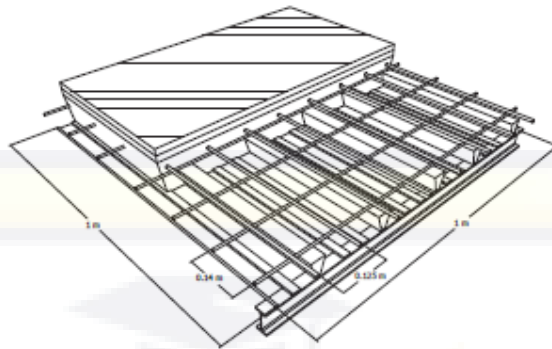
Lendutan ijin,

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L_x}{240} = \frac{2400}{240} = 10 \text{ mm}$$

Kontrol Lendutan

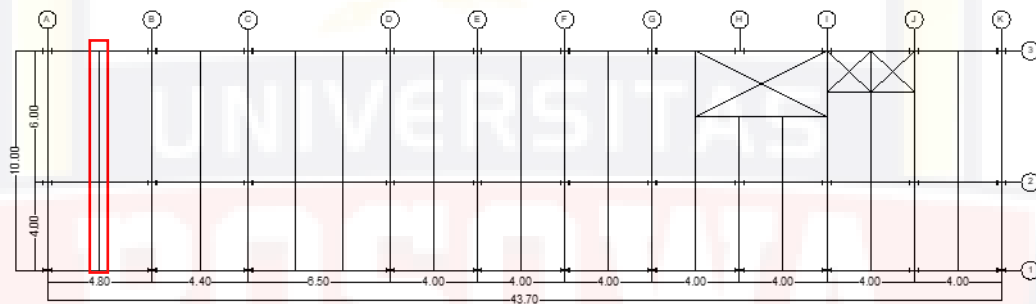
$$\Delta_b < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$7,86 < 10 \quad \text{OK}$$



Gambar 4. 7: Penulangan Pelat Lantai

4.3.2. Perencanaan Balok Anak



Gambar 4. 8: Konfigurasi Balok Anak Gedung

4.3.2.1. Dimensi Balok Anak Atap

a. Portal 1 – 2

Direncanakan menggunakan IWF 150x100x6x9, dengan data sebagai berikut :

A	$= 26,84$	cm^2	Z_x	$= 153$	cm^3
W	$= 21,10$	kg/m	Z_y	$= 46,19$	cm^3
a	$= 150$	mm	h	$= 110$	mm
b_f	$= 100$	mm	r	$= 11$	mm
t_f	$= 9$	mm	f_u	$= 4100$	kg/cm^2
I_x	$= 1020$	cm^4	f_y	$= 2500$	kg/cm^2
I_y	$= 151$	cm^4	S_x	$= 138$	cm^3
t_w	$= 6$	mm	S_y	$= 30,10$	cm^3
i_x	$= 6,17$	cm	i_y	$= 2,37$	cm

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

Berat pelat bondek	=	10,10	kg/m ²
Berat pelat beton	= 0,10 x 2400	=	240 kg/m ²
Berat ducting & plumbing	=	25	kg/m ²
Berat plafon + penggantung	= 11 + 7	=	18 kg/m ²
Aspal 1 cm + Spesi 2 cm	= (1x14) + (2x21)	=	56 kg/m ²
		$q_D =$	349,10 kg/m ²
	$q_{\text{trap}} = q_D \times 2,40$	=	837,84 kg/m
	$q_{\text{ekv}} = \frac{1}{3} q_{\text{trap}} \times \{3 - (\frac{L_x}{L_y})^2\}$	=	737,30 kg/m
Berat Profil		=	21,10 kg/m
		$q_{\text{Dotot}} =$	758,40 kg/m

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020)

$$q_{L\text{trap}} = 2,40 \times 97,89 = 234,94 \text{ kg/m}$$

$$q_{L\text{ekv}} = \frac{1}{3} q_{\text{trap}} \times \{3 - (\frac{L_x}{L_y})^2\} = 206,75 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor

$$\begin{aligned} q_U &= 1.20 q_D + 1.60 q_L \quad (\text{menentukan}) \\ &= 1,20 \times 758,40 + 1,60 \times 206,75 = 1240,88 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Gaya Dalam Yang Bekerja Pada Balok

- Momen

$$M_U = \frac{1}{8} q_U L^2 = 0,13 \times 1240,88 \times 16 = 2481,76 \text{ Kgm}$$

- Gaya geser

$$V_U = \frac{1}{2} q_U L = 0,50 \times 1240,88 \times 4 = 2481,76 \text{ Kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{100}{18} \leq 0.38 \sqrt{200000/250}$$

$$5,56 \leq 10,75$$

OK

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{110}{6} \leq 3.76 \sqrt{200000/250}$$

$$18,33 \leq 106,35$$

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 153,04 \times 2500 \\ &= 382590 \text{ kgcm} \\ &= 3825,90 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar shear conector sesuai tabel perencanaan bondex sehingga $L_b = 20 \text{ cm}$.

Jarak penahan lateral (L_b) = 20 cm

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 2,37 \sqrt{800}$$

$$L_p = 117,98 \text{ cm}$$

Kondisi Balok plastis termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$ dengan M_n :

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 3825,90 \text{ kgm}$$

Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh. Maka demand capacity ratio balok adalah :

$$R = \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 = \frac{2481,76}{3443,31} \leq 1 = 0,72 \text{ OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{110}{6} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$18,33 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 6,60 \times 1 \\ &= 8910 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$V_u = 2481,76 \leq 8910 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot EI_x}$$

$$= \frac{5 \times (758,40 + 234,94 \times 10^{-2}) \times 400^4}{384 \times (2000000) \times 1020}$$

$$= 1,62 \quad \text{cm}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{400}{240} = 1,67 \quad \text{cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Maka profil IWF 150x100x6x9, dapat digunakan sebagai balok anak portal 1 – 2 pada pelat atap gedung.

b. Portal 2 – 3

Direncanakan Menggunakan IWF 300x150x6,5x9, dengan data

sebagai berikut :

$A = 46,78 \text{ cm}^2$	$Z_x = 522 \text{ cm}^3$
$W = 36,70 \text{ kg/m}$	$Z_y = 104 \text{ cm}^3$
$a = 300 \text{ mm}$	$h = 256 \text{ mm}$
$b_f = 150 \text{ mm}$	$r = 13 \text{ mm}$
$t_f = 9 \text{ mm}$	$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$
$I_x = 7210 \text{ cm}^4$	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$I_y = 508 \text{ cm}^4$	$S_x = 462 \text{ cm}^3$
$t_w = 6,50 \text{ mm}$	$S_y = 68 \text{ cm}^3$
$i_x = 12,40 \text{ cm}$	$i_y = 3,29 \text{ cm}$

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

Berat pelat bondek	=	10,10 kg/m ²
Berat pelat beton	= 0,10 x 2400	= 240 kg/m ²
Berat ducting & plumbing	=	25 kg/m ²
Berat plafon + penggantung	= 11 + 7	= 18 kg/m ²
Aspal 1 cm + Spesi 2 cm	= (1x14) + (2x21)	= 56 kg/m ²
	$q_D =$	349,10 kg/m ²
	$q_D \times 2,40 =$	837,84 kg/m
Berat Profil	=	36,70 kg/m
	$q_{Dtot} =$	874,54 kg/m

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020)

$$q_L = 2,40 \times 97,89 = 234,94 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor

$$\begin{aligned} q_U &= 1.20 q_D + 1.60 q_L \text{ (menentukan)} \\ &= 1,20 \times 874,54 + 1,60 \times 234,94 = 1425,36 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Gaya Dalam Yang Bekerja Pada Balok

- Momen

$$M_U = \frac{1}{8} q_U L^2 = 0,125 \times 1425,36 \times 36 = 6414,10 \text{ kgm}$$

- Gaya geser

$$V_U = \frac{1}{2} q_U L = 0,50 \times 1425,36 \times 6 = 4276,07 \text{ Kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

- Untuk Badan

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{150}{18} \leq 0.38 \sqrt{200000/250}$$

$$\frac{256}{6,5} \leq 3.76 \sqrt{200000/250}$$

$$8,33 \leq 10,75$$

$$39,38 \leq 106,35$$

OK

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 522 \times 2500 \\ &= 1305000 \text{ kgcm} \\ &= 13050 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar shear conector sesuai tabel perencanaan bondex sehingga $L_b = 20 \text{ cm}$.

Jarak penahan lateral (L_b) = 20 cm

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 3,29 \sqrt{800}$$

$$L_p = 163,78 \text{ cm}$$

Kondisi Balok plastis termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$ dengan M_n

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 13050 \text{ kgm}$$

Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh. Maka demand capacity ratio balok adalah :

$$R = \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 = \frac{6414,10}{11745} \leq 1 = 0,55 \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{256}{6,50} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$39,38 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 17 \times 1$$

$$= 22464 \text{ kg}$$

$$V_u = 4276,07 \leq 22464 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot EI_x}$$

$$= \frac{5 \times (874,54 + 234,94 \times 10^{-2}) \times 600^4}{384 \times (2000000) \times 7210}$$

$$= 1,30 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{600}{240} = 2,50 \text{ cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Maka profil IWF 300x150x6,5x9 dapat digunakan sebagai balok anak portal 2 – 3 pada pelat atap gedung.

4.3.2.2. Dimensi Balok Anak Lantai 2 - 6

a. Portal 1 – 2

Direncanakan menggunakan IWF 250x125x6x9, dengan data sebagai berikut :

A	$= 37,66 \text{ cm}^2$	Z_x	$= 352 \text{ cm}^3$
W	$= 29,60 \text{ kg/m}$	Z_y	$= 72 \text{ cm}^3$
a	$= 250 \text{ mm}$	h	$= 208 \text{ mm}$
b_f	$= 125 \text{ mm}$	r	$= 12 \text{ mm}$
t_f	$= 9 \text{ mm}$	f_u	$= 4100 \text{ kg/cm}^2$
I_x	$= 4050 \text{ cm}^4$	f_y	$= 2500 \text{ kg/cm}^2$
I_y	$= 294 \text{ cm}^4$	S_x	$= 311 \text{ cm}^3$
t_w	$= 6 \text{ mm}$	S_y	$= 47 \text{ cm}^3$
i_x	$= 10,40 \text{ cm}$	i_y	$= 2,79 \text{ cm}$

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

Berat pelat bondek	$=$	$10,10 \text{ kg/m}^2$
Berat pelat beton	$= 0,125 \times 2400$	$= 300 \text{ kg/m}^2$
Berat ducting & plumbing	$=$	25 kg/m^2
Berat plafon + penggantung	$= 11 + 7$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Tegel 2 cm + Spesi 2 cm	$= (2 \times 24) + (2 \times 21)$	$= 90 \text{ kg/m}^2$
	q_D	$= 443,10 \text{ kg/m}^2$

$$q_{\text{trap}} = q_D \times 2,40 = 1063,44 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{ekv}} = \frac{1}{3} q_{\text{trap}} \times \left\{ 3 - \left(\frac{I_x}{I_y} \right)^2 \right\} = 935,83 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Profil} = 29,60 \text{ kg/m}$$

$$q_{D_{\text{tot}}} = 965,43 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020)

$$q_{L_{\text{trap}}} = 2,40 \times 488,44 = 1172,26 \text{ kg/m}$$

$$q_{L_{\text{ekv}}} = \frac{1}{3} q_{\text{trap}} \times \left\{ 3 - \left(\frac{I_x}{I_y} \right)^2 \right\} = 1031,59 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor

$$q_U = 1.20 q_D + 1.60 q_L \quad (\text{menentukan})$$

$$= 1,20 \times 965,43 + 1,60 \times 1031,59 = 2809,06 \text{ kg/m}$$

2. Gaya dalam yang bekerja pada balok

- Momen

$$M_U = \frac{1}{8} q_U L^2 = 0,13 \times 2809,06 \times 16 = 5618,12 \text{ Kgm}$$

- Gaya geser

$$V_U = \frac{1}{2} q_U L = 0,50 \times 2809,06 \times 4 = 5618,12 \text{ Kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{125}{18} \leq 0.38 \sqrt{200000/250}$$

$$6,94 \leq 10,75$$

OK

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{208}{6} \leq 3.76 \sqrt{200000/250}$$

$$34,67 \leq 106,35$$

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 352,00 \times 2500 \\ &= 880000 \text{ kgcm} \\ &= 8800 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar shear conector sesuai tabel perencanaan bondex sehingga $L_b = 20 \text{ cm}$.

$$\text{Jarak penahan lateral } (L_b) = 20 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 2,79 \sqrt{800}$$

$$L_p = 138,89 \text{ cm}$$

Kondisi Balok plastis termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$ dengan M_n :

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 8800 \text{ kgm}$$

Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh. Maka demand capacity ratio balok adalah :

$$R = \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 = \frac{5618,12}{7920} \leq 1 = 0,71 \text{ OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2) :

$$V_n = 0,60 f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{208}{6} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$34,67 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0,60 f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 12,48 \times 1$$

$$= 16848 \text{ kg}$$

$$V_u = 5618,12 \leq 16848 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot E I_x}$$

$$= \frac{5 \times (965,43 + 1172,26 \times 10^{-2}) \times 400^4}{384 \times (2000000) \times 4050}$$

$$= 0,88 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{400}{240} = 1,67 \text{ cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Maka profil IWF 250x175x6x9 dapat digunakan sebagai balok anak portal 1 – 2 pada pelat lantai 2 - 6 gedung.

b. Portal 2 – 3

Direncanakan menggunakan IWF 350x175x7x11, dengan data sebagai berikut :

A	$= 63,14$	cm^2	Z_x	$= 841$	cm^3
W	$= 49,60$	kg/m	Z_y	$= 172$	cm^3
a	$= 350$	mm	h	$= 302$	mm
b_f	$= 175$	mm	r	$= 13$	mm
t_f	$= 11$	mm	f_u	$= 4100$	kg/cm^2
I_x	$= 13600$	cm^4	f_y	$= 2500$	kg/cm^2
I_y	$= 984$	cm^4	S_x	$= 777$	cm^3
t_w	$= 7$	mm	S_y	$= 112$	cm^3
i_x	$= 14,70$	cm	i_y	$= 3,95$	cm

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

Berat pelat bondek	$=$	$10,10$	kg/m^2	
Berat pelat beton	$= 0,125 \times 2400$	$=$	300	kg/m^2
Berat ducting & plumbing	$=$	25	kg/m^2	
Berat plafon + penggantung	$= 11 + 7$	$=$	18	kg/m^2
Tegel 2 cm + Spesi 2 cm	$= (2 \times 24) + (2 \times 21)$	$=$	90	kg/m^2
	q_D	$=$	$443,10$	kg/m^2
	$q_D \times 2,40$	$=$	$1063,44$	kg/m
Berat Profil	$=$	$49,60$	kg/m	
	$q_{D_{tot}}$	$=$	$1113,04$	kg/m

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020)

$$q_L = 2,40 \times 488,44 = 1172,26 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor

$$q_U = 1,20 q_D + 1,60 q_L \text{ (menentukan)}$$

$$= 1,20 \times 1113,04 + 1,60 \times 1172,26 = 3211,27 \text{ kg/m}$$

2. Gaya dalam yang bekerja pada balok

- Momen

$$M_U = \frac{1}{8} q_U L^2 = 0,125 \times 3211,27 \times 36 = 14450,72 \text{ kgm}$$

- Gaya geser

$$V_U = \frac{1}{2} q_U L = 0,50 \times 3211,27 \times 6 = 9633,81 \text{ Kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{175}{22} \leq 0,38 \sqrt{200000/250}$$

$$7,95 \leq 10,75$$

OK

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{302}{7} \leq 3,76 \sqrt{200000/250}$$

$$43,14 \leq 106,35$$

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 841 \times 2500 \\ &= 2102500 \text{ kgcm} \\ &= 21025 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar shear conector sesuai tabel perencanaan bondex sehingga $L_b = 20 \text{ cm}$.

Jarak penahan lateral (L_b) = 20 cm

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 3,95 \sqrt{800}$$

$$L_p = 196,63 \text{ cm}$$

Kondisi Balok plastis termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$ dengan M_n :

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 21025 \text{ kgm}$$

Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh. Maka demand capacity ratio balok adalah :

$$R = \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 = \frac{14450,72}{18923} \leq 1 = 0,76 \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{302}{7} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$43,14 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 21 \times 1$$

$$= 28539 \text{ kg}$$

$$V_u = 9633,81 \leq 28539 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot E I_x}$$

$$= \frac{5 \times (1113,04 + 1172,26 \times 10^{-2}) \times 600^4}{384 \times (2000000) \times 13600}$$

$$= 1,42 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{600}{240} = 2,50 \text{ cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Maka profil IWF 350x175x7x11 dapat digunakan sebagai balok

anak portal 2 – 3 pada pelat lantai 2 - 6 gedung.

4.3.3. Perencanaan Tangga

Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Bosowa direncanakan menggunakan tangga baja dengan data sebagai berikut:

Tinggi antar lantai	= 370 cm
Panjang bordes	= 300 cm
Lebar tangga	= 140 cm
Tinggi bordes	= 185 cm
Lebar injakan (i)	= 30 cm
Tinggi tanjakan (t)	= 16 cm
Panjang tangga	= 600 cm
Lebar pegangan tangga	= 20 cm

4.3.3.1. Perencanaan Jumlah Injakan Tangga

Persyaratan-persyaratan jumlah injakan tang

$$60 \text{ cm} < (2t + l) < 65 \text{ cm}$$

$$25^\circ < a < 40^\circ$$

Dimana : t = Tinggi injakan (cm)

l = Lebar injakan (cm)

a = Kemiringan tangga

Perhitungan jumlah injakan tangga

$$n = \frac{185}{16} = 11,56 \text{ buah}$$

Jumlah injakan = 12 buah

$$60 \text{ cm} < (2t + l) < 65 \text{ cm}$$

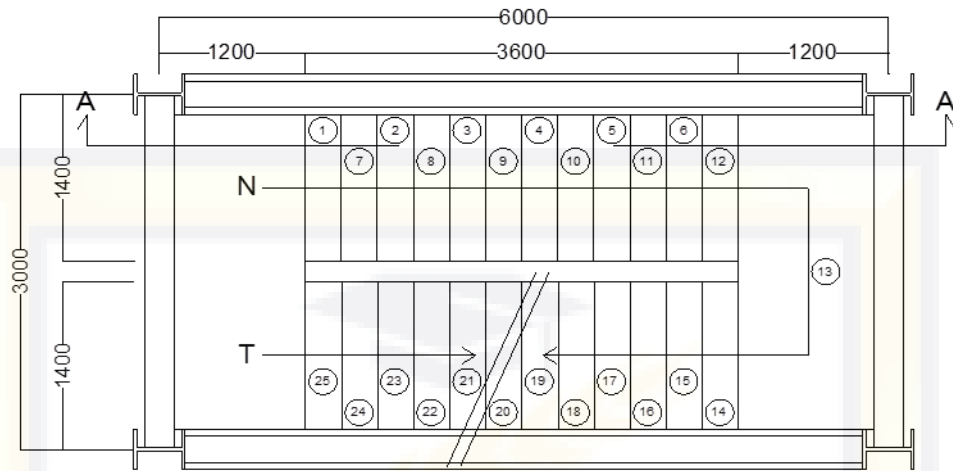
$$60 \text{ cm} < 62 < 65 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

$$\text{Lebar bordes} = \frac{600 - 360}{2} = 120 \text{ cm}$$

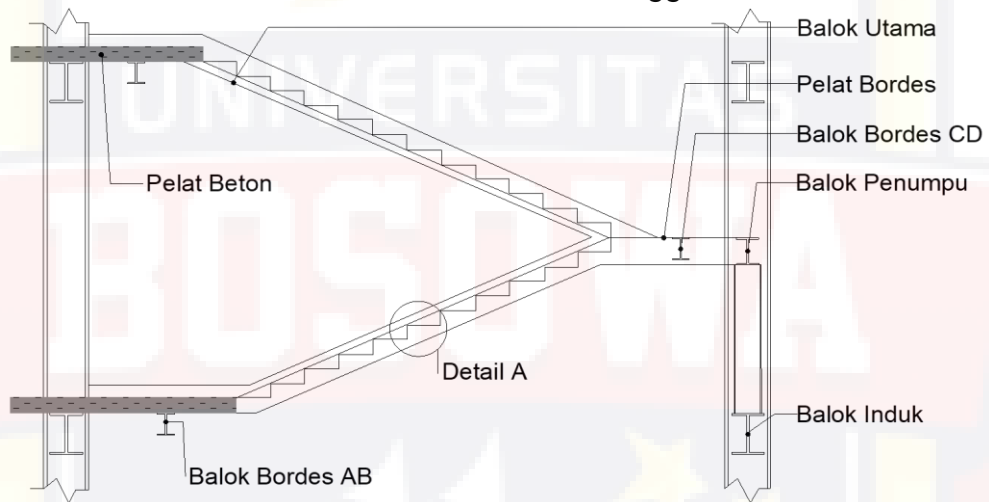
$$\text{Lebar tangga} = \frac{300 - 20}{2} = 140 \text{ cm}$$

$$a = 27^\circ = 0,47 \text{ rad}$$

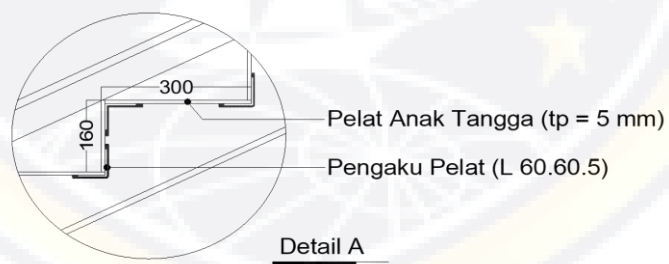
$$25^\circ < 27 < 40^\circ \quad \text{OK}$$



Gambar 4. 9: Denah Tangga

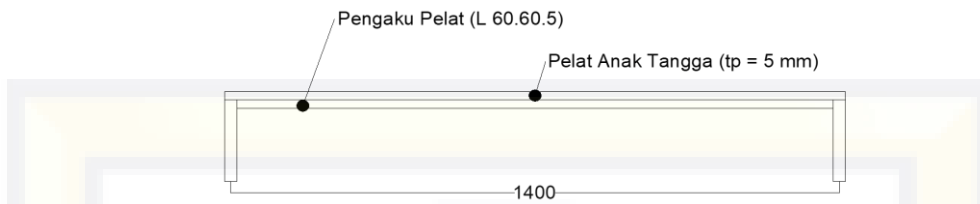


Gambar 4. 10: Potongan A-A Tangga



Gambar 4. 11: Tinggi dan Lebar Injakan Tangga

4.3.3.2. Perencanaan Tebal Pelat Anak Tangga



Gambar 4. 12: Pelat Anak Tangga

Tebal pelat tangga	=	5	mm
Berat jenis baja	=	7850	kg/m ³
Mutu baja BJ 41, f_y	=	2500	kg/m ²

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{Berat pelat} &= 0,005 \times 1,40 \times 7850 = 54,95 \text{ kg/m} \\ \text{Alat penyambung (10 \%)} &= \underline{5,50} \text{ kg/m} \\ q_D &= 60,45 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban Hidup

$$q_L = 488,44 \times 1,40 = 683,82 \text{ kg/m}$$

2. Perhitungan M_D dan M_L

$$\begin{aligned}M_D &= \frac{1}{8} q_D L^2 \\ &= 0,13 \times 60,45 \times 0,09 = 0,68 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_L &= \frac{1}{8} q_L L^2 \\ &= 0,13 \times 683,82 \times 0,09 = 7,69 \text{ kgm} \quad \text{Tidak Menentukan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_L &= \frac{1}{4} P_L \\ &= 0,25 \times 135,62 \times 0,30 = 10,17 \text{ kgm} \quad \text{Menentukan}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Kombinasi Pembebanan M_u

$$\begin{aligned}M_u &= 1,40 M_D \\ &= 1,40 \times 0,68 = 0,95 \text{ kgm} \quad \text{Tidak Menentukan}\end{aligned}$$

$$M_u = 1,20 M_D + 1,60 M_L$$

$$= 1,20 \times 0,68 + 1,60 \times 10,17 = 17,09 \text{ kgm} \quad \text{Menentukan}$$

4. Kontrol Momen Lentur

$$Z_x = \frac{1}{4}bh^2 = 0,25 \times 140 \times 0,25 = 8,75 \text{ cm}^3$$

$$\phi M_n = \phi Z_x \cdot f_y = 0,90 \times 8,75 \times 2500 = 19687,50 \text{ kg.cm}$$

$$\phi M_n = 196,88 \text{ kg.m}$$

$$\text{Syarat: } \phi M_n > M_u$$

$$196,88 \text{ kgm} > 17,09 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Lendutan

$$f = \frac{L}{360} = \frac{30}{360} = 0,08 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3$$

$$= 0,08 \times 140 \times 0,13 = 1,46 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 1,46 \text{ cm}^4$$

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot EI_x}$$

$$= \frac{5 \times (0,60 + 6,84) \times 810000}{384 \times 2000000 \times 1,46}$$

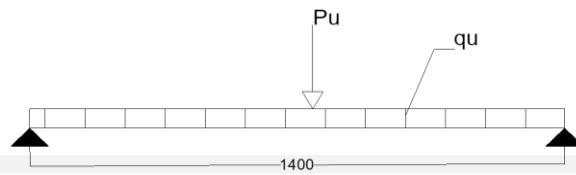
$$= 0,03 < 0,08 \quad \text{OK}$$

Digunakan Pelat Tangga dengan Tebal = 5 mm

4.3.3.3. Perencanaan Pengaku Pelat Anak Tangga

Direncanakan menggunakan profil siku 60x60x5, dengan data sebagai berikut :

$b = d = 60$	mm	$I_y = 31,20$	cm^4
$t_w = t_f = 5$	mm	$A = 5,80$	cm^2
$W = 4,55$	kg/m	$i_y = 2,32$	cm
$I_x = 31,20$	cm^4	$i_x = 2,32$	cm



Gambar 4. 13: Pembebanan Pengaku Anak Tangga

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (1/2 lebar injakan)

Berat pelat	=	0,15 x 0,005x 7850	=	5,89	kg/m
Berat baja siku	=	60 x 60x 5	=	4,55	kg/m
				10,44	kg/m
Alat penyambung (10 %)	=	1,04	kg/m		
				$Q_D = 11,48$	kg/m

Beban Hidup (1/2 lebar injakan)

Berdasarkan pasal 4.5.4 SNI2 1727-2020, Tangga tetap dengan anak tangga harus dirancang untuk menahan beban terpusat tunggal sebesar 300 lb (1,33 kN) yang diterapkan pada suatu titik untuk menghasilkan efek beban maksimum pada elemen yang sedang diperhitungkan. (4.5.4 SNI2 1727-2020) :

$$Q_L = 488,44 \times 0,15 = 73,27 \text{ kg/m}$$

$$P_L = 135,62 \text{ kg}$$

2. Perhitungan M_D dan M_L

$$M_D = \frac{1}{8} q_D l^2$$

$$= 0,13 \times 11,48 \times 1,40 = 2,81 \text{ kgm}$$

$$M_L = \frac{1}{8} q_L l^2 \quad \text{akibat beban merata}$$

$$= 0,13 \times 73,27 \times 1,40 = 17,95 \text{ kgm}$$

$$M_L = \frac{1}{8} q_L l^2 \quad \text{akibat beban merata}$$

$$= 0,13 \times 73,27 \times 1,40 = 17,95 \text{ kgm}$$

$$M_L = \frac{1}{4} P_L \quad \text{akibat beban terpusat}$$

$$= 0,25 \times 135,62 \times 1,40 = 47,47 \text{ kgm} \quad \text{Menentukan}$$

$$V_u = 1,20 (1/2 \times q_D \times L) + 1,60 (1/2 \times P \times 2)$$

$$= 1,20 \times (0,50 \times 11,48 \times 1,20) + 1,60 \times (0,50 \times 135,62 \times 2)$$

$$= 8,27 + 217$$

$$= 225,26 \text{ kg}$$

3. Perhitungan Kombinasi Pembebanan M_u

$$M_u = 1,40 M_D$$

$$= 1,40 \times 2,81 = 3,94 \text{ kgm} \quad \text{Tidak menentukan}$$

$$M_u = 1,20 M_D + 1,60 M_L$$

$$= 1,20 \times 2,81 + 1,60 \times 47,47 = 79,32 \text{ kgm} \quad \text{Menentukan}$$

4. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,54 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{60}{10} \leq 0,54 \times \sqrt{200000/250}$$

$$6 \leq 15,27 \quad \text{OK}$$

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

5. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\phi M_n = \phi Z_x \cdot f_y$$

$$= 0,90 \times 4,52 \times 2500$$

$$= 10170 \text{ kg.cm}$$

$$= 101,70 \text{ kgm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u$

$$\phi M_n = 101,70 > M_u = 79,32 \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v=1 ; K_v=5$$

$$\frac{55}{5} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$11 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka $C_v = 1$, Sehingga :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 6 \times 0,50 \times 1 \\ &= 4050 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$V_u = 225,26 \leq 4050 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} f_{\text{maks}} &= \frac{5 \cdot (qD) \cdot L^4}{384 \cdot E I_x} + \frac{PL^3}{24 \cdot E I_x} \\ &= \frac{5 \times (11,48 \times 10^{-2}) \times 140^4}{384 \times (2000000) \times 31,20} + \frac{135,62 \times 140^3}{24 \times (2000000) \times 31,20} \\ &= 0,01 + 0,25 \\ &= 0,26 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{140}{240} = 0,58 \quad \text{cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Profil siku 60x60x5 dapat digunakan sebagai pengaku pelat anak tangga

4.3.3.4. Perencanaan Pelat Bordes

$$\text{Tebal Pelat Bordes} = 10 \quad \text{mm}$$

$$\text{Berat Jenis Baja} = 7850 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Mutu baja BJ 41, } f_y = 2500 \quad \text{kg/m}^2$$

1. Perencanaan Pembebanan Pelat Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat pelat} = 0,01 \times 1,40 \times 7850 = 109,90 \text{ kg/m}$$

$$\text{Alat penyambung (10 \%)} = \underline{10,99} \text{ kg/m}$$

$$q_D = 120,89 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup

$$q_L = 488,44 \times 1,40 = 683,82 \text{ kg/m}$$

2. Perhitungan M_D dan M_L

$$M_D = \frac{1}{8} q_D L^2$$

$$= 0,13 \times 120,89 \times 1,40 = 29,62 \text{ kgm}$$

$$M_L = \frac{1}{8} q_L L^2$$

$$= 0,13 \times 683,82 \times 1,40 = 167,54 \text{ kgm}$$

3. Perhitungan Kombinasi Pembebanan M_U

$$M_u = 1,40 M_D$$

$$= 1,40 \times 29,62 = 41,47 \text{ kgm} \quad \text{Tidak Menentukan}$$

$$M_u = 1,20 M_D + 1,60 M_L$$

$$= 1,20 \times 29,62 + 1,60 \times 167,54$$

$$= 303,60 \text{ kgm} \quad \text{Menentukan}$$

4. Kontrol Momen Lentur

$$Z_x = \frac{1}{4} b h^2 = 0,25 \times 140 \times 1 = 35 \text{ cm}^3$$

$$\phi M_n = \phi Z_x \cdot f_y$$

$$= 0,90 \times 35 \times 2500 = 78750 \text{ kg.cm}$$

$$= 787,50 \text{ kg.m}$$

$$\text{Syarat : } \phi M_n > M_u$$

$$787,50 \text{ kgm} > 303,60 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Lendutan

$$f = \frac{L}{240} = \frac{70}{240} = 0,29$$

$$I_x = \frac{1}{12} bh^3 = 0,08 \times 70 \times 1 = 5,83 \text{ cm}^4$$

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot EI_x}$$

$$= \frac{5 \times (1,21 \times 6,84) \times 70^4}{384 \times 2000000 \times 5,83}$$

$$= 0,01 < 0,29 \quad \text{OK}$$

Digunakan Pelat Bordes dengan Tebal = 10 mm

4.3.3.5. Perencanaan Balok Bordes

a. Balok Bordes AB

Direncanakan menggunakan profil IWF 100x50x4,5x6,8 dengan

data sebagai berikut :

A	=	10,60	cm ²	Z _x	=	40,10	cm ³
W	=	8,32	kg/m	Z _y	=	8,94	cm ³
a	=	100	mm	h	=	77,40	mm
b _f	=	50	mm	r	=	4,50	mm
t _f	=	6,80	mm	f _u	=	3700	kg/cm ²
I _x	=	171	cm ⁴	f _y	=	2500	kg/cm ²
I _y	=	12	cm ⁴	S _x	=	34	cm ³
t _w	=	4,50	mm	S _y	=	5	cm ³
i _x	=	4,02	cm	i _y	=	1,07	cm

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

- Berat pelat bondek = 10,10 x 0,60 = 6,06 kg/m
- Berat pelat beton = 2400 x 0,125 x 0,60 = 180 kg/m
- Berat profil = 8,32 kg/m
- = 194,38 kg/m
- Berat sambungan dan lain-lain 10% = 19,44 kg/m
- q_D = 213,82 kg/m

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

$$q_L = 0,60 \times 488,44 = 293,07 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor

$$q_u = 1.20 q_D + 1.60 q_L \quad (\text{menentukan})$$
$$= (1,20 \times 213,82) + (1,60 \times 293,07) = 725,49 \text{ kg/m}$$

2. Gaya Dalam Yang Bekerja Pada Balok

- Momen

$$M_u = \frac{1}{8} q_u L^2 = 0,13 \times 725,49 \times 1,96 = 177,74 \text{ kgm}$$

- Gaya geser

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L = 0,50 \times 725,49 \times 1,40 = 507,84 \text{ kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{50}{13,60} \leq 0,38 \sqrt{200000/250}$$

$$3,68 \leq 10,75 \quad \text{OK}$$

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{77,40}{4,50} \leq 3,76 \sqrt{200000/2}$$

$$17,20 \leq 106,35 \quad \text{OK}$$

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8

Penampang Kompak :

$$M_n = M_p$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 40,10 \times 2500$$

$$= 100250 \text{ kgcm}$$

$$= 1002,50 \text{ kgm}$$

Cek Kemampuan Penampang

Syarat : $\phi M_n > M_u$

$$\phi M_n = 0,90 \times 1002,50$$

$$= 902,25 > 177,74 \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v=1 ; K_v= 5$$

$$\frac{77,40}{4,50} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$17,20 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 3,48 \times 1$$

$$= 4702,05 \quad \text{kg}$$

$$V_u = 507,84 \leq 4702,05 \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Lendutan

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot EI_x}$$

$$= \frac{5 \times (213,82 \times 293,07 \times 10^2 \times 140^4)}{384 \times 2000000 \times 171}$$

$$= 0,07 \quad \text{cm}$$

$$f = \frac{L}{360} = \frac{140}{360} = 0,39 \quad \text{cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Profil IWF 100x50x4,5x6,8 dapat digunakan sebagai balok bordes

AB pada tangga gedung

b. Balok Bordes CD

Direncanakan menggunakan profil IWF 100x50x4,5x6,8 dengan data sebagai berikut :

$A = 10,60 \text{ cm}^2$	$Z_x = 40,10 \text{ cm}^3$
$W = 8,32 \text{ kg/m}$	$Z_y = 8,94 \text{ cm}^3$
$a = 100 \text{ mm}$	$h = 77,40 \text{ mm}$
$b_f = 50 \text{ mm}$	$r = 4,50 \text{ mm}$
$t_f = 6,80 \text{ mm}$	$f_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$
$I_x = 171 \text{ cm}^4$	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$I_y = 12 \text{ cm}^4$	$S_x = 34 \text{ cm}^3$
$t_w = 4,50 \text{ mm}$	$S_y = 5 \text{ cm}^3$
$i_x = 4 \text{ cm}$	$i_y = 1,07 \text{ cm}$

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

$$\text{Berat pelat} = 0,01 \times 0,60 \times 7850 = 47,10 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat profil} = \underline{8,32} \text{ kg/m}$$

$$= 55,42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat sambungan \& lain-lain 10\%} = \underline{5,54} \text{ kg/m}$$

$$q_D = 60,96 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

$$q_L = 0,60 \times 488,44 = 293,07 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor

$$q_U = 1.20 q_D + 1.60 q_L$$

$$= (1,20 \times 60,96) + (1,60 \times 293,07) = 542,06 \text{ kg/m}$$

2. Gaya Dalam Yang Bekerja Pada Balok

- Momen

$$M_U = \frac{1}{8} q_U L^2 = 0,13 \times 542,06 \times 1,96 = 132,80 \text{ kgm}$$

- Gaya geser

$$V_U = \frac{1}{2} q_U L = 0,50 \times 542,06 \times 1,40 = 379,44 \text{ kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

- Untuk Badan

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{50}{13,60} \leq 0,38 \sqrt{200000/250}$$

$$\frac{77,40}{4,50} \leq 3,76 \sqrt{200000/250}$$

$$3,68 \leq 10,75 \quad \text{OK}$$

$$17,20 \leq 106,35 \quad \text{OK}$$

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$M_n = M_p$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 40,10 \times 2500$$

$$= 100250 \quad \text{kgcm}$$

$$= 1002,50 \quad \text{kgm}$$

Cek Kemampuan Penampang

Syarat : $\phi M_n > M_u$

$$\phi M_n = 0,90 \times 1002,50$$

$$= 902,25 > 132,80 \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{77,40}{4,50} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$17,20 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 3,48 \times 1$$

$$= 4702,05 \quad \text{kg}$$

$$V_u = 379,44 \leq 4702,05 \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Lendutan

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot (qD + qL) \cdot L^4}{384 \cdot EI_x}$$
$$= \frac{5 \times (60,962 + 293,07 \times 10^{-2}) \times 140^4}{384 \times (2000000 \times 171)}$$
$$= 0,05 \text{ cm}$$
$$f = \frac{L}{360} = \frac{140}{360} = 0,39 \text{ cm}$$
$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Profil IWF 100x50x4,5x6,8 dapat digunakan sebagai balok bordes CD pada tangga gedung

4.3.3.6. Perhitungan Balok Utama Tangga

Direncanakan Menggunakan profil IWF 250x125x6x9 dengan data sebagai berikut :

A	=	37,66	cm ²	Z _x	=	352	cm ³
W	=	29,56	kg/m	Z _y	=	72	cm ³
a	=	250	mm	h	=	208	mm
b _f	=	125	mm	r	=	12	mm
t _f	=	9	mm	f _u	=	4100	kg/cm ²
I _x	=	4050	cm ⁴	f _y	=	2500	kg/cm ²
I _y	=	294	cm ⁴	S _x	=	311	cm ³
t _w	=	6	mm	S _y	=	47	cm ³
i _x	=	10,40	cm	i _y	=	2,79	cm

1. Perencanaan Pembebanan

- Pembebanan Balok AB

Beban Mati Anak Tangga (D)

$$\text{Berat pelat bondek} = 10,10 \times 1,40 = 14,14 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pelat beton} = 2400 \times 1,40 \times 0,125 = 420 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat profil WF 250 x 125} &= \underline{29,56} \text{ kg/m} \\
 &= 463,70 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat alat penyambung 10\%} &= \underline{46,37} \text{ kg/m} \\
 q_D &= 510,07 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

$$q_L = 488,44 \times (1,40/2) = 341,91 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 q_{1 \text{ tot}} &= 1.20 q_D + 1.60 q_L \\
 &= (1,20 \times 510,07) + (1,60 \times 341,91) = 1159,14 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban terpusat akibat balok bordes

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{1}{2} q_{\text{balAB}} \times L \\
 &= 0,50 \times 8,32 \times 3 \\
 &= 12,48 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Pembebanan Balok BC

Beban Mati Anak Tangga (D)

$$\text{Berat pelat} = 0,005 \times (1,40/2) \times 7850 = 27,48 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat profil siku 60 x 60} = 4,55 \times (1,40/3,60) = 1,77 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat profil WF 250 x 125} = \underline{29,56} \text{ kg/m}$$

$$= 58,80 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat sambungan 10\%} = \underline{5,88} \text{ kg/m}$$

$$q_D = 64,68 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

$$q_L = 488,44 \times (1,40/2) = 341,91 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 q_{2 \text{ tot}} &= 1.20 q_D + 1.60 q_L \\
 &= 1,20 \times 64,68 + 1,60 \times 341,91 = 624,68 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

c. Pembebanan Balok CD

Beban Mati Anak Tangga (D)

$$\text{Berat pelat} = 0,01 \times (1,40/2) \times 7850 = 54,95 \text{ kg/m}$$

Berat profil WF 250 x 125	= 29,56 kg/m
	= 84,51 kg/m
Berat sambungan 10%	= 8,45 kg/m
	$q_D = 92,96$ kg/m

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

$$q_L = 488,44 \times (1,40/2) = 341,91 \text{ kg/m}$$

$$q_{3 \text{ tot}} = 1,20 q_D + 1,60 q_L$$

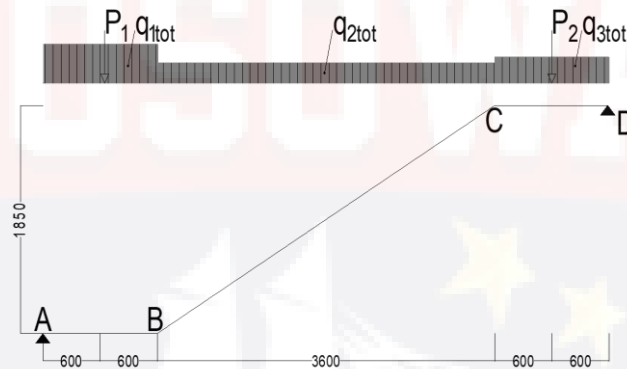
$$= (1,20 \times 92,96) + (1,60 \times 341,91) = 658,61 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat akibat balok bordes

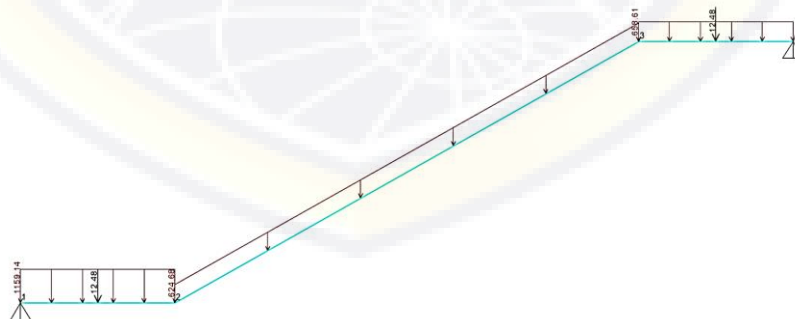
$$P_2 = \frac{1}{2} q_{\text{balCD}} \times L$$

$$= 0,50 \times 8,32 \times 3$$

$$= 12,48 \text{ kg/m}$$



Gambar 4. 14: Pembebanan Balok Utama Tangga

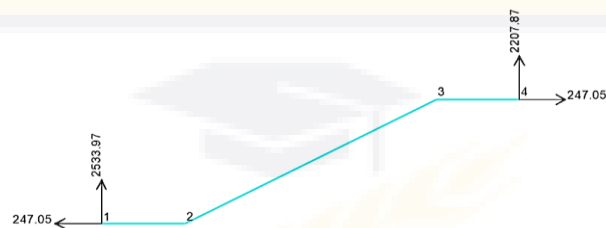


Gambar 4. 15: Pembebanan Balok Utama Tangga (SAP2000)

2. Gaya Dalam Yang Bekerja Pada Balok

Dari hasil analisis menggunakan bantuan program ETABS didapatkan data :

Reaksi Perletakan



Gambar 4. 16: Reaksi Perletakan

$$\Sigma MA = 0$$

$$\Sigma H = 0$$

$$RDV = 2207,87 \text{ kg}$$

$$RAH = 247,05 \text{ kg}$$

$$\Sigma MD = 0$$

$$RDH = 247,05 \text{ kg}$$

$$RAV = 2533,97 \text{ kg}$$

Kontrol

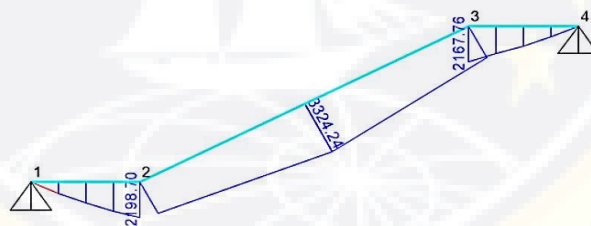
$$\Sigma V = 0$$

$$= RD + RA - (q_{1tot} \times 1,20) - P_1 - (q_{2tot} \times 4,06) - (q_{3tot} \times 1,20) - P_2$$

$$= 2207,87 + 2533,97 - (1390,97 - 12,48 - 2535,57 - 790,33 - 12,48)$$

$$= 0 \quad \text{OK}$$

Bidang Momen (M)



Gambar 4. 17: Bidang Momen (M3)

$$MA = 0 \quad \text{kg.m}$$

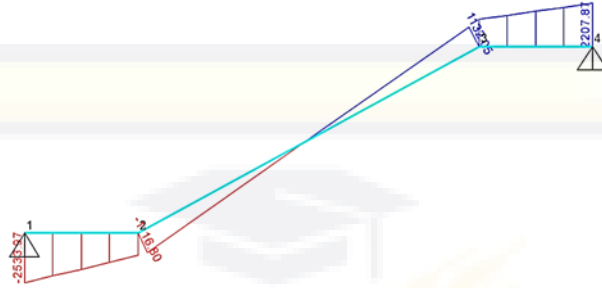
$$MB = 2198,70 \quad \text{kg.m}$$

$$MC = 2167,76 \quad \text{kg.m}$$

$$MD = 0 \quad \text{kg.m}$$

$$M_{max} = 3324,24 \quad \text{kg.m}$$

Bidang Lintang (D)



Gambar 4. 18: Bidang Lintang (V2)

$$DA = -2533,97 \text{ kg}$$

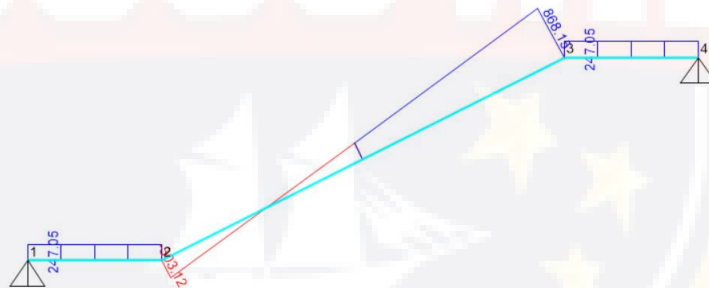
$$DB = -1130,53 \text{ kg}$$

$$DC = 1132,05 \text{ kg}$$

$$DD = 2207,87 \text{ kg}$$

$$D_{\max} = V_u = 2533,97 \text{ kg}$$

Bidang Normal (N)



Gambar 4. 19: Bidang Normal (Axial P)

$$NA = 247,05 \text{ kg}$$

$$NB_{\text{kiri}} = 247,05 \text{ kg}$$

$$NB_{\text{kanan}} = -303,12 \text{ kg}$$

$$NC_{\text{kiri}} = 868,15 \text{ kg}$$

$$NC_{\text{kanan}} = 247,05 \text{ kg}$$

$$ND = 247,05 \text{ kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{125}{18} \leq 0.38 \sqrt{200000/250}$$

$$6,94 \leq 10,75 \quad \text{OK}$$

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{208}{6} \leq 3.76 \sqrt{200000/250}$$

$$34,67 \leq 106,35 \quad \text{OK}$$

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 352 \times 2500 \\ &= 880000 \quad \text{kgcm} \\ &= 8800 \quad \text{kgm} \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u = M_{\max} \\ \phi M_n &= 0,90 \times 8800 \\ &= 7920 > 3324,24 \quad \text{kgm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

5. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar pengaku pelat anak tangga yang dianggap sebagai shear connector

Jarak penahan lateral (L_b) = 34 cm

$$\begin{aligned} L_b &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ &= \sqrt{30^2 + 16^2} \\ &= 34 \quad \text{cm} \quad (\text{Pengaku anak tangga}) \end{aligned}$$

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 2,79 \sqrt{800}$$

$$L_p = 139 \quad \text{cm}$$

Kondisi balok plastis termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$ dengan M_n

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 8800 \text{ kgm}$$

Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh. Maka demand capacity ratio balok adalah :

$$R = \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 = \frac{3324,24}{7920} \leq 1 = 0,42 \text{ OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{208}{6} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$34,67 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

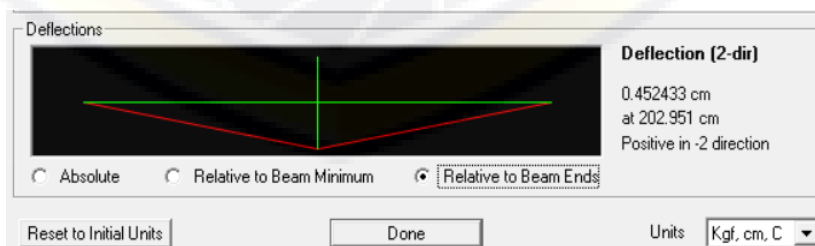
$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 12,48 \times 1$$

$$= 16848 \text{ kg}$$

$$V_u = 2533,97 \leq 16848 \text{ OK}$$

7. Kontrol Lendutan



Gambar 4. 20: Lendutan Balok Utama Tangga

$$f_{\text{maks}} = 0,45 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{405,90}{240} = 1,69 \text{ cm}$$

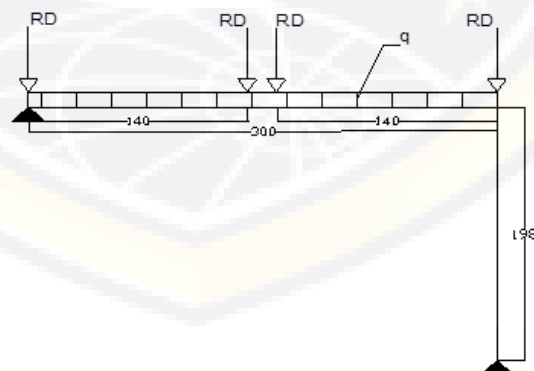
$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Profil IWF 250x125x6x9 dapat digunakan sebagai balok utama tangga pada gedung.

4.3.3.7. Perencanaan Balok Penumpu Tangga

Direncanakan menggunakan memakai profil IWF 250x125x6x9 data sebagai berikut :

A	=	38	cm ²	Z _x	=	352	cm ³
W	=	29,60	kg/m	Z _y	=	72	cm ³
a	=	250	mm	h	=	208	mm
b _f	=	125	mm	r	=	12	mm
t _f	=	9	mm	f _u	=	4100	kg/cm ²
I _x	=	4050	cm ⁴	f _y	=	2500	kg/cm ²
I _y	=	294	cm ⁴	S _x	=	311	cm ³
t _w	=	6	mm	S _y	=	47	cm ³
i _x	=	10,40	cm	i _y	=	2,79	cm



Gambar 4. 21: Pembebanan Balok Penumpu Tangga

1. Perencanaan Pembebanan

Beban merata (q)

$$\text{Beban dinding} = (3,96/2) \times 250 = 495 \text{ kg/m}$$

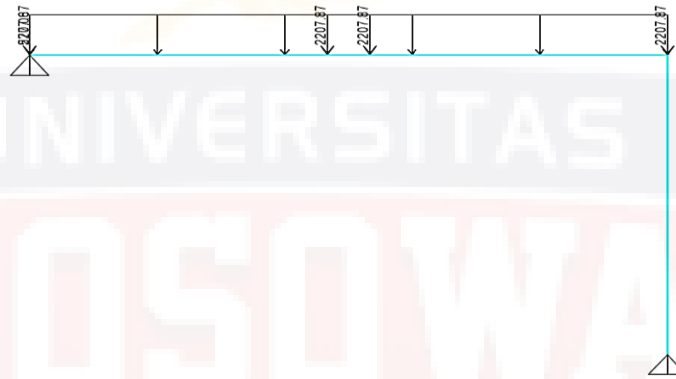
$$\text{Berat profil} = 29,60 \text{ kg/m}$$

$$= 524,60 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat sambungan } 10\% = 52,46 \text{ kg/m}$$

$$q_D = 577,06 \text{ kg/m}$$

$$RD = 2207,87 \text{ kg}$$



Gambar 4. 22: Pembebanan Balok Penumpu Tangga (SAP2000)

Reaksi Perletakan

$$\Sigma MA = 0$$

$$RBV = 5281,33 \text{ kg}$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAV = 5281,33 \text{ kg}$$

Kontrol

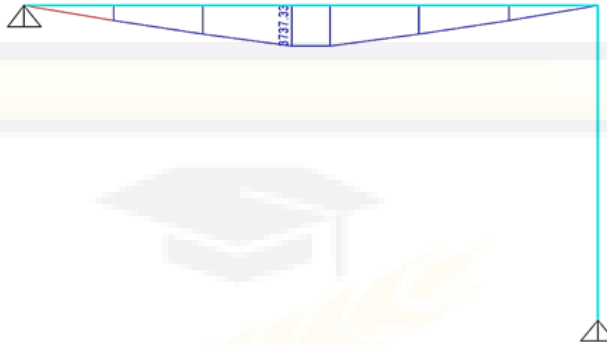
$$\Sigma V = 0$$

$$= RBV + RAV - (q_D \times 3) - P1 - P2 - P3 - P4$$

$$= 5281,33 + 5281,33 - 1731,18 - 2207,87 - 2207,87 - 2207,87$$

$$= 0 \text{ OK}$$

Bidang Momen



Gambar 4. 23: Bidang Momen (M3)

$$M_{\max} = 3733,33 \text{ kg.m}$$

Bidang Lintang



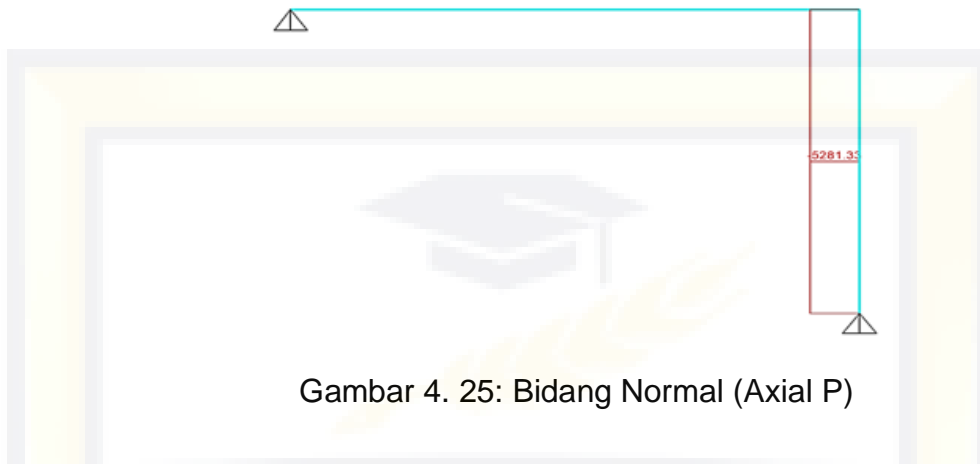
Gambar 4. 24: Gaya Geser (V2)

$$DA = -3073,46 \text{ kg}$$

$$DB = 5281,33 \text{ kg}$$

$$D_{\max} = V_u = 5281,33 \text{ kg}$$

Bidang Normal (N)



Gambar 4. 25: Bidang Normal (Axial P)

$$N_A = 0 \text{ kg}$$

$$N_B = 0 \text{ kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{125}{18} \leq 0.38 \sqrt{200000/250}$$

$$6,94 \leq 10,75 \quad \text{OK}$$

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{208}{6} \leq 3.76 \sqrt{200000/250}$$

$$34,67 \leq 106,35 \quad \text{OK}$$

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 352 \times 2500$$

$$= 880000 \text{ kgcm}$$

$$= 8800 \text{ kgm}$$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 8800$$

$$= 7920 \geq 3733,33 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar Balok Utama tangga yang dianggap sebagai shear connector.

Jarak penahan lateral (L_b) = 140 cm

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis, L_p

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 2,79 \sqrt{800}$$

$$L_p = 139 \text{ cm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral, L_r

$$L_r = 447 \text{ cm (Steel Beam Design)}$$

Kondisi balok inelastis termasuk dalam bentang menengah $L_p < L_b < L_r$ dengan M_n :

$$M_n = C_b \left\{ M_p - (M_p - 0,75 S_x f_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right\} \leq M_p$$

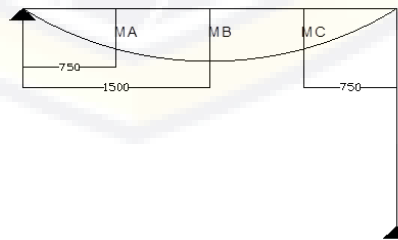
Data hasil analisis SAP2000 :

$$M_A = 2127,81 \text{ kg.m}$$

$$M_B = 3737,33 \text{ kg.m}$$

$$M_C = 2127,81 \text{ kg.m}$$

$$M_{\max} = 3737,33 \text{ kg.m}$$



Gambar 4. 26: Posisi MA, MB, MC Balok Penumpu Tangga

$$C_b = \frac{12.50 M_{max}}{2.50 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2.27$$

$$C_b = \frac{46716,63}{9343,33 + 6383,43 + 14949,32 + 6383,43} = 1,26 \leq 2,27 \quad \text{OK}$$

$$M_n = 1,26 \left\{ 880000 - \left(880000 - 0,75 \times 311 \times 2500 \right) \times \frac{140 - 138,89}{447 - 138,89} \right\}$$

$$= 1,26 \left\{ 880000 - \left(880000 - 583125 \right) \times 0,004 \right\}$$

$$= 1107962,31 \quad \text{kg.cm}$$

$$= 11079,62 \quad \text{kg.m}$$

$$M_n > M_p$$

Maka momen nominal yang digunakan adalah, $M_n = 11079,62 \text{ kg.m}$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 11079,62$$

$$= 9971,66 \geq 3733,33 \quad \text{kg.m} \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60 f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{208}{6} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$34,67 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

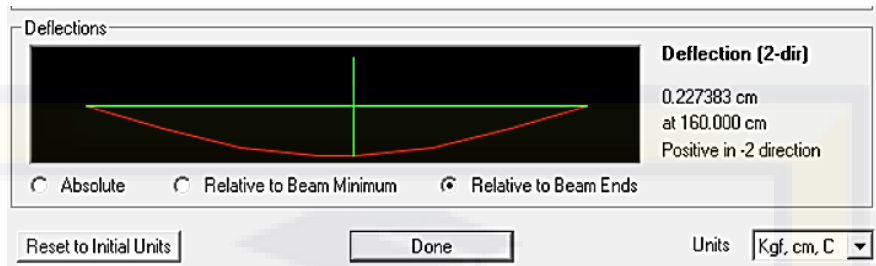
$$\phi V_n = \phi 0,60 f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 12,48 \times 1$$

$$= 16848 \quad \text{kg}$$

$$V_u = 5281,33 \leq 16848 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan



Gambar 4. 27: Lendutan Balok Penumpu Tangga

$$f_{\text{maks}} = 0,23 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{240} = \frac{300}{240} = 1,25 \text{ cm}$$

$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

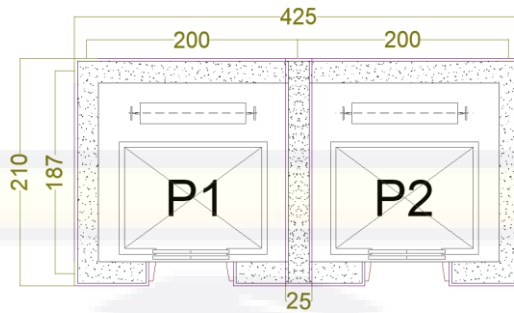
Profil IWF 250x125x6x9 dapat digunakan sebagai balok penumpu tangga.

4.3.4. Perencanaan Balok Lift

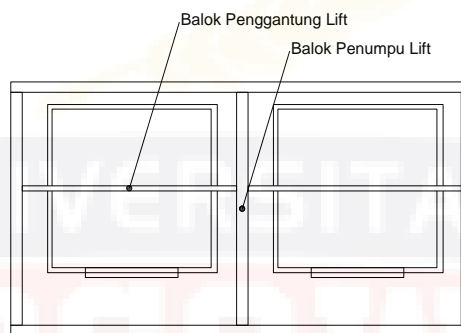
Perencanaan balok penggantung lift meliputi balok-balok yang berkaitan dengan ruang mesin lift yaitu terdiri dari balok penggantung dan balok penumpu. Pada bangunan ini direncanakan menggunakan lift dengan data sebagai berikut :

- Tipe lift = *Passenger Elevator*
- Merek = *Duplex*
- Kapasitas = 13 Orang / 900 kg
- Lebar pintu = 900 mm
- Dimensi sangkar
 - outside = 1650 x 1665 mm²
 - inside = 1600 x 1500 mm²
- Dimensi ruang luncur 2 car = 4300 x 2150 mm²
- Beban reaksi ruang mesin
 - R1 = 6150 kg
 - R2 = 4600 kg

*dimana R1 = Berat mesin penggerak + Beban kereta + Perlengkapan
 R2 = Berat mesin penggerak + Beban kereta



Gambar 4. 28: Denah Lift



Gambar 4. 29: Denah Balok Lift

4.3.4.1. Perencanaan Balok Penggantung Lift

Direncanakan menggunakan profil IWF 300x150x6,5x9 dengan data sebagai berikut :

A	$= 46,78$	cm^2	Z_x	$= 522$	cm^3
W	$= 36,70$	kg/m	Z_y	$= 104$	cm^3
a	$= 300$	mm	h	$= 256$	mm
b_f	$= 150$	mm	r	$= 13$	mm
t_f	$= 9$	mm	f_u	$= 4100$	kg/cm^2
I_x	$= 7210$	cm^4	f_y	$= 2500$	kg/cm^2
I_y	$= 508$	cm^4	S_x	$= 462$	cm^3
t_w	$= 6,50$	mm	S_y	$= 68$	cm^3
i_x	$= 12,40$	cm	i_y	$= 3,29$	cm

1. Perencanaan Pembebanan

Beban Mati (D)

$$\text{Berat pelat bondex} = 10,10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pelat beton} = 0,10 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Aspal 1 cm} = 1 \times 14 = \underline{14} \text{ kg/m}^2$$

$$q_D = 264,10 \text{ kg/m}^2$$

$$264,10 \times 2 = 528,20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Profil} = \underline{36,70} \text{ kg/m}$$

$$q_{D_{tot}} = 564,90 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

Digunakan beban hidup untuk maintenance

$$\text{Beban hidup terpusat (P)} = 100 \text{ kg}$$

Beban terfaktor

$$q_U = 1.20 q_D + 1.60 q_L$$

$$= 1,20 \times 564,90 + 1,60 \times 100 = 837,88 \text{ kg/m}$$

Pada pasal 4.6 Beban Impak SNI2 1727:2020 (Peraturan

Pembebanan Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain)

menyatakan bahwa semua beban elevator harus ditingkatkan 50%

untuk mesin yang bergerak maju dan mundur atau unit tenaga

driven, Semua persentase harus meningkat bila disyaratkan oleh

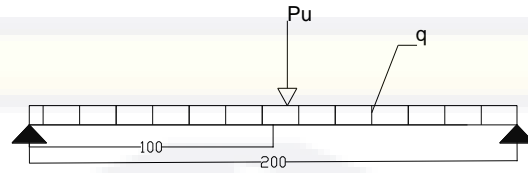
produsen.

$$P_{u1} = R1 + (R1 \times 50\%) = 9225 \text{ kg}$$

$$P_{u2} = R2 + (R2 \times 50\%) = 6900 \text{ kg}$$

Digunakan beban P_u terbesar 9225 kg

2. Gaya dalam yang bekerja pada balok



Gambar 4. 30: Pembebanan Balok Penggantung Lift

Reaksi Perletakan

ETABS

Manual

$$\Sigma MA = 0$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$RBV = 5450,38 \text{ kg}$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAV = 5450,38 \text{ kg}$$

$$RBV = RAV = \frac{1}{2} qU.L + \frac{1}{2} P$$

$$= 5450,38 \text{ kg}$$



Gambar 4. 31: Reaksi Perletakan

Kontrol

$$\Sigma V = 0$$

$$= RBV + RVA - (q_D \times 2) - P_u$$

$$= 5450,38 + 5450,38 - 1675,76 - 9225$$

$$= 0 \quad \mathbf{OK}$$

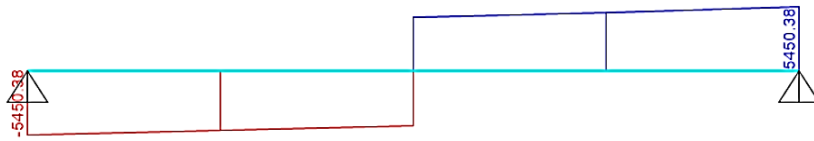
Momen Maksimum



Gambar 4. 32: Momen (M3)

$$M_{\max} = 5031,44 \text{ kg.m}$$

Gaya Geser



Gambar 4. 33: Gaya Geser (V2)

$$DA = -5450,4 \text{ kg}$$

$$DB = 5450,38 \text{ kg}$$

$$D_{\max} = V_u = 5450,38 \text{ kg}$$

Bidang Normal (N)



Gambar 4. 34: Bidang Normal (Axial P)

$$NA = 0 \text{ kg}$$

$$NB = 0 \text{ kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

- Untuk Badan

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,38 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{150}{18} \leq 0,38 \times \sqrt{200000/250}$$

$$\frac{256}{6,50} \leq 3,76 \times \sqrt{200000/250}$$

$$8,33 \leq 10,75$$

$$39,38 \leq 106,35$$

OK

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 522 \times 2500$$

$$= 1305000 \text{ kgcm}$$

$$= 13050 \text{ kgm}$$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n > M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 13050$$

$$= 11745 > 5031,44 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak ujung antar Balok Penggantung

Lift yang dianggap sebagai shear conector

Jarak penahan lateral (L_b) = 200 cm

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis (L_p)

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 3,29 \sqrt{800}$$

$$L_p = 163,78 \text{ cm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral, L_r

$$L_r = 489 \text{ cm (Steel Beam Design)}$$

Kondisi Balok inelastis termasuk dalam bentang menengah $L_p < L_b <$

L_r dengan M_n :

$$M_n = C_b \{ M_p - (M_p - 0,75 S_x f_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \} \leq M_p$$

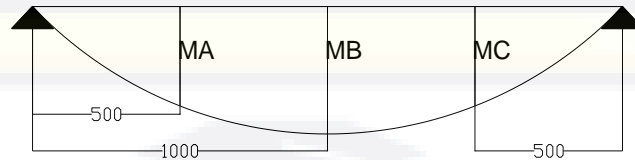
Data hasil analisis SAP2000 :

$$MA = 2620,46 \text{ kg.m}$$

$$MB = 5031,44 \text{ kg.m}$$

$$MC = 2620,46 \text{ kg.m}$$

$$M_{\max} = 5031,44 \text{ kg.m}$$



Gambar 4. 35: Posisi MA,MB,MC Balok Penggantung Tangga

$$C_b = \frac{12.50 M_{max}}{2.50 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2.27$$

$$C_b = \frac{62893}{12578,60 + 7861,38 + 20125,76 + 7861,38} = 1,30 \leq 2,27 \quad \text{OK}$$

$$M_n = 1,30 \left\{ 1305000 - (1305000 - 0,75 \times 462 \times 2500) \times \frac{200 - 163,78}{498 - 163,78} \right\}$$

$$= 1,30 \{ 1305000 - (1305000 - 866250) \times 0,11 \}$$

$$= 1633067 \text{ kg.cm}$$

$$= 16330,7 \text{ kg.m}$$

$$M_n > M_p$$

Maka momen nominal yang digunakan adalah, $M_n = 16330,67 \text{ kg.m}$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 16330,67$$

$$= 14697,60 \geq 5031,44 \text{ kg.m} \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{256}{6,50} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$39,38 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

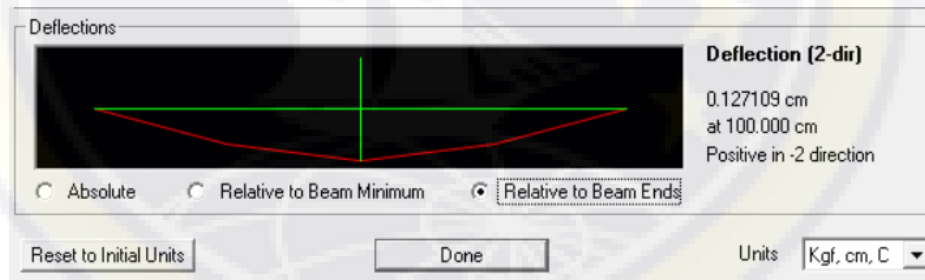
$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 16,64 \times 1$$

$$= 22464 \text{ kg}$$

$$V_u = 5450,38 \leq 22464 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan



Gambar 4. 36: Lendutan Balok Pengantung Lift

$$f_{\text{maks}} = 0,13 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{360} = \frac{200}{360} = 0,56 \text{ cm}$$

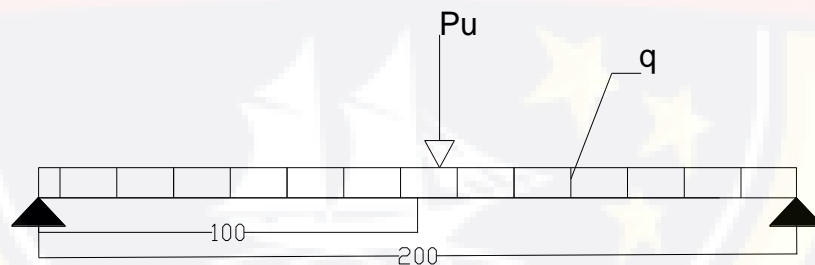
$$f_{\text{maks}} < f \quad \text{OK}$$

Profil IWF 300x150x6,5x9 dapat digunakan sebagai balok penggantung lift.

4.3.4.2. Perencanaan Balok Penumpu Lift

Direncanakan menggunakan profil IWF 300x150x6,5x9 dengan data sebagai berikut :

A	$= 46,78$	cm^2	Z_x	$= 522$	cm^3
W	$= 36,70$	kg/m	Z_y	$= 104$	cm^3
a	$= 300$	mm	h	$= 256$	mm
b_f	$= 150$	mm	r	$= 13$	mm
t_f	$= 9$	mm	f_u	$= 4100$	kg/cm^2
I_x	$= 7210$	cm^4	f_y	$= 2500$	kg/cm^2
I_y	$= 508$	cm^4	S_x	$= 462$	cm^3
t_w	$= 6,50$	mm	S_y	$= 68$	cm^3
i_x	$= 12,40$	cm	i_y	$= 3,29$	cm



Gambar 4. 37: Pembebanan Balok Penumpu Lift

1. Perencanaan Pembebanan

Beban merata (q)

Berat Profil = 36,70 kg/m

Berat alat penyambung 10% = 3,67 kg/m

$q_D = 40,37$ kg/m

Beban Hidup (Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020)

Digunakan beban hidup untuk maintenance

Beban hidup terpusat (P) = 100 kg

Beban terfaktor

$q_U = 1.20 q_D + 1.60 q_L$

$= (1,20 \times 40,37) + (1,60 \times 100) = 208,44$ kg/m

Beban terpusat akibat balok penggantung lift

$P_u = 5450,38 \times 2 = 10900,76$ kg

2. Gaya dalam yang bekerja pada balok

Hasil analisis menggunakan bantuan program SAP2000 didapatkan data :

Reaksi Perletakan

SAP2000

$\Sigma MA = 0$

RBV = 5669,24 kg

$\Sigma MB = 0$

RAV = 5669,24 kg

Manual

$\Sigma MA = 0$

$RBV = RAV = \frac{1}{2} qU.L + \frac{1}{2} P$

= 5669,25 kg



Gambar 4. 38: Reaksi Perletakan

Kontrol

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 0 \\ &= RBV + RVA - (q_D \times 2) - P_u \\ &= 5669,24 + 5669,24 - 437,73 - 10900,76 \\ &= 0 \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Momen Maksimum



Gambar 4. 39: Momen Maksimum (M3)

$$M_{\text{Maks}} = 5837,80 \text{ kg.m}$$

Gaya Geser



Gambar 4. 40: Gaya Geser (V2)

$$DA = -5669,24 \text{ kg}$$

$$DB = 5669,24 \text{ kg}$$

$$D_{\text{max}} = V_u = 5669,24 \text{ kg}$$

Bidang Normal



Gambar 4. 41: Bidang Normal (Axial P)

$$NA = 0 \text{ kg}$$

$$NB = 0 \text{ kg}$$

3. Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{150}{18} \leq 0.38 \times \sqrt{200000/250}$$

$$8,33 \leq 10,75 \quad \text{OK}$$

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{256}{6,50} \leq 3.76 \times \sqrt{200000/250}$$

$$39,38 \leq 106,35 \quad \text{OK}$$

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

4. Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 522 \times 2500$$

$$= 1305000 \text{ kgcm}$$

$$= 13050 \text{ kgm}$$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 13050$$

$$= 11745 \geq 5837,80 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

5. Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral :

Panjang tak terkekang adalah jarak antar Balok Utama tangga yang dianggap sebagai shear connector

Jarak penahan lateral (L_b) = 210 cm

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis (L_p)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 3,29 \sqrt{800}$$

$$L_p = 163,78 \text{ cm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateal, L_r

$$L_r = 489 \text{ cm (Steel Beam Design)}$$

Kondisi Balok inelastis termasuk dalam bentang menengah $L_p < L_b <$

L_r dengan M_n :

$$M_n = C_b \{M_p - (M_p - 0,75S_x f_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\} \leq M_p$$

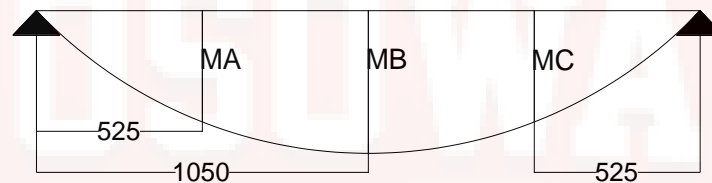
Data hasil analisis SAP 2000 :

$$M_A = 2803,42 \text{ kg.m}$$

$$M_B = 5554,72 \text{ kg.m}$$

$$M_C = 2803,42 \text{ kg.m}$$

$$M_{\max} = 5554,72 \text{ kg.m}$$



Gambar 4. 42: Posisi MA,MB,MC pada Balok Penumpu Lift

$$C_b = \frac{12.50 M_{\max}}{2.50 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2.27$$

$$C_b = \frac{69434,00}{13886,80 + 8410,26 + 22218,88 + 8410,26} = 1,31 \leq 2,27 \text{ OK}$$

$$M_n = 1,31 \{1305000 - (1305000 - 0,75 \times 462 \times 2500) \times \frac{210 - 163,78}{498 - 163,78}\}$$

$$= 1,31 \{1305000 - (1305000 - 866250) \times 0,14\}$$

$$= 1632428 \text{ kg.cm}$$

$$= 16324,28 \text{ kg.m}$$

$$M_n > M_p$$

Maka momen nominal yang digunakan adalah, $M_n = 16324,28 \text{ kg.m}$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 16324,28$$

$$= 14691,85 \geq 5837,80 \quad \text{kg.m} \quad \text{OK}$$

6. Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{256}{6,50} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$39,38 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

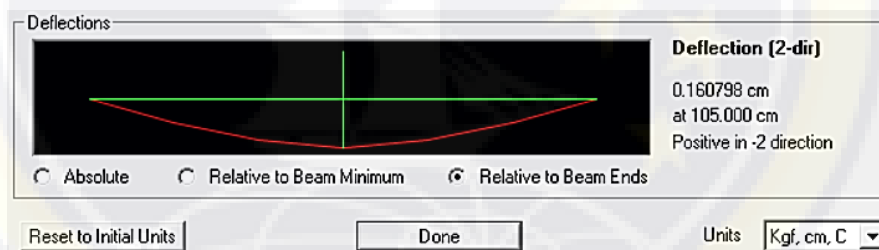
$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 16,64 \times 1$$

$$= 22464 \quad \text{kg}$$

$$V_u = 5669,24 \leq 22464 \quad \text{OK}$$

7. Kontrol Lendutan



Gambar 4. 43: Lendutan Penumpu Lift

$$f_{\max} = 0,16 \quad \text{cm}$$

$$f = \frac{L}{360} = \frac{210}{360} = 0,58 \quad \text{cm}$$

$$f_{\max} < f \quad \text{OK}$$

Profil IWF 300x150x6,5x9 dapat digunakan sebagai balok penumpu lift.

4.4. Perencanaan Stuktur Primer

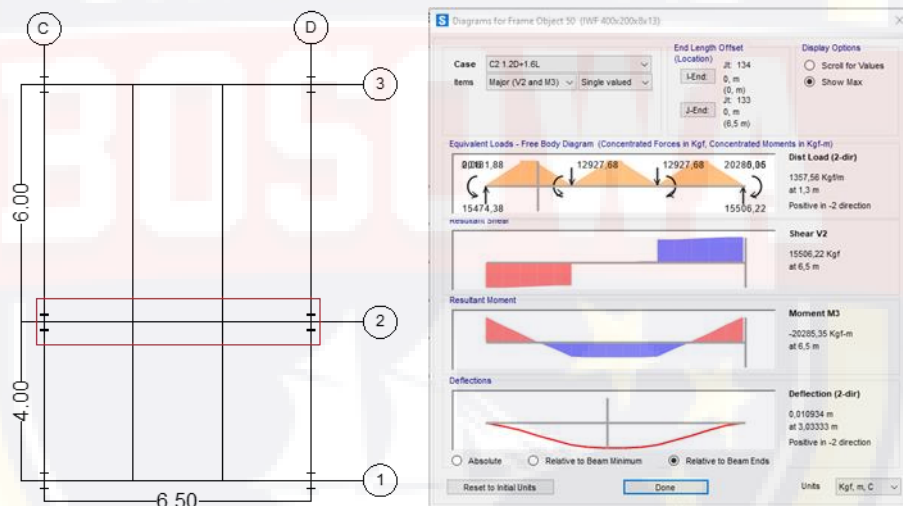
4.4.1. Perhitungan Balok Induk

4.4.1.1. Balok Induk Arah X

Pada perencanaan balok induk arah sumbu X dipilih elemen balok induk yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 50 dilantai 5. Hasil analisa program SAP2000 pada balok induk sumbu X dengan kombinasi 1,2D + 1,6L adalah sebagai berikut :

$$V_u = 15506,22 \text{ kg}$$

$$M_u = 20285,35 \text{ kg/m}$$



Gambar 4. 44: Denah dan Gaya dalam Elemen 50 Balok Induk Arah X

Pada balok induk arah sumbu X direncanakan menggunakan profil IWF 400x200x8x13 dengan data sebagai berikut :

$A = 84,10 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1286 \text{ cm}^3$
$W = 66 \text{ kg/m}$	$Z_y = 266 \text{ cm}^3$
$a = 400 \text{ mm}$	$h = 342 \text{ mm}$
$b_f = 200 \text{ mm}$	$r = 16 \text{ mm}$
$t_f = 13 \text{ mm}$	$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned}
 I_x &= 23700 \text{ cm}^4 & f_y &= 2500 \text{ kg/cm}^2 \\
 I_y &= 1740 \text{ cm}^4 & S_x &= 1148 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 8,00 \text{ mm} & S_y &= 173,49 \text{ cm}^3 \\
 i_x &= 16,80 \text{ cm} & i_y &= 4,54 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

- Untuk Badan

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,38 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{200}{26} \leq 0,38 \times \sqrt{200000/250}$$

$$\frac{342}{8} \leq 3,76 \times \sqrt{200000/250}$$

$$7,69 \leq 10,75$$

$$42,75 \leq 106,35$$

OK

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

- Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 1286 \times 2500$$

$$= 3214875 \text{ kgcm}$$

$$= 32149 \text{ kgm}$$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n > M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 32149$$

$$= 28934 > 20285,35 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK}$$

- Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral

Panjang tak terkekang adalah jarak ujung antar balok induk yang dianggap sebagai shear conector

Jarak penahan lateral (L_b) = 650 cm

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis (L_p)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 4,54 \sqrt{800}$$

$$L_p = 226 \text{ cm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateal, L_r

$$L_r = 684 \text{ cm (Steel Beam Design)}$$

Kondisi Balok inelastis termasuk dalam bentang menengah $L_p < L_b < L_r$ dengan M_n :

$$M_n = C_b \left\{ M_p - (M_p - 0,75 S_x f_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right\} < M_p$$

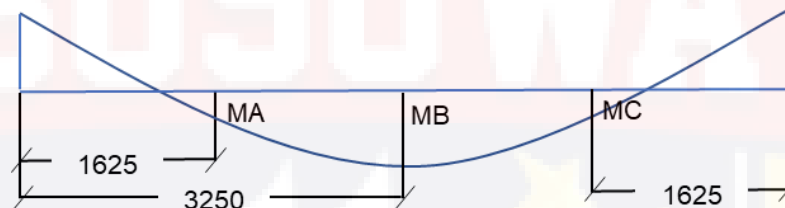
Data hasil analisis SAP2000 :

$$M_A = 3976,95 \text{ kg.m}$$

$$M_B = 12046,72 \text{ kg.m}$$

$$M_C = 3925,21 \text{ kg.m}$$

$$M_{max} = 20285,35 \text{ kg.m}$$



Gambar 4. 45: Posisi MA, MB, MC Balok Induk Arah x

$$C_b = \frac{12.50 M_{max}}{2.50 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2.27$$

$$C_b = \frac{253567}{50713,38 + 11930,85 + 48186,88 + 11775,63} = 2,07 \leq 2,27 \text{ OK}$$

$$M_n = 2,07 \left\{ 3214875 - (3214875 - 0,75 \times 1148 \times 2500) \times \frac{650 - 226}{684 - 226} \right\}$$

$$= 2,07 \{ 3214875 - (3214875 - 2152956) \times 0,93 \}$$

$$= 4615634 \text{ kg.cm}$$

$$= 46156,34 \text{ kg.m}$$

$$M_n > M_p$$

Maka momen nominal yang digunakan adalah, $M_n = 46156,34 \text{ kg.m}$

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 46156,34$$

$$= 41540,71 \geq 20285,35 \text{ kg.m} \quad \mathbf{OK}$$

- Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{342}{8} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$42,75 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

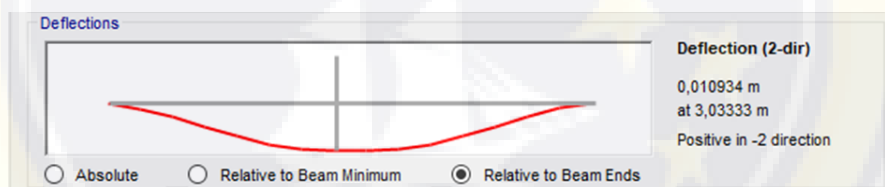
Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 27,36 \times 1 \\ &= 36936 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_u = 15506,22 \leq 36936 \quad \mathbf{OK}$$

- Kontrol Lendutan



Gambar 4. 46: Lendutan Balok Induk Arah x

$$f_{\max} = 1,09 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{360} = \frac{650}{360} = 1,81 \text{ cm}$$

$$f_{\max} < f \quad \mathbf{OK}$$

Profil IWF 400x200x8x13 dapat digunakan sebagai balok induk arah

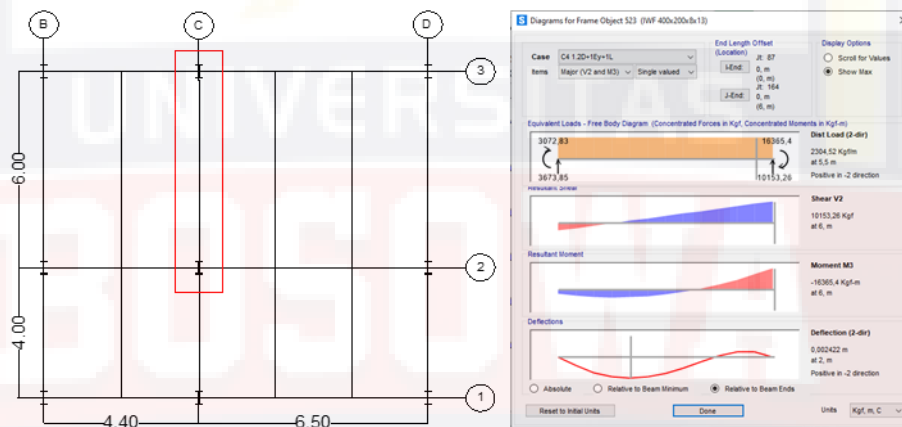
x

4.4.1.2. Balok Induk Arah Y

Pada perencanaan balok induk arah sumbu Y dipilih elemen balok induk yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 523 dilantai 2. Hasil analisa program SAP 2000 pada balok induk sumbu Y dengan kombinasi 1,2D + 1Ey + 1L adalah sebagai berikut :

$$V_u = 10153,26 \text{ kg}$$

$$M_u = 16365,40 \text{ kg/m}$$



Gambar 4. 47:Denah dan Diagram Gaya Dalam Balok Induk Arah Y

Pada balok induk arah sumbu Y direncanakan menggunakan profil

IWF 400x200x8x13 dengan data profil sebagai berikut :

$A = 84,10 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1286 \text{ cm}^3$
$W = 66 \text{ kg/m}$	$Z_y = 266 \text{ cm}^3$
$a = 400 \text{ mm}$	$h = 342 \text{ mm}$
$b_f = 200 \text{ mm}$	$r = 16 \text{ mm}$
$t_f = 13 \text{ mm}$	$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$
$I_x = 23700 \text{ cm}^4$	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$I_y = 1740 \text{ cm}^4$	$S_x = 1148 \text{ cm}^3$
$t_w = 8,00 \text{ mm}$	$S_y = 173,49 \text{ cm}^3$
$i_x = 16,80 \text{ cm}$	$i_y = 4,54 \text{ cm}$

- Kontrol Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1) :

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{200}{26} \leq 0.38 \times \sqrt{200000/250}$$

$$7,69 \leq 10,75 \quad \text{OK}$$

OK

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{342}{8} \leq 3.76 \times \sqrt{200000/250}$$

$$42,75 \leq 106,35 \quad \text{OK}$$

OK

penampang Profil Kompak, maka $M_n = M_p$

- Kontrol Kuat Lentur Akibat Tekuk Lokal SNI 1729:2015 Pasal 8.2 :

Penampang Kompak :

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 1286 \times 2500 \\ &= 3214875 \text{ kgcm} \\ &= 32149 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u = M_{\max} \\ \phi M_n &= 0,90 \times 32149 \\ &= 28934 > 16365,40 \text{ kgm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- Kontrol Penampang Terhadap Tekuk Lateral

Panjang tak terkekang adalah jarak ujung antar balok induk yang dianggap sebagai shear conector

Jarak penahan lateral (L_b) = 600 cm

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis (L_p)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 4,54 \sqrt{800}$$

$$L_p = 226 \text{ cm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateal, L_r

$L_r = 684$ cm (Steel Beam Design)

Kondisi Balok inelastis termasuk dalam bentang menengah $L_p < L_b < L_r$ dengan M_n :

$$M_n = C_b \left\{ M_p - (M_p - 0,75S_x f_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right\} \leq M_p$$

Data hasil analisis SAP2000 :

MA = 5991,02 kg.m

MB = 3724,04 kg.m

MC = 3728,10 kg.m

Mmax = 16365,40 kg.m



Gambar 4. 48: Posisi MA, MB, MC Balok Induk Arah Y

$$C_b = \frac{12,50 M_{max}}{2,50 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,27$$

$$C_b = \frac{204568}{40913,50 + 17973,06 + 14896,16 + 11184,30} = 2,41 \leq 2,27, \text{digunakan } 2,27$$

$$M_n = 2,27 \left\{ 3214875 - (3214875 - 0,75 \times 1148 \times 2500) \times \frac{600 - 226}{684 - 226} \right\}$$

$$= 2,27 \{ 3214875 - (3214875 - 2152956) \times 0,82 \}$$

$$= 5329324 \text{ kg.cm}$$

$$= 53293,24 \text{ kg.m}$$

$M_n > M_p$

Maka momen nominal yang digunakan adalah, $M_n = 53293,24$ kg.m

Cek Kemampuan Penampang

$$\phi M_n \geq M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 53293,24$$

$$= 47963,92 \geq 16365,40 \text{ kg.m} \quad \mathbf{OK}$$

- Kontrol Kuat Geser (SNI 1729:2015 pasal G2):

$$V_n = 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad C_v = 1 ; K_v = 5$$

$$\frac{342}{8} \leq 1,10 \sqrt{4000}$$

$$42,75 \leq 69,57 \quad \text{Kondisi geser plastis}$$

Maka :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0,60f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,90 \times 0,60 \times 2500 \times 27,36 \times 1$$

$$= 36936 \text{ kg}$$

$$V_u = 10153,26 \leq 36936 \quad \mathbf{OK}$$

- Kontrol Lendutan



Gambar 4. 49: Lendutan Balok Induk Arah Y

$$f_{\max} = 0,24 \text{ cm}$$

$$f = \frac{L}{360} = \frac{600}{360} = 1,67 \text{ cm}$$

$$f_{\max} < f \quad \mathbf{OK}$$

$$0,24 < 1,67 \quad \mathbf{OK}$$

Profil IWF 400x200x8x13 dapat digunakan sebagai balok induk arah

y

4.4.2. Perhitungan Kolom

Pada perencanaan kolom dipilih elemen yang menerima gaya paling maksimum yaitu elemen 131 dilantai dasar. Kolom direncanakan menggunakan profil H400x400x13x21 dengan data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A &= 218,70 \text{ cm}^2 & Z_x &= 3600 \text{ cm}^3 \\ W &= 172 \text{ kg/m} & Z_y &= 1695 \text{ cm}^3 \\ a &= 400 \text{ mm} & h &= 314 \text{ mm} \\ b_f &= 400 \text{ mm} & r &= 22 \text{ mm} \\ t_f &= 21 \text{ mm} & f_u &= 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ I_x &= 66600 \text{ cm}^4 & f_y &= 2500 \text{ kg/cm}^2 \\ I_y &= 22400 \text{ cm}^4 & S_x &= 3268 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 13 \text{ mm} & S_y &= 1120 \text{ cm}^3 \\ i_x &= 17,50 \text{ cm} & i_y &= 10,10 \text{ cm} \end{aligned}$$

- a. Dari hasil analisis SAP 2000, didapatkan gaya dalam yang terjadi pada kolom elemen 131 adalah :

1.2D+1.6L		1.2D+1Ex+1L	
$P_u = P_{nt} = 172752,48$	kg	$P_u = P_{nt} = 145870,26$	kg
$M_{ux} = 3261,73$	kgm	$M_{ux} = 1307,04$	kgm
$M_{uy} = 2655,18$	kgm	$M_{uy} = 1937,18$	kgm
$V_{ux} = 1226,11$	kg	$V_{ux} = 91,87$	kg
$V_{uy} = 953,11$	kg	$V_{uy} = 699,63$	kg

1.2D+1Ey+1L	
$P_u = P_{nt} = 136467,43$	kg
$M_{ux} = 2603,71$	kgm
$M_{uy} = 14875,97$	kgm
$V_{ux} = 969,35$	kg
$V_{uy} = 3568,84$	kg

b. Kontrol penampang profil

- Kontrol penampang terhadap tekan

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.56 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{400}{42} \leq 0.56 \times \sqrt{200000/250}$$

$$9,52 \leq 15,84$$

OK

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.49 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{314}{13} \leq 1.49 \times \sqrt{200000/250}$$

$$24,15 \leq 42,14$$

OK

- Kontrol penampang terhadap lentur

- Untuk Sayap

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{400}{42} \leq 0.38 \times \sqrt{200000/250}$$

$$9,52 \leq 10,75$$

OK

- Untuk Badan

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$\frac{314}{13} \leq 3.76 \times \sqrt{200000/250}$$

$$24,15 \leq 106,35$$

OK

$\lambda \leq \lambda_p$ penampang profil kompak

- Kontrol penampang terhadap tekuk lateral

Panjang elemen kolom (L_b) = 396 cm

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 10,10 \sqrt{800}$$

$$L_p = 502,78 \text{ cm}$$

Kondisi Balok plastis termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$, maka :

Arah x

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 9000000 \text{ kgcm}$$

$$= 90000 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n > M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 90000$$

$$= 81000 > 3261,73 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK}$$

Arah y

$$M_n = M_p = Z_y \cdot f_y$$

$$= 4237500 \text{ kgcm}$$

$$= 42375 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n > M_u = M_{\max}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 42375$$

$$= 38138 > 14875,97 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK}$$

- Tegangan kritis tekuk lentur

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/i_x)^2} = 58695,52 \text{ kg.cm}^2$$

$$= 5869,552 \text{ mpa}$$

$$f_y/F_e = 0,04 \leq 2,25 \quad \text{maka } F_{cr} = (0.658^{f_y/f_e})f_y$$

$$F_{cr} = 245,58 \text{ mpa}$$

$$= 2455,83 \text{ kg.cm}^2$$

- Kuat tekan nominal

$$P_n = F_{cr} \cdot A$$

$$= 537089,35 \text{ kg}$$

$$P_c = \phi \times P_n$$

$$= 0,90 \times 537089,35$$

$$= 483380,42 \text{ kg}$$

- Kekuatan lentur dan aksial orde kedua

$$\alpha = 1 \quad (\text{DFBK})$$

$$R_m = 1 - 0.15 \frac{P_{mf}}{P_{\text{story}}}$$

$$P_{mf} = 172752 \text{ kg}$$

$$P_{\text{story}} = 251626 \text{ kg}$$

$$R_m = 0,897$$

Panjang efektif, k:

Arah X

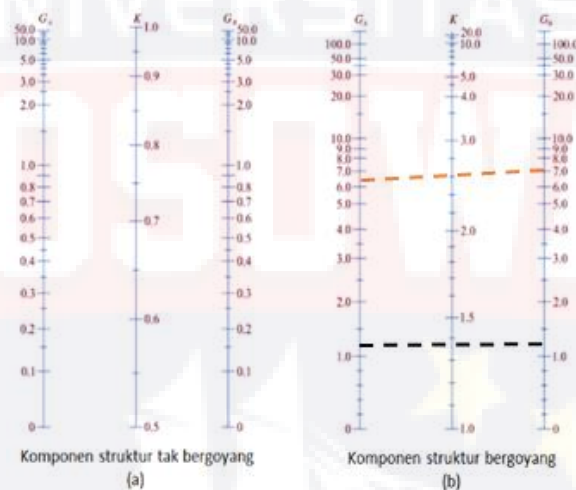
$$G_B = \frac{\sum(I_y k / L)}{\sum(I_x b / L)} = \frac{2 \times (22400 / 370)}{\left(\frac{23700}{440}\right) + \left(\frac{23700}{650}\right)} = 1,34$$

$$G_A = \frac{\sum(I_y k / L)}{\sum(I_x b / L)} = \frac{\left(\frac{22400}{396}\right) + \left(\frac{22400}{370}\right)}{\left(\frac{23700}{440}\right) + \left(\frac{23700}{650}\right)} = 1,30$$

Arah Y

$$G_B = \frac{\sum(I_x k / L)}{\sum(I_x b / L)} = \frac{2 \times (66600 / 370)}{\left(\frac{7210}{400}\right) + \left(\frac{23700}{600}\right)} = 6,26$$

$$G_A = \frac{\sum(I_x k / L)}{\sum(I_x b / L)} = \frac{\left(\frac{66600}{396}\right) + \left(\frac{66600}{370}\right)}{\left(\frac{4050}{400}\right) + \left(\frac{23700}{600}\right)} = 7,02$$



Gambar 4. 50: Faktor Panjang Efektif (k)

$$k_x = 0,81$$

$$k_y = 2,61$$

$$\Delta_{hx} = 0,57 \text{ cm} \quad \text{simpangan lantai arah x (output SAP)}$$

$$\Delta_{hy} = 0,43 \text{ cm} \quad \text{simpangan lantai arah y (output SAP)}$$

Kuat lentur arah sumbu x

Terhadap beban gravitasi

$$M_1 = 1593,66 \text{ kgm} \quad \text{Momen terkecil ujung bawah}$$

$$M_2 = 3261,73 \text{ kgm} \quad \text{Momen terbesar ujung atas}$$

$$C_m = 0.60 - 0.40 \frac{(M_1)}{(M_2)}$$

$$= 0,40$$

$$P_{e1} = \frac{\pi E I_y}{(K_x L)^2}$$

$$= 1367247,86 \text{ kg}$$

$$B_1 = \frac{(C_m)}{1 - aPr/Pe_1}$$

$$= 0,48 < 1$$

B₁ dipakai = 1

Terhadap beban lateral

$$M_{nt} = 3261,73 \text{ kgm} \quad M_{ux} \text{ grav}$$

$$M_{lt} = 1307,04 \text{ kgm} \quad M_{ux} \text{ gempa}$$

$$H_x = 1226,11 \text{ kg} \quad \text{Geser lateral output sap, V3}$$

$$P_{story} = 251626 \text{ kg}$$

$$P_{estory} = \frac{R_m \cdot H_x \cdot L}{\frac{\Delta_{hx}}{1}} = 764102 \text{ kg}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \left(\frac{aP_{story}}{P_{estory}}\right)} = 1,49$$

$$M_{rx} = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt}$$

$$= 5210,53 \text{ kgm}$$

- Kuat lentur arah sumbu y

Terhadap beban gravitasi

$$M_1 = 1120,7 \text{ kgm} \quad \text{Momen terkecil ujung bawah}$$

$$M_2 = 2655,18 \text{ kgm} \quad \text{Momen terbesar ujung atas}$$

$$C_m = 0.60 - 0.40 \frac{(M_1)}{(M_2)}$$

$$= 0,43$$

$$P_{e1} = \frac{\pi E I_x}{(K_y L)^2}$$

$$= 391528 \text{ kg}$$

$$B_1 = \frac{(C_m)}{1 - aP_r/P_{e1}}$$

$$= 0,97 < 1$$

B2 dipakai = 1

Terhadap beban lateral

$$M_{nt} = 2655,18 \text{ kgm} \text{ Muy grav}$$

$$M_{lt} = 14875,97 \text{ kgm} \text{ Muy gempa}$$

$$H_y = 1792,90 \text{ kg} \text{ geser lateral output sap, V2}$$

$$P_{story} = 251626 \text{ kg} \text{ (aksial total tingkat, output SAP)}$$

$$P_{estory} = \frac{R_m \cdot H_y \cdot L}{\frac{\Delta_{hy}}{1}} = 1481099 \text{ kg}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \left(\frac{aP_{story}}{P_{estory}}\right)} = 1,20$$

$$M_{ry} = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt}$$

$$= 20575,69 \text{ kgm}$$

- Kuat aksial

Arah x

$$P_r = P_u = P_{nt}$$

$$= 217492,72 \text{ kg}$$

Arah y

$$P_r = P_u = P_{nt}$$

$$= 164397,09 \text{ kg}$$

$$P_{rmax} = 217492,72 \text{ kg}$$

- Kontrol interaksi tekan lentur

$$\frac{P_r}{\phi P_n} = 0,45 > 0,20 \text{ gunakan interaksi 1}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \times \frac{(M_{rx})}{(M_{cx})} + \frac{(M_{ry})}{(M_{cy})} \leq 1 \quad M_{cx} = M_{cy} = M_p$$

$$0,45 + 0,89 \times 0,06 + 0,54 \leq 1$$

$$0,99 \leq 1 \text{ OK}$$

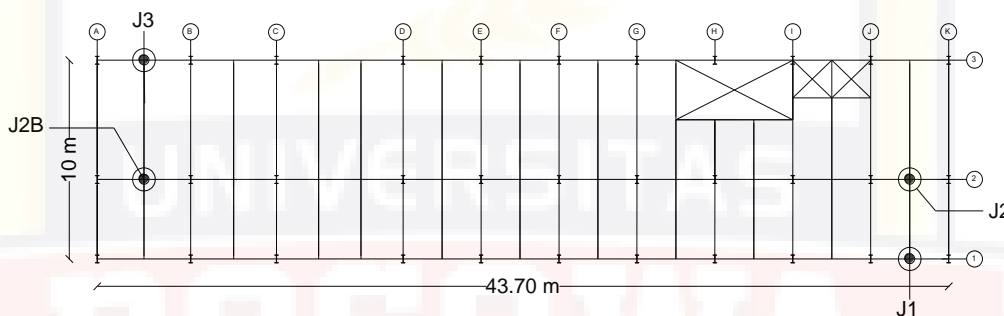
Profil H400x400x13x21 dapat digunakan sebagai kolom pada elemen

131 dilantai dasar.

4.4.3. Perhitungan Sambungan

4.4.3.1. Sambungan Balok Anak Lantai dengan Balok Induk

Sambungan antara balok anak dan balok induk lantai direncanakan dengan baut yang hanya memikul beban geser dari balok anak lantai, sehingga dalam analisa dianggap sebagai sendi.



Gambar 4. 51: Sambungan Balok Anak dan Induk yang ditinjau

a. Joint J1 dan J2A.

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok anak dengan balok induk lantai.

Balok Anak Lantai

IWF 250 x 125 x 6 x 9

$a = 250 \text{ mm}$ $t_w = 6 \text{ mm}$

$A = 37,66 \text{ cm}^2$ $t_f = 9 \text{ mm}$

$V_c = 5321,51 \text{ kg}$

Balok Induk Lantai

IWF 300 x 150 x 6,50 x 9

$a = 300 \text{ mm}$ $t_w = 6,5 \text{ mm}$

$A = 46,78 \text{ cm}^2$ $t_f = 9 \text{ mm}$

Pelat Penyambung

L 60 x 60 x 6

$t = 6 \text{ mm}$

$A = 6,91 \text{ cm}^2$

Mutu baut = A325 - $f_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2$ Tabel J3.2 SNI 1729:2015

Mutu profil = BJ41 - $f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$

- $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^3$

- Sambungan Pada Badan Balok Anak:

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 2 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 2$$

$$= 6307,63 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1$$

$$= 5313,60 \text{ kg} \quad \text{menentukan}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\varnothing.R_n} = 1 = 2 \text{ buah}$$

- Sambungan Pada Badan Balok Induk:

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 1 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 1$$

$$= 3153,82 \text{ kg} \quad \text{menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1$$

$$= 5313,60 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = 1,69 = 2 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 40$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 40 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(40 \times 1) + (30 \times 2) = 100 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 6,91 \times 2500 \\ &= 15547,50 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat putus

$$\phi_{\text{baut}} = 12 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{lubang}} = 12 + 1,5 = 13,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_n &= 6,91 - (0 \times 1,35 \times 0,6) \\ &= 6,91 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

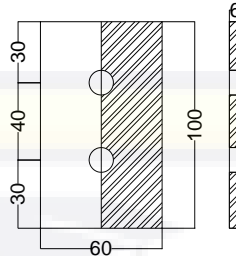
$$A_n \leq 0,85A_g = 6,91 > 5,87 \quad A_n = 0,85A_g$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 5,87 \\ &= 5,87 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &= \phi \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 5,87 \times 4100 \\ &= 18061 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol geser



Gambar 4. 52: Bidang Geser pada Bidang Profil L60x60x6

$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}}$$

$$= 100 \times 6 = 600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \varnothing_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}}$$

$$= 600 - 2 \times 13,50 \times 6 = 438 \text{ mm}^2 = 4,38 \text{ cm}^2$$

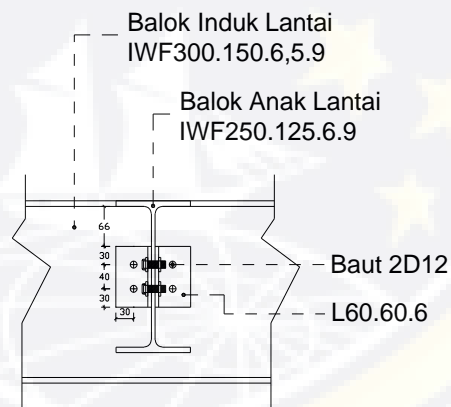
$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 0,60 \times f_u \times A_{nv}$$

$$= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 4,38$$

$$= 8081,10 \text{ kg}$$

Digunakan 2 pelat siku

$$\text{Maka, } 2\varnothing.R_n = 16162,20 \text{ kg} > V_l = 5321,51 \text{ kg} \quad \text{OK}$$



Potongan B-B Joint 1

Skala 1 : 10

Gambar 4. 53: Sambungan J1 dan J2A

b. Joint J2B dan J3

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok anak lantai dengan balok induk lantai

Balok Anak Lantai

WF 350 x 175 x 7 x 11

$a = 350 \text{ mm}$ $t_w = 7 \text{ mm}$

$A = 63,14 \text{ cm}^2$ $t_f = 11 \text{ mm}$

$V_u = 9628,9 \text{ kg}$

Balok Induk Lantai

WF 400 x 200 x 8 x 13

$a = 400 \text{ mm}$ $t_w = 8 \text{ mm}$

$A = 84,1 \text{ cm}^2$ $t_f = 13 \text{ mm}$

Pelat Penyambung

L 60 x 60 x 6

$t = 6 \text{ mm}$

$A = 6,91 \text{ cm}^2$

Mutu baut = A325 - $f_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2$ Tabel J3.2 SNI 1729:2015

Mutu profil = BJ41 - $f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$

- $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^3$

- Sambungan Pada Badan Balok Anak:

$\emptyset \text{ baut} = 12 \text{ mm}$ - $A_b = 1,13 \text{ cm}^2$

$m = 2$ (jumlah bidang geser)

$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2$ (ulir pada bidang geser)

Kuat geser baut:

$\emptyset.R_n = \emptyset \times F_{nv} \times A_b \times m$

$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 2$

$= 6307,63 \text{ kg}$ tidak menentukan

Kuat tumpu baut

$\emptyset.R_n = \emptyset \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$

$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,70 \times 4100 \times 1$

$= 6199,20 \text{ kg}$ menentukan

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi R_n} = 1,55 = 2 \text{ buah}$$

- Sambungan Pada Badan Balok Induk:

$$\phi_{\text{baut}} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 1 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times F_{nv} \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 1 \\ &= 3153,82 \text{ kg} \quad \text{menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n \\ &= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1 \\ &= 5313,60 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi R_n} = 3,05 = 4 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 40 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 40 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(40 \times 1) + (30 \times 2) = 100 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 6,91 \times 2500 \\ &= 15547,50 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat putus

$$\begin{aligned}\emptyset_{\text{baut}} &= 12 \text{ mm} \\ \emptyset_{\text{lubang}} &= 12 + 1,5 = 13,50 \text{ mm} \\ A_n &= 6,91 - (2 \times 1,35 \times 0,60) \\ &= 5,65 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

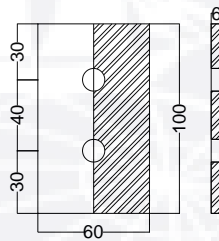
$$A_n \leq 0,85A_g = 5,65 < 5,87 \quad \text{OK}$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$\begin{aligned}A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 5,65 \\ &= 5,65 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 5,65 \times 4100 \\ &= 17379,50 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 54: Bidang Geser pada Bidang Profil L60x60x6

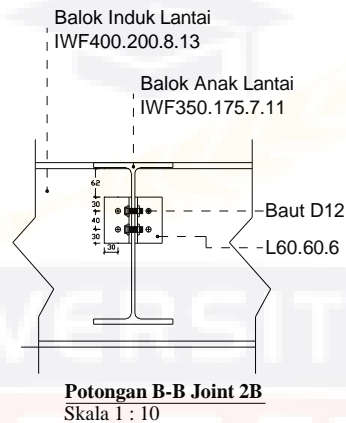
$$\begin{aligned}A_{gv} &= P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} \\ &= 100 \times 6 = 600 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \emptyset_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} \\ &= 600 - 2 \times 13,50 \times 6 = 474,19 \text{ mm}^2 = 4,74 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \times 0.60 \times f_u \times A_{nv} \\
 &= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 4,74 \\
 &= 8748,75 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Digunakan 2 pelat siku

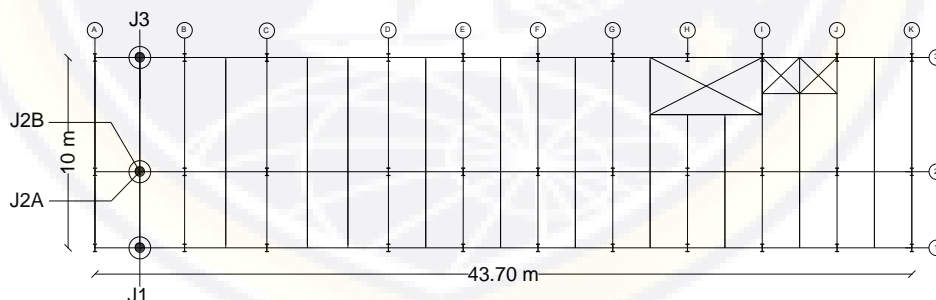
$$\text{Maka, } 2\phi R_n = 17497,49 \text{ kg} > V_u = 9628,90 \text{ kg} \quad \text{OK}$$



Gambar 4. 55: Sambungan J2B dan J3

4.4.3.2. Sambungan Balok Anak Atap dengan Balok Induk

Sambungan antara balok anak atap dan balok induk atap direncanakan dengan baut yang hanya memikul beban geser dari balok anak atap, sehingga dalam analisa dianggap sebagai sendi.



Gambar 4. 56: Sambungan Balok Anak Atap yang ditinjau

a. Joint J1 dan J2A

Berikut data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok anak lantai dengan balok induk atap

Balok Anak Atap

WF 150 x 100 x 6 x 9

a = 150 mm $t_w = 6$ mm

A = 26,84 cm² $t_f = 9$ mm

$V_u = 1982,44$ kg

Balok Induk Atap

WF 200 x 100 x 5,50 x 8

a = 200 mm $t_w = 5,5$ mm

A = 27,16 cm² $t_f = 8$ mm

Pelat Penyambung

L 60 x 60 x 6

t = 6 mm

A = 6,91 cm²

Mutu baut = A325 - $f_{nv} = 3720$ kg/cm² Tabel J3.2 SNI 1729:2015

Mutu profil = BJ41 - $f_u = 4100$ kg/cm²

- $f_y = 2500$ kg/cm³

- Sambungan Pada Badan Balok Anak:

\varnothing baut = 12 mm - $A_b = 1,13$ cm²

m = 2 (jumlah bidang geser)

$F_{nv} = 3720$ kg/cm² (ulir pada bidang geser)

Kuat geser baut:

$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$

= $0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 2$

= 6307,63 kg tidak menentukan

Kuat tumpu baut

$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$

= $0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1$

= 5313,60 kg menentukan

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = 0,37 = 1 \text{ buah}$$

- Sambungan Pada Badan Balok Induk:

$$\phi_{\text{baut}} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 1 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \text{ (ulir pada bidang geser)}$$

Kuat geser baut:

$$\phi \cdot R_n = \phi \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 1$$

$$= 3153,82 \text{ kg} \text{ menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\phi \cdot R_n = \phi \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,55 \times 4100 \times 1$$

$$= 4870,80 \text{ kg} \text{ tidak menentukan}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = 0,63 = 2 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 0$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 0 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(0 \times 1) + (30 \times 2) = 60 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\phi \cdot R_n = \phi \times A_g \times f_y$$

$$= 0,9 \times 6,91 \times 2500$$

$$= 15547,5 \text{ kg}$$

Kuat putus

$$\varnothing_{\text{baut}} = 12 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\text{lubang}} = 12 + 1,5 = 13,50 \text{ mm}$$

$$A_n = 6,91 - (2 \times 1,35 \times 0,6)$$

$$= 5,29 \text{ cm}^2$$

$$A_n \leq 0,85A_g = 5,29 < 5,87 \quad \text{OK}$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$A_e = U \times A_n$$

$$= 1 \times 5,29$$

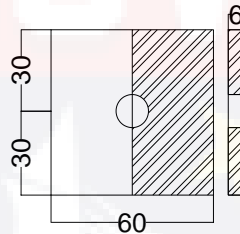
$$= 5,29 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times A_e \times f_u$$

$$= 0,75 \times 5,29 \times 4100$$

$$= 16266,75 \text{ kg}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 57: Bidang Geser pada Profil L60x60x6

$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}}$$

$$= 60 \times 6 = 360 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \varnothing_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}}$$

$$= 360 - 1 \times 13,50 \times 6 = 279,00 \text{ mm}^2 = 2,79 \text{ cm}^2$$

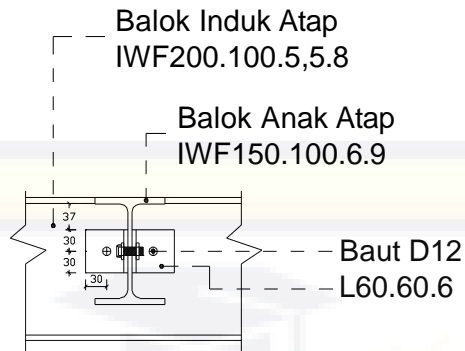
$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 0,60 \times f_u \times A_{nv}$$

$$= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 3$$

$$= 5147,55 \text{ kg}$$

Digunakan 2 pelat siku

$$\text{Maka, } 2\varnothing.R_n = 10295,10 \text{ kg} > V_l = 1982,44 \text{ kg} \quad \text{OK}$$



Potongan B-B Joint 1
Skala 1 : 10

Gambar 4. 58: Sambungan J1 dan J2A

b. Joint J2B dan J3

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok anak lantai dengan balok induk lantai

Balok Anak Atap

IWF 300 x 150 x 6,5 x 9

$a = 300 \text{ mm}$ $t_w = 6,5 \text{ mm}$

$A = 63,14 \text{ cm}^2$ $t_f = 9 \text{ mm}$

$V_t = 4272,02 \text{ kg}$

Balok Induk Atap

IWF 350 x 175 x 7 x 11

$a = 350 \text{ mm}$ $t_w = 7 \text{ mm}$

$A = 63,14 \text{ cm}^2$ $t_f = 11 \text{ mm}$

Pelat Penyambung

L 60 x 60 x 6

$t = 6 \text{ mm}$

$A = 6,91 \text{ cm}^2$

Mutu baut = A325 - $f_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2$ Tabel J3.2 SNI 1729:2015

Mutu profil = BJ41 - $f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$

- $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^3$

- Sambungan Pada Badan Balok Anak:

$$\varnothing_{\text{baut}} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 2 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 2$$

$$= 6307,63 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up}$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,65 \times 4100 \times 1$$

$$= 5756,40 \text{ kg} \quad \text{menentukan}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\varnothing.R_n} = 0,74 = 1 \text{ buah}$$

- Sambungan Pada Badan Balok Induk:

$$\varnothing_{\text{baut}} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 1 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 1$$

$$= 3153,82 \text{ kg} \quad \text{menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1$$

$$= 5313,60 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\varnothing.R_n} = 1,35 = 2 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 0 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 0 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(0 \times 1) + (30 \times 2) = 60 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned} \emptyset.R_n &= \emptyset \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 6,91 \times 2500 \\ &= 15547,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat putus

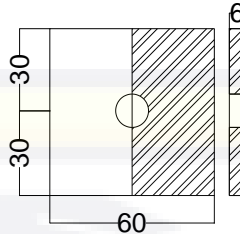
$$\begin{aligned} \emptyset_{\text{baut}} &= 12 \text{ mm} \\ \emptyset_{\text{lubang}} &= 12 + 1,5 = 13,50 \text{ mm} \\ A_n &= 6,91 - (2 \times 1,35 \times 0,6) \\ &= 5,29 \text{ cm}^2 \\ A_n &\leq 0,85A_g = 5,29 < 5,87 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 5,29 \\ &= 5,29 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset.R_n &= \emptyset \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 5,29 \times 4100 \\ &= 16266,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol geser

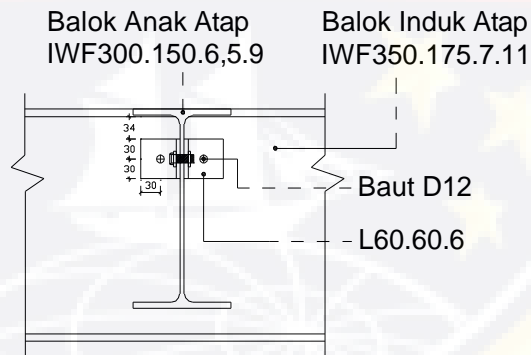


Gambar 4. 59: Bidang Geser pada Profil L60x60x6

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} \\
 &= 60 \times 6 = 360 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \varnothing_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} \\
 &= 360 - 1 \times 13,50 \times 6 = 299,89 \text{ mm}^2 = 3,00 \text{ cm}^2 \\
 \varnothing.R_n &= \varnothing \times 0,60 \times f_u \times A_{nv} \\
 &= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 3,00 \\
 &= 5532,92 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Digunakan 2 pelat siku

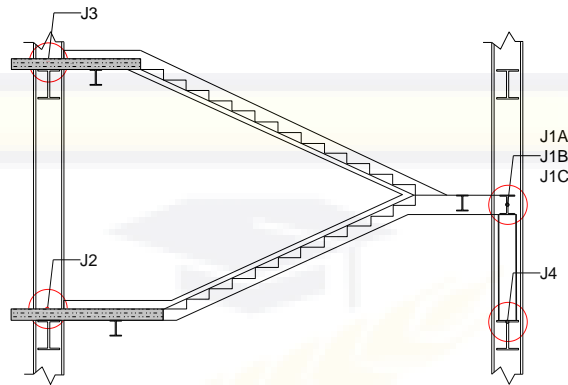
Maka, $2\varnothing.R_n = 11065,84 \text{ kg} > V_l = 4272,02 \text{ kg}$ **OK**



Potongan B-B Joint 3
Skala 1 : 10

Gambar 4. 60: Sambungan J2B dan J3

4.4.3.3. Sambungan Tangga



Gambar 4. 61: Sambungan Tangga yang Ditinjau

a. Joint J1A (Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Tangga)

Sambungan antara balok utama tangga dan balok penumpu tangga direncanakan dengan baut yang hanya memikul beban geser dari balok utama tangga, sehingga dalam analisa dianggap sebagai sendi.

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok utama tangga dengan balok penumpu tangga :

Balok Utama Tangga

IWF 250 x 125 x 6 x 9
a = 250 mm $t_w = 6$ mm
A = 37.66 cm² $t_f = 9$ mm
 $V_u = 2533.97$ kg

Balok Penumpu Tangga

IWF 250 x 125 x 6 x 9
a = 250 mm $t_w = 6$ mm
A = 37.66 cm² $t_f = 9$ mm

Pelat Penyambung

L 60 x 60 x 6
t = 6 mm
A = 6.91 cm²

Mutu baut = A325 - $f_u = 8250 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu profil = BJ41 - $f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 - $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^3$

- Sambungan Pada Badan Balok Utama Tangga:

\emptyset baut = 12 mm - $A_b = 1.13 \text{ cm}^2$
 $m = 2$ (jumlah bidang geser)
 $r_1 = 0.50$ (ulir tidak pada bidang geser)

Kuat geser baut:

$$\begin{aligned} \emptyset.V_n &= \emptyset \times r_1 \times f_{ub} \times m \times A_b \\ &= 0.75 \times 0.50 \times 8250 \times 2 \times 1.13 \\ &= 6994.35 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \emptyset.R_n &= \emptyset \times 2.40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \\ &= 0.75 \times 2.40 \times 1.20 \times 0.60 \times 4100 \\ &= 5313.60 \text{ kg} \quad \text{menentukan} \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\emptyset.R_n} = 0.48 = 1 \text{ buah}$$

- Sambungan Pada Badan Balok Penumpu Tangga:

\emptyset baut = 12 mm - $A_b = 1.13 \text{ cm}^2$
 $m = 2$ (jumlah bidang geser)
 $r_1 = 0.50$ (ulir tidak pada bidang geser)

Kuat geser baut:

$$\begin{aligned} \emptyset.V_n &= \emptyset \times r_1 \times f_{ub} \times m \times A_b \\ &= 0.75 \times 0.50 \times 8250 \times 2 \times 1.13 \\ &= 6994.35 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \emptyset.R_n &= \emptyset \times 2.40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \\ &= 0.75 \times 2.40 \times 1.20 \times 0.60 \times 4100 \\ &= 5313.60 \text{ kg} \quad \text{menentukan} \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = 0.48 = 1 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 0$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 0 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(0 \times 1) + (30 \times 2) = 60 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0.9 \times 6.91 \times 2500 \\ &= 15547.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat putus

$$\phi_{\text{baut}} = 12 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{lubang}} = 12 + 1.5 = 13.50 \text{ mm}$$

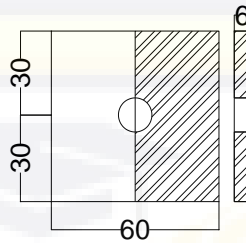
$$\begin{aligned} A_n &= 6.91 - (2 \times 1.35 \times 0.6) \\ &= 5.29 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 5.29 \\ &= 5.29 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &= \phi \times A_e \times f_u \\ &= 0.9 \times 5.29 \times 4100 \\ &= 19520.1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol geser

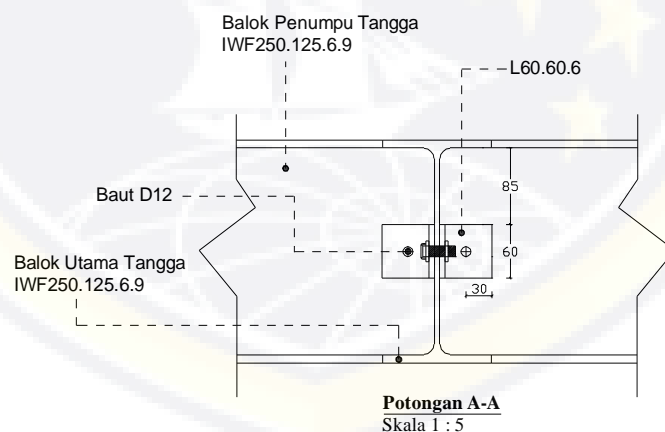


Gambar 4. 62: Bidang Geser pada Profil L60x60x6

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} \\
 &= 60 \times 6 = 360 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \varnothing_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} \\
 &= 360 - 1 \times 13.50 \times 6 = 279.00 \text{ mm}^2 \\
 \varnothing.R_n &= \varnothing \times 0.60 \times f_u \times A_{nv} \\
 &= 0.75 \times 0.60 \times 4100 \times 279.00 \\
 &= 514755.00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Digunakan 2 pelat siku

$$\text{Maka, } 2\varnothing.R_n = 31095.00 \text{ kg} > V_u = 2533.97 \text{ kg} \quad \text{OK}$$



Gambar 4. 63: Sambungan J1A

b. Joint J1B dan J1C (Balok Penumpu Tangga dengan Kolom)

Sambungan antara balok penumpu tangga dan kolom direncanakan dengan baut dan las yang hanya memikul beban geser dari balok penumpu tangga, sehingga dalam analisa dianggap sebagai sendi.

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok utama tangga dengan balok penumpu tangga :

Balok Penumpu Tangga

WF 250 x 125 x 6 x 9

$$a = 250 \text{ mm} \quad t_w = 6 \text{ mm}$$

$$A = 37,66 \text{ cm}^2 \quad t_f = 9 \text{ mm}$$

$$V_c = 5281,33 \text{ kg}$$

Kolom

WF 400 x 400 x 13 x 21

$$a = 400 \text{ mm} \quad t_w = 13 \text{ mm}$$

$$A = 218,70 \text{ cm}^2 \quad t_f = 21 \text{ mm}$$

Pelat Penyambung

L 60 x 60 x 6

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$A = 6,91 \text{ cm}^2$$

$$\text{Mutu baut} = \text{A325} - f_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Tabel J3.2 SNI 1729:2015}$$

$$\text{Mutu profil} = \text{BJ41} - f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$- f_y = 2500 \text{ kg/cm}^3$$

- Sambungan Pada Badan Balok Penumpu Tangga:

$$\text{Øbaut} = 12 \text{ mm} \quad - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 2 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\text{Ø.R}_n = \text{Ø} \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 2$$

$$= 6307,63 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n \\ &= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1 \\ &= 5313,60 \text{ kg} \quad \text{menentukan}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\emptyset.R_n} = 0,99 = 1 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 0$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 0 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(0 \times 0) + (30 \times 2) = 60 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 6,91 \times 2500 \\ &= 15547,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat putus

$$\emptyset_{\text{baut}} = 12 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{\text{lubang}} = 12 + 1,5 = 13,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}A_n &= 6,91 - (1 \times 1,35 \times 0,6) \\ &= 6,10 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$A_n \leq 0,85A_g = 6,10 > 5,87 \quad A_n = 0,85A_g$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

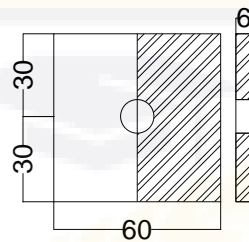
$$A_e = U \times A_n$$

$$= 1 \times 5,87$$

$$= 5,87 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
\emptyset.R_n &= \emptyset \times A_e \times f_u \\
&= 0,75 \times 5,87 \times 4100 \\
&= 18061 \quad \text{kg}
\end{aligned}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 64: Bidang Geser pada Profil L60x60x6

$$\begin{aligned}
A_{gv} &= P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} \\
&= 60 \times 6 = 360 \text{ mm}^2 \\
A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \emptyset_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} \\
&= 360 - 1 \times 13,50 \times 6 = 279,00 \text{ mm}^2 = 2,79 \text{ cm}^2 \\
\emptyset.R_n &= \emptyset \times 0,60 \times f_u \times A_{nv} \\
&= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 2,79 \\
&= 5147,55 \quad \text{kg}
\end{aligned}$$

Digunakan 2 pelat siku

$$\text{Maka, } 2\emptyset.R_n = 10295,10 \text{ kg} > V_u = 5281,33 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

- Sambungan Las Pada Kolom Dengan Pelat:

$$\begin{aligned}
V_u &= 5281,33 \text{ kg} \\
d_{\text{plat}} &= 60 \text{ mm} \\
\text{Mutu las} &= FE_{70XX} = 70 \times 70,30 = 4921 \text{ kg/cm}^2 \\
\text{Misal } t_e &= 1 \text{ cm} \\
A_{\text{las}} &= 2 \times (1 \times 6) = 12 \text{ cm}^2 \\
I_x &= \frac{(12)^3}{12} = 144 \text{ cm}^4 \\
F_{u_{\text{las}}} &= \emptyset \times 0,60 \times F_{E70XX} \times t_e \\
&= 0,75 \times 0,60 \times 4921 \times 1 \\
&= 2214,45 \text{ kg/cm}^2 \\
\emptyset.R_n &= F_{u_{\text{las}}} \times A_{\text{las}} > V_u \\
&= 2214,45 \times 12 > V_u \\
&= 26573,40 \text{ kg} > 5281,33 \text{ kg} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$

Akibat V_u

$$f_{\text{total}} = f_v = \frac{V_u}{A_{\text{las}}} = \frac{5281,33}{12} = 440,11 \text{ kg/cm}^2$$

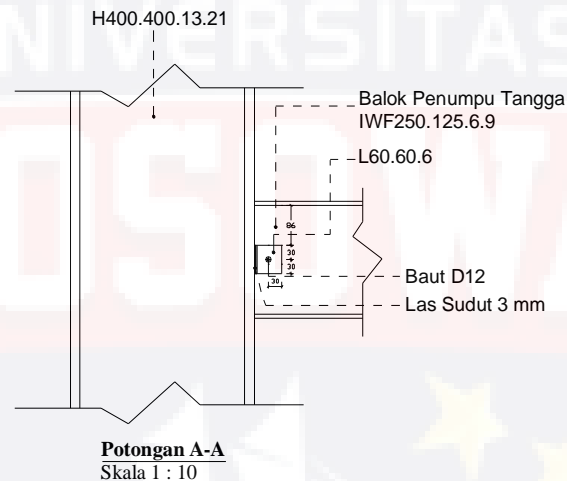
$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{440,11}{2214,45} = 0,20 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,20}{0,707} = 0,28 \text{ cm}$$

Persyaratan ukuran min las sudut berdasarkan tabel J2.4 SNI 1729:2015

$$t_{\text{plat}} = 6 \text{ mm} \quad t < 6 \text{ mm}, \quad a_{\text{min}} = 3 \text{ mm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 0,30 \text{ cm}$



Gambar 4. 65: Sambungan J1B dan J1C

c. Joint J2 dan J3 (Balok Utama Tangga dengan Balok Anak Lantai)

Sambungan antara balok utama tangga dan balok anak lantai direncanakan dengan las yang hanya memikul beban geser dari balok utama tangga, sehingga dalam analisa dianggap sebagai sendi.

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok utama tangga dengan balok anak lantai :

Balok Utama Tangga

WF 250 x 125 x 6 x 9

$$a = 250 \text{ mm} \quad t_w = 6 \text{ mm}$$

$$A = 37,66 \text{ cm}^2 \quad t_f = 9 \text{ mm}$$

$$V_u = 2533,97 \text{ kg}$$

Balok Anak Lantai

WF 350 x 175 x 7 x 11

$$a = 350 \text{ mm} \quad t_w = 7 \text{ mm}$$

$$A = 63,14 \text{ cm}^2 \quad t_f = 11 \text{ mm}$$

- Sambungan Las Pada Balok Anak Lantai Dengan Balok Utama Tangga:

$$V_u = 2533,97 \text{ kg}$$

$$d_{\text{plat}} = 175 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu las} = \text{FE}_{70\text{XX}} = 70 \times 70,30 = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Misal } t_e = 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{las}} = 2 \times (1 \times 17,5) = 35 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{(35)^3}{12} = 3573 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} F_{u_{\text{las}}} &= \emptyset \times 0,60 \times F_{E70\text{XX}} \times t_e \\ &= 0,75 \times 0,60 \times 4921 \times 1 \\ &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset \cdot R_n &= F_{u_{\text{las}}} \times A_{\text{las}} > V_u \\ &= 2214,45 \times 35 > V_u \\ &= 77505,75 \text{ kg} > 2533,97 \text{ kg} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Akibat V_u

$$f_{\text{total}} = f_v = \frac{V_u}{A_{\text{las}}} = \frac{2533,97}{35} = 72,40 \text{ kg/cm}^2$$

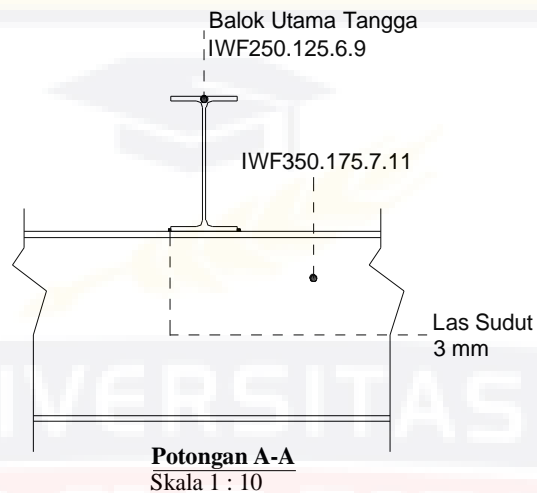
$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{72,40}{2214,45} = 0,03 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,03}{0,707} = 0,05 \text{ cm}$$

Persyaratan ukuran min las sudut berdasarkan tabel J2.4 SNI 1729:2015

$$t_{\text{plat}} = 9 \text{ mm} \quad 6 < t < 13 \text{ mm}, \quad a_{\text{min}} = 5 \text{ mm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 0,50 \text{ cm}$



Gambar 4. 66: Sambungan J2 dan J3

d. Joint J4 (Kolom Penumpu Tangga dengan Balok Induk Lantai)

Sambungan antara kolom penumpu tangga dan balok induk lantai direncanakan dengan las yang hanya memikul beban geser dari kolom penumpu tangga, sehingga dalam analisa dianggap sebagai sendi. Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan kolom penumpu tangga dengan balok induk lantai :

Kolom Penumpu Tangga

IWF 150 x 100 x 6 x 9

$$a = 150 \text{ mm} \quad t_w = 6 \text{ mm}$$

$$A = 37,66 \text{ cm}^2 \quad t_f = 9 \text{ mm}$$

$$V_u = 5281,33 \text{ kg}$$

Balok Induk Lantai

IWF 400 x 200 x 8 x 13

$$a = 400 \text{ mm} \quad t_w = 8 \text{ mm}$$

$$A = 84,10 \text{ cm}^2 \quad t_f = 13 \text{ mm}$$

Pelat Penyambung

$$L = 60 \times 60 \times 6$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$A = 6,91 \text{ cm}^2$$

$$\text{Mutu baut} = A325 - f_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \text{ Tabel J3.2 SNI 1729:2015}$$

$$\text{Mutu profil} = BJ41 - f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$- f_y = 2500 \text{ kg/cm}^3$$

- Sambungan Pada Badan Kolom Penumpu Tangga:

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm} - A_b = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$m = 2 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \text{ (ulir pada bidang geser)}$$

Kuat geser baut:

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 1,13 \times 2$$

$$= 6307,63 \text{ kg} \text{ tidak menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 1,20 \times 0,60 \times 4100 \times 1$$

$$= 5313,60 \text{ kg} \text{ menentukan}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\varnothing.R_n} = 0,99 = 1 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 0$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 36 \leq 0 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 18 \leq 30 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 18 \leq 30 \leq 72$$

Panjang pelat siku

$$(0 \times 0) + (30 \times 2) = 60 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 6,91 \times 2500 \\ &= 15547,50 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat putus

$$\begin{aligned}\emptyset_{\text{baut}} &= 12 \text{ mm} \\ \emptyset_{\text{lubang}} &= 12 + 1,5 = 13,50 \text{ mm} \\ A_n &= 6,91 - (1 \times 1,35 \times 0,6) \\ &= 6,10 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

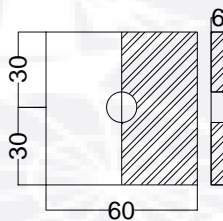
$$A_n \leq 0,85A_g = 6,10 > 5,87 \quad A_n = 0,85A_g$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$\begin{aligned}A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 5,87 \\ &= 5,87 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 5,87 \times 4100 \\ &= 18061,01 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol geser



Gambar 4. 67: Bidang Geser pada Profil L60x60x6

$$\begin{aligned}A_{gv} &= P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} \\ &= 60 \times 6 = 360 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \emptyset_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} \\ &= 360 - 1 \times 13,50 \times 6 = 279,00 \text{ mm}^2 = 2,79 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= \emptyset \times 0,60 \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 2,79 \\ &= 5147,55 \text{ kg}\end{aligned}$$

Digunakan 2 pelat siku

$$\text{Maka, } 2\emptyset.R_n = 10295,10 \text{ kg} > V_u = 5281,33 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

- Sambungan Las Pada Balok Induk Lantai Dengan Pelat:

$$V_u = 5281,33 \text{ kg}$$

$$d_{\text{plat}} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu las} = F_{E70XX} = 70 \times 70,30 = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Misal } t_e = 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{las}} = 2 \times (1 \times 6) = 12 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{(12)^3}{12} = 144 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned}F_{u_{\text{las}}} &= \emptyset \times 0,60 \times F_{E70XX} \times t_e \\ &= 0,75 \times 0,60 \times 4921 \times 1 \\ &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset.R_n &= F_{u_{\text{las}}} \times A_{\text{las}} > V_u \\ &= 2214,45 \times 12 > V_u \\ &= 26573,40 \text{ kg} > 5281,33 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Akibat V_u

$$f_{\text{total}} = f_v = \frac{V_u}{A_{\text{las}}} = \frac{5281,33}{12} = 440,11 \text{ kg/cm}^2$$

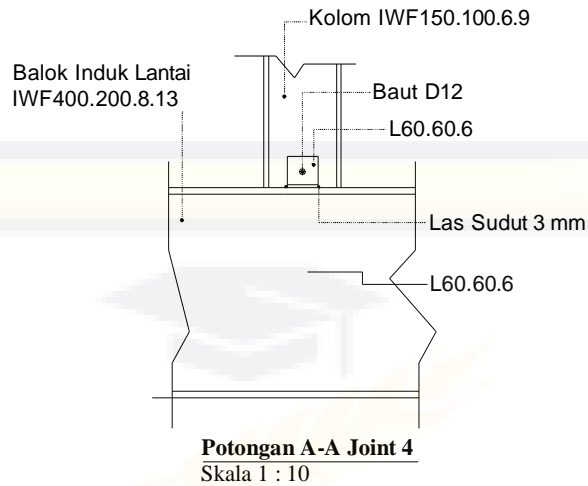
$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{440,11}{2214,45} = 0,20 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,20}{0,707} = 0,28 \text{ cm}$$

Persyaratan ukuran minimum las sudut berdasarkan tabel J2.4 SNI 1729:2015

$$t_{\text{plat}} = 6 \text{ mm} \quad t < 6 \text{ mm}, \quad a_{\text{min}} = 3 \text{ mm}$$

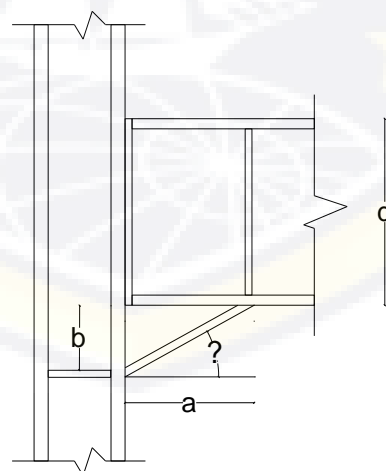
Digunakan las sudut dengan $a = 0,30 \text{ cm}$



Gambar 4. 68: Sambungan J4

4.4.3.4. Sambungan Balok Induk dengan Kolom

Sambungan balok induk dengan kolom direncanakan menggunakan sambungan baut dan las yang memikul beban geser dan momen yang terjadi pada balok induk. Perencanaan sambungan ini dianggap sebagai jepit (*rigid connection*). Sambungan balok induk menggunakan *end-plate* dengan menambahkan potongan profil sama berbentuk segitiga (*haunch*) yang dilas pada bagian bawah profil balok.



Gambar 4. 69: Desain Geometris Haunch

Keterangan :

D = Tinggi profil balok

A = Panjang rencana haunch ($a = 0,6d$)

θ = Sudut rencana haunch ($\theta = 30^\circ \pm 5^\circ$)

B = Tinggi rencana haunch ($b = a \tan \theta$)

Berikut ini adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok induk lantai dengan kolom:

Balok Induk Melintang

WF 400 x 200 x 8 x 13

$a = 400$ mm $t_w = 8$ mm $I_y = 4,54$ cm

$A = 84,1$ cm² $t_f = 13$ mm $Z_x = 1285,95$ cm³

$V_u = 15506,22$ kg $L = 600$ cm

Kolom

WF 400 x 400 x 13 x 21

$a = 400$ mm $t_w = 13$ mm

$A = 218,70$ cm² $t_f = 21$ mm

Pelat Penyambung

$t = 8$ mm

$A = 15,36$ cm²

Mutu baut = A325 - $f_{nv} = 3720$ kg/cm² Tabel J3.2 SNI 1729:2015

- $f_{ub} = 8250$ kg/cm²

Mutu profil = BJ41 - $f_u = 4100$ kg/cm²

- $f_y = 2500$ kg/cm³

Mutu pelat = BJ41 - $f_u = 4100$ kg/cm²

- $f_y = 2500$ kg/cm³

Mutu las = FE_{70XX} = 70 x 70,30 = 4921 kg/cm³

Preliminary Design Haunch

$$a = 0,60 \times d = 240 \text{ mm}$$

$$\theta = 32^\circ$$

$$b = a \tan \theta = 150, \text{ digunakan } b = 150 \text{ mm}$$

$$h = d + b = 550 \text{ mm}$$

- Perhitungan gaya pada sambungan

Akibat kapasitas penampang

$$\begin{aligned} M_{ub} &= 1,10 \times R_y \times Z_x \times f_y \\ &= 1,10 \times 1,50 \times 1285,95 \times 2500 \\ &= 5304543,75 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ub1} &= 2 \times (M_u / L) \\ &= 2 \times (5304543,75 / 600) \\ &= 17681,81 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat kombinasi 1.2D+1.6L

$$V_{ub2} = 18109,89 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_{total} &= V_{ub1} + V_{ub2} \\ &= 35791,70 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Sambungan Baut Pada Kolom Dengan Pelat

$$\varnothing_{\text{baut}} = 16 \text{ mm} \quad - \quad A_b = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$m = 1 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\begin{aligned} \varnothing \cdot R_n &= \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 3720 \times 2,01 \times 1 \\ &= 5606,78 \text{ kg} \quad \text{menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \varnothing \cdot R_n &= \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n \\ &= 0,75 \times 2,40 \times 1,60 \times 0,80 \times 4100 \times 1 \\ &= 9446,40 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tarik baut

$$\begin{aligned}\phi.T_n &= \phi \times 0,75 \times A_b \times f_{ub} \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 2,01 \times 8250 \\ &= 9325,80 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$\frac{V_u}{\phi.T_n} = 6,38 = 8 \text{ buah}$$

- Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 60 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 48 \leq 60 \leq 120$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 97 \text{ mm}$$

$$1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 24 \leq 97 \leq 132$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 48 \text{ mm}$$

$$1,5d_b \leq S \leq 12t_p = 24 \leq 48 \leq 72$$

$$\text{Panjang pelat} = 374 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar pelat} = 96 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\phi.R_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 15,36 \times 2500 \\ &= 34560 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat putus

$$\phi_{\text{baut}} = 16 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{lubang}} = 16 + 1,5 = 17,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}A_n &= 15,4 - (1 \times 1,75 \times 0,80) \\ &= 13,96 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

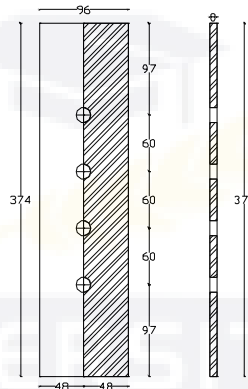
$$A_n \leq 0,85A_g = 13,96 > 13,06 \quad A_n = 0,85A_g$$

$$U = 1 \quad \text{faktor shear lag}$$

$$\begin{aligned}A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 13,06 \\ &= 13,06 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset.R_n &= \emptyset \times A_e \times f_u \\
 &= 0,75 \times 13,06 \times 4100 \\
 &= 40147,20 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol geser



Gambar 4. 70: Bidang Geser pada Profil end plate

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} \\
 &= 374 \times 8 = 2992 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \emptyset_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} \\
 &= 2992 - 4 \times 17,50 \times 8 = 2432 \text{ mm}^2 = 24,32 \\
 \emptyset.R_n &= \emptyset \times 0,60 \times f_u \times A_{nv} \\
 &= 0,75 \times 0,60 \times 4100 \times 24 \\
 &= 44870 \text{ kg} \\
 \text{Jadi, } \emptyset.R_n &= 69120,00 \text{ kg} > V_u = 35791,70 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- Sambungan Las Pada Balok Dengan Pelat:

$$\begin{aligned}
 V_u &= 35791,70 \text{ kg} \\
 d_{\text{plat}} &= 374 \text{ mm} \\
 \text{Mutu las} &= F_{E70XX} = 70 \times 70,30 = 4921 \text{ kg/cm}^2 \\
 \text{Misal } t_e &= 1 \text{ cm} \\
 A_{\text{las}} &= 2 \times (1 \times 37) = 75 \text{ cm}^2 \\
 I_x &= \frac{(75)^3}{12} = 34876 \text{ cm}^4 \\
 F_{u_{\text{las}}} &= \emptyset \times 0,60 \times F_{E70XX} \times t_e \\
 &= 0,75 \times 0,60 \times 4921 \times 1 \\
 &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= F_{u_{las}} \times A_{las} > V_u \\
 &= 2214,45 \times 75 > V_u \\
 &= 165640,86 \text{ kg} > 35791,70 \text{ kg} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

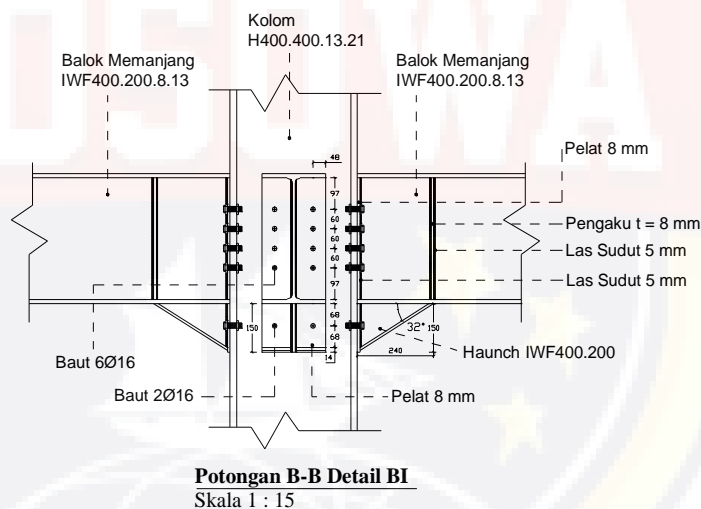
Akibat V_u

$$\begin{aligned}
 f_{total} = f_v &= \frac{V_u}{A_{las}} = \frac{35791,70}{74,8} = 478,50 \text{ kg/cm}^2 \\
 t_e &= \frac{f_{total}}{f_{u_{las}}} = \frac{478,50}{2214,45} = 0,22 \text{ cm} \\
 a &= \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,22}{0,707} = 0,31 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Persyaratan ukuran min las sudut berdasarkan tabel J2.4 SNI 1729:2015

$$t_{plat} = 8 \text{ mm} \quad 6 < t < 13 \text{ mm} \quad a_{min} = 5 \text{ mm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 0,50 \text{ cm}$



Gambar 4. 71: Sambungan Balok Induk dengan Kolom

4.4.3.5. Sambungan Antar Kolom

Sambungan kolom yang direncanakan pada lantai 4. Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 diperoleh gaya yang bekerja pada kolom lantai 4 adalah sebagai berikut :

Kolom Lt 4

WF 400 x 400 x 13 x 21

$$a = 400 \text{ mm} \quad t_w = 13 \text{ mm} \quad I_x = 66600 \text{ cm}^4$$

$$A = 218,70 \text{ cm}^2 \quad t_f = 21 \text{ mm} \quad I_y = 22400 \text{ cm}^4$$

$$P_u = 80292,31 \text{ kg} \quad (1.2D+1.6L)$$

$$M_{ux} = 560850 \text{ kgcm} \quad (1.2D+1.6L)$$

$$M_{uy} = 689060 \text{ kgcm} \quad (1.2D+1E_y+1L)$$

$$V_{ux} = 2782,14 \text{ kg} \quad (1.2D+1.6L)$$

$$V_{uy} = 1516,49 \text{ kg} \quad (1.2D+1.6L)$$

Kolom Lt 3

WF 400 x 400 x 13 x 21

$$a = 400 \text{ mm} \quad t_w = 13 \text{ mm}$$

$$A = 218,70 \text{ cm}^2 \quad t_f = 21 \text{ mm}$$

Pembagian beban aksial

$$\begin{aligned} P_{u_{\text{badan}}} &= \frac{A_{\text{badan}}}{A_{\text{profil}}} \times P_u \\ &= \frac{1,30 \times 40}{218,70} \times 80292,31 = 19090,99 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u_{\text{sayap}}} &= P_u - P_{u_{\text{badan}}} \\ &= 80292,31 - 19090,99 \\ &= 61201,32 \text{ kg} \end{aligned}$$

a. Sambungan arah-y

Pembagian beban momen

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{badan}}} &= \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profil}}} \times M_{u_y} \\ &= \frac{1/12 \times 1,30 \times 40^3}{66600} \times 689060,00 \\ &= 71733,97 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{sayap}}} &= M_{u_y} - M_{u_{\text{badan}}} \\ &= 689060,00 - 71733,97 \\ &= 617326,03 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

- Sambungan baut pada sayap kolom

$$\varnothing_{\text{baut}} = 22 \quad \text{mm} \quad - \quad A_b = 3,80 \text{ cm}^2$$

$$f_{u_{\text{baut}}} = 8250 \quad \text{kg/cm}^2 \quad (\text{Mutu baut A325})$$

$$F_{nv} = 3720 \quad \text{kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

$$m = 1 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$t_p = 15 \quad \text{mm}$$

$$f_{u_{\text{pelat}}} = 4100 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$f_{y_{\text{pelat}}} = 2500 \quad \text{kg/cm}^3$$

Kuat geser baut:

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 3720 \times 3,80 \times 1$$

$$= 10600,33 \text{ kg} \quad \text{menentukan}$$

Kuat tumpu baut

$$\varnothing.R_n = \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n$$

$$= 0,75 \times 2,40 \times 2,20 \times 1,50 \times 4100 \times 1$$

$$= 24354 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan}$$

Gaya kopel pada sayap

$$T = \frac{Mu_{\text{sayap}}}{a} = \frac{617326,03}{40} = 15433,15 \text{ kg}$$

Jumlah gaya total pada sayap

$$T_u = T + Pu_{\text{sayap}}$$

$$= 15433,15 + 61201,32 = 76634,47 \text{ kg}$$

Jumlah baut

$$\frac{T_u}{\varnothing.V_n} = 7,23 = 8 \text{ buah}$$

Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 70 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 66 \leq 70 \leq 225$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 40 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p+100) = 33 \leq 40 \leq 160$$

Jarak baut ketepi tidak terbebani = 60 mm

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p = 33 \leq 60 \leq 180$$

Panjang pelat

$$(70 \times 3) + (40 \times 2) = 290 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar pelat} = 210 \text{ mm}$$

b. Sambungan arah-x

Pembagian beban momen

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{\text{badan}} &= \frac{l_{\text{badan}}}{l_{\text{profil}}} \times \text{Mu}_x \\ &= \frac{1/12 \times 1,30 \times 40^3}{22400} \times 560850,00 \\ &= 173596,43 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{\text{sayap}} &= \text{Mu}_x - \text{Mu}_{\text{badan}} \\ &= 560850,00 - 173596,43 \\ &= 387253,57 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

- Sambungan baut pada badan kolom

$$\emptyset_{\text{baut}} = 22 \text{ mm} \quad - \quad A_b = 3,80 \text{ cm}^2$$

$$f_{u_{\text{baut}}} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Mutu baut A325})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

$$m = 2 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$f_{u_{\text{pelat}}} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{y_{\text{pelat}}} = 2500 \text{ kg/cm}^3$$

Kuat geser baut:

$$\begin{aligned} \emptyset.R_n &= \emptyset \times F_{nv} \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 3720 \times 3,80 \times 2 \\ &= 21200,65 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \emptyset.R_n &= \emptyset \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \times n \\ &= 0,75 \times 2,40 \times 2,20 \times 1,30 \times 4100 \times 1 \\ &= 21106,80 \text{ kg} \quad \text{menentukan} \end{aligned}$$

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan badan:

$$e = \frac{Mu_{\text{badan}}}{P_u} = \frac{173596,43}{80292,31} = 2,16 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} Mu_{\text{total}} &= Mu_{\text{badan}} + Pu_{\text{badan}} \times e \\ &= 173596,43 + (19090,99 \times 2,16) \\ &= 214872,21 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pu_{\text{total}} &= Pu_{\text{badan}} \\ &= 19090,99 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perkiraan jumlah baut:

$$n = \sqrt{\frac{6 \cdot Mu}{\mu \cdot Ru}}$$

Sambungan memikul beban M_u dan P_u sehingga R_u

direduksi $\phi = 0,70$.

Susunan baut lebih dari satu deret nilai R_u dinaikan 1,20

$$R_u = 0,70 \times 1,20 \times 21106,80 = 17729,71 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} n &= \sqrt{\frac{6 \cdot Mu_{\text{total}}}{\mu \cdot Ru}} \\ &= \sqrt{\frac{6 \cdot 251578,64}{10 \cdot 17729,71}} = 7,27 = 10 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak antar baut} = 70 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p = 66 \leq 70 \leq 225$$

$$\text{Jarak baut ketepi terbebani} = 40 \text{ mm}$$

$$1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) = 33 \leq 40 \leq 160$$

$$\text{Jarak baut ketepi tidak terbebani} = 60 \text{ mm}$$

$$1,5d_b \leq S \leq 12t_p = 33 \leq 60 \leq 180$$

Panjang pelat

$$(70 \times 4) + (40 \times 2) = 360 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar pelat} = 238 \text{ mm}$$

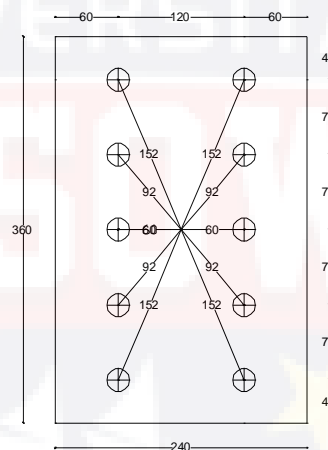
$$= 240 \text{ mm}$$

Kontrol beban

$$K_{uv1} = \frac{Pu_{\text{badan}}}{n} = \frac{19090,99}{10} = 1909,10 \text{ kg}$$

$$K_{uh1} = \frac{Vu_x}{n} = \frac{2782,14}{10} = 278,21 \text{ kg}$$

Akibat Mu_{total}



Gambar 4. 72: Titik Berat Sambungan Antar Kolom

Beban max pada baut dengan $x = 6 \text{ cm}$ dan $y = 10,50 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \Sigma (X^2 + Y^2) &= [(10 (6^2) + 4 (6^2 + 10^2 + 14^2))] \\ &= 1688 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

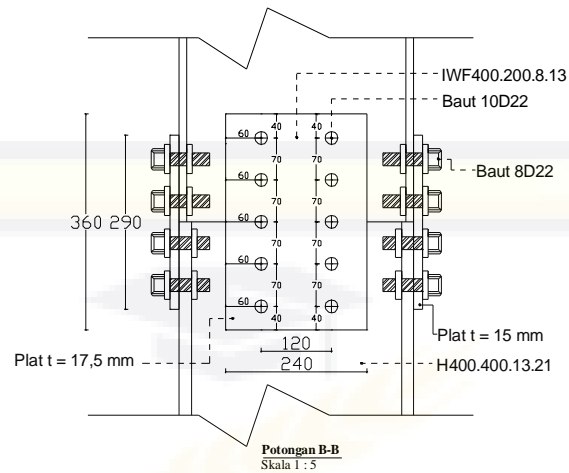
$$K_{uh2} = \frac{Mu_{\text{total}} \cdot X}{\Sigma (X^2 + Y^2)} = \frac{214872,21 \times 6}{1688} = 763,76 \text{ kg}$$

$$K_{uv2} = \frac{Mu_{\text{total}} \cdot Y}{\Sigma (X^2 + Y^2)} = \frac{214872,21 \times 14,00}{1688} = 1782,12 \text{ kg}$$

$$\text{Sehingga, } Ku_{\text{total}} = \sqrt{(\Sigma K_{uv})^2 + (\Sigma K_{uh})^2} = 3835,46 \text{ kg}$$

$$Ku_{\text{total}} \leq \emptyset \cdot R_n$$

$$3835,46 \leq 21200,65 \quad \text{OK}$$



Gambar 4. 73: Sambungan Antar Kolom

4.4.3.6. Sambungan Kolom dengan Base Plate

Sambungan kolom dengan base plate direncanakan menggunakan fixed plate 600x600x20 pada elemen yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 131 di lantai dasar.

Dengan data-data sebagai berikut

Fixed Plate

$$600 \times 600 \times 30$$

$$H = 600 \quad \text{mm} \quad f_{u_{\text{pelat}}} = 4100 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$B = 600 \quad \text{mm} \quad f_{y_{\text{pelat}}} = 2500 \quad \text{kg/cm}^3$$

$$T_p = 30 \quad \text{mm}$$

$$q = 84,78 \quad \text{kg}$$

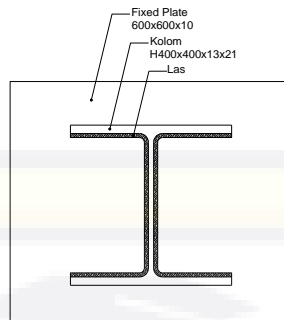
Dari hasil analisa SAP 2000 diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada elemen 131 adalah sebagai berikut :

$$P_u = 172752,48 \quad \text{kg}$$

$$M_{uy} = 1487597 \quad \text{kgcm}$$

$$M_{ux} = 130704 \quad \text{kgcm}$$

$$V_u = 3568,84 \quad \text{kg}$$



Gambar 4. 74: Rencana Las pada Base Plate

- Sambungan las sudut pada base plate:

Direncanakan las pada daerah yang diarsir pada profil H400x400x13x21

Misal $t_e = 1 \text{ cm}$

$$A_{\text{las}} = [(2 \times 36) + (2 \times 39)] \times 1 = 149 \text{ cm}^2$$

$$I_x = [2(\frac{1}{12} \times 1 \times 39^3 + \frac{1}{12} \times 36 \times 1^3)]$$

$$= 9666,07 \text{ cm}^4$$

$$I_y = [2(\frac{1}{12} \times 39 \times 1^3 + \frac{1}{12} \times 1 \times 36^3)]$$

$$= 7653,57 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{9666,07}{18} = 540 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{I_y}{x} = \frac{7653,57}{19} = 396 \text{ cm}^3$$

$$\text{Mutu las} = F_{E70XX} = 70 \times 70,30 = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} F_{u_{\text{las}}} &= \phi \times 0,60 \times F_{E70XX} \times t_e \\ &= 0,75 \times 0,60 \times 4921 \times 1 \\ &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Akibat P_u

$$\begin{aligned} f_v &= \frac{P_u}{A_{\text{las}}} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} \\ &= \frac{172752,48}{149} + \frac{130704}{540} + \frac{1487597}{396} \\ &= 5162,45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Akibat V_u

$$f_h = \frac{V_u}{A_{\text{las}}} = \frac{3568,84}{149} = 23,95 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{fv^2 + fh^2}$$

$$= \sqrt{5162,45^2 + 23,95^2}$$

$$= 5162,45 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{5162,45}{2214,45} = 2,33 \text{ cm}$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{t_e}{0,707} = \frac{2,33}{0,707} = 3,30 \text{ cm}$$

Persyaratan ukuran minimum las sudut berdasarkan tabel J2.4 SNI 1729:2015

$$t_{\text{minpelat}} = 13 \text{ mm} \quad 6 > t \geq 13 \text{ mm} \quad a_{\text{min}} = 5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{eff maks}} = \frac{1,41 \times f_{u_{\text{pelat}}} \times t_p}{F_{E70XX}}$$
$$= \frac{1,41 \times 4100 \times 1,30}{4921} = 1,53 \text{ cm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 1,53 \text{ cm}$

- Perhitungan base plate

Periksa eksentrisitas gaya:

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1487597}{172752,48} = 8,61 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{6} h = \frac{1}{6} \times 60 = 10 \text{ cm}$$

Karena $1/6 h > e$, maka tidak terjadi gaya tarik, sehingga tidak perlu memasang gaya angkur (dipasang angkur praktis)

Direncanakan menggunakan $\emptyset_{\text{baut}} \text{ angkur} = 22 \text{ mm}$

$$h' \geq w_e + c_1$$

$w_e =$ jarak baut ke tepi

$$= 2 \times d_b = 44 \text{ mm} \quad \text{digunakan} = 100 \text{ mm}$$

$c_1 =$ jarak minimum untuk kunci

$$= 27/16 \times d_b = 37 \text{ mm} \quad \text{digunakan} = 40 \text{ mm}$$

$$h' \geq 100 + 40 = 140 \text{ mm}$$

$$h \geq H - 0.50 h' = 530 \text{ mm}$$

$$B = 700 \text{ mm}$$

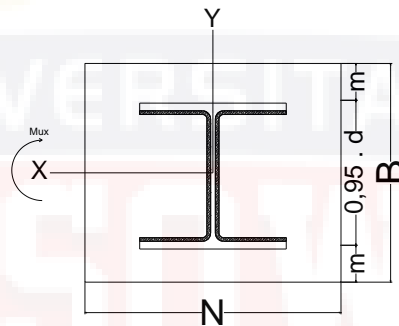
Dimensi beton : Mutu beton : 25 Mpa

Panjang = 700 mm

Lebar = 700 mm

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{700 \times 700}{600 \times 600}} = 1,17$$

Perencanaan akibat beban sumbu X



Gambar 4. 75: Arah Sumbu X pada Base Plate

Akibat beban P_u

$$f_{pa} = \frac{P_u}{B.N} = \frac{172752,48}{60 \times 60} = 47,99 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat beban M_{ux}

$$f_{pb} = \frac{M_{ux}}{B.N^2} = \frac{130704,00}{60 \times 60^2} = 0,61 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan maksimal

$$f_{p \max} = f_{pa} + f_{pb} = 47,99 + 0,61 = 48,59 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan yang dapat diterima kolom

$$\begin{aligned} f_{p \text{ avail}} &= \phi \cdot 0,85 \cdot f'_c = 0,90 \times 0,85 \times 25 \\ &= 19,13 \text{ Mpa} = 191,25 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $f_{p \text{ avail}} > F_{p \max}$

$$f_{p \text{ avail}} = 191,25 \text{ kg/cm}^2 > 48,59 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Menentukan Mu_{pelat} pada sejarak m setiap lebar 1 cm pelat

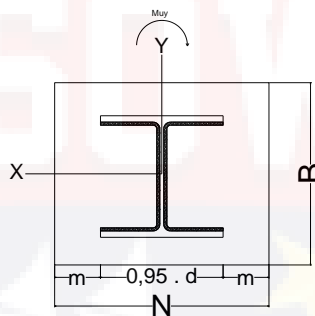
$$m = \frac{N - 0,95.d}{2} = \frac{60 - 0,95 \times 40}{2} = 11 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} Mu_{\text{plate}} &= (f_{p \max} - 2 \times f_{pb} \times \frac{m}{N}) \times (\frac{m^2}{2}) + (2 \times f_{pb} \times \frac{m}{N}) \times (\frac{m^3}{3}) \\ &= (48,59 - 2 \times 0,61 \times \frac{11}{60}) \times (\frac{11^2}{2}) + (2 \times 0,61 \times \frac{11}{60}) \times (\frac{11^3}{3}) \\ &= 2926,39 + 98,44 = 3024,83 \text{ kgcm/cm} \end{aligned}$$

Kontrol tebal base plate

$$t = \sqrt{\frac{4 \cdot Mu_{\text{plate}}}{0,90 \cdot fy_{\text{plate}}}} = \sqrt{\frac{4 \times 3567,28}{0,90 \times 2500}} = 2,32 \text{ cm} < 3 \text{ cm} \quad \mathbf{OK}$$

Perencanaan akibat beban sumbu Y



Gambar 4. 76: Arah Beban Sumbu Y pada Base Plate

Akibat beban P_u

$$f_{pa} = \frac{P_u}{B \cdot N} = \frac{172752,48}{60 \times 60} = 47,99 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat beban Mu_x

$$f_{pb} = \frac{Mu_y}{B \cdot N^2} = \frac{1487597}{60 \times 60^2} = 6,89 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan maksimal

$$f_{p \max} = f_{pa} + f_{pb} = 47,99 + 6,89 = 54,87 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan yang dapat diterima kolom

$$f_{p \text{ avail}} = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c = 0,90 \times 0,85 \times 25 \\ = 19,13 \text{ Mpa} = 191,25 \text{ kg/cm}^2$$

Syarat : $f_{p \text{ avail}} > F_{p \text{ max}}$

$$f_{p \text{ avail}} = 191,25 \text{ kg/cm}^2 > 54,87 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Menentukan Mu_{pelat} pada sejarak m setiap lebar 1 cm pelat

$$m = \frac{N - 0,95 \cdot d}{2} = \frac{60 - 0,95 \times 40}{2} = 11 \text{ cm}$$

$$Mu_{\text{plate}} = \left(f_{p \text{ max}} - 2 \times f_{pb} \times \frac{m}{N} \right) \times \left(\frac{m^2}{2} \right) + \left(2 \times f_{pb} \times \frac{m}{N} \right) \times \left(\frac{m^3}{3} \right) \\ = \left(54,87 - 2 \times 6,89 \times \frac{11}{60} \right) \times \left(\frac{11^2}{2} \right) + \left(2 \times 6,89 \times \frac{11}{60} \right) \times \left(\frac{11^3}{3} \right) \\ = 3167,09 + 1120,37 = 4287,45 \text{ kgcm/cm}$$

Kontrol tebal base plate

$$t = \sqrt{\frac{4 \cdot Mu_{\text{plate}}}{0,90 \cdot fy_{\text{plate}}}} = \sqrt{\frac{4 \times 3933,60}{0,90 \times 2500}} = 2,76 \text{ cm} < 3 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

- Perhitungan pelat pengaku

Pelat pengaku direncanakan seperti dengan dengan balok yang menerima beban momen dari pelat landas. Dimensi pelat minimum menurut SNI-1729-2015 Pasal G3-3

Lebar pelat pengaku minimum (b_s)

$$b_s = \frac{b}{3} - \frac{t_w}{2} = \frac{40}{3} - \frac{1,30}{2} = 13 \text{ cm}$$

Tebal pelat pengaku minimum (t_s)

$$t_s \geq 0,50 t_f = 0,50 \times 2,10 = 1,05 \text{ cm}$$

Direncanakan tebal pengaku 1.5xtebal disambung, maka tebal pelat pengaku yang digunakan (t_s) = 1.50 cm dengan las sudut minimum berdasarkan tabel J2.4 SNI 1729:2015 ($a = 6 \text{ mm}$)

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{f_{ypelat}}} = \frac{13}{1,50} \leq 16 = 8,46 \leq 16 \quad \text{OK}$$

Pelat penguat dengan tebal 1.50 cm dan lebar 13 cm dapat digunakan

- Perhitungan baut angkur

Gaya tarik yang terjadi pada angkur

$$T = \frac{f_{p,max} \cdot H \cdot B}{2} - P_u$$

$$= \frac{54,87 \times 60 \times 60}{2} - 172752,48 = 24793,28 \text{ kg}$$

“Karena $1/6 h > e$, maka dipasang angkur praktis”

Direncanakan menggunakan baut angkur Ø22 mutu A325

$$f_{u,baut} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{y,tul} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing_{baut} = 22 \text{ mm} \quad - \quad A_b = 3,80 \text{ cm}^2$$

$$m = 1 \quad (\text{jumlah bidang geser})$$

$$F_{nv} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ulir pada bidang geser})$$

Kuat geser baut:

$$\begin{aligned} \varnothing.R_n &= \varnothing \times F_{nv} \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 8250 \times 3,80 \times 1 \\ &= 23508,79 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \varnothing.R_n &= \varnothing \times 2,40 \times d_b \times t_p \times f_{up} \\ &= 0,75 \times 2,40 \times 2,20 \times 3 \times 4100 \times 1 \\ &= 48708 \text{ kg} \quad \text{tidak menentukan} \end{aligned}$$

Kuat tarik baut

$$\begin{aligned} \varnothing.T_n &= \varnothing \times 0,75 \times A_b \times f_{ub} \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 3,80 \times 8250 \\ &= 17631,59 \text{ kg} \quad \text{menentukan} \end{aligned}$$

Kontrol geser jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\varnothing.V_n} = \frac{3568,84}{23508,79} = 0,15 = 1 \text{ buah}$$

Kontrol tarik jumlah baut

$$n = \frac{T}{\phi \cdot V_n} = \frac{24793,28}{23508,79} = 1,05 = 3 \text{ buah}$$

digunakan 3 buah baut arah x dan 3 buah baut arah y

$$\begin{aligned} L_d &= \left(\frac{f_{y_{tul}}}{1,10 \lambda \sqrt{f'c}} \times \frac{\alpha \cdot \beta \cdot \gamma}{\left(\frac{c_b - K_{tr}}{d_b}\right)} \right) \times d_b \\ &= \left(\frac{250}{1,10 \times 1 \sqrt{25}} \times \frac{1 \times 1,20 \times 1}{\left(\frac{40-0}{22}\right)} \right) \times d_b \\ &= 45,45 \times 0,66 \times 22 \\ &= 660 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang angkur yang dibutuhkan 66 cm dan direncanakan dipasang hingga 70 cm.

Tabel 4 15: Rekapitulasi Analisis Struktur Sekunder

Material	Jenis Balok/Pelat		L (m)	Profil	M _u (kgm)	ØM _n (kgm)	$\frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$	V _u (kg)	ØV _n (kg)	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$	f _{ijin} (cm)	f _{maks} (cm)	$\frac{f_{maks}}{f_{ijin}} \leq 1$	Kontrol		
	Tulangan BJT280, Beton Fc 20 Mpa, Baja BJ-41, Super Floor Deck	Balok Anak Atap Portal 1-2		4,00	WF 150 x 100 x 6 x 9	2481,76	3443,31	0,72	2481,76	8910,00	0,28	1,67	1,62	0,97	Aman	
Balok Anak Atap Portal 2-3		6,00	WF 300 x 150 x 6.5 x 9	6414,10	11745,00	0,55	4276,07	22464,00	0,19	2,50	1,30	0,52	Aman			
Balok Anak Lantai Portal 1-2		4,00	WF 250 x 175 x 6 x 9	5618,12	7920,00	0,71	5618,12	16848,00	0,33	1,67	0,88	0,53	Aman			
Balok Anak Lantai Portal 2-3		6,00	WF 350 x 175 x 7 x 11	14450,72	18922,50	0,76	9633,81	28539,00	0,34	2,50	1,42	0,57	Aman			
Balok Bordes AB		1,40	WF 100 x 50 x 4.5 x 6.8	177,74	902,25	0,20	507,84	4702,05	0,11	0,39	0,07	0,19	Aman			
Balok Bordes CD		1,40	WF 100 x 50 x 4.5 x 6.8	132,80	902,25	0,15	379,44	4702,05	0,08	0,39	0,05	0,13	Aman			
Balok Utama Tangga		3,60	WF 250 x 125 x 6 x 9	3324,24	7920,00	0,42	2533,97	16848,00	0,15	1,69	0,45	0,27	Aman			
Balok Penumpu Tangga		3,00	WF 250 x 125 x 6 x 9	3733,33	7920,00	0,47	5281,33	16848,00	0,31	1,25	0,23	0,18	Aman			
Pelat Anak Tangga		0,30	Pelat Tebal 5 mm	17,09	196,88	0,09	-	-	-	0,08	0,03	0,32	Aman			
Pengaku Pelat Anak Tangga		1,40	L 60 x 60 x 5	79,32	101,70	0,78	225,26	4050,00	0,06	0,58	0,26	0,44	Aman			
Pelat Bordes		0,70	Pelat Tebal 10 mm	303,60	787,50	0,39	-	-	-	0,29	0,01	0,05	Aman			
Balok Penggantung Lift		2,00	WF 300 x 150 x 6.5 x 9	5031,44	11745,00	0,43	5450,38	22464,00	0,24	0,56	0,13	0,23	Aman			
Balok Penumpu Lift		2,10	WF 300 x 150 x 6.5 x 9	5837,80	11745,00	0,50	5669,24	22464,00	0,25	0,58	0,16	0,28	Aman			
Tulangan BJT280, Beton Fc 20 Mpa, Baja BJ-41, Super Floor Deck	Jenis Pelat	L (m)	t (m)	Flexural Strength Bondek		Tul. Utama (Arah X)			Tul. Susut (Arah Y)			$\frac{(M_{u+})+(M_{ux-})+(M_{uy-})}{(M_{ru})+(\phi M_{nx})+(\phi M_{ny})} \leq 1$	f _{ijin} (cm)	f _{maks} (cm)	$\frac{f_{maks}}{f_{ijin}} \leq 1$	Kontrol
				M _{u+} (kgm)	M _{ru} (kgm)	M _{u-} (kgm)	ØM _n (kgm)	φ - s (mm)	M _{u-} (kgm)	ØM _n (kgm)	φ - s (mm)					
	Pelat Atap	2,40	0,10	382,10	1402,29	5,65	266,89	8 - 200	1,77	221,88	8 - 200	0,21	0,67	0,42	0,63	Aman
Pelat Lantai	2,40	0,125	802,15	2175,91	11,86	640,92	8 - 125	3,72	501,05	8 - 140	0,25	0,67	0,36	0,55	Aman	

Tabel 4 16: Rekapitulasi Analisis Struktur Primer

Material	Jenis Balok	L (m)	Profil	M _u (kgm)	ØM _n (kgm)	$\frac{M_u}{\text{Ø}M_n} \leq 1$	V _u (kg)	ØV _n (kg)	$\frac{V_u}{\text{Ø}V_n} \leq 1$	f _{ijin} (cm)	f _{maks} (cm)	$\frac{f_{maks}}{f_{ijin}} \leq 1$	Kontrol		
		Balok Induk Arah-X (Melintang)	6,50	IWF 400 x 200 x 8 x 13	20285,35	28933,88	0,70	15506,22	36936	0,42	1,81	1,09	0,61	Aman	
	Balok Induk Arah-Y (Memanjang)	6,00	IWF 400 x 200 x 8 x 13	16365,40	28933,88	0,57	10153,26	36936	0,27	1,67	0,24	0,15	Aman		
Material	Jenis Kolom	L (m)	Profil	P _r (kg)	ØP _n (kg)	$\frac{P_r}{\text{Ø}P_n} \geq 0,2$	M _{rx} (kgm)	M _{cx} (kgm)	M _{ry} (kgm)	M _{cy} (kgm)	$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \times \frac{(M_{rx})}{(M_{cx})} + \frac{(M_{ry})}{(M_{cy})} \leq 1$	Kontrol			
		Kolom Lt 1 (Elemen 131)	3,96	H 400 x 400 x 13 x 21	217492,72	483380,42	0,45	5210,53	81000	20575,69	38137,50	0,99	Aman		
Material	Sambungan	Profil		Mutu		Ukuran (mm)		V _u (kg)	ØR _n (kg)	$\frac{V_u}{\text{Ø}R_n} \leq 1$	n Baut/Angkur		L las (mm)		Kontrol
		Profil 1	Profil 2	Las	Baut	t	φ				Profil 1	Profil 2	Profil 1	Profil 2	
Beton Fc 25 Mpa, Baja BJ-41	BA Atap - BI Atap Portal 1-2	IWF 150 x 100	IWF 200 x 100	-	A325	-	12	1982,44	5313,60	0,37	1	2	-	-	Aman
	BA Atap - BI Atap Portal 2-3	IWF 300 x 150	IWF 350 x 175	-	A325	-	12	4272,02	5756,40	0,74	1	2	-	-	Aman
	BA Lantai - BI Lantai Portal 1-2	IWF 300 x 150	IWF 350 x 175	-	A325	-	12	5321,51	5313,60	1,00	2	2	-	-	Aman
	BA Lantai - BI Lantai Portal 2-3	IWF 350 x 175	IWF 400 x 200	-	A325	-	12	9628,9	6199,20	1,55	2	4	-	-	Aman
	BU Tangga - BP Tangga	IWF 250 x 125	IWF 250 x 125	-	A325	-	12	2533,97	5313,60	0,48	1	2	-	-	Aman
	BP Tangga - Kolom	IWF 250 x 125	H 400 x 400	FE _{70xx}	A325	3	12	5281,33	5313,60	0,99	1	-	-	60	Aman
	BU Tangga - BA Lantai	IWF 250 x 125	IWF 350 x 175	FE _{70xx}	-	5	2	2533,97	77505,75	0,03	-	-	-	175	Aman
	KP Tangga - BI Lantai	IWF 150 x 100	IWF 400 x 200	FE _{70xx}	A325	3	12	5281,33	5313,60	0,99	1	-	-	60	Aman
	BI Lantai - Kolom	IWF 400 x 200	H 400 x 400	FE _{70xx}	A325	5	16	35791,70	5606,78	6,38	-	8	374	-	Aman
	Kolom - Kolom	H 400 x 400	H 400 x 400	-	A325	-	22	Beban telampir di Hal. IV-137-142			26		-		Aman
	Kolom - Base Plate (Pedestal)	H 400 x 400	FP 600 x 600	FE _{70xx}	A325	-	22	Beban telampir di Hal. IV-143-150			6		149		Aman

4.5. Evaluasi Kinerja

4.5.1. Kapasitas Struktur

Dari output analisa pushover didapatkan kurva kapasitas dari struktur, selanjutnya dari kurva kapasitas tadi dievaluasi kinerjanya dengan 3 metode yaitu *ATC-40*, *FEMA 356*, dan *FEMA 440*. Kurva kapasitas hasil analisa pushover untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut :

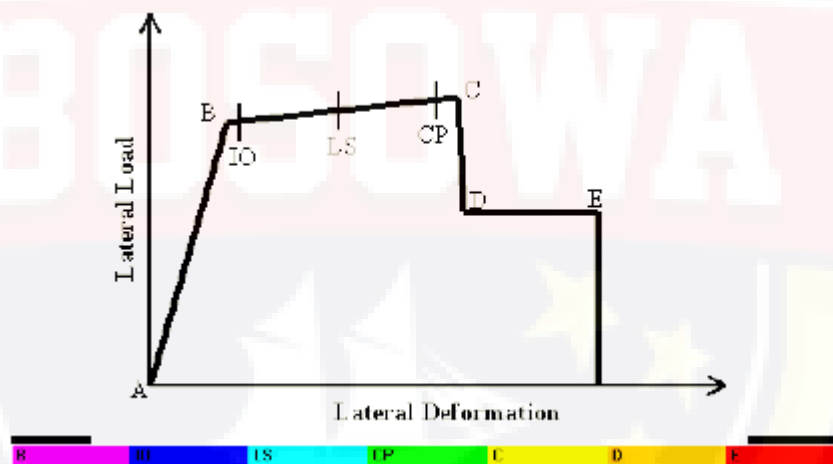
a. Kurva kapasitas system rangka (arah x-x)

Dari hasil *running pushover analysis* dengan program SAP 2000, untuk arah x-x didapatkan 12 step pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Dari 12 step beban dorong tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan gaya dan perpindahan terhadap struktur. 12 step pola beban dorong hasil running dengan SAP 2000 dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4 17: *Output* Beban Dorong Arah x-x

LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	m	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH X	0	-0,0000883	0	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	1	0,044911	134280,3	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	2	0,089831	268562	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	3	0,13475	402844,1	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	4	0,145295	434367,6	1007	1	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	5	0,193077	572171,1	978	30	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	6	0,225076	641000,9	909	90	9	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	7	0,237929	657227,9	887	106	15	0	0	0	0	0	1008
PUSH X	8	0,286077	686262,9	854	55	98	0	1	0	0	0	1008
PUSH X	9	0,33442	705694,4	834	47	125	0	2	0	0	0	1008
PUSH X	10	0,381122	722526,2	820	23	161	0	3	1	0	0	1008
PUSH X	11	0,430739	738695,9	807	33	161	0	4	3	0	0	1008
PUSH X	12	0,449191	744271,9	783	56	162	0	4	3	0	0	1008

Output pada tabel 4.15, dapat dilihat nilai gaya yang diberikan pada struktur dan nilai perpindahan yang terjadi pada masing-masing step. Pada kolom paling kanan (total) merupakan jumlah total seluruh elemen struktur pada struktur yang dimodelkan. Pada kolom (A-B; B-IO; IO-LS; LS-CP; CP-C; C-D; D-E; > E) ini merupakan tingkatan kondisi yang terjadi pada sendi plastis di elemen struktur atau tingkat plastifikasi pada sendi plastis elemen struktur. Tingkatan kondisi plastifikasi pada sendi plastis pada elemen struktur lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.78.



Gambar 4. 77: Tingkatan Plastifikasi Sendi Plastis Elemen

Keterangan :

- A = Merupakan kondisi dimana belum ada pembebanan sehingga belum terjadi plastifikasi pada sendi plastis.
- B = Merupakan kondisi dimana elemen mulai mengalami leleh yang pertama kali
- IO = Merupakan tahapan setelah leleh (plastis) dengan tingkat kinerja pada elemen *Immediately Occupancy*.

LS = Elemen pada level kinerja *Life Safety* (kondisi plastis).

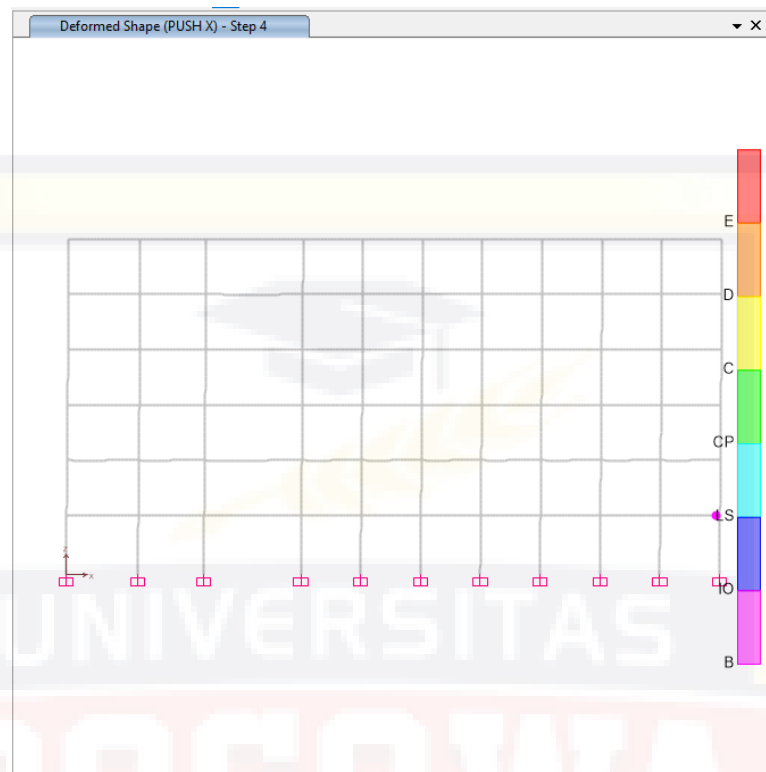
CP = Elemen pada level kinerja *Collapse Prevention* (kondisi hamper runtuh).

C = Merupakan kapasitas ultimit dari elemen.

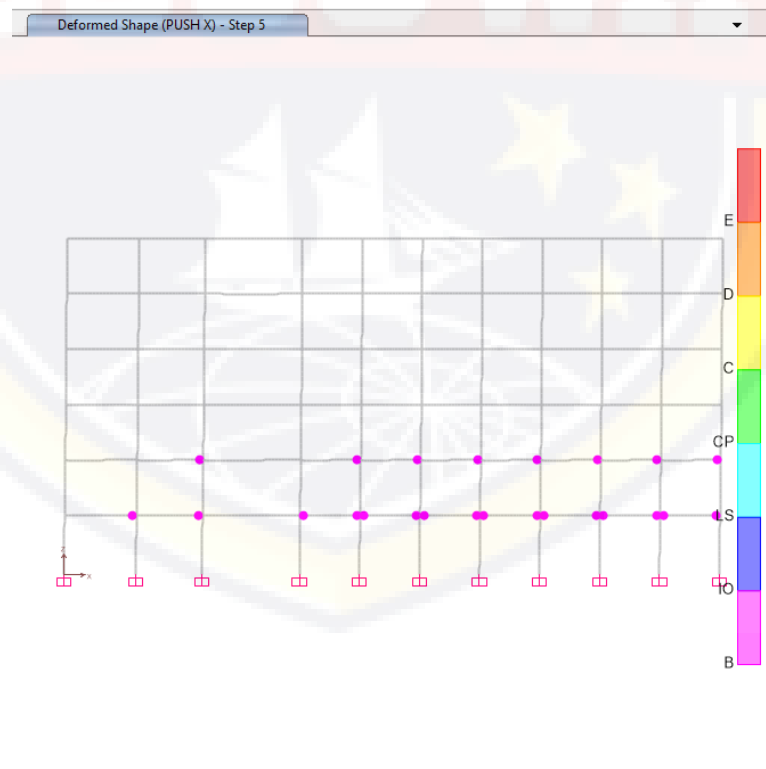
D = Kekuatan sisa elemen.

E = Merupakan batas dimana elemen sudah mengalami keruntuhan.

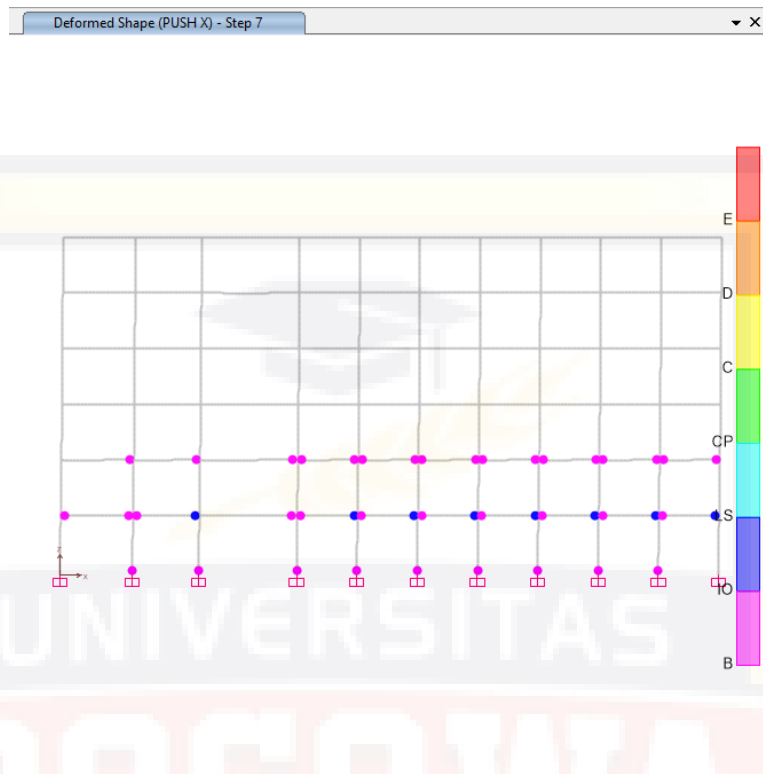
Dari penjelasan tabel 4.17 bahwa setiap step pola beban dorong akan mempunyai tingkatan plastifikasi yang berbeda pada masing-masing elemen strukturnya. Pada step ke-4 elemen berada pada kondisi B-IO adalah 1 sisanya masih dalam kondisi A-B. Pada kondisi step ke-12 kondisi B-IO bertambah menjadi 783 dan kondisi plastifikasi pada elemen meningkat sehingga kondisi C-D berjumlah 3 yang sebelumnya belum ada pada step 4-9. Hal ini berarti bahwa pada setiap kenaikan beban dorong yang diberikan maka kondisi plastifikasi pada elemen juga akan meningkat secara bertahap hingga mengalami keruntuhan. Pada gambar berikut adalah lokasi terjadinya sendi plastis pada elemen struktur untuk beban dorong arah x-x sebagai berikut :



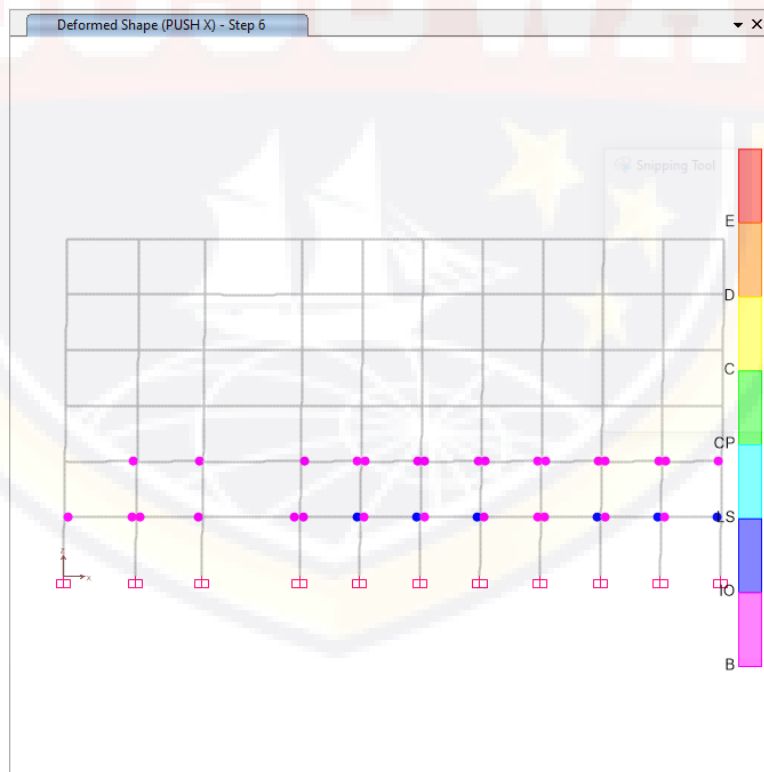
Gambar 4. 78: Pushover Arah X Step 4



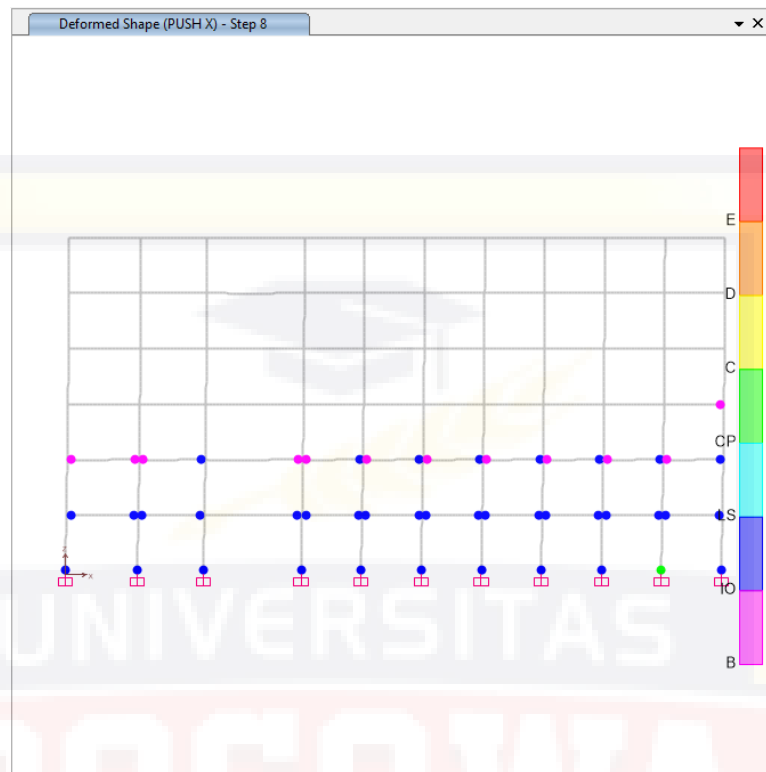
Gambar 4. 79: Pushover Arah X Step 5



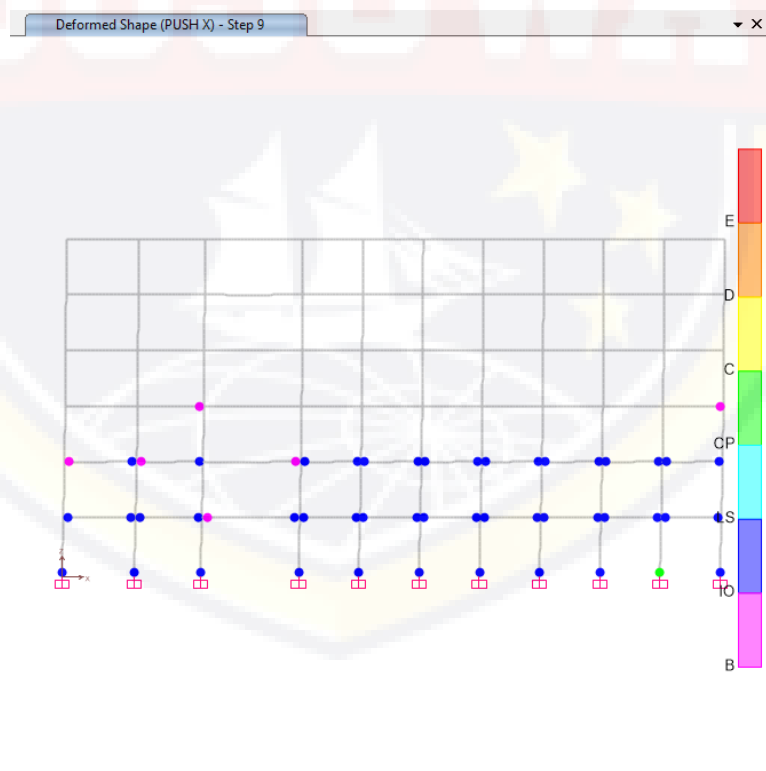
Gambar 4. 80: Pushover Arah X Step 6



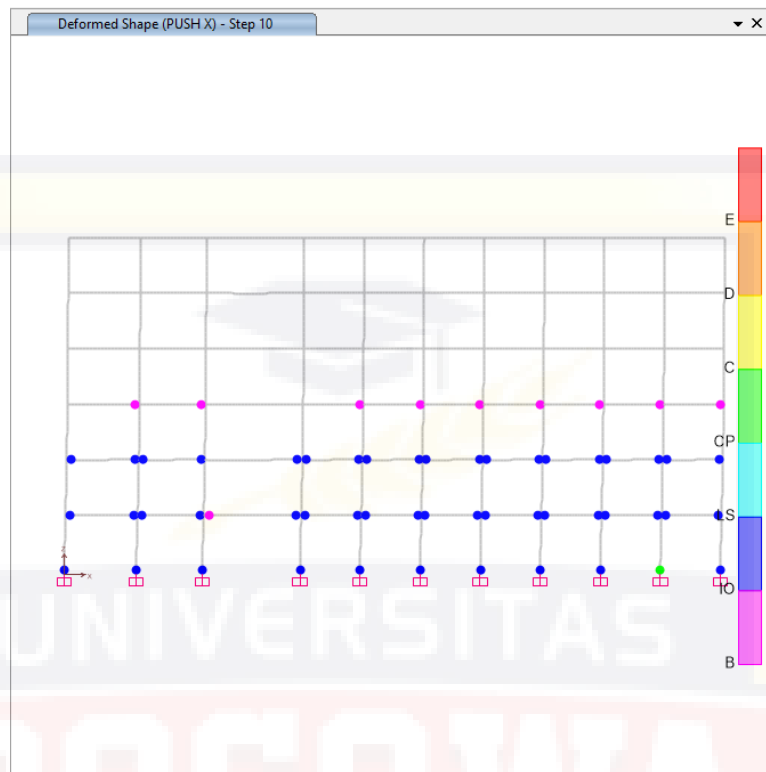
Gambar 4. 81: Pushover Arah X Step 7



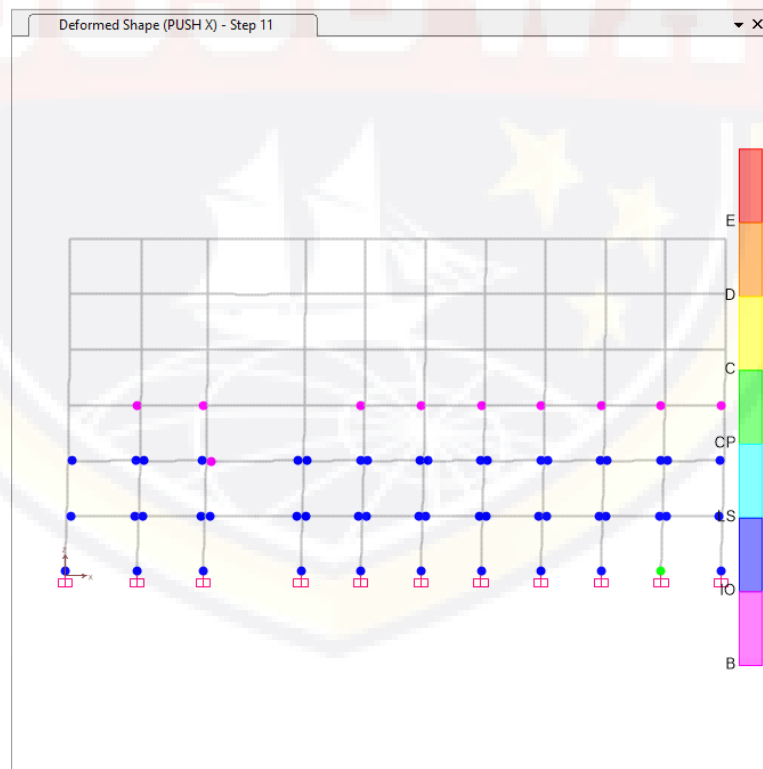
Gambar 4. 82: Pushover Arah X Step 8



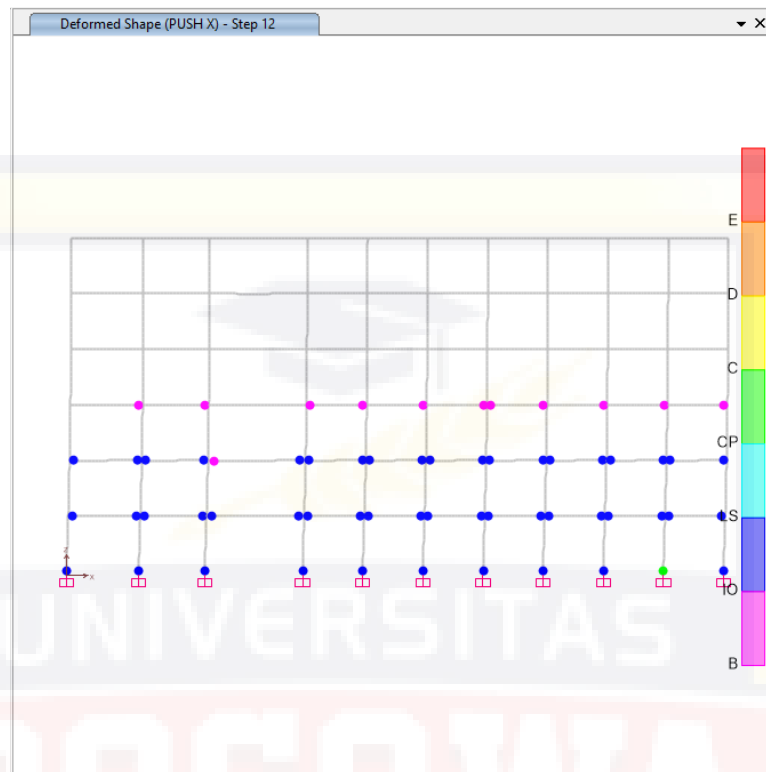
Gambar 4. 83: Pushover Arah X Step 9



Gambar 4. 84: Pushover Arah X Step 10

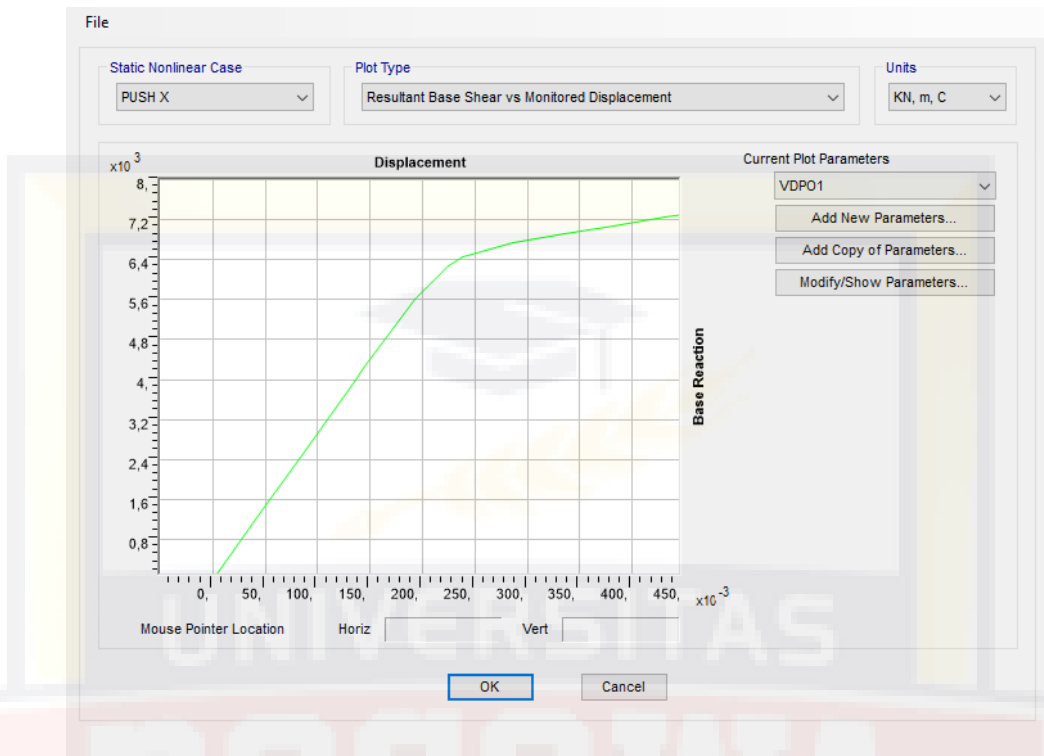


Gambar 4. 85: Pushover Arah X Step 11



Gambar 4. 86: Pushover Arah X Step 12

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa lokasi awal terjadinya sendi plastis akan berada pada balok lantai terendah dan akan secara bertahap naik seiring dengan penambahan beban dorong yang diberikan pada struktur. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step beban dorong yang diberikan. Grafik tersebut merupakan kurva kapasitas struktur arah x-x yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 87: Kurva Kapasitas Arah x-x

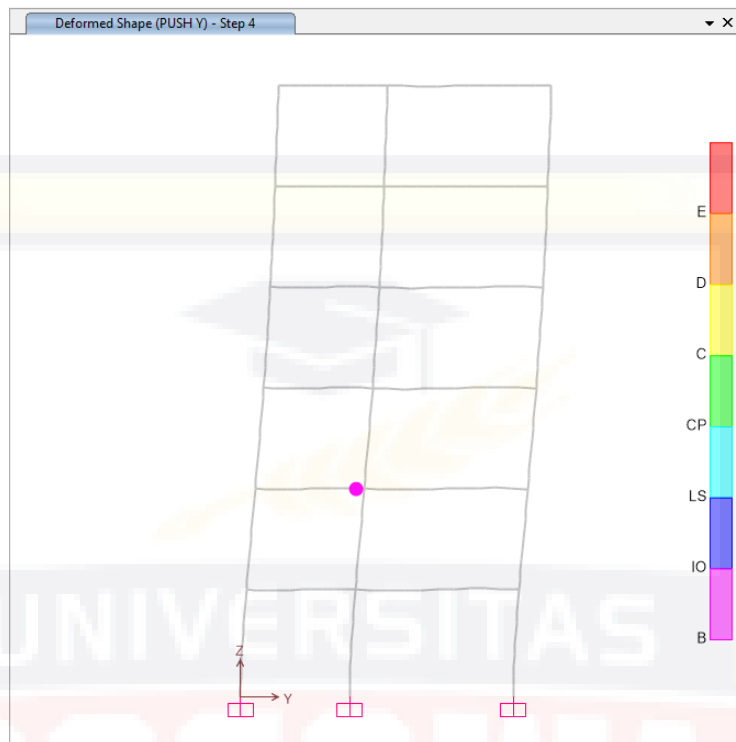
b. Kurva kapasitas sistem rangka (arah y-y)

Pada arah y-y, terdapat 10 step pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga mengalami keruntuhan seperti pada tabel 4.18.

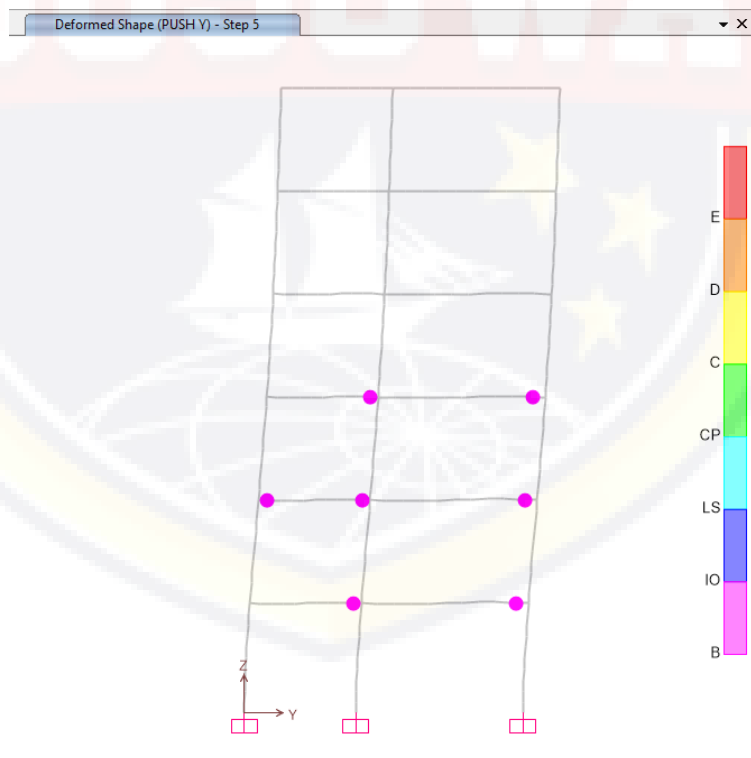
Tabel 4 18: *Output* Beban Dorong Arah y-y

LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	m	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH Y	0	-0,000169	0	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	1	0,044751	963,458	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	2	0,08967	1926,95	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	3	0,13459	2890,449	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	4	0,179351	3850,568	1006	2	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	5	0,226946	4708,678	970	38	0	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	6	0,277682	5262,916	926	78	4	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	7	0,323139	5647,795	901	87	20	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	8	0,369759	5972,076	879	84	45	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	9	0,420007	6267,209	853	85	70	0	0	0	0	0	1008
PUSH Y	10	0,449029	6398,113	846	75	87	0	0	0	0	0	1008

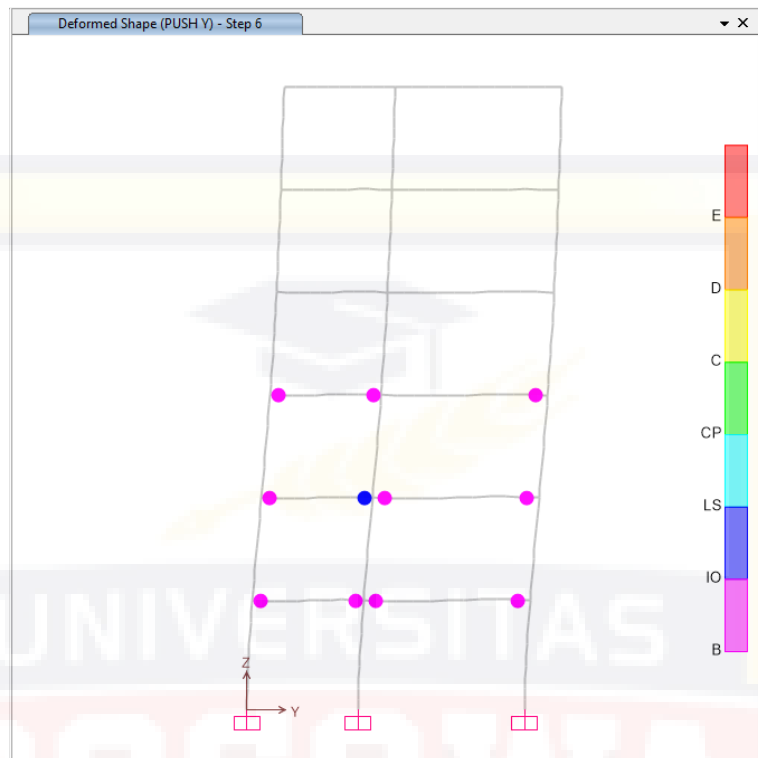
untuk arah y-y mekanisme terbentuknya sendi plastis dapat dilihat pada gambar berikut :



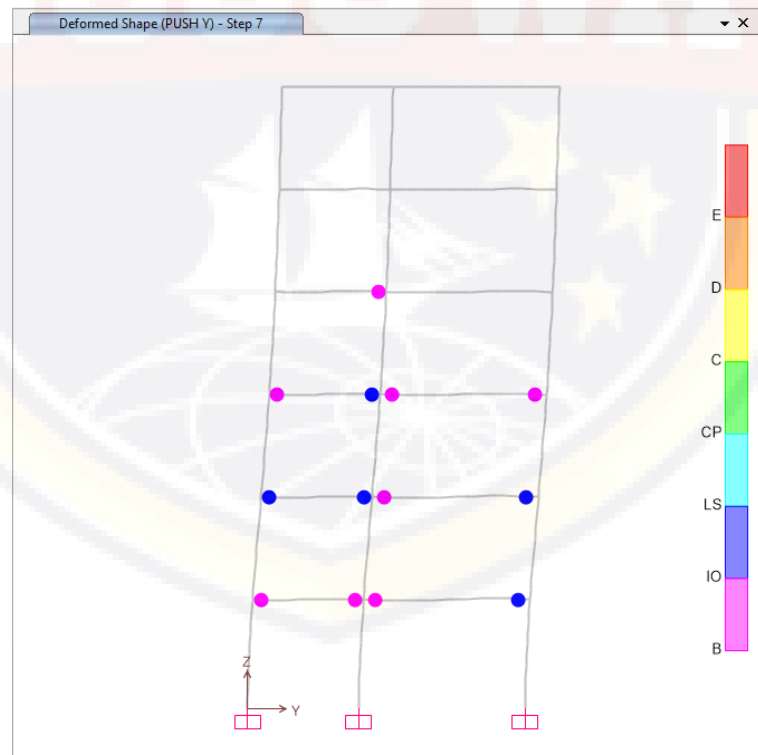
Gambar 4. 88: Pushover Arah Y Step 4



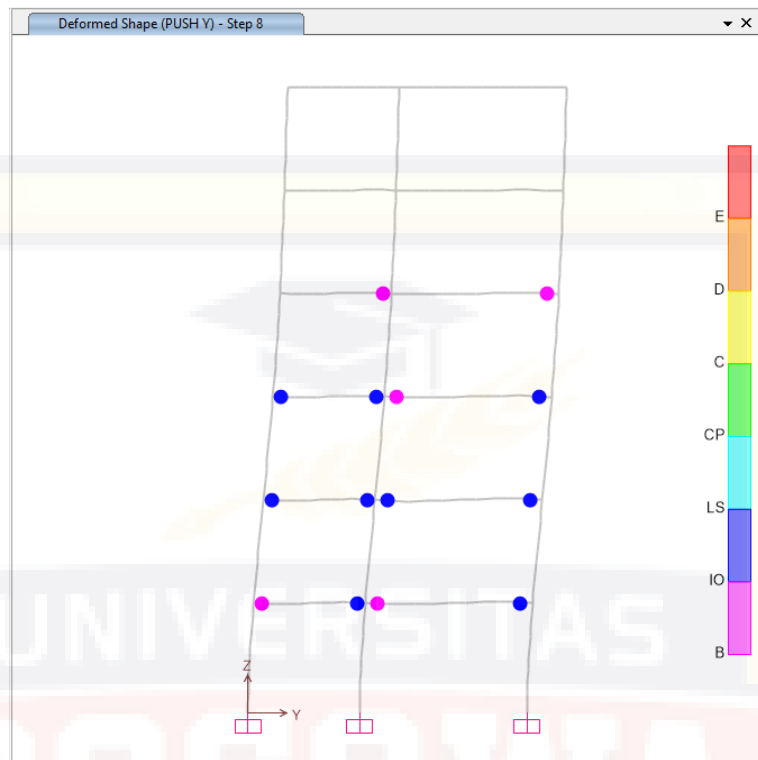
Gambar 4. 89: Pushover Arah Y Step 5



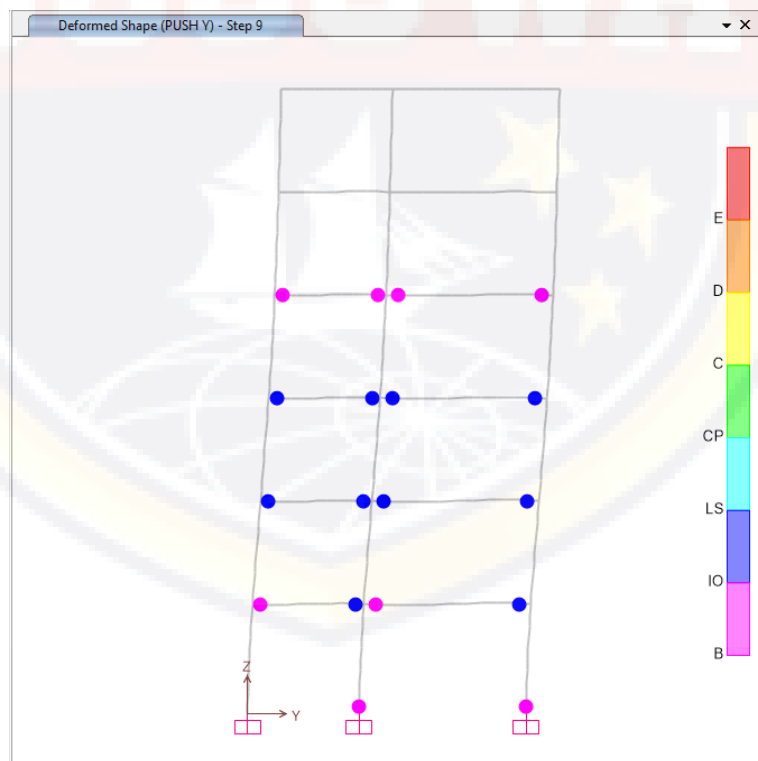
Gambar 4. 90: Pushover Arah Y Step 6



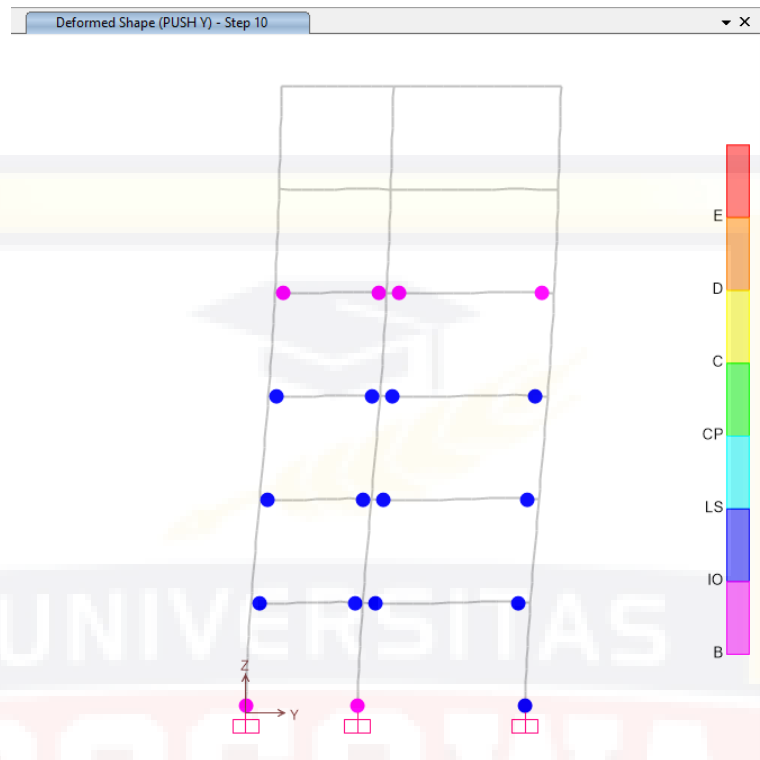
Gambar 4. 91: Pushover Arah Y Step 7



Gambar 4. 92: Pushover Arah Y Step 8

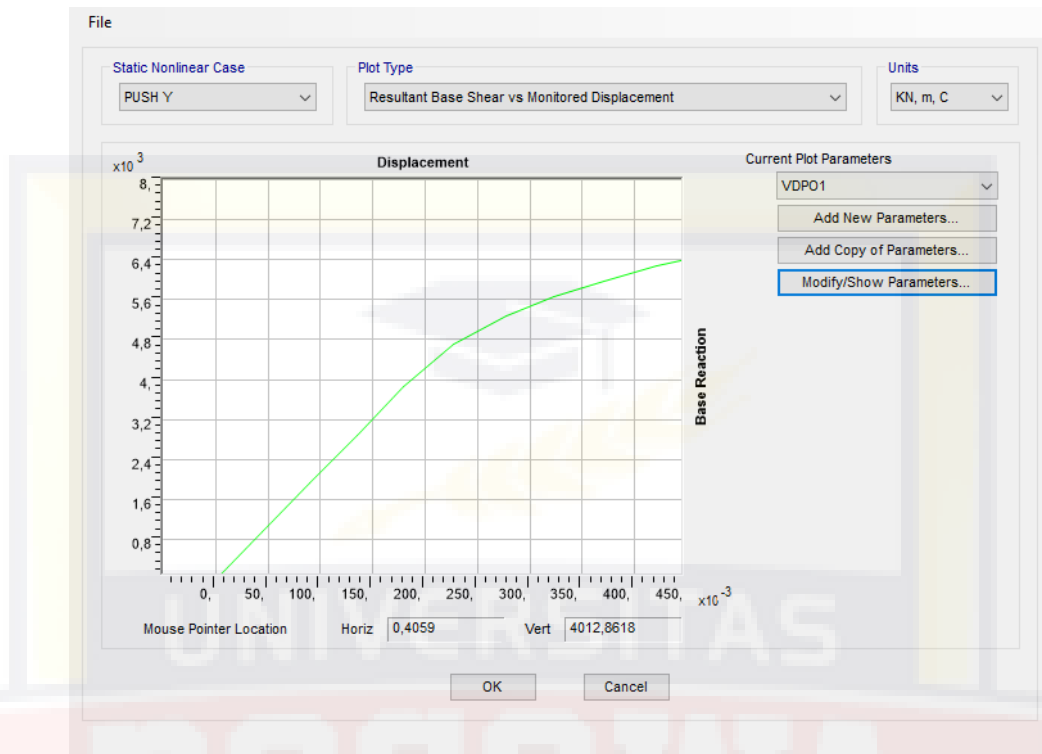


Gambar 4. 93: Pushover Arah Y Step 9



Gambar 4. 94: Pushover Arah Y Step 10

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa lokasi awal terjadinya sendi plastis akan berada pada balok lantai terendah dan akan secara bertahap naik seiring dengan penambahan beban dorong yang diberikan pada struktur. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step beban dorong yang diberikan. Grafik tersebut merupakan kurva kapasitas struktur arah y-y yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 95: Kurva Kapasitas Arah y-y

4.5.2. Evaluasi Kinerja Struktur

Evaluasi kinerja struktur digunakan untuk menentukan kinerja struktur yang didesain. Dari hasil evaluasi kinerja struktur ini nantiya akan didapatkan nilai kinerja struktur berdasarkan 3 peraturan yang umum digunakan yaitu *ATC 40*, *FEMA 356*, dan *FEMA 440*. Nilai kinerja struktur hasil yang didesain tadi akan dibandingkan dengan kinerja struktur yang didesain diawal saat perhitungan dengan *Direct Displacement Based Design (DDBD)*. Dengan perbandingan kinerja rencana dengan kinerja hasil desain maka akan didapatkan kesimpulan mengenai keefektifan metode desain berbasis kinerja dengan *DDBD* tersebut.

4.5.2.1. Menentukan Spektrum Kapasitas ATC-40

a. Menentukan Nilai C_A dan C_V .

Dari Bab 4.3.1.3 pada perhitungan respon gempa untuk wilayah

Makassar diketahui :

- Parameter respon percepatan pada periode 0,2 detik (S_{MS})

$$S_{MS} = 0,60 \text{ g}$$

- Parameter respon percepatan pada periode 1 detik (S_{M1})

$$S_{M1} = 0,47 \text{ g}$$

Selanjutnya berdasarkan ATC-40 pasal 4.4.3.1 dapat dihitung parameter nilai C_A dan C_V sebagai berikut :

$$C_A = 0,4 S_{MS} = 0,4 \times 0,60 = 0,24 \text{ g}$$

$$C_V = S_{M1} = 0,47 \text{ g}$$

b. Menentukan *Structural Behavior Type*

Untuk *Structural Behavior Type* sesuai dengan tabel 8.4 ATC-40 yang dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4 19: *Structural Behavior Type*

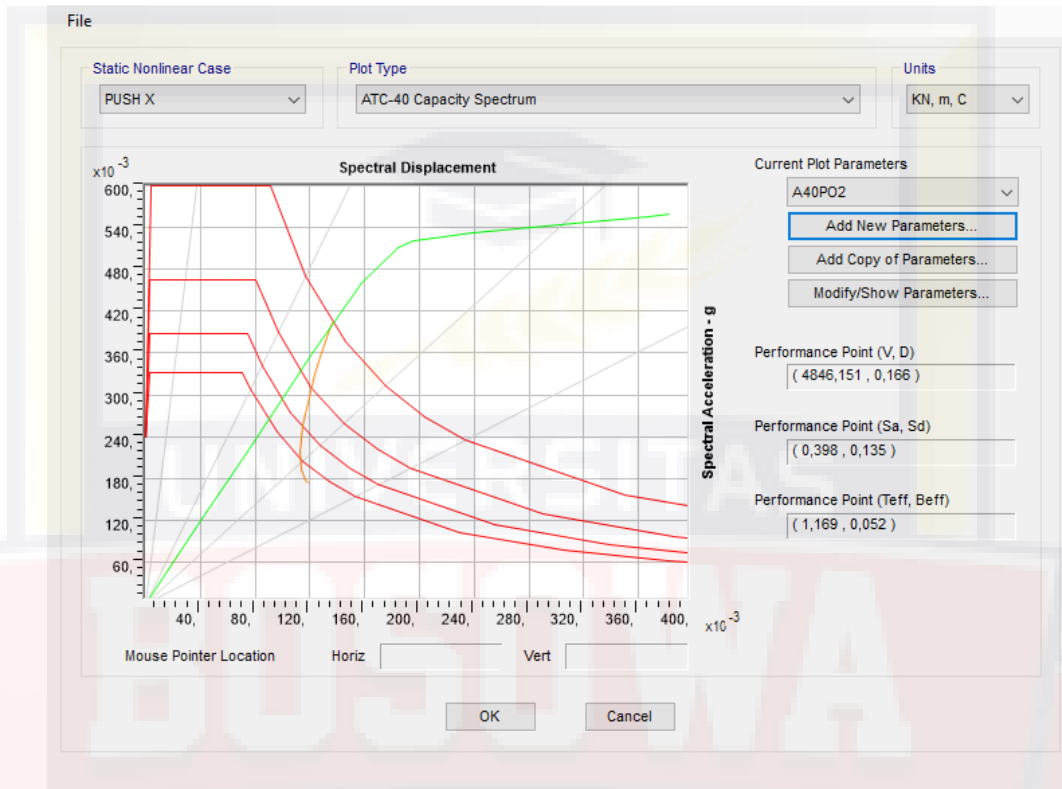
<i>Shaking Duration</i>	<i>Essentially New Building</i>	<i>Average Existing Building</i>	<i>Poor Existing Building</i>
<i>Short</i>	<i>Type A</i>	<i>Type B</i>	<i>Type C</i>
<i>Long</i>	<i>Type B</i>	<i>Type C</i>	<i>Type C</i>

c. Menentukan *Damping Parameter*

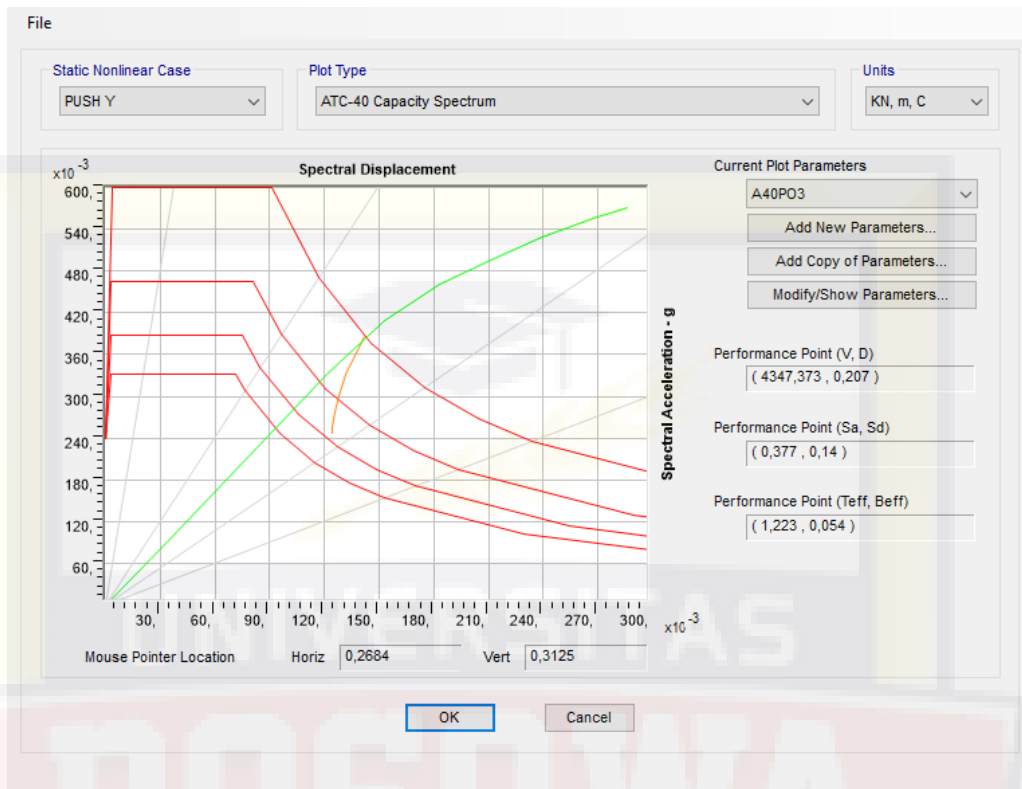
Damping parameter diisikan nilai 0,05 atau 5%.

Hasil Spektrum Kapasitas

Hasil dari Spektrum Kapasitas dari masing-masing arah dapat dilihat pada gambar 4.91 dan gambar 4.92.



Gambar 4. 96: Spektrum Kapasitas Arah x-x



Gambar 4. 97: Spektrum Kapasitas Arah y-y

Dari spektrum pada gambar 4.96 dan 4.97 dapat diketahui nilai-nilai parameter spektrum kapasitas. Nilai-nilai parameter spektrum kapasitas dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21.

Tabel 4 20: *Output* Spektrum Kapasitas Arah x-x:

LoadCase	Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
Text	Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH X	0	1,166	0,050	0,000	0,000	0,136	0,403	1,000	1,000
PUSH X	1	1,166	0,050	0,037	0,108	0,136	0,403	0,838	1,227
PUSH X	2	1,166	0,050	0,073	0,217	0,136	0,403	0,838	1,227
PUSH X	3	1,166	0,050	0,110	0,325	0,136	0,403	0,838	1,227
PUSH X	4	1,166	0,050	0,118	0,350	0,136	0,403	0,838	1,227
PUSH X	5	1,173	0,054	0,158	0,461	0,134	0,393	0,839	1,225
PUSH X	6	1,205	0,073	0,185	0,512	0,128	0,354	0,846	1,220
PUSH X	7	1,228	0,087	0,196	0,522	0,124	0,330	0,851	1,217
PUSH X	8	1,340	0,146	0,238	0,533	0,115	0,257	0,870	1,203
PUSH X	9	1,446	0,190	0,281	0,541	0,113	0,217	0,882	1,192
PUSH X	10	1,539	0,219	0,322	0,548	0,114	0,193	0,892	1,183
PUSH X	11	1,629	0,235	0,366	0,556	0,117	0,178	0,898	1,176
PUSH X	12	1,660	0,239	0,383	0,559	0,118	0,173	0,899	1,174

Tabel 4 21: *Output* Spektrum Kapasitas Arah y-y

LoadCase	Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
Text	Unitless	Sec	Unitless	m	Unitless	m	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH Y	0	1,216	0,050	0,000	0,000	0,142	0,387	1,000	1,000
PUSH Y	1	1,216	0,050	0,031	0,083	0,142	0,387	0,796	1,466
PUSH Y	2	1,216	0,050	0,061	0,167	0,142	0,387	0,796	1,466
PUSH Y	3	1,216	0,050	0,092	0,250	0,142	0,386	0,796	1,467
PUSH Y	4	1,216	0,050	0,122	0,333	0,142	0,386	0,796	1,467
PUSH Y	5	1,228	0,057	0,153	0,409	0,139	0,371	0,794	1,484
PUSH Y	6	1,266	0,077	0,183	0,460	0,132	0,331	0,788	1,517
PUSH Y	7	1,307	0,097	0,211	0,497	0,128	0,301	0,784	1,534
PUSH Y	8	1,350	0,114	0,239	0,528	0,125	0,277	0,779	1,547
PUSH Y	9	1,395	0,129	0,269	0,557	0,124	0,257	0,775	1,560
PUSH Y	10	1,421	0,138	0,286	0,570	0,124	0,247	0,773	1,569

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja struktur parameter yang diperlukan adalah nilai *drift* rata-rata tiap lantai dimana total tinggi lantai adalah 22,46 m.

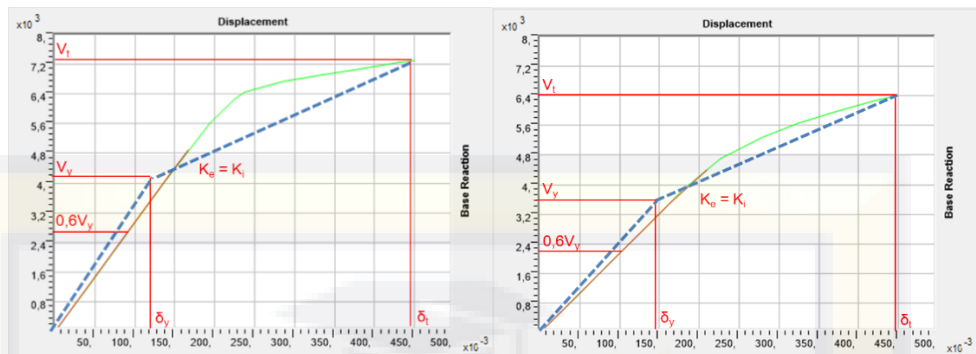
Arah x-x = $0,166 / 22,46 = 0,01$ (*Immediate Occupancy*)

Arah y-y = $0,207 / 22,46 = 0,01$ (*Immediate Occupancy*)

Maka sesuai ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Immediate Occupancy* (IO) SP-1. Hal ini berarti desain awal dengan DDBD dengan *limit drift* pada kondisi *Life Safety* tercapai.

4.5.2.2. Metode FEMA 356

Pada metode FEMA 356 diambil kurva idealisasi *bilinier* (kurva biner *pushover*) yang didapat pada program SAP 2000.



Gambar 4. 98: Kurva Biner Pushover Arah X dan Arah Y

Data-data perhitungan target perpindahan Metode FEMA 356 terdapat pada tabel berikut :

Tabel 4 22: Output Data Perhitungan Target Perpindahan

Parameter Hitungan	Keterangan	Nilai	
		Arah X	Arah Y
Berat Total, W_t (KN)	<i>Output SAP 2000</i>	14510,978	14510,978
V_{base} Yield, V_y (KN)	<i>Output SAP 2000</i>	4181,822	3534,479
Yield Displacement, δ_y (m)	<i>Output SAP 2000</i>	0,131	0,145
Kekakuan Awal, K_i (KN/m)	<i>Output SAP 2000</i>	29321,000	21529,390
Kekakuan Efektif, K_e (KN/m)	<i>Output SAP 2000</i>	21529,390	21529,390
Periode Awal, T_i (det)	<i>Output SAP 2000</i>	1,166	1,216
Periode Efektif, T_{eff} (det)	<i>Output SAP 2000</i>	1,166	1,216
C_0	<i>Output SAP 2000</i>	1,226	1,478
C_1	<i>Output SAP 2000</i>	1,000	1,000
T_s	S_{D1}/S_{DS}	0,786	0,786
C_2	<i>Output SAP 2000</i>	1,000	1,000
S_a	<i>Output SAP 2000</i>	0,406	0,389
R	<i>Output SAP 2000</i>	1,267	1,438
α	<i>Output SAP 2000</i>	0,968	0,881
C_3	<i>Output SAP 2000</i>	1,000	1,000

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$$\text{Arah x-x} = 1,2 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,406 \times \frac{1,166^2}{4 \times 3,14^2} \times 9,81 = 0,168 \text{ m}$$

$$\text{Arah y-y} = 1,5 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,389 \times \frac{1,216^2}{4 \times 3,14^2} \times 9,81 = 0,211 \text{ m}$$

4.5.2.3. Metode FEMA 440

Untuk metode FEMA 440 digunakan cara yang sama dengan FEMA 356 yaitu menggunakan kurva idealisasi dari pushover analysis pada gambar 4.92 untuk arah x-x dan gambar 4.93 untuk arah y-y, hanya ada perbedaan dalam menentukan nilai faktor modifikasi C_1 dan faktor modifikasi C_2 . Nilai faktor modifikasi C_1 dan faktor modifikasi C_2 ini ditentukan berdasarkan Tabel 10-1 FEMA 440 dan dapat dilihat pada Gambar berikut :

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

Gambar 4. 99: Faktor Modifikasi C1 dan C2

dari perhitungan dapat diketahui nilai :

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,315}{0,400} = 0,786 \text{ det}$$

$$T_e = 1,166 \text{ det arah x-x}$$

$$T_e = 1,216 \text{ det arah y-y}$$

Maka $T_e \geq T_s$, sehingga $C_1 = 1,0$ dan nilai $C_2 = 1,0$ untuk non-degrading system, sehingga faktor C_1, C_2 bernilai sama dengan FEMA 356, sehingga target perpindahannya juga sama dengan FEMA 356

4.5.2.4. Resume

Dari perhitungan dengan 3 metode diatas maka dapat ditabelkan nilai target perpindahan atau nilai performance point untuk masing-masing metode dengan nilai target kinerjanya, dan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4 23: Resume Target Perpindahan

Arah	Parameter	Rencana DDBD	Hasil Pushover Analysis		
			ATC-40	FEMA 356	FEMA 440
Arah x-x	Target Perpindahan, Δ_m (m)	0,262	0,166	0,168	0,168
	Drift Aktual (Δ_m / T_{tot})	0,02	0,01	0,01	0,01
	Level Kinerja	Life Safety	Immediate Occupancy	Immediate Occupancy	Immediate Occupancy
Arah y-y	Target Perpindahan, Δ_m (m)	0,262	0,207	0,211	0,211
	Drift Aktual (Δ_m / T_{tot})	0,02	0,01	0,01	0,01
	Level Kinerja	Life Safety	Immediate Occupancy	Immediate Occupancy	Immediate Occupancy

Dari Tabel diatas dapat dilihat untuk masing-masing arah pada 3 metode menghasilkan nilai target perpindahan hampir mendekati nilai

rencana *DDBD*. Hal ini berarti seluruh keseluruhan struktur berada pada kategori kinerja *Immediate Occupancy* dengan level kinerja desain *Life Safety*.

4.5.2.5. Perbandingan *Drift* dan *Displacement*

Nilai drift desain dan hasil analisis non linier atau pushover juga *displacement* profil desain dan hasil *pushover* perlu dibandingkan. Untuk drift desain akan dihitung menggunakan persamaan dibawah yang bersumber pada *Priestley et. al 2007*.

$$\theta_i = \left(1,00 - 0,5 \frac{H_i}{H_n} \right) \times \theta_0$$

Dimana :

θ_0 : desain *drift* limit rencana sesuai level kinerja (0,02 *Life Safety*)

θ_i : *drift* pada lantai ke-*i*

H_i : ketinggian pada lantai ke-*i*

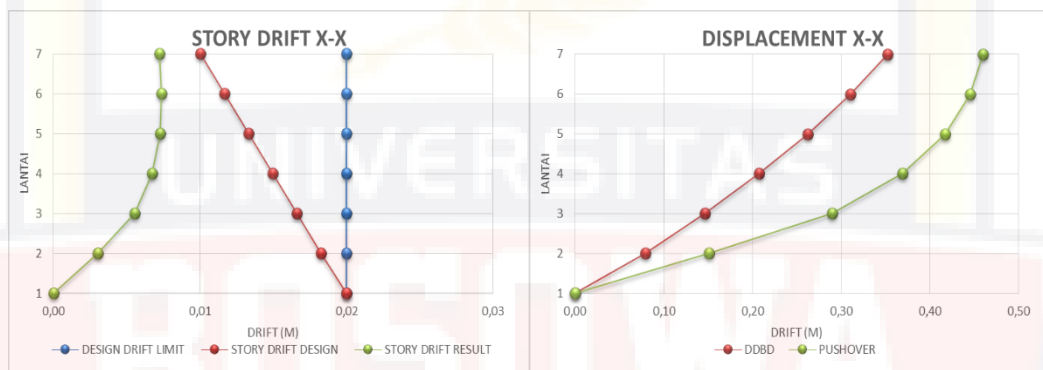
H_n : ketinggian puncak

Selanjutnya perhitungan nilai drift desain akan dihitung pada Tabel 4.24 dan 4.25, juga nilainya akan dibandingkan dengan nilai hasil drift pada analisa pushover. Nilai drift hasil adalah nilai besarnya perpindahan antar lantai dibagi dengan ketinggian setiap lantai. Kemudian hasil dari Tabel 4.24 dan 4.25 akan dibuat grafik pada Gambar 4.94 dan 4.95.

Tabel 4 24: Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah x-x

Level	Tinggi H_i (m)	<i>Design Drift Limit</i> θ	<i>Displace ment</i> (DDBD)	<i>Story Drift Design</i>	<i>Displacement (Pushover)</i>	<i>Story Drift Design</i>
7	22,46	0,02	0,352	0,010	0,460	0,007
6	18,76	0,02	0,311	0,012	0,445	0,007

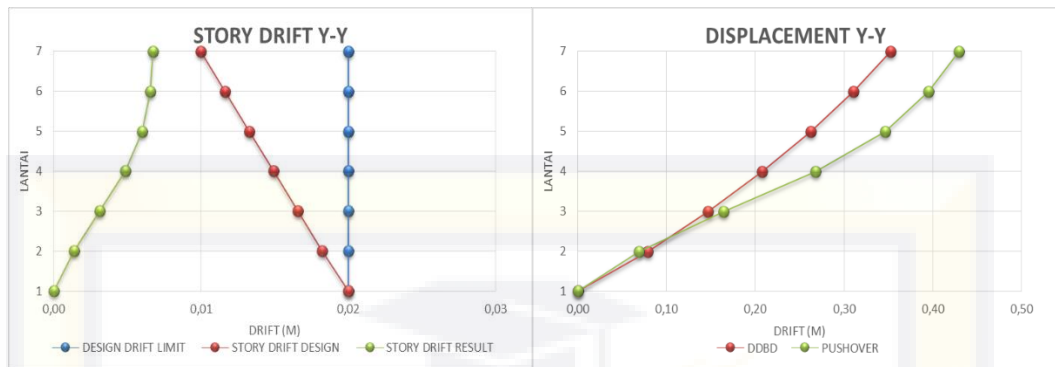
Level	Tinggi H_i (m)	Design Drift Limit θ	Displacement (DDBD)	Story Drift Design	Displacement (Pushover)	Story Drift Design
5	15,06	0,02	0,262	0,013	0,417	0,007
4	11,36	0,02	0,208	0,015	0,369	0,007
3	7,66	0,02	0,147	0,017	0,290	0,006
2	3,96	0,02	0,079	0,018	0,151	0,003
1	0,00	0,02	0,000	0,020	0,000	0,000



Gambar 4. 100: Perbandingan Drift dan Perbandingan Displacement

Tabel 4 25: Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah y-y

Level	Tinggi H_i (m)	Design Drift Limit θ	Displacement (DDBD)	Story Drift Design	Displacement (Pushover)	Story Drift Design
7	22,46	0,02	0,352	0,010	0,429	0,007
6	18,76	0,02	0,311	0,012	0,396	0,007
5	15,06	0,02	0,262	0,013	0,347	0,006
4	11,36	0,02	0,208	0,015	0,268	0,005
3	7,66	0,02	0,147	0,017	0,164	0,003
2	3,96	0,02	0,079	0,018	0,069	0,001
1	0,00	0,02	0,000	0,020	0,000	0,000



Gambar 4. 101: Perbandingan Drift dan Perbandingan Displacement

Dari Tabell dan Gembar diatas dapat dilihat bahwa grafik *drift result* dari *pushover analysis* masih jauh dari grafik *design drift limit*. Nilai *drift* hasil *pushover analysis* memiliki nilai yang tidak melebihi nilai *design drift limit* yang berarti bahwa untuk masing-masing lantai masih berada dalam level kinerja *life safety* sesuai desain.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dengan Metode Berbasis Kinerja

1. Target Kinerja Struktur

- Digunakan tingkat kinerja struktur *life safety* dengan sesuai kegunaan bangunan yaitu fasilitas pendidikan mengacu pada *ATC 40 : 1996*

2. Struktur sekunder :

- Pelat menggunakan bondek dari Super Floor Deck dengan tebal 0,75 mm. Untuk pelat atap dengan tebal 100 mm dengan tulangan negative $\varnothing 8-200$ (susut dan utama). Sedangkan pelat lantai dengan tebal 125 mm dengan tulangan negative $\varnothing 8-125$ (utama) dan $\varnothing 8-140$ (susut).
- Dimensi balok anak pada atap portal 1-2 menggunakan profil IWF150x100x6x9 dan portal 2-3 menggunakan profil IWF350x175x7x11. Sedangkan balok anak pada lantai portal 1-2 menggunakan profil IWF250x125x6x9 dan portal 2-3 menggunakan profil IWF350x175x7x11.
- Tebal pelat anak tangga digunakan 5 mm, dimensi pengaku pelat anak menggunakan profil L60x60x5. Tebal pelat bordes yang digunakan 10 mm, dimensi balok bordes AB dan CD menggunakan

profil IWF100x50x4,5x6,8. Dimensi balok utama tangga dan balok penumpu tangga menggunakan profi IWF250x125x6x9.

- Dimensi balok penggantung lift menggunakan profil IWF300x150x6,5x9.

- Digunakan mutu baja BJ41

3. Struktur primer

- Dimensi balok induk atap portal 1-2 arah x menggunakan profil IWF200x100x5,5x8 dan arah y menggunakan profil IWF150x100x6x9. Sedangkan pada portal 2-3 arah x menggunakan profil IWF350x175x7x11 dan arah y menggunakan profil IWF300x150x6,5x9.

- Dimensi balok induk lantai portal 1-2 arah x dan y menggunakan profil IWF300x150x6,5x9. Sedangkan pada portal 2-3 arah x dan y menggunakan profil IWF400x200x8x13.

- Dimensi kolom pada portal 1-2 dan 2-3 lantai 1-6 menggunakan profil H400x400x13x21.

- Digunakan mutu baja BJ41

4. Evaluasi kinerja struktur

- Level kinerja yang direncanakan pada metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)* adalah 0,02 (*Life Safety*) dan pada kinerja struktur untuk metode *ATC-40*, *FEMA 356*, dan *FEMA 440* mendapat level kinerja yang lebih baik yaitu 0,01 (*Immediate*

Occupancy) dimana kondisi gedung setelah terjadinya gempa hampir sama dan dapat digunakan kembali.

- Dari hasil *running pushover analysis*, untuk arah x didapatkan 12 *step* pola beban dorong. Terjadinya pelepasan sendi plastis pertama kali pada *step* ke-4, yaitu elemen berada pada kondisi B-IO berjumlah 1 sendi plastis, sisanya masih dalam kondisi A-B. Pada kondisi *step* ke-12 kondisi B-IO bertambah menjadi 783 sendi plastis dan kondisi plastifikasi pada elemen meningkat sehingga kondisi C-D berjumlah 3 sendi plastis yang sebelumnya belum ada pada *step* ke-4 sampai ke-9. Sedangkan untuk arah y terdapat 10 *step* pola beban dorong, sendi plastis pertama kali terjadi pada *step* ke-4 yaitu elemen berada pada kondisi B-IO berjumlah 2 sendi plastis, sisanya masih dalam kondisi A-B. Pada kondisi *step* ke-10 kondisi B-IO bertambah menjadi 75 sendi plastis dan kondisi plastifikasi pada elemen meningkat sehingga kondisi IO-LS berjumlah 87 sendi plastis yang sebelumnya belum ada pada *step* ke-4 dan *step* ke-5.

5.2. Saran

1. Sebaiknya dilakukan studi yang mempelajari tentang perencanaan struktur dengan menggunakan *performance based design* atau desain berbasis kinerja lebih lanjut karena metode ini sangat membutuhkan tinjauan lanjut dan koreksi agar dapat diterapkan

dengan tepat sehingga dihasilkan kinerja struktur bangunan yang sesuai ketika terjadi gempa.

2. Sebaiknya dilakukan peninjauan terhadap Gedung 1 dan 2 Universitas Bosowa agar titik kinerja dan level kinerja gedung diketahui saat dan setelah terjadi gempa.



DAFTAR PUSTAKA

Anomuis, 2015, *Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural*, SNI 1729:2015, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Anomius, 2019, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, SK SNI 03-1726-2019, Badan Standardisasi Nasional, Bandung.

Anomuis, 2018, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2020, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Applied Technologi Council (ATC 40), 1996, *Seismic Evaluation and Retrofil of Concrete Buildings Volume 1*, Redwood City, California, U.S.A.

ASCE, 2000, *FEMA 356 – Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washintong, D.C.

Applied Technology Council (ATC 55), 2005, *FEMA 440 – Improvement of Nonlinier Static Seismic Analysis Procedures*, Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency, Washintong, D.C.

Dewobroto, Wiryanto, 2006, *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*, Jurnal Teknik Sipil Vol. 3, Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan, Jakarta.

Hendra Laksono: dan Ricky Christiyanto, 2010, *Perencanaan Struktur Gedung Rusunawa Unimus*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.

Nurdianti, Ulfa, 2013, *Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis Pada Tanah Medium*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Makasar.

Steel Deck Institute, 2012, *C-2011 Standart for Composite Steel Floor Deck-Slabs*, Steel Deck Institute, Alisson Park.

Setiawan, Agus, 2008, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Semarang, Erlangga.

Tavio: dan Wijaya, 2018, *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*, Yogyakarta, Penerbit Andi.

Wibowo, Panji, 2016, *Perencanaan Ulang Gedung I.T.S Tower Jakarta Menggunakan Metode Performanced Based Design*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Jurusan Teknik Sipil Institute Teknologi Sepilih November, Surabaya.

LAMPIRAN 1

**PENGEMBANGAN GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA**





UNIVERSITAS
BOSOWA



Konsep Desain
PENGEMBANGAN GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA



Project: **PERENCANAAN FASILITAS KEDOKTERAN**

Client: **YAYASAN AKSA MAHMUD**

Architect: **ko.no.ba.na**
KONSTRUKSI DAN ARSITEKTUR

MEMBER 1

MEMBER 2: **Dr. dr. Ichompiya Pambonggi, M.Kes**
Departemen Keperawatan
Jenderal Soedirman

MEMBER 3: **Prof. Dr. H. H. Muhammad Soleh Pribu, M.Eng**
Rektor Universitas Borneo

MEMBER 4: **H. Melindo Akig**
KOROS TOPOGRAFIS 100711010

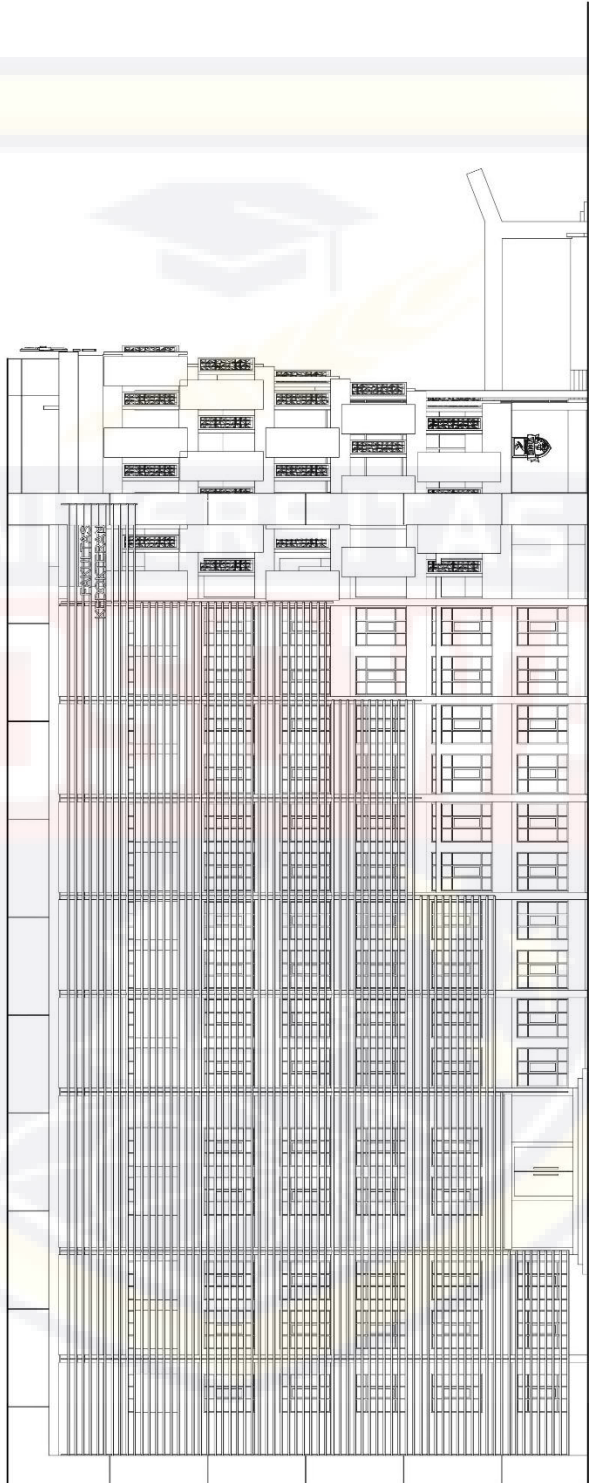
No.	Uraian	Disusun
1	1	
2	2	
3	3	
4	4	
5	5	
6	6	
7	7	
8	8	
9	9	
10	10	
11	11	
12	12	
13	13	
14	14	
15	15	
16	16	
17	17	
18	18	
19	19	
20	20	
21	21	
22	22	
23	23	
24	24	
25	25	
26	26	
27	27	
28	28	
29	29	
30	30	
31	31	
32	32	
33	33	
34	34	
35	35	
36	36	
37	37	
38	38	
39	39	
40	40	
41	41	
42	42	
43	43	
44	44	
45	45	
46	46	
47	47	
48	48	
49	49	
50	50	
51	51	
52	52	
53	53	
54	54	
55	55	
56	56	
57	57	
58	58	
59	59	
60	60	
61	61	
62	62	
63	63	
64	64	
65	65	
66	66	
67	67	
68	68	
69	69	
70	70	
71	71	
72	72	
73	73	
74	74	
75	75	
76	76	
77	77	
78	78	
79	79	
80	80	
81	81	
82	82	
83	83	
84	84	
85	85	
86	86	
87	87	
88	88	
89	89	
90	90	
91	91	
92	92	
93	93	
94	94	
95	95	
96	96	
97	97	
98	98	
99	99	
100	100	

Project no: _____

Scale: _____

Date: _____

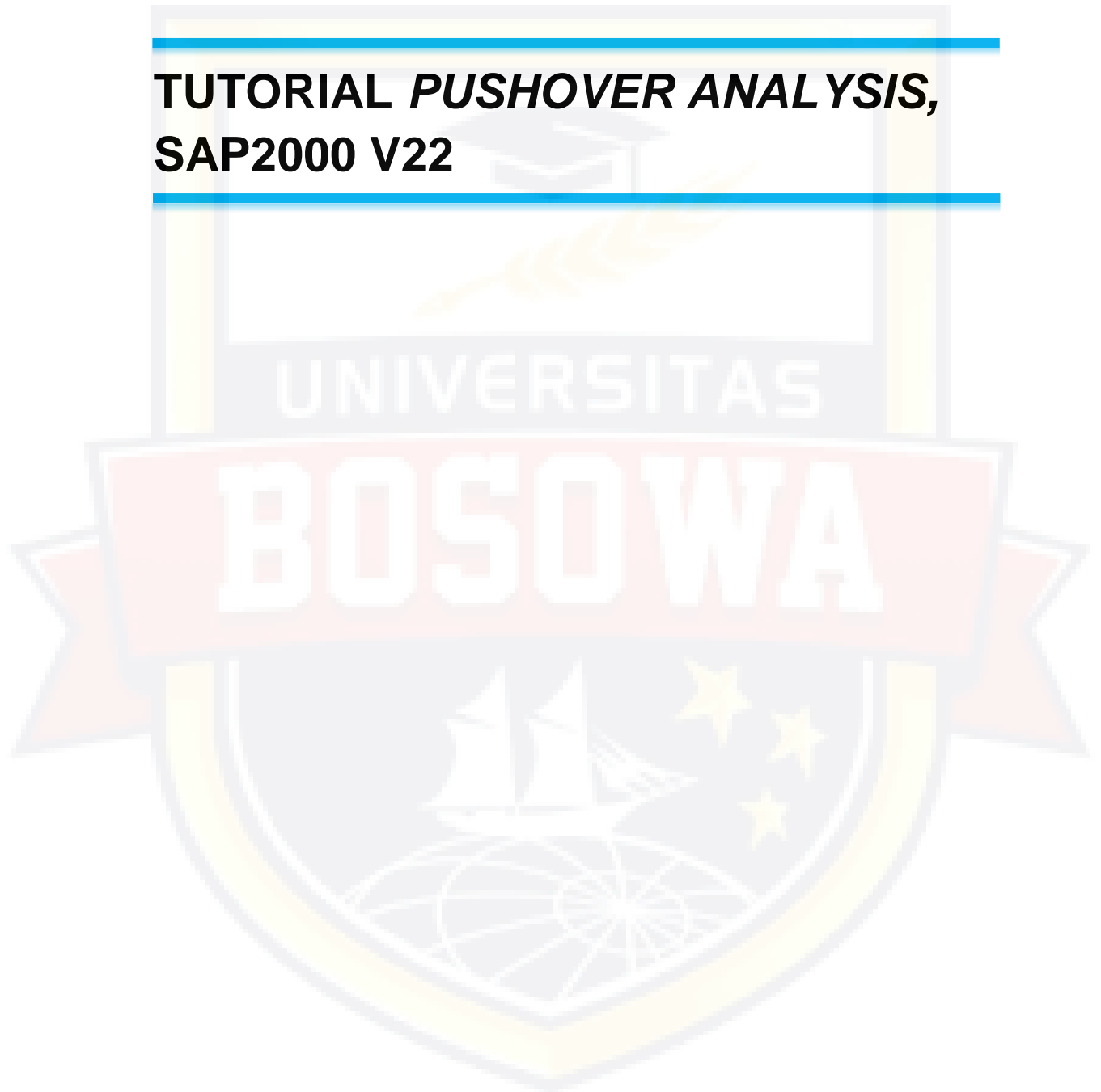
Sheet no: _____



TAMPAK SAMPIING KANAN

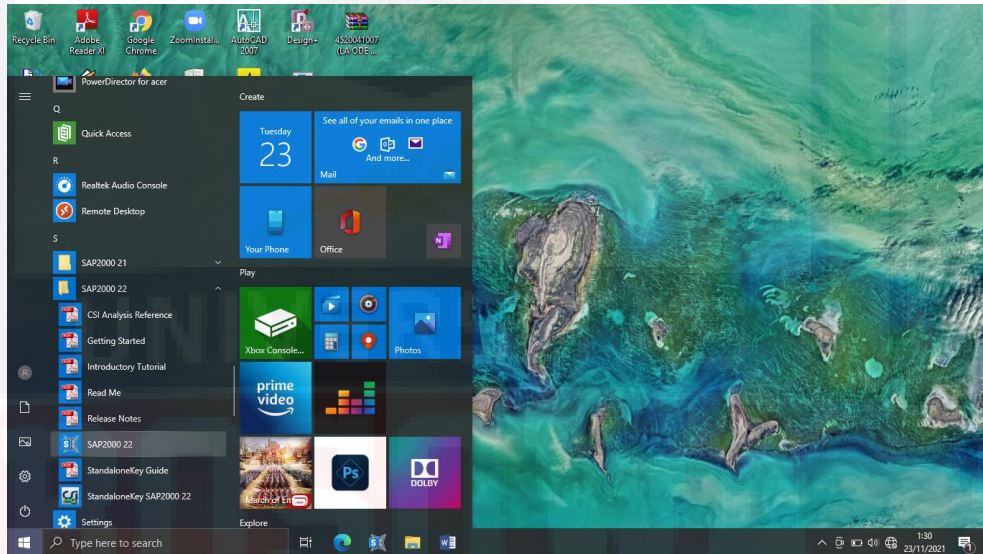
LAMPIRAN 2

**TUTORIAL *PUSHOVER ANALYSIS*,
SAP2000 V22**

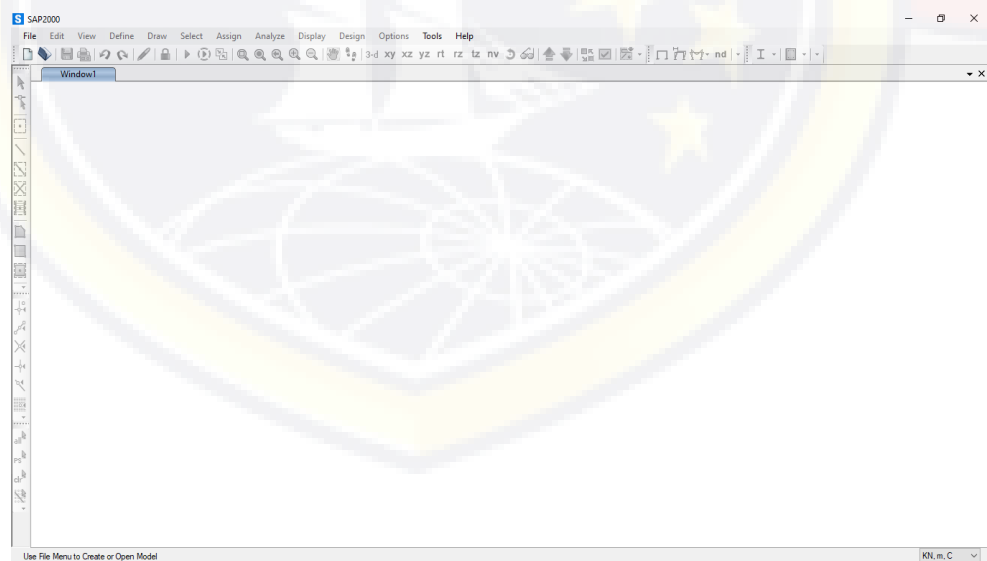


○ **PEMODELAN STRUKTUR PENGEMBANGAN GEDUNG FAKULTAS
KEDOKTERAN UNIVERSITAS BOSOWA**

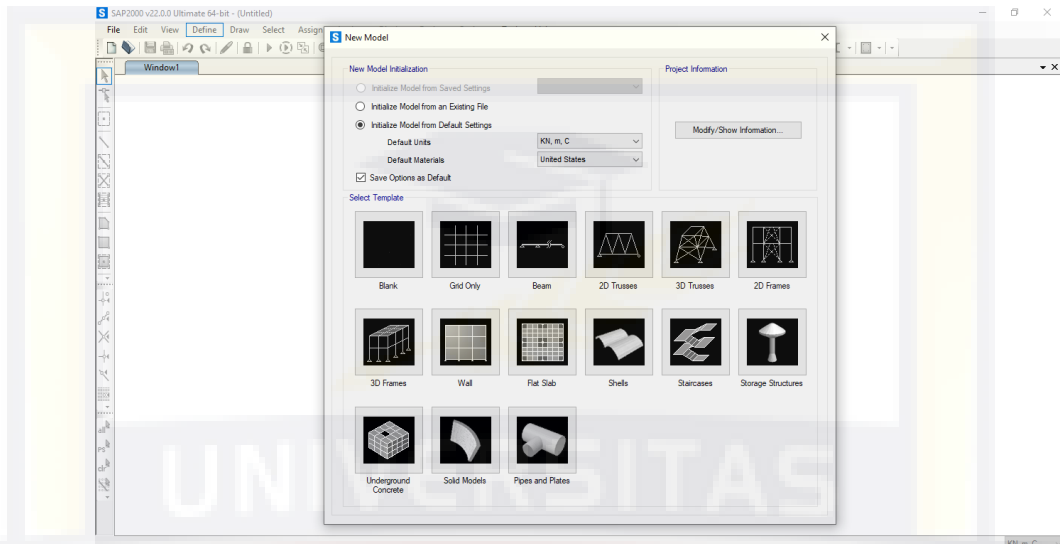
1. Bukalah program SAP2000 dengan cara klik *Start Menu > Computer and Structure > SAP2000 V22*.



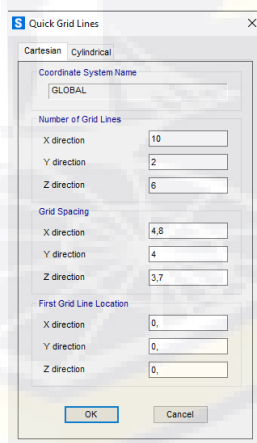
2. Maka akan muncul tampilan utama dari SAP2000 V22 sebagai berikut :



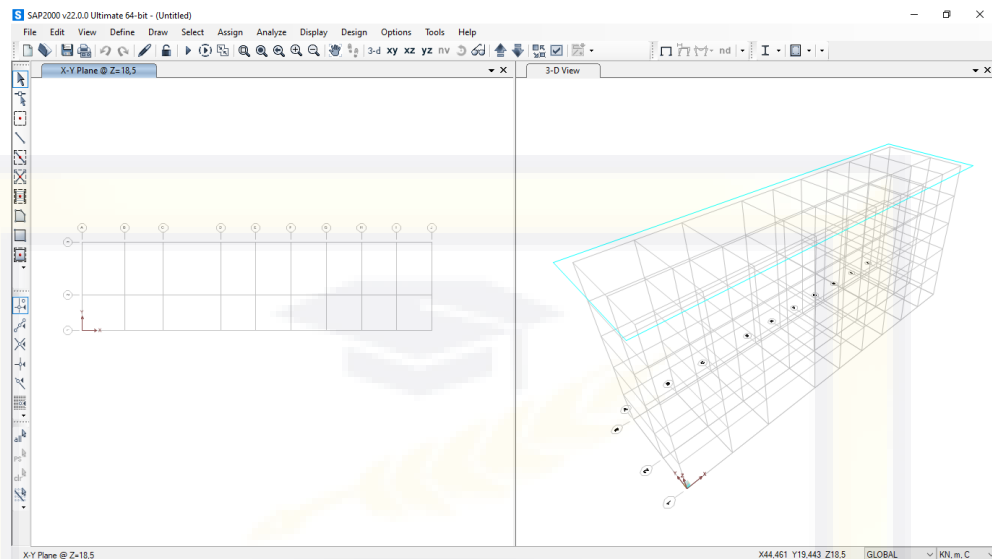
3. Lalu klik **File – New Model**, maka akan muncul kotak dialog seperti dibawah ini



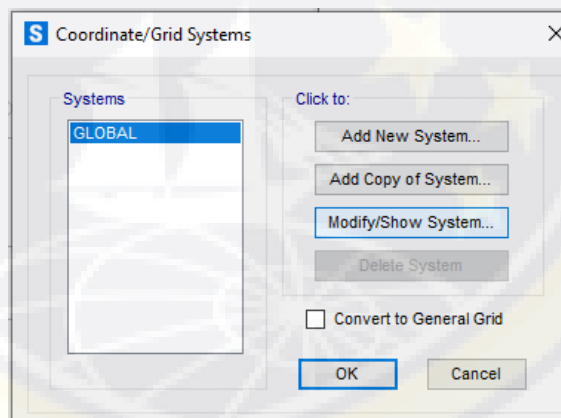
4. Pilih **Grid Only**, maka akan tampil seperti gambar dibawah ini. Setelah itu masukkan nilai x,y, dan z pada **Number of Grid Lines** menunjukkan jumlah joint tinjauan sedangkan **Grid Spacing** merupakan jarak antar joint.

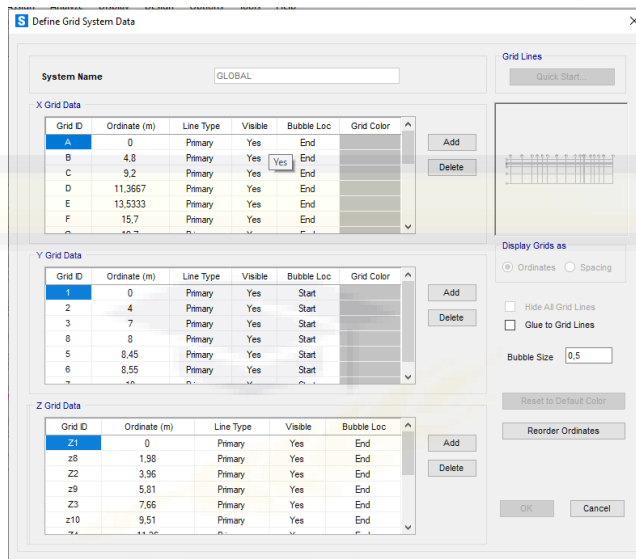


5. Bila data telah diisi, klik **OK** maka akan muncul grid sebagai berikut :



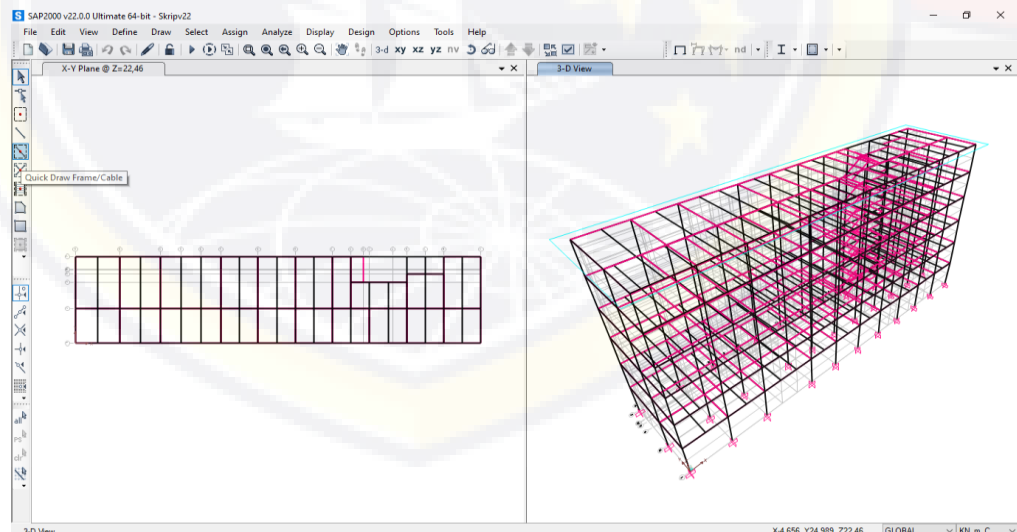
6. Untuk mengatur jarak grid, klik kanan mouse, lalu pilih menu **Edit Grid Data > Modify Show System** maka akan muncul kotak dialog seperti dibawah ini. Isi jarak terhadap bidang X, Y, Z sesuai dengan ukuran pengembangan gedung Fakultas Kedokteran Universitas Bosowa.



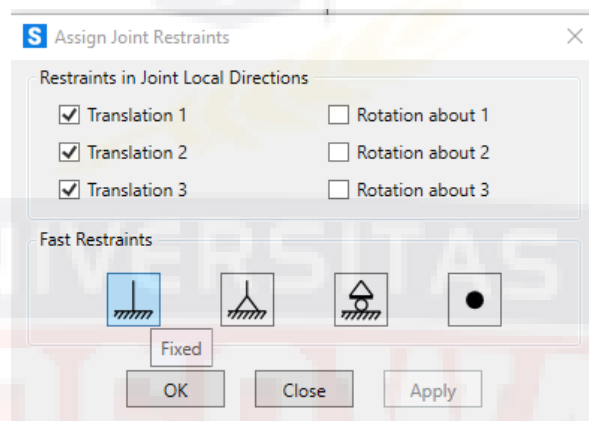


Isi kotak dialog diatas dengan jarak dalam satuan milimeter. Setelah itu klik **OK**

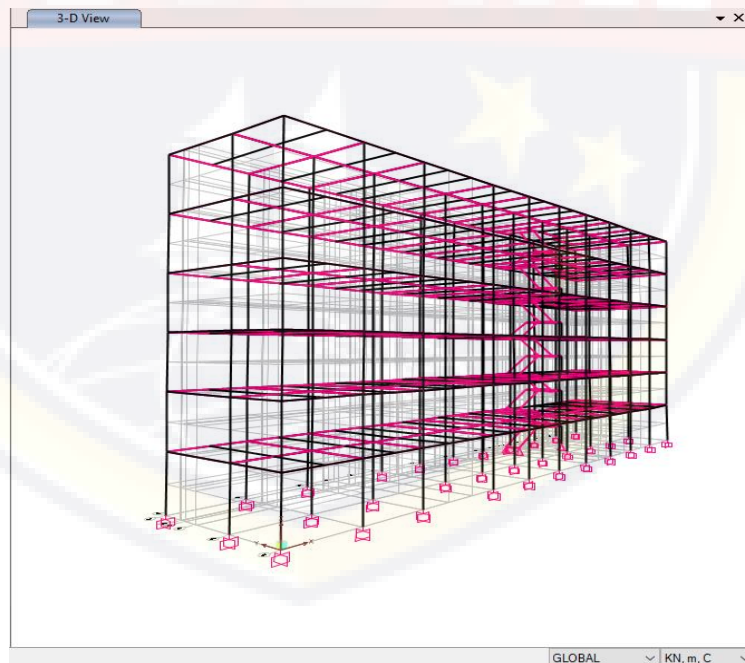
- Setelah jarak grid diatur, maka saatnya untuk menggambar Frame pada grid-grid tersebut. Klik pada menu **Draw > Draw frame/cable/tendon**. Dan gambar elemen frame, maka akan tampil seperti gambar dibawah ini.



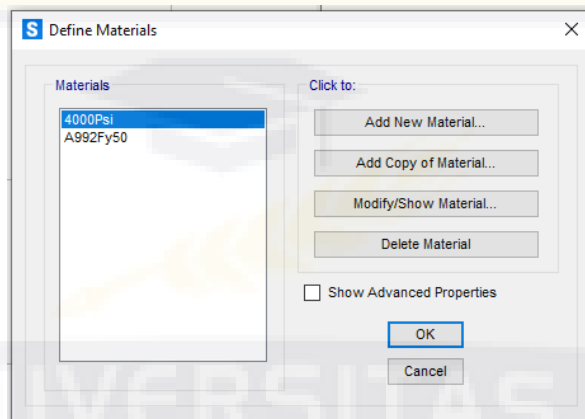
8. Draw semua frame pada grid arah x, arah y, arah z. sehingga setelah semua diberikan frame, maka berikan perletakan pada joint dasar. Lalu blok titik yang akan diberikan perletakan. Setelah itu menu **Assign > Joint > Restraints**. Beri perletakan jepit pada masing – masing joint dasar, lalu klik **OK**.



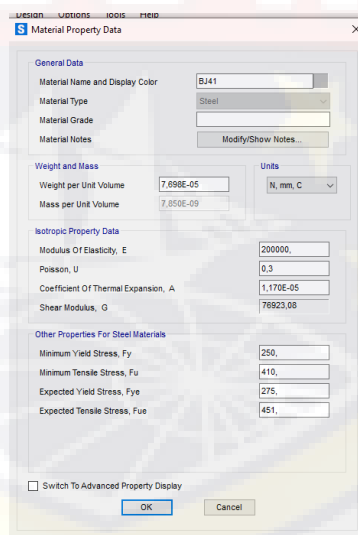
Sehingga akan muncul tampilan sebagai berikut :



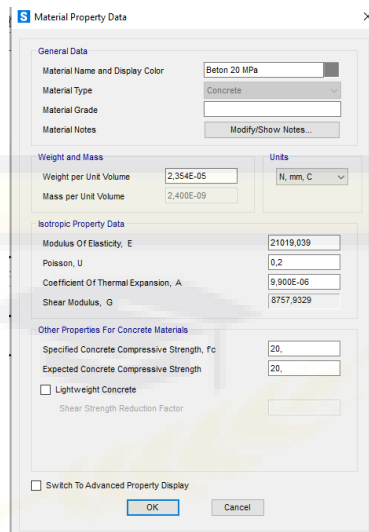
9. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan penampang untuk material yang akan digunakan. Pilih menu **Define > Materials** maka akan tampil seperti gambar dibawah ini :



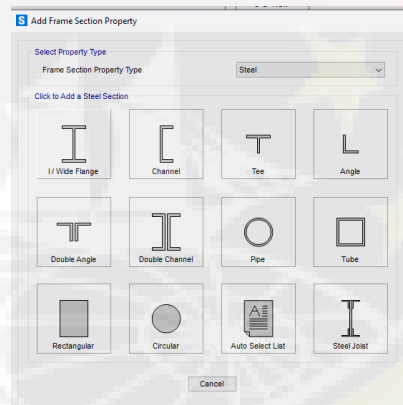
Pilih **Add New Materials**, lalu pilih material **Steel** karena material yang digunakan adalah baja. Isi data baja sesuai dengan data material baja (BJ 41) pada kolom yang tersedia – Klik **OK**



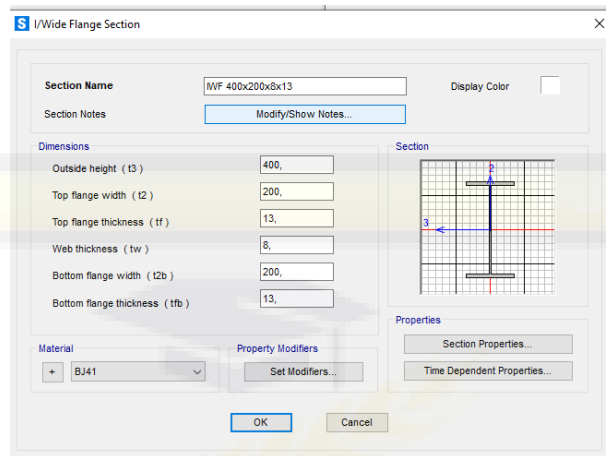
Kemudian **Add New Materials** lagi, pilih **Concrete** digunakan untuk pelat lantai isi data material beton ($f'c$ 20 MPa) pada kolom yang disediakan – Klik **OK**



10. Setelah material baja dan beton telah didefinisikan, maka langkah selanjutnya adalah mendefinisikan properties dimensi penampang balok maupun kolom yang akan digunakan, pilih menu **Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property**, Pilih **Steel** lalu **I/Wide Flange**.

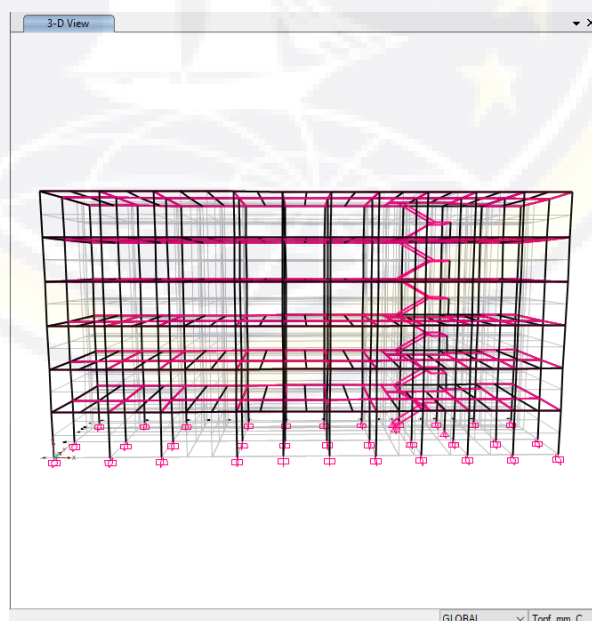


Kemudian ubah Section Name menjadi Nama penampang Kolom/Balok isi data pada kolom sesuai dengan data profil baja. Setelah itu Klik **OK**



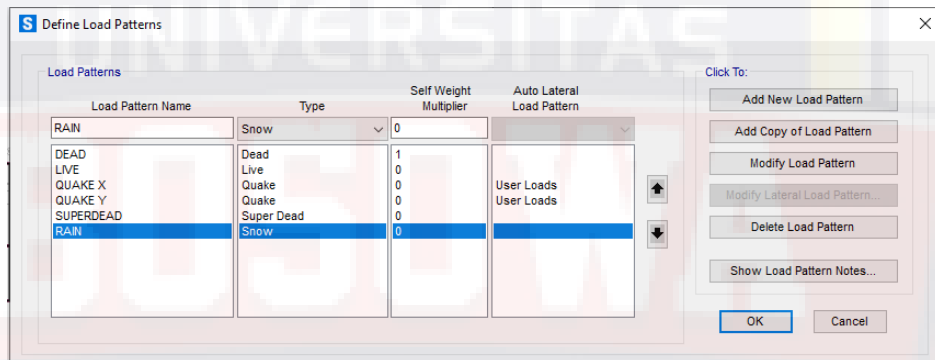
11. Setelah pendefinisian balok dan kolom selesai selanjutnya pendefinisian pelat dan tangga. Pilih menu **Define > Section Properties > Area Section**, selanjutnya pilih **Add New Section** lalu definisikan tebal pelat dan tangga yang digunakan.

12. Selanjutnya adalah me assign frame-frame tadi. Klik semua balok ato kolom pada gambar rencana, lalu pilih **Assign > Frame > Frame Sections**. Pilih dimensi balok atau kolom yang digunakan. Klik **OK**, sehingga tampilan struktur seperti berikut :

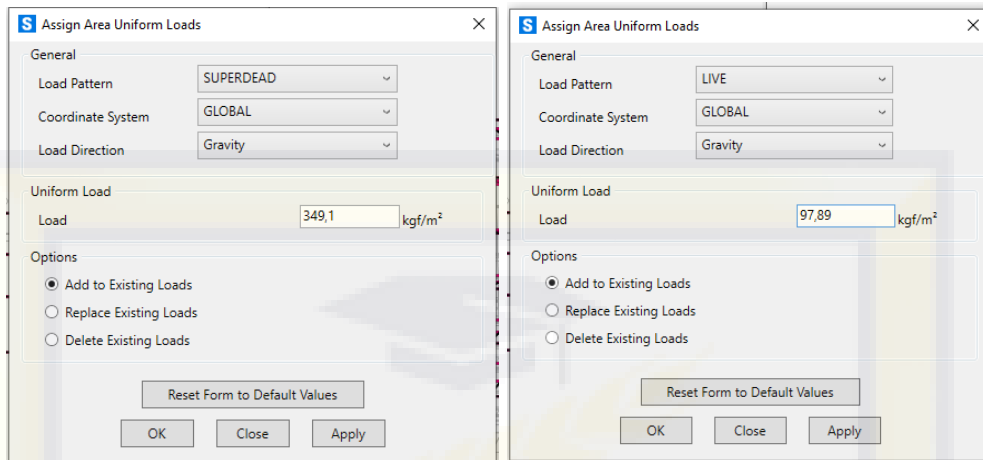


o **PEMBEBANAN STRUKTUR PENGEMBANGAN GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BOSOWA**

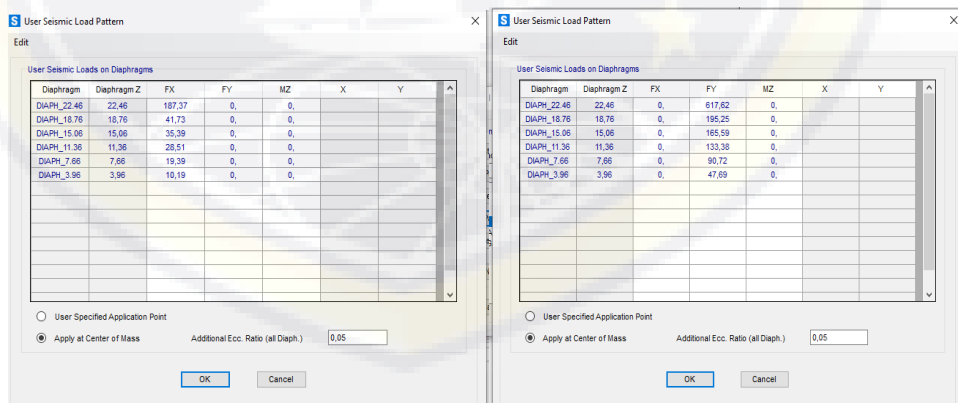
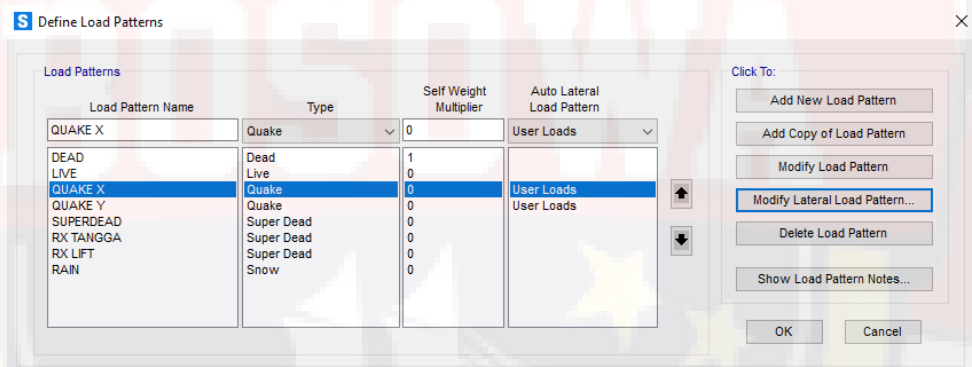
13. Selanjutnya memberikan beban-beban pada komponen struktur yang digunakan adalah Beban mati, Beban Hidup, Beban Mati Tambahan, Gempa Statik Arah X dan Arah Y serta mendefinisikan beban air hujan. Kemudian pilih **Define > Load Pattern**. Setelah kotak dialog muncul masukkan jenis beban seperti pada gambar berikut :



14. Untuk beban mati tambahan dan beban hidup, pilih semua elemen pelat lalu pilih **Assign > Area Loads > Uniform (Shell)**. Untuk beban mati tambahan pada Load Pattern Name pilih **Superdead** sedangkan untuk beban hidup pilih **Live**. Input nilai beban pada **Uniform Load > Load**.

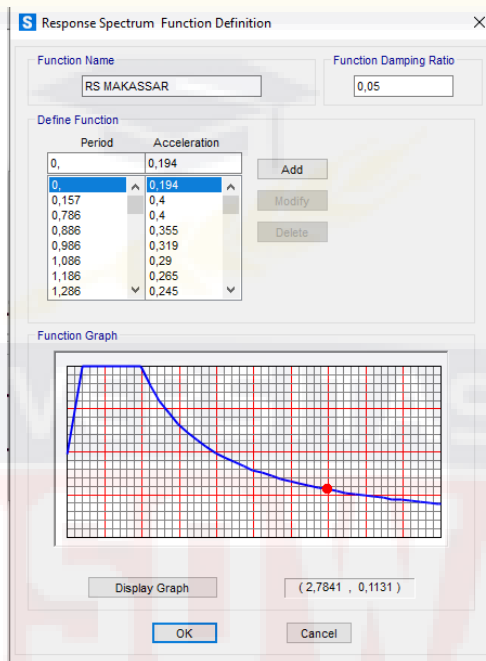


15. Untuk beban gempa statik yang diperoleh dari perhitungan dengan metode DDBD nilainya diinput dengan cara pilih **Define > Load Pattern > Quake X**, Kemudian pilih **Modify Lateral Load Pattern**.

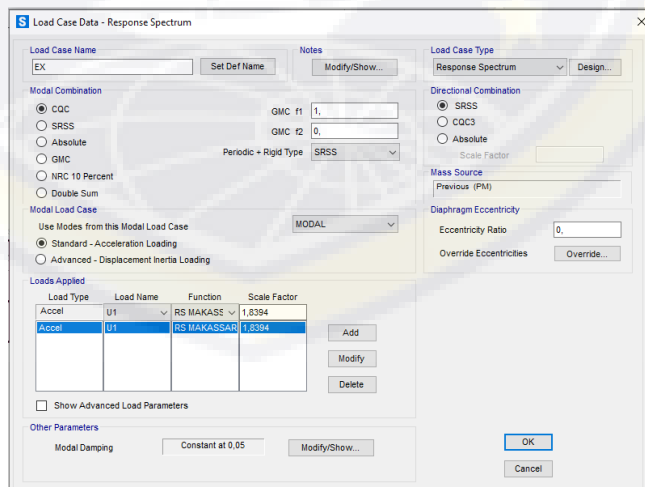


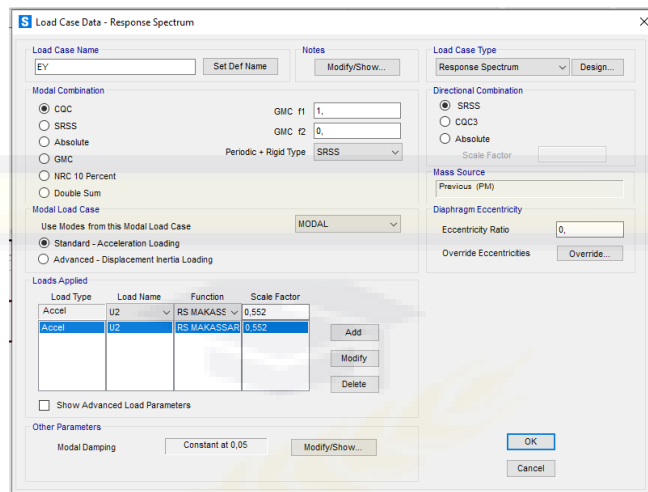
kemudian input nilai hasil perhitungan, untuk arah Y caranya seperti diatas.

16. Untuk beban gempa dinamik, pilih **Define > Function > Respon Spectrum**. Kemudian masukkan nilai Respon Spektrum Desain (S_a) terhadap Periode (T). seperti gambar berikut :



17. Setelah pendefinisian respon spektrum selesai. Pilih **Define > Load Case > Add New Load Case**, Pada **Load Case Type** pilih Respon SPektrum sehingga muncul kotak dialog seperti ini





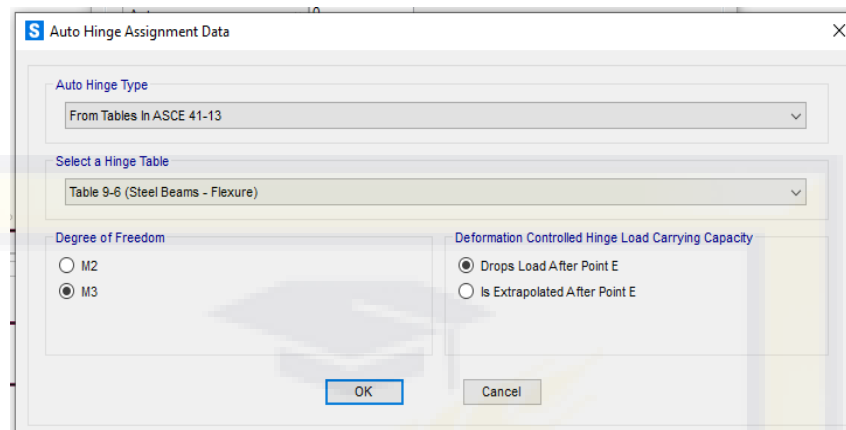
Isi parameter-parameter seperti diatas, sesuai SNI 1726-2019 input respon spektrum diberikan nilai pengali sebesar $g \times I / R$ maka didapatkan $U1 = 1,8394$ dan $U2 = \frac{1}{2} U1 = 0,552$.

o **ANALISA BEBAN DORONG STATIK (PUSHOVER ANALYSIS)**

18. Perilaku leleh dan pasca leleh pada elemen struktur dapat dimodelkan dalam **Hinge Properties** hanya dapat dipakai dalam elemen rangka. Pushover memberikan pilihan perhitungan *yield moment* dan *yield rotation* dari sendi plastis elemen rangka dilakukan secara otomatis oleh program ini atau bisa diinputkan nilainya. Untuk penelitian ini dilakukan secara otomatis pada program SAP2000 yang mengacu pada Tabel 9-6 ASCE 41-13.

- Pendefinisian **Hinge Properties** balok

Pilih semua elemen balok, lalu pilih **Assign > Frame Hinges**. Pada **Relative Distance** masukkan nilai 0,05 yang menyatakan panjang bersih balok, lalu klik **Add**, sehingga muncul kotak dialog berikut :

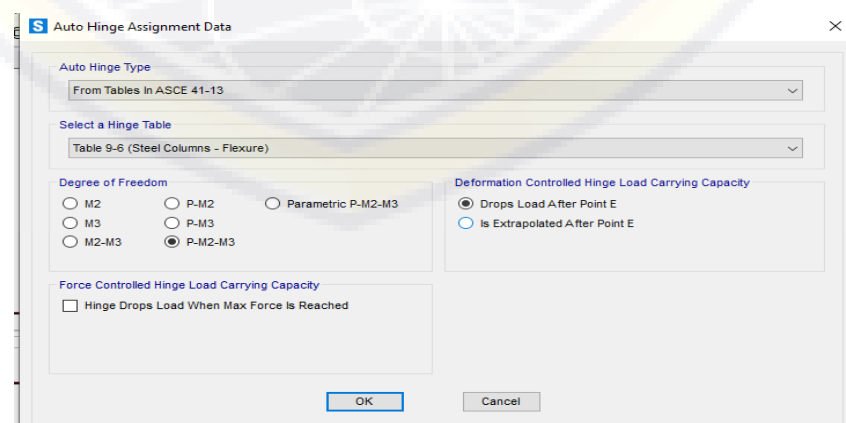


Pada kotak **Auto Hinge Type** pilih **From Tables ASCE 41-13**, lalu pilih **Table 9-6 (Steel Beam – Flexure)**. Untuk elemen balok untuk **Degree of Freedom** pilih **M3** yang berarti sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3.

Kembali pada form **Frame Hinge Assignment** masukkan 0,95 pada **Relative Distance** yang menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok, lalu klik **Add**.

- Pendefinisian **Hinge Properties** kolom

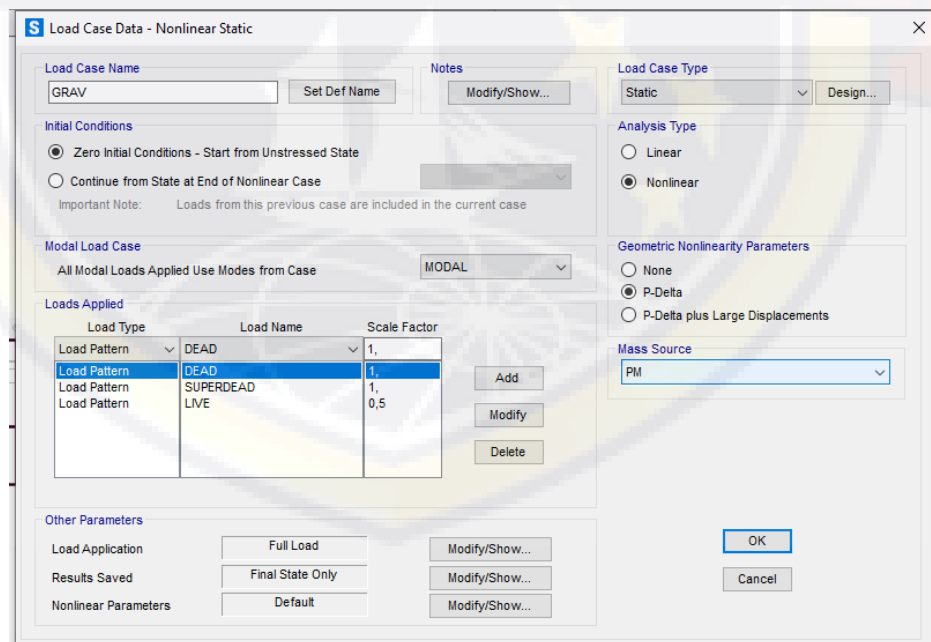
Pilih semua elemen balok, lalu pilih **Assign > Frame Hinges**. Pada **Relative Distance** masukkan nilai 0,05 yang menyatakan panjang bersih balok, lalu klik **Add**, sehingga muncul kotak dialog berikut :



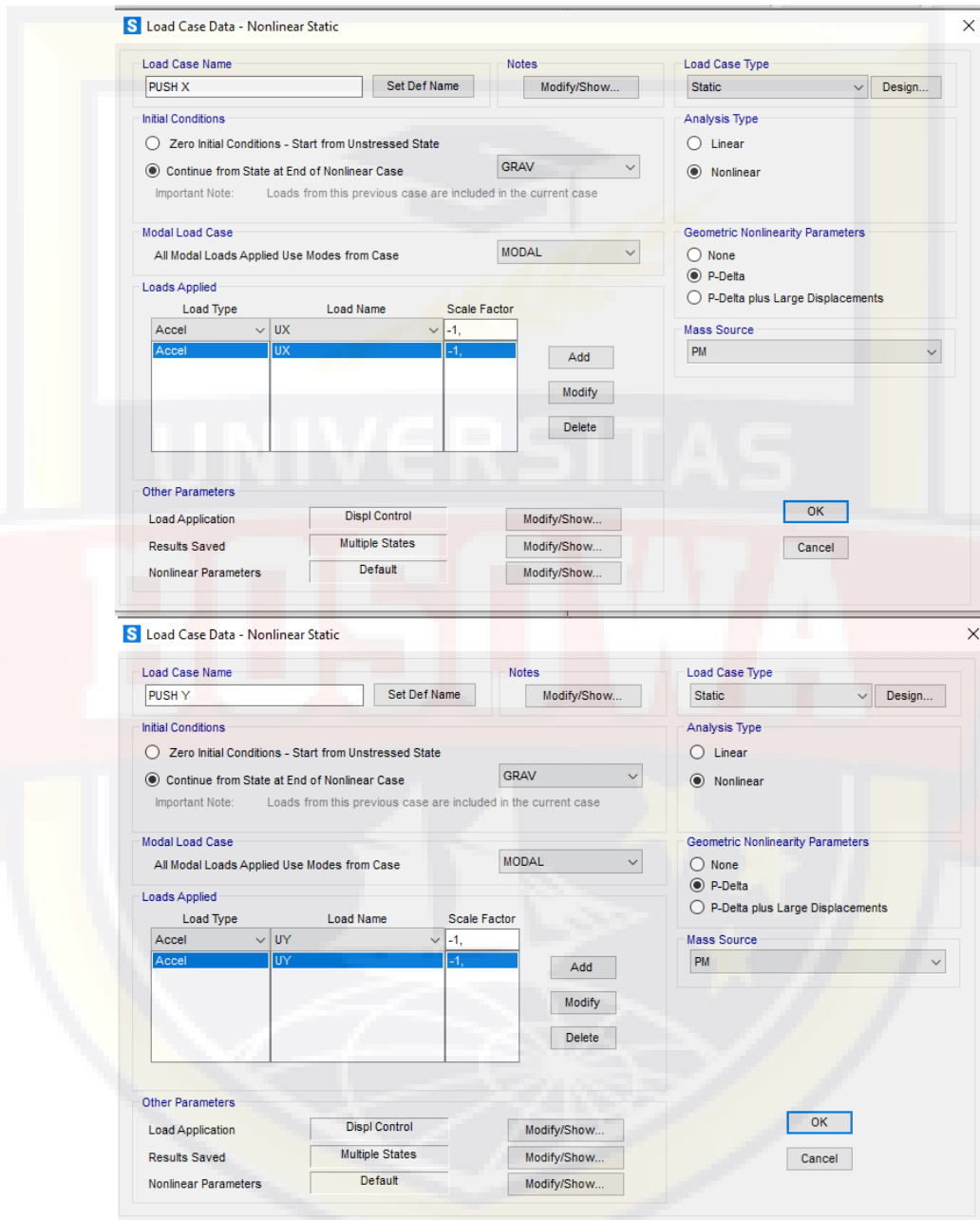
Pada kotak **Auto Hinge Type** pilih **From Tables ASCE 41-13**, lalu pilih **Table 9-6 (Steel Column – Flexure)**. Untuk elemen kolom untuk **Degree of Freedom** pilih **P-M2-M3** yang berarti sendi plastis karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3.

Kembali pada form **Frame Hinge Assignment** masukkan 0,95 pada **Relative Distance** yang menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok, lalu klik **Add**.

19. Pembebanan diberikan dalam dua tahapan, yakni yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi, yaitu kombinasi beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup. Pilih **Define > Load Case > Add New Load Case**. Pada tahap ini sudah diperhitungkan kondisi non linier.



20. Selanjutnya pendefinisian beban lateral pada struktur. Pendefinisian tahap kedua melalui **Define > Load Case > Add New Load Case**.



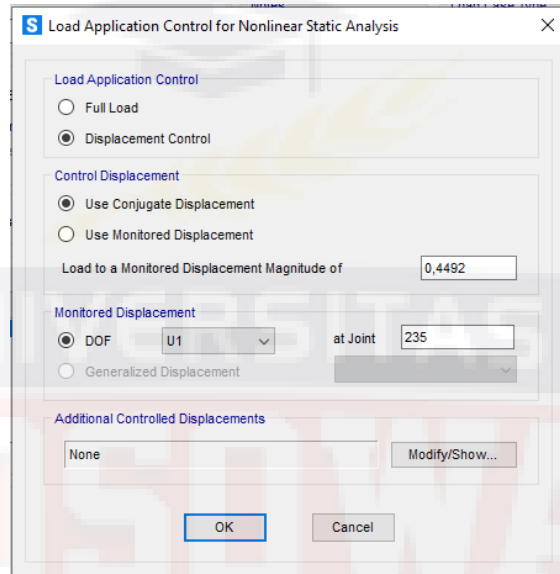
Kemudian pilih pada **Other Parameter > Load Application > Modify/Show**. Kemudian pada **Load Application Control** pilih **Displacement Control**, pada **Control Displacement** pilih **Use**

Conjugate Displacement, Load to a Monitored Displacement

Magnitude of nilainya didapatkan dari $0,20H_n = 0,20 \times 22,46 =$

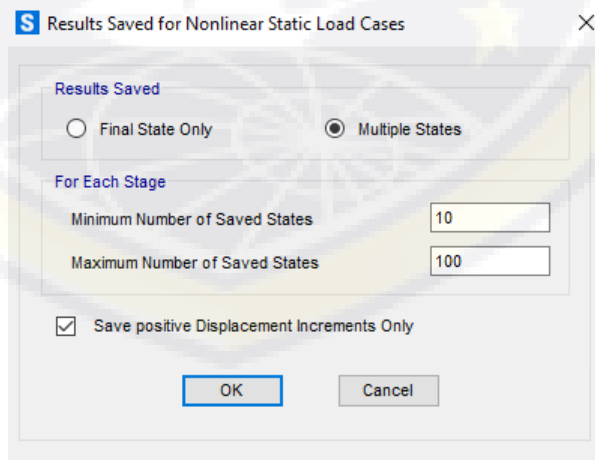
0,4492 m, pada **Monitored Displacement DOF U1 at joint 235**

lalu klik **OK**.

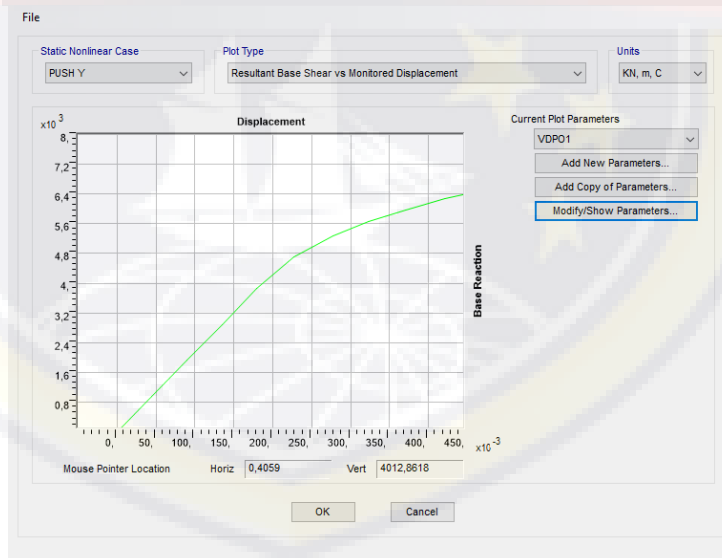
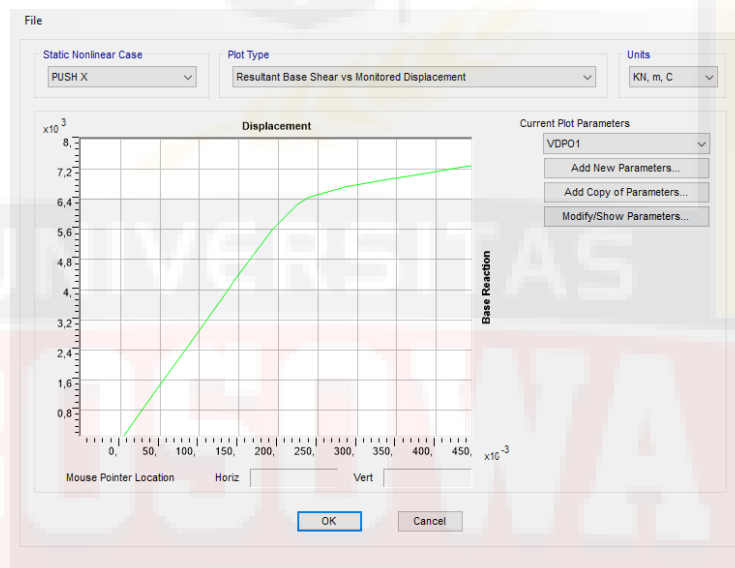


Pada **Other Parameter > Results Saved > Modify/Show**. Hasil

disimpan secara **Multiple States** dengan jumlah minimum 10 dan maksimum 100 steps.



21. Klik **Run Analysis** untuk menampilkan **Set Load Cases to Run**, pada form ini pastikan beban **GRAV**, **PUSH X**, dan **PUSH Y** pada kondisi **Run** di action. Klik **Run Now** untuk menjalankan analisis.
22. Untuk menampilkan kurva pushover, pilih **Display > Show Static Pushover Curve**



Pilih **File > Display Table** untuk menampilkan perpindahan titik kontrol vs gaya geser dasar yang terjadi pada setiap step.

Pushover Capacity Curve

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Pushover Capacity Curve

Filter:

	Displacement	BaseForce KN	AtoB Unitless	BtoIO Unitless	IOtoLS Unitless	LStoCP Unitless	CPtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	BeyondE Unitless	Total Unitless
0	-8,83E-06	0	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
1	0,044911	1316,84	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
2	0,089831	2633,694	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
3	0,13475	3950,552	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
4	0,145295	4259,691	1007	1	0	0	0	0	0	0	1008
5	0,193077	5611,081	978	30	0	0	0	0	0	0	1008
6	0,225076	6286,071	909	90	9	0	0	0	0	0	1008
7	0,237929	6445,204	887	106	15	0	0	0	0	0	1008
8	0,286077	6729,941	854	55	98	0	1	0	0	0	1008
9	0,33442	6920,498	834	47	125	0	2	0	0	0	1008
10	0,381122	7085,562	820	23	161	0	3	1	0	0	1008
11	0,430739	7244,132	807	33	161	0	4	3	0	0	1008
12	0,449191	7298,814	783	56	162	0	4	3	0	0	1008

Record: 1 of 13 Done

Pushover Capacity Curve

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Pushover Capacity Curve

Filter:

	Displacement	BaseForce KN	AtoB Unitless	BtoIO Unitless	IOtoLS Unitless	LStoCP Unitless	CPtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	BeyondE Unitless	Total Unitless
0	-0,000169	0	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
1	0,044751	963,458	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
2	0,08967	1926,95	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
3	0,13459	2890,449	1008	0	0	0	0	0	0	0	1008
4	0,179351	3850,568	1006	2	0	0	0	0	0	0	1008
5	0,226946	4708,678	970	38	0	0	0	0	0	0	1008
6	0,277682	5262,916	926	78	4	0	0	0	0	0	1008
7	0,323139	5647,795	901	87	20	0	0	0	0	0	1008
8	0,369759	5972,076	879	84	45	0	0	0	0	0	1008
9	0,420007	6267,209	853	85	70	0	0	0	0	0	1008
10	0,449029	6398,113	846	75	87	0	0	0	0	0	1008

Record: 1 of 11 Done

Pilih **Display > Show Deformed Shape** untuk menampilkan pelelehan sendi plastis akibat pushover arah x dan y.

LAMPIRAN 3

**TABEL BAJA BURUNG GARUDA ,
*SUPER FLOOR DECK COMPOSITE &
STEEL FLOOR DECK – SLAB***



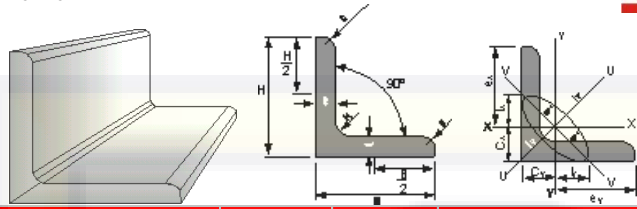
Equal Angle

HOT FORMED



PT. GUNUNG GARUDA

Steel Is Our Business



METRIC SIZE

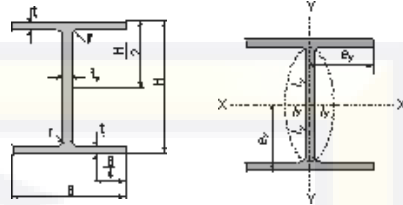
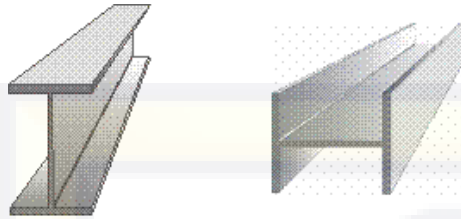
STANDARD SECTIONAL DIMENSIONS				SECTION AREA A	UNIT WEIGHT kg/m	INFORMATIVE REFERENCE							
H x B	t	r1	r2			CENTER OF GRAVITY Cx = Cy		GEOMETRICAL MOMENT OF INERTIA Ix = Iy		RADIUS OF GYRATION OF AREA			MODULUS OF SECTION Zx = Zy
mm x mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm	cm ³
25 x 25	3	4	2	1,427	1,12	0,719	0,797	1,26	0,332	0,747	0,94	0,48	0,448
30 x 30	3	4	2	1,727	1,36	0,844	1,42	2,26	0,59	0,908	1,14	0,58	0,661
40 x 40	3	4,5	2	2,336	1,83	1,09	3,53	5,6	1,46	1,23	1,55	0,79	1,21
40 x 40	4	4,5	2	2,336	1,83	1,09	3,53	5,6	1,46	1,23	1,55	0,79	1,21
40 x 40	5	4,5	3	3,755	2,95	1,17	5,42	8,59	2,25	1,2	1,51	0,77	1,91
45 x 45	5	6,5	3	4,302	3,38	1,28	6,5	10,3	2,7	1,36	1,71	0,87	2
45 x 45	4	6,5	3	3,492	2,74	1,24	7,91	12,5	3,29	1,36	1,72	0,88	2,46
50 x 50	4	6,5	3	3,892	3,06	1,41	9,06	14,4	3,76	1,52	1,91	0,98	2,49
50 x 50	5	6,5	3	4,802	3,77	1,37	11,1	17,5	4,58	1,53	1,92	0,98	3,08
50 x 50	6	6,5	4,5	5,644	4,43	1,44	12,6	20	5,23	1,5	1,88	0,96	3,55
60 x 60	4	6,5	3	4,692	3,68	1,61	16	25,4	6,62	1,85	2,33	1,19	3,66
60 x 60	5	6,5	3	5,802	4,55	1,66	19,6	31,2	8,09	1,84	2,32	1,18	4,52
60 x 60	6	8	4	6,910	5,40	1,7	22,79	36,16	9,42	1,82	2,29	1,17	5,28
65 x 65	5	8,5	3	6,367	5,00	1,77	25,3	40,1	10,5	1,99	2,51	1,28	5,35
65 x 65	6	8,5	4	7,527	5,91	2,69	125	199	51,7	2,68	3,38	1,73	19,5
65 x 65	8	8,5	6	9,761	7,66	2,57	129	205	53,2	2,71	3,42	1,74	21,1
70 x 70	6	8,5	4	8,127	6,38	1,81	29,4	46,6	12,2	1,98	2,49	1,27	6,26
75 x 75	6	8,5	4	8,727	6,85	2,18	80,7	128	33,4	2,46	3,1	1,58	14,2
75 x 75	9	8,5	6	12,690	9,96	2,42	81,9	129	34,5	2,77	3,48	1,78	15,7
75 x 75	12	8,5	6	16,560	13,00	2,46	93	148	38,3	2,76	3,48	1,77	17,7
80 x 80	6	8,5	4	9,230	7,32	1,88	36,8	58,3	15,3	1,94	2,44	1,25	7,33
90 x 90	6	10	5	10,550	8,28	1,93	37,1	58,9	15,3	2,14	2,69	1,37	7,96
90 x 90	7	10	5	12,220	9,59	2,06	46,1	73,2	19	2,3	2,9	1,48	8,47
90 x 90	10	10	7	17,000	13,30	2,17	56,4	89,6	23,2	2,25	2,84	1,45	9,7
90 x 90	13	10	7	21,710	17,00	2,29	64,4	102	26,7	2,22	2,79	1,44	12,3
100 x 100	7	10	5	13,620	10,70	2,71	156	248	65,3	3,08	3,88	1,98	24,4
100 x 100	13	10	7	24,310	19,10	2,94	175	278	72	3	3,78	1,94	24,8
*100 x 100	10	10	7	19,000	14,90	2,82	220	348	91,1	3,04	3,83	1,95	29,5
120 x 120	8	12	5	18,760	14,70	3,24	258	410	106	3,71	4,67	2,38	31,1
*120 x 120	11	13	6,5	25,370	19,90	3,3	340	541	140	3,66	4,62	2,35	38,7
*120 x 120	12	13	6,5	27,540	21,60	3,4	366	583	150	3,65	4,6	2,35	39,36
*130 x 130	9	12	6	22,740	17,90	3,53	367	583	151	4,01	5,06	2,57	41,6
130 x 130	15	12	8,5	36,750	28,80	3,76	467	743	192	3,93	4,95	2,53	42,68
*130 x 130	12	12	8,5	29,760	23,40	3,64	568	902	234	3,96	5	2,54	49,9
*150 x 150	10	14	7	29,000	23,00	4,14	740	1,180.00	304	4,61	5,82	2,96	68,1
*150 x 150	12	14	7	34,770	27,30	4,24	888	1,410.00	365	4,56	5,75	2,92	82,6
150 x 150	19	14	10	53,380	41,90	4,4	1,090.00	1,730.00	451	4,52	5,69	2,91	91,8
175 x 175	12	15	11	40,520	31,80	4,73	1,170.00	1,860.00	480	5,38	6,78	3,44	103
175 x 175	15	15	11	50,210	39,40	4,85	1,440.00	2,290.00	589	5,35	6,75	3,48	114
*200 x 200	15	17	12	57,750	45,30	5,46	2,180.00	3,470.00	891	6,14	7,75	3,93	150
*200 x 200	20	17	12	76,000	59,70	5,67	2,820.00	4,490.00	1,160.00	6,09	7,68	3,9	197
200 x 200	25	17	12	93,750	73,60	5,86	3,420.00	5,420.00	1,410.00	6,04	7,61	3,88	242
250 x 250	35	24	18	162,600	128,00	7,45	6,950.00	11,000.00	2,860.00	7,49	9,42	4,83	388
250 x 250	25	24	12	119,4	119,400	93,70	9,110.00	14,400.00	3,790.00	7,63	9,62	4,89	519

NOTE: * Available ready stock

Wide F lange S hape



PT. GUNUNG GARUDA
Steel Is Our Business



IWF

H-BEAM

JIS G3192/TIS 1227-194 (HOT ROLLED H-SECTION)

Metric

Standard Sectional Dimension					Sectional		Informative Reference					
Nominal Dimensional	H x B	t1	t2	r	Area	Unit Mass	Geometrical moment of inertia		Radius of gyration of area		Modulus of Section	
					A		Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
mm x mm	mm x mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
100 x 100	100 x 100	6	8	10	21,90	17,20	383	134,0	4,18	2,47	76,5	26,7
125 x 125	125 x 125	6,5	9	10	30,31	23,80	847	293,0	5,29	3,11	136,0	47,0
150 x 75	150 x 75	5	7	8	17,85	14,00	666	49,5	6,11	1,66	88,8	13,2
150 x 100	148 x 100	6	9	11	26,84	21,10	1.020	151,0	6,17	2,37	138,0	30,1
150 x 150	150 x 150	7	10	11	40,14	31,50	1.640	563,0	6,39	3,75	219,0	75,1
175 x 175	175 x 175	7,5	11	12	51,21	40,20	2.880	984,0	7,50	4,38	330,0	112,0
200 x 100	198 x 99	4,5	7	11	23,18	18,20	1.580	114,0	8,26	2,21	160,0	23,0
	200 x 100	5,5	8	11	27,16	21,30	1.840	134,0	8,24	2,22	184,0	26,8
200 x 150	194 x 150	6	9	12	38,80	30,60						
200 x 200	200 x 200	8	12	13	63,53	49,90	4.720	1.600	8,62	5,02	472,0	160,0
250 x 125	248 x 124	5	8	12	32,68	25,70	3.540	255,0	10,40	2,79	285,0	41,1
	250 x 125	6	9	12	37,66	29,60	4.050	294,0	10,40	2,79	324,0	47,0
250 x 250	250 x 250	9	14	16	92,18	72,40	10.800	3.650	10,80	6,29	867,0	292,0
300 x 150	298 x 149	5,5	8	13	40,80	32,00	6.320	442,0	12,40	3,29	424,0	59,3
	300 x 150	6,5	9	13	46,78	36,70	7.210	508,0	12,40	3,29	481,0	67,7
300 x 300	300 x 300	10	15	18	119,80	94,00	20.400	6.750	13,10	7,51	1.360	450,0
350 x 175	346 x 174	6	9	14	52,68	41,40	11.100	792,0	14,50	3,88	641,0	91,0
	350 x 175	7	11	14	63,14	49,60	13.600	984,0	14,70	3,95	775,0	112,0
350 x 350	350 x 350	12	19	20	173,90	137,00	40.300	13.600	15,20	8,84	2.300	776,0
400 x 200	396 x 199	7	11	16	72,16	56,60	20.000	1.450	16,70	4,48	1.010	145,0
	400 x 200	8	13	16	84,10	66,00	23.700	1.740	16,8	4,54	1.190	174,0
*400 x 400	400 x 400	13	21	22	218,70	172,00	66.600	22.400	17,5	10,10	3.330	1.120
450 x 200	450 x 200	9	14	18	96,80	76,00	33.500	1.870	18,6	4,40	1.490	187,0
500 x 200	500 x 200	10	16	20	114,20	89,60	47.800	2.140	20,5	4,33	1.910	214,0
600 x 200	600 x 200	11	17	22	134,40	106,00	77.600	2.280	24,0	4,12	2.590	228,0
600 x 300	588 x 300	12	20	28	192,50	151,00	118.000	9.020	24,8	6,85	4.020	601,0
*700 x 300	700 x 300	13	24	28	235,50	185,00	201.000	10.800	29,3	6,78	5.760	722,0
*800 x 300	800 x 300	14	26	28	267,40	210,00	292.000	11.700	33,0	6,62	7.290	782,0
*900 x 300	900 x 300	16	28	28	309,8	243,00						

Note : * Special size for welded beam

Super Floor Deck® adalah bahan lembaran panel berbentuk plat gelombang yang terbuat dari baja struktural bermutu tinggi dengan High-tensile steel JIS 3302 (570 N/mm²), dan berfungsi sebagai bekisting tetap dan penulangan positif satu arah pada lantai beton bertingkat.

Tebal bahan yang tersedia adalah 0.75 mm dan 1.00 mm dengan lapisan seng minimum 220 gr/m².

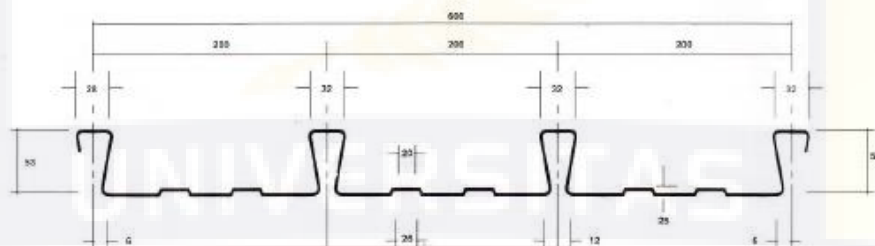
Super Floor Deck® dapat dipesan sesuai panjang yang dibutuhkan. Untuk memudahkan dalam pemasangan dan pengangkutan, dilanjutkan panjang maximum 12 meter.

KEUNGGULAN-KEUNGGULAN Super Floor Deck®

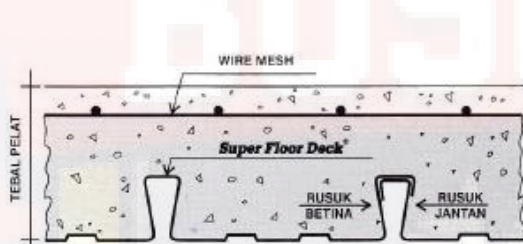
- pemasangan yang cepat dan mudah.
- Sebagai pengganti tulangan positif searah.
- Ketahanannya terhadap kebakaran lebih baik.
- Dapat difinishing dengan cat sebagai plafond.
- Baja berkekuatan tinggi yang memberikan platform kerja yang lebih aman.

SPESIFIKASI

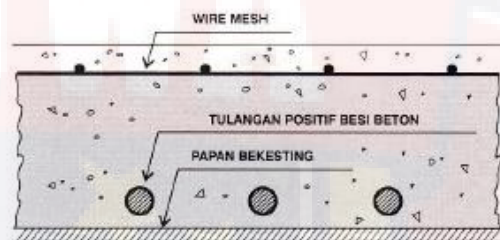
Bentuk gelombang dan ukuran **Super Floor Deck**®



Berat per satuan luas : 10,10 Kg/M² untuk ketebalan 0,75 mm
 Berat per satuan panjang : 6,06 Kg/M²



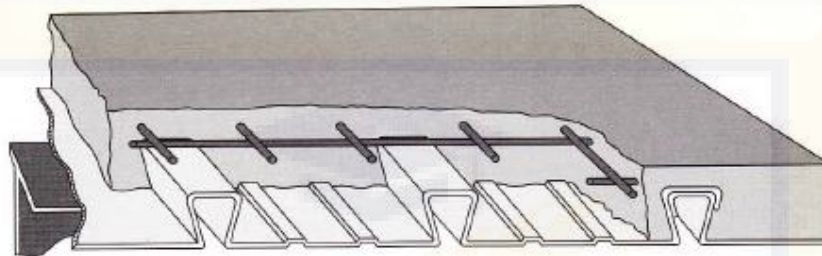
**SUPER KOMPOSIT
PELAT BETON**



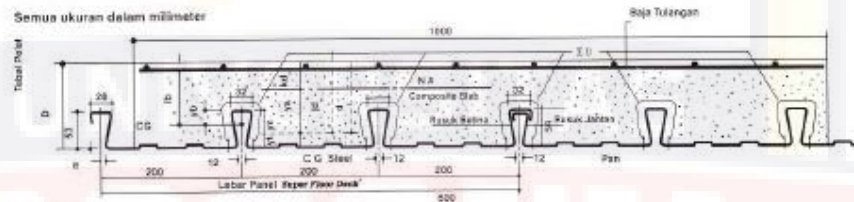
**KONVESIONAL
PELAT BETON**

PERBANDINGAN	Jenis Bekisting	Bentang m	Beban kg/m ²	Tebal cm	Tulangan Positif
KONVENSIONAL PELAT BETON	Kayu	4.5	400	14	O 12 mm
SUPER KOMPOSIT PELAT BETON	Super Floor Deck ®	4.5	400	11	Tidak Perlu

Super Floor Deck®



PERENCANAAN: Piat Lantai Komposit



Tabel Perencanaan Praktis

Tabel Perencanaan Praktis berikut ini bisa membantu dalam perencanaan penggunaan **Super Floor Deck®** untuk suatu bangunan antara lain:

- Menunjukkan tabel plat beton untuk bentang tunggal, bentang ganda, dan bentang menerus.
- Kebutuhan tulangan negatif, serta perhitungan luas penampangnya, pada bentang ganda atau bentang menerus.
- Ketebalan plat beton pada bentang tertentu, serta berbagai beban (Super Imposed Load)
- Tiang penyangga sementara yang dibutuhkan untuk meniadakan lendutan awal pada waktu beton dan **Super Floor Deck®** belum berfungsi.

TABEL 1 : SIFAT PENAMPANG **Super Floor Deck®** PERLEBAR 1000 MM

Tebal Pelat mm	Berat per setoran luas kg / m ²	Luas penampang mm ²	Penampang efektif penuh		Momen lentur positif			Momen lentur negatif			I _e 10 ⁸ x mm ⁴	Gaya reaksi aman untuk perletakan tepi		Gaya reaksi aman untuk perletakan tengah			
			Y _e mm	Y _b mm	I _p 10 ⁸ x mm ⁴	I _{pe} 10 ⁸ x mm ⁴	I _{pn} 10 ⁸ x mm ⁴	I _{nc} 10 ⁸ x mm ⁴	I _{nc} 10 ⁸ x mm ⁴	I _{nc} 10 ⁸ x mm ⁴		I _{nc} 10 ⁸ x mm ⁴	10 mm perletakan 10 mm Of Bearing KN	Perletakan per 10 mm Incras, Per 10 mm KN	10 mm perletakan 10 mm KN	Perletakan per 10 mm Incras, Per 10 mm KN	Max KN
0.75	18.1	1241	38.4	18.4	6.511	13.15	33.10	0.304	30.21	10.75	0.425	3.78	0.30	0.11	15.21	1.14	13.10

Catatan : I_p = momen inersia profil panel untuk daerah momen positif
I_{pe} = momen inersia efektif untuk daerah momen positif
I_{pn} = momen inersia efektif untuk daerah momen negatif
I_{nc} = momen inersia efektif untuk daerah momen negatif (bagian atas)

Z_{pe} = jarak serat atas dalam daerah momen positif (bagian bawah)
Z_{pn} = jarak serat bawah dalam daerah momen positif (bagian bawah)
Z_{nc} = jarak serat atas dalam daerah momen negatif (bagian atas)
Z_{nc} = jarak serat atas dalam daerah momen negatif (bagian atas)

I_e = momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi bentang menerus
I_{nc} = momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi bentang menerus
I_{nc} = momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi bentang menerus
I_{nc} = momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi bentang menerus

TABEL 2 : TABEL PERENCANAAN PRAKTIS

Super Floor Deck® 0.75 MM	MOMEN TANGGAL TANPA TULANGAN NEGATIF SUDAH SUDAH CONTOH WITH NEGATIVE REINFORCEMENT										MOMEN TANGGAL DENGAN TULANGAN NEGATIF SUDAH SUDAH CONTOH WITH NEGATIVE REINFORCEMENT										MOMEN TANGGAL DENGAN TULANGAN NEGATIF MULTIPLE SPAN CONCRETE WITH NEGATIVE REINFORCEMENT											
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
1.50	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1.75	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2.00	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2.25	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2.50	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2.75	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3.00	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3.25	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
3.50	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
3.75	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
4.00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
4.50																																
5.00																																

Catatan : - BEBAN MATI / BERAT SENDIRI **Super Floor Deck®** DAN PELAT BETON SUDAH DIPERHITUNGKAN
- BEBAN BERGUNA DALAM TABEL ADALAH JUMLAH BEBAN HIDUP DAN BEBAN-BEAN FINISHING LAINNYA
- MUTU BAJA TULANGAN U - 48

Appendix 3

Strength Determination of Composite Deck-Slab by Shear Bond Method

A3.1 General

1. This Appendix provides methods for the calculation of strength of composite steel deck-slabs by the shear bond method. It shall be permitted to use this method if steel headed stud anchors (studs) are not present on the beam flange supporting the composite steel deck, or if steel headed stud anchors are present in any quantity.
2. Limitations:
 - A. Deck shall be limited to galvanized or top surface uncoated steel decks.
 - B. All sheet steel used for deck shall comply with Section 2.1 of this Standard.
 - C. Concrete shall comply with Section 2.1 of this Standard.
 - D. The concrete thickness above the steel deck shall be equal to or greater than 2 inches (50mm).
3. The strength of a composite deck-slab shall be the least of the following strength limit states:
 - A. Shear bond resistance
 - B. Flexural strength
 - C. One-way shear strength in accordance with Section 2.4.B.7
4. For load combinations that include concentrated loads, punching shear in accordance with Section 2.4.B.8 shall be considered.

A3.2 Shear bond Resistance

1. The ultimate shear bond resistance of a composite slab section shall be calculated using parameters determined from a testing program of full-scale slab specimens in accordance with SDI-T-CD. The shear bond resistance (V_r) of a composite slab shall be determined as follows:

LRFD

$$V_r = \phi_v V_t \quad (\text{Eq. A3-1a})$$

ASD

$$V_r = \frac{V_t}{\Omega_v} \quad (\text{Eq. A3-1b})$$

Where,

V_r = shear bond resistance, pounds/ft (N/m) of slab width,
 V_t = tested shear bond resistance, pounds/ft (N/m) of slab width, determined in accordance with SDI-T-CD,

ϕ_v = 0.75

Ω_v = 2.00

2. The permissible uniform load for shear bond shall be:

$$W_r = 2 V_r / L \quad (\text{Eq. A3-2})$$

Where:

L = deck design span, ft. (m)

A3.3 Flexural Strength

1. Composite slabs subject to flexural failure shall be classified as under-reinforced or over-reinforced slabs depending on the compression depth ratio, (c/d) . Slabs with (c/d) less than the balanced condition ratio $(c/d)_b$ shall be considered under-reinforced, whereas slabs with (c/d) greater than or equal to $(c/d)_b$ shall be considered over-reinforced. The compression depth ratio shall be calculated as:

$$(c/d) = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c d b \beta_1} \quad (\text{Eq. A3-3})$$

The compression depth ratio for the balanced condition shall be calculated as:

$$(c/d)_b = \frac{0.003(h - d_d)}{\left(\frac{F_y}{E_s} + 0.003\right)d} \quad (\text{Eq. A3-4})$$

Where:

- A_s = area of steel deck, in²/ft (mm²/m) of slab width
- b = unit width of compression face of composite slab, 12 in. (1000 mm)
- c = distance from extreme compression fiber to composite neutral axis, in. (mm)
- d = distance from extreme compression fiber to centroid of steel deck, in. (mm)
- d_d = overall depth of steel deck profile, in. (mm)
- E_s = modulus of elasticity of steel deck
= 29,500,000 psi (203,000 MPa)
- f'_c = specified compressive strength of concrete, psi (MPa)
- F_y = specified yield strength of steel deck, psi (MPa)
- h = nominal out-to-out depth of slab, in. (mm)
- β_1 = 0.85 if $f'_c \leq 4000$ psi (27.58 MPa)

$$\beta_1 = 1.05 - 0.05 \left(\frac{f'_c}{1000} \right) \geq 0.65 \quad \text{if } f'_c > 4000 \text{ psi}$$

$$\beta_1 = 1.09 - 0.008 f'_c \geq 0.65 \quad \text{if } f'_c > 27.58 \text{ MPa}$$

2. Under-reinforced Slabs $(c/d) < (c/d)_b$
 - A. The moment resistance, in positive bending, of an under-reinforced composite slab shall be taken as:

LRFD

$$M_r = \phi_s M_y \quad (\text{Eq. A3-5a})$$

ASD

$$M_r = M_y / \Omega_s \quad (\text{Eq. A3-5b})$$

- M_y = Yield moment for the composite deck-slab, considering a cracked cross section
- = $F_y I_{cr} / (h - y_{cc})$

Where:

ϕ_s	=	0.85
Ω_s	=	1.75
F_y	=	yield stress of steel deck, psi (MPa)
I_{cr}	=	cracked section moment of inertia, in ⁴ (mm ⁴)
h	=	slab depth, in (mm)
y_{cc}	=	distance from top of slab to neutral axis of cracked section, in (mm)

3. Over-reinforced Slabs $(c/d) \geq (c/d)_b$

A. The moment resistance, in positive bending, of an over-reinforced composite slab shall be determined by:

LRFD

$$M_{ro} = \phi_c f'_c b \beta_1 c (d - \beta_1 c / 2) \leq \Phi_s M_y \quad (\text{Eq. A3-6a})$$

ASD

$$M_{ro} = f'_c b \beta_1 c (d - \beta_1 c / 2) / \Omega_c \leq M_y / \Omega_s \quad (\text{Eq. A3-6b})$$

Where:

$$c = d \left\{ \sqrt{\rho m + \left(\frac{\rho m}{2} \right)^2} - \frac{\rho m}{2} \right\} \quad (\text{Eq. A3-7})$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (\text{Eq. A3-8})$$

$$m = \frac{E_s \epsilon_{cu}}{f'_c \beta_1} \quad (\text{Eq. A3-9})$$

E_s = modulus of elasticity of steel deck
= 29,500,000 psi (203,000 MPa)

ϵ_{cu} = 0.003

ϕ_c = 0.65

Ω_c = 2.30

ϕ_s = 0.85

Ω_s = 1.75

B. Equation A3-6 is valid only for composite slabs where no part of the steel deck has yielded.

Appendix 5

Section Properties of Composite Deck-Slabs

A5.1 General

This Appendix provides methods for the calculation of geometric cross section properties for composite steel deck cross sections with concrete. Alternate methods of rational analysis which consider material properties and cracked cross section properties shall be permitted.

User Note: This method will provide conservative results for slabs with reinforcing. The designer may choose to use alternate methods that consider the contribution of the reinforcing steel in this case.

A5.2 Transformed Composite Neutral Axis

The distance y_{cc} from the extreme compression fiber of the concrete to the neutral axis of the transformed composite section shall be determined from Figure A5-1 and Equations A5-1 and A5-3.

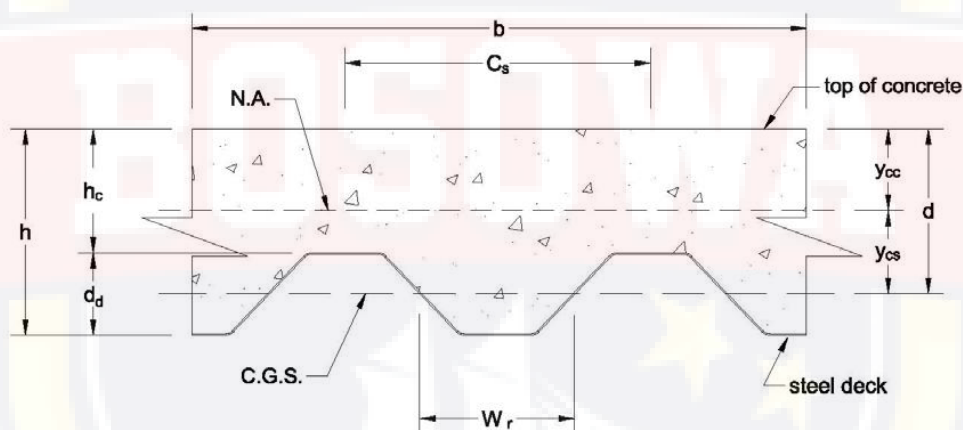


Figure A5-1 – Composite Section

Note: Section shows non-cellular deck. Section shall be either cellular, a blend of cellular and non-cellular, or non-cellular deck. Unless testing is performed that demonstrates that the interlocking device is capable of developing the full strength of the cross-section, only the element in contact with the concrete shall be considered in the design.

C.G.S. = centroidal neutral axis of full, unreduced cross section of steel deck, in. (mm)
 C_s = pitch of deck ribs in. (mm)

A5.4 Moment of Inertia of the Uncracked Section

For the uncracked moment of inertia

$$y_{cc} = \frac{0.5bh_c^2 + nA_s d + W_r d_d (h - 0.5d_d) \frac{b}{C_s}}{bh_c + nA_s + W_r d_d \frac{b}{C_s}} \quad (\text{Eq. A5-3})$$

The uncracked moment of inertia transformed to steel, I_u , shall be calculated using Equation A5-4.

$y_{cs} = d - y_{cc}$ where y_{cc} shall be determined from Equation A5-3.

$$I_u = \frac{bh_c^3}{12n} + \frac{bh_c}{n} (y_{cc} - 0.5h_c)^2 + I_{sf} + A_s y_{cs}^2 + \frac{W_r b d_d}{n C_s} \left[\frac{d_d^2}{12} + (h - y_{cc} - 0.5d_d)^2 \right] \quad (\text{Eq. A5-4})$$

A5.5 Moment of Inertia of the Composite Section

The moment of inertia of the composite section considered effective for deflection computations shall be calculated by Equation A5-5.

$$I_d = \frac{I_u + I_c}{2} \quad (\text{Eq. A5-5})$$

LAMPIRAN 4

**GAMBAR STRUKTUR FAKULTAS
KEDOKTERAN UNIVERSITAS
BOSOWA**





PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.

Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : F_{E70xx} ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK

SKALA **KODE GAMBAR**

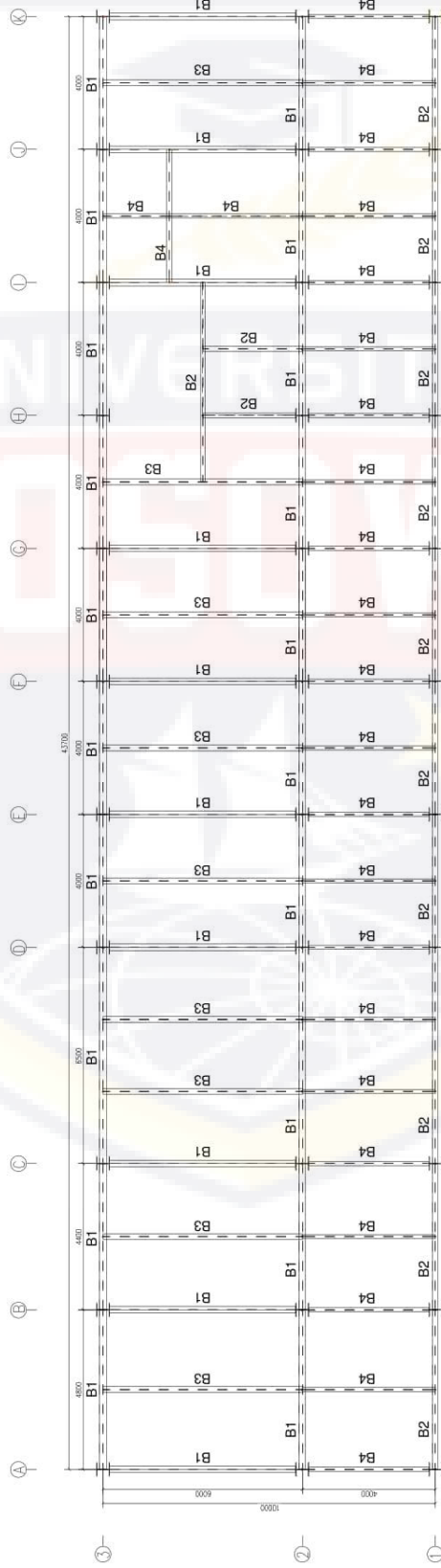
1 : 150 STR

NO. GAMBAR **TOTAL GAMBAR**

01 16

REVISI **TANGGAL**

CATATAN



**DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK EL+3960**
Skala 1 : 150

MEMBER LIST

MARK	DESCRIPTION
C1	H400X400X13X21
C2	H400X400X8X13
B1	IWF400X200X8X13
B2	IWF300X150X6.5X9
B3	IWF350X175X7X11
B4	IWF250X125X6X9
B5	IWF200X100X5.5X8
B6	IWF148X100X6X9



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : F_{E70XX} ($F_u = 492 \text{ Mpa}$)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK

SKALA **KODE GAMBAR**

1 : 150 STR

NO. GAMBAR **TOTAL GAMBAR**

02 16

REVISI **TANGGAL**

CATATAN



**DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK EL+7660 & EL+11360**
Skala 1 : 150

MEMBER LIST	
MARK	DESCRIPTION
C1	H400X400X13X21
C2	H400X400X8X13
B1	IWF400X200X8X13
B2	IWF300X150X6.5X9
B3	IWF350X175X7X11
B4	IWF250X125X6X9
B5	IWF200X100X5.5X8
B6	IWF148X100X6X9



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : $F_{E70XX} (F_u = 492 \text{ Mpa})$
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK

SKALA **KODE GAMBAR**

1 : 150 STR

NO. GAMBAR **TOTAL GAMBAR**

03 16

REVISI **TANGGAL**

CATATAN



**DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK EL+15060 & EL+18760**
Skala 1 : 150

MEMBER LIST	
MARK	DESCRIPTION
C1	H400X400X13X21
C2	H400X400X8X13
B1	WF400X200X8X13
B2	WF300X150X6.5X9
B3	WF350X175X7X11
B4	WF250X125X6X9
B5	WF200X100X5.5X8
B6	WF148X100X6X9



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : $F_{E70XX} (F_u = 492 \text{ Mpa})$
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK

SKALA **KODE GAMBAR**

1 : 150 STR

NO. GAMBAR **TOTAL GAMBAR**

04 16

REVISI **TANGGAL**

CATATAN



**DENAH BALOK UTAMA
DAN ANAK EL+22460**
Skala 1 : 150

MEMBER LIST	
MARK	DESCRIPTION
C1	H400X400X13X21
C2	H400X400X8X13
B1	WF400X200X8X13
B2	WF300X150X6.5X9
B3	WF350X175X7X11
B4	WF250X125X6X9
B5	WF200X100X5.5X8
B6	WF148X100X6X9



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

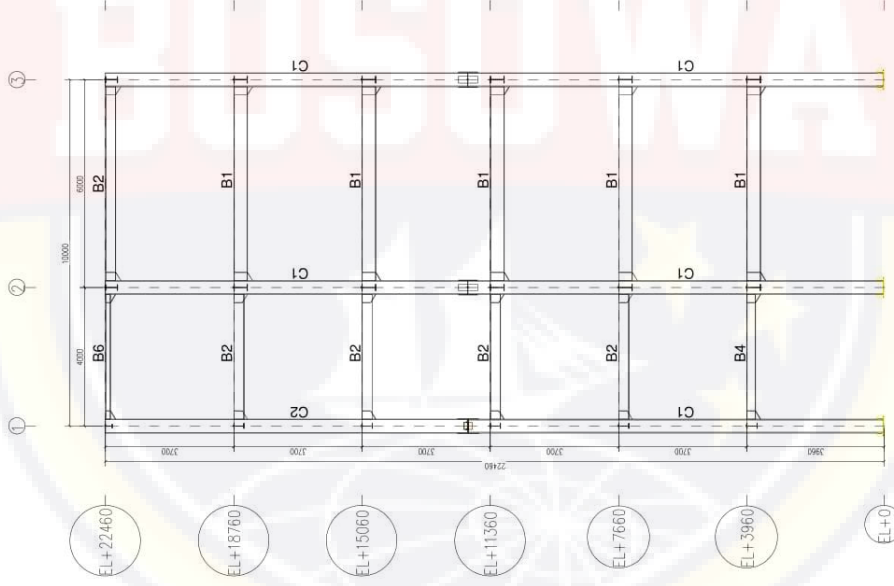
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : F_{E70XX} ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

TAMPAK

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 150	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
05	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN



TAMPAK
Skala 1 : 150



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

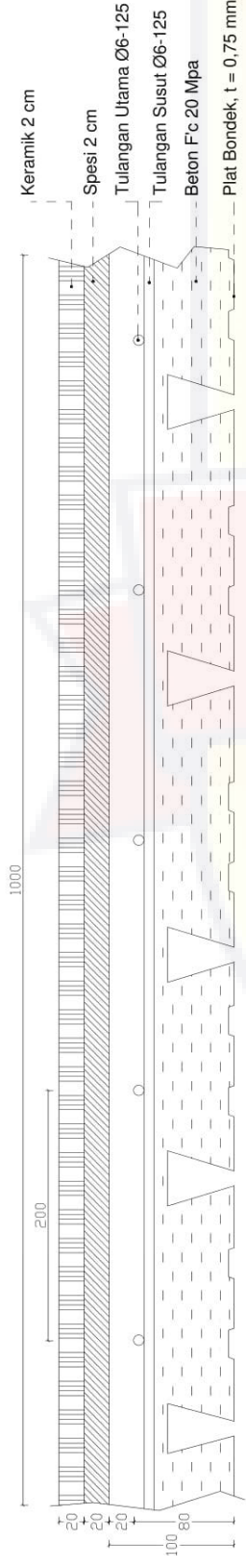
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : F_{E70XX} ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

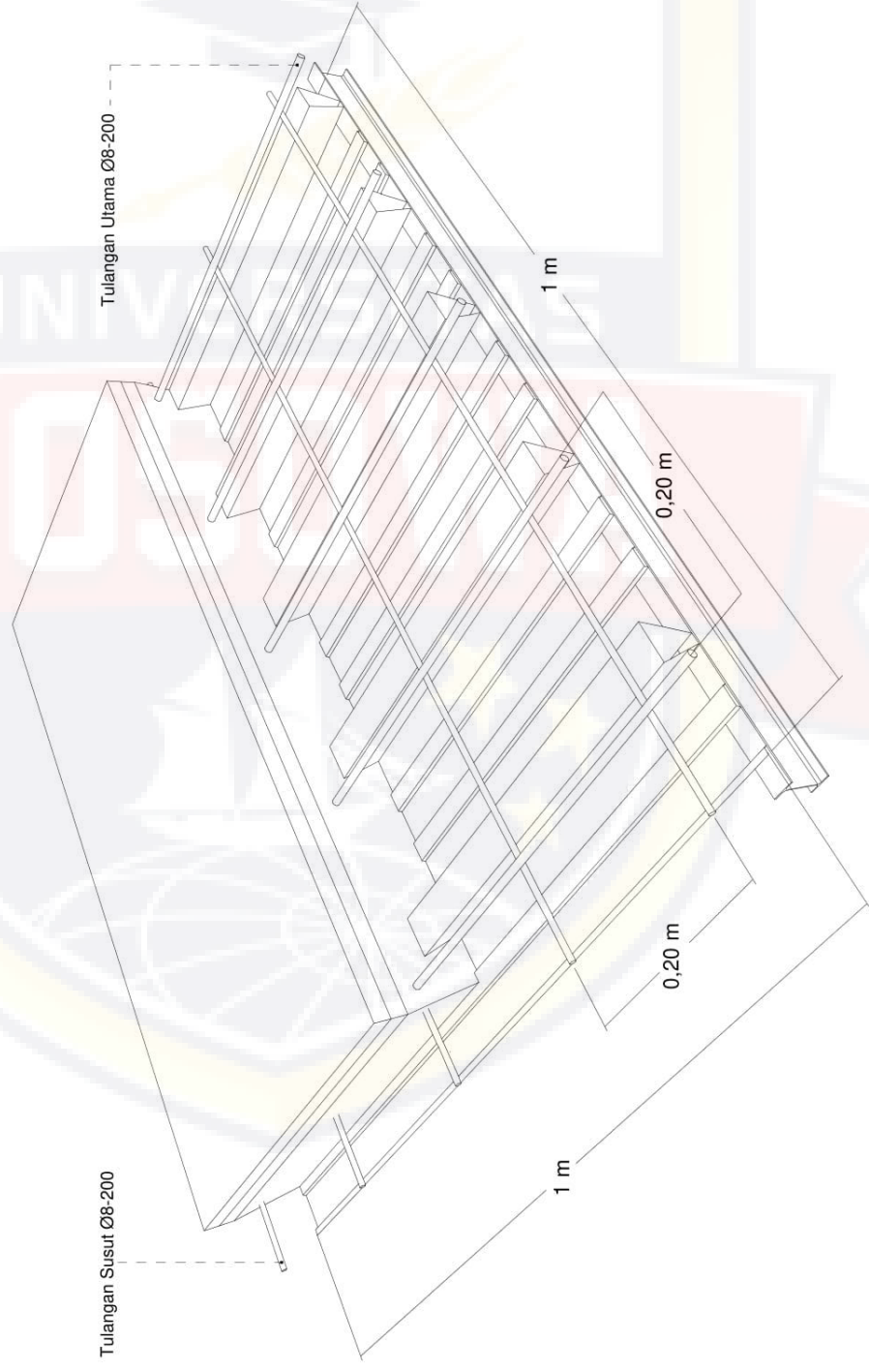
DETAIL PENULANGAN PELAT ATAP

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 4	
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
06	16
REVISI	

CATATAN



Penulangan Pelat Atap
Skala 1 : 4



Detail Penulangan Pelat Atap
Non scale



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

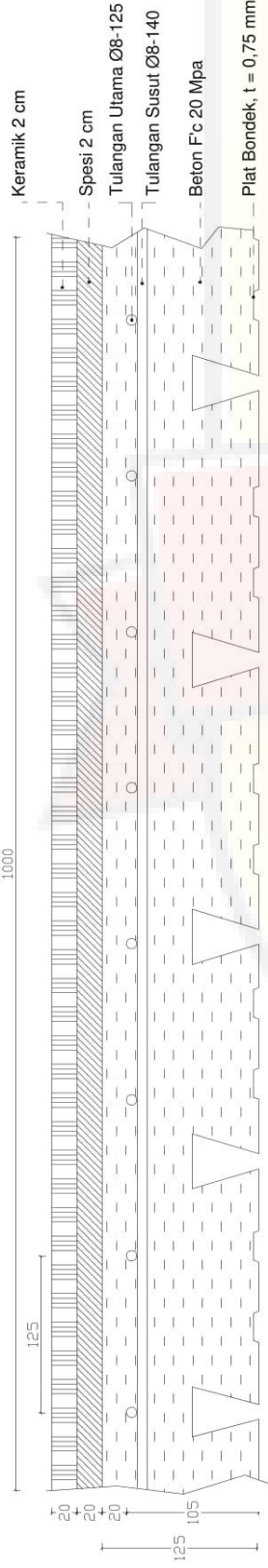
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : E70XX ($F_u = 492 \text{ Mpa}$)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

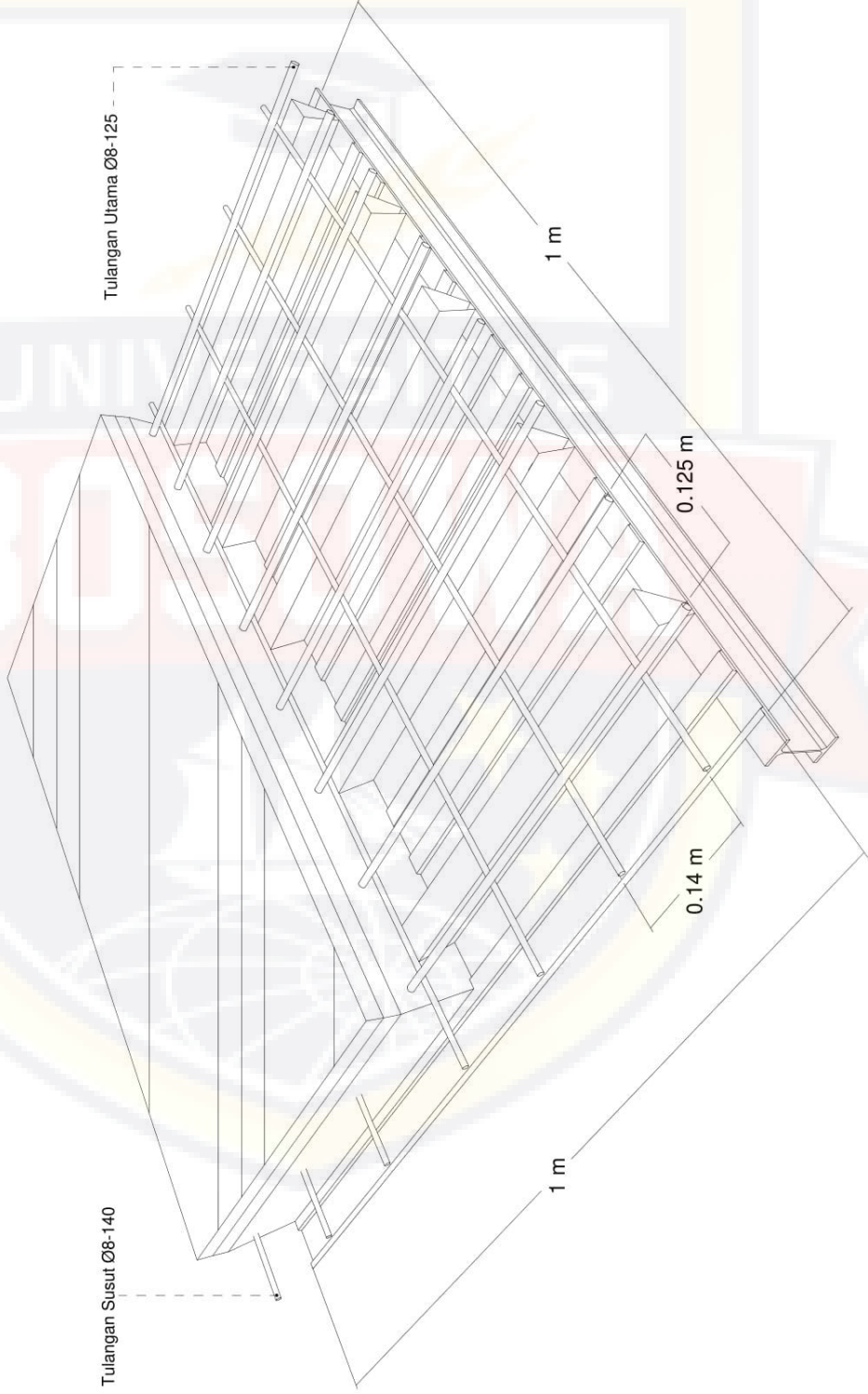
DETAIL PENULANGAN PELAT
LANTAI

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 4	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
07	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN



Penulangan Pelat Lantai
Skala 1 : 4



Detail Penulangan Pelat Lantai
Non scale



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : E70XX ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

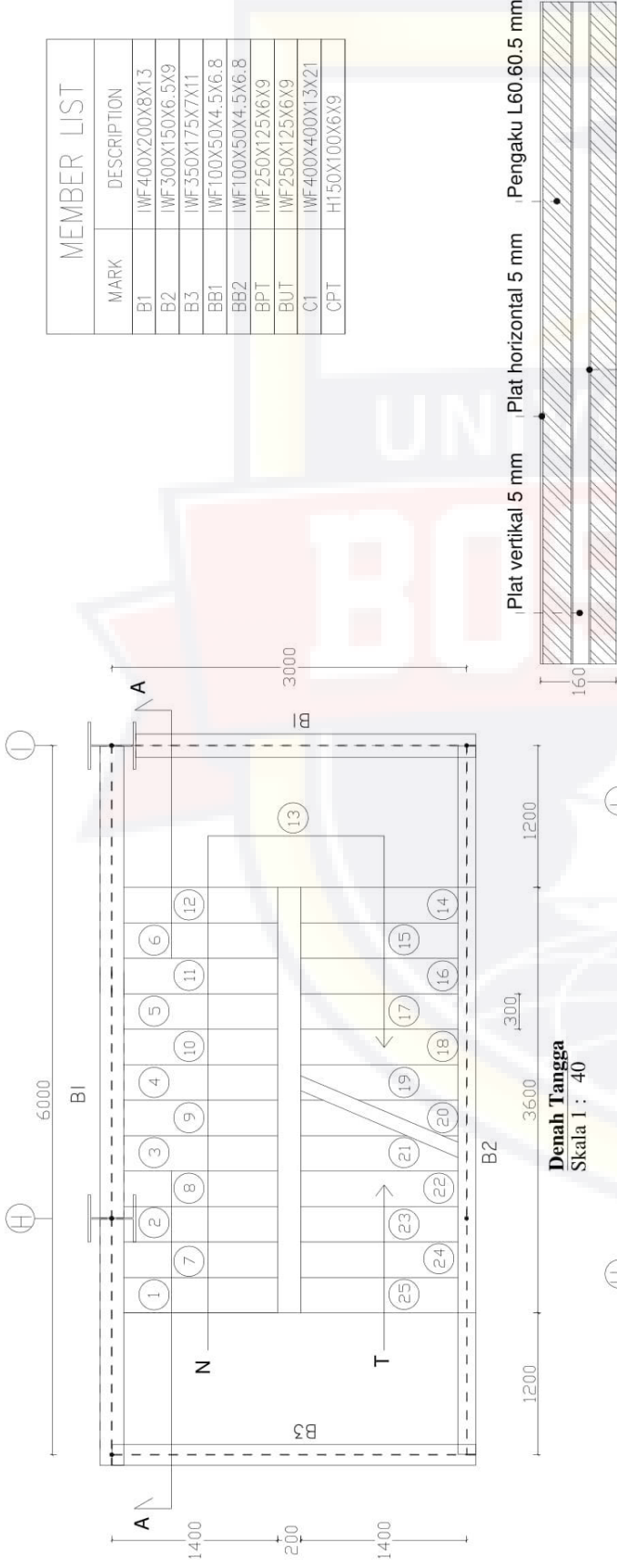
NAMA GAMBAR

DENAH DAN POTONGAN TANGGA

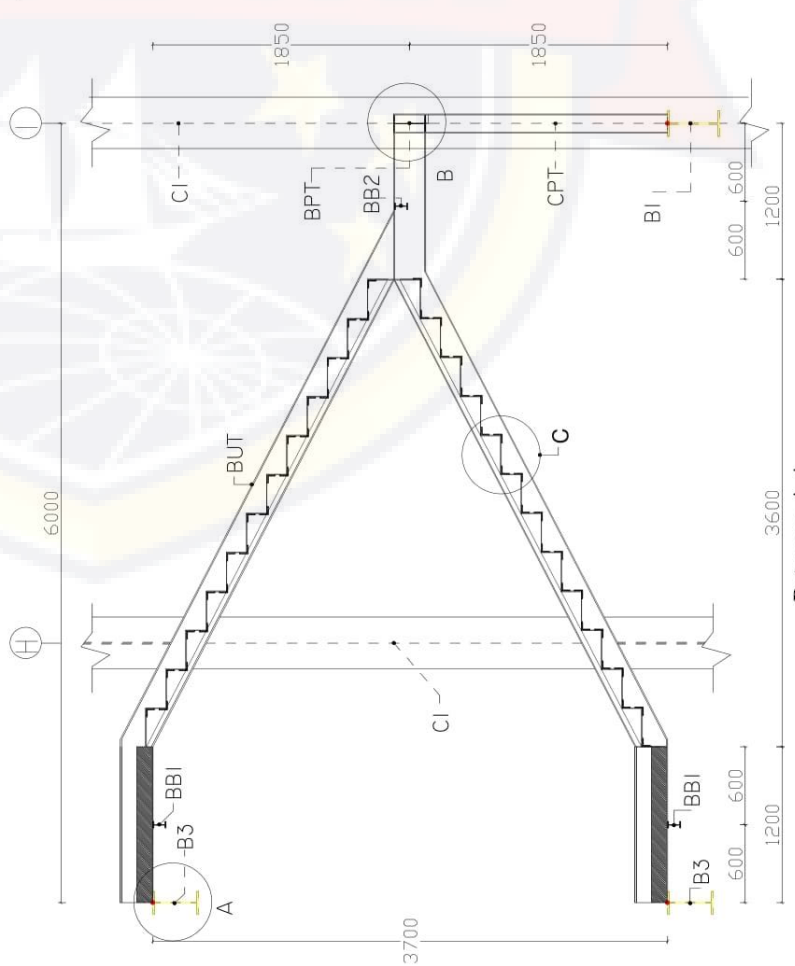
SKALA	KODE GAMBAR
1 : 40	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
08	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN

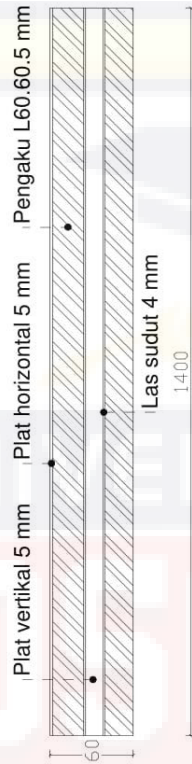
MARK	DESCRIPTION
B1	WF400X200X8X13
B2	WF300X150X6.5X9
B3	WF350X175X7X11
BB1	WF100X50X4.5X6.8
BB2	WF100X50X4.5X6.8
BPT	WF250X125X6X9
BUT	WF250X125X6X9
C1	WF400X400X13X21
CPT	H150X100X6X9



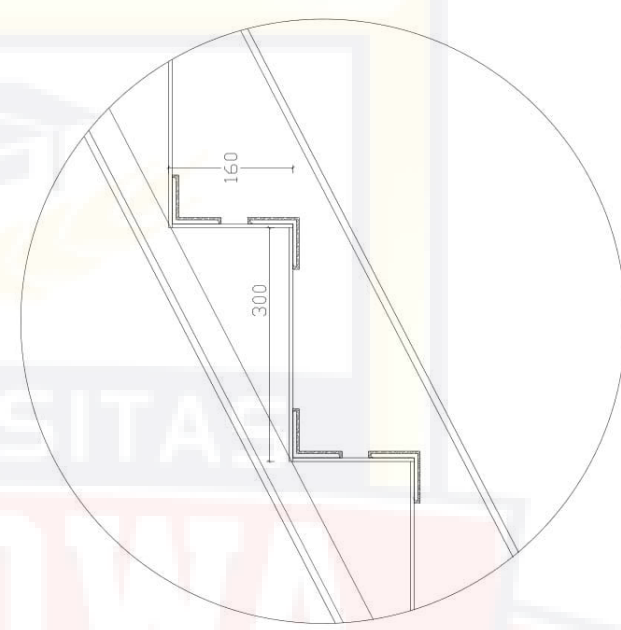
Denah Tangga
Skala 1 : 40



Potongan A-A
Skala 1 : 40



Tampak Depan Detail C
Skala 1 : 10



Detail C
Skala 1 : 15



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

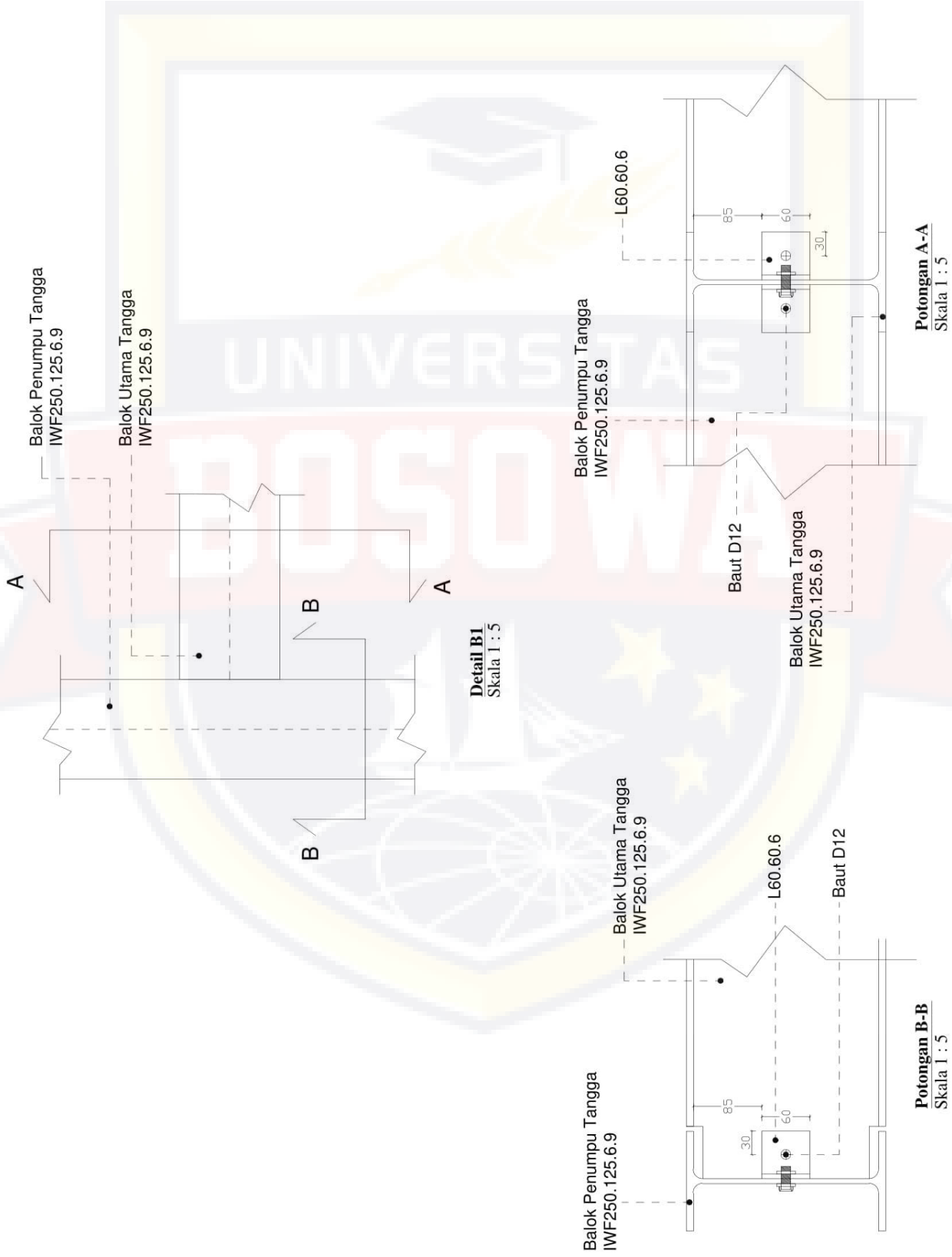
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : F_{E70XX} ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK UTAMA
TANGGA DENGAN BALOK
PENUMPU TANGGA

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 40	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
09	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN





PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

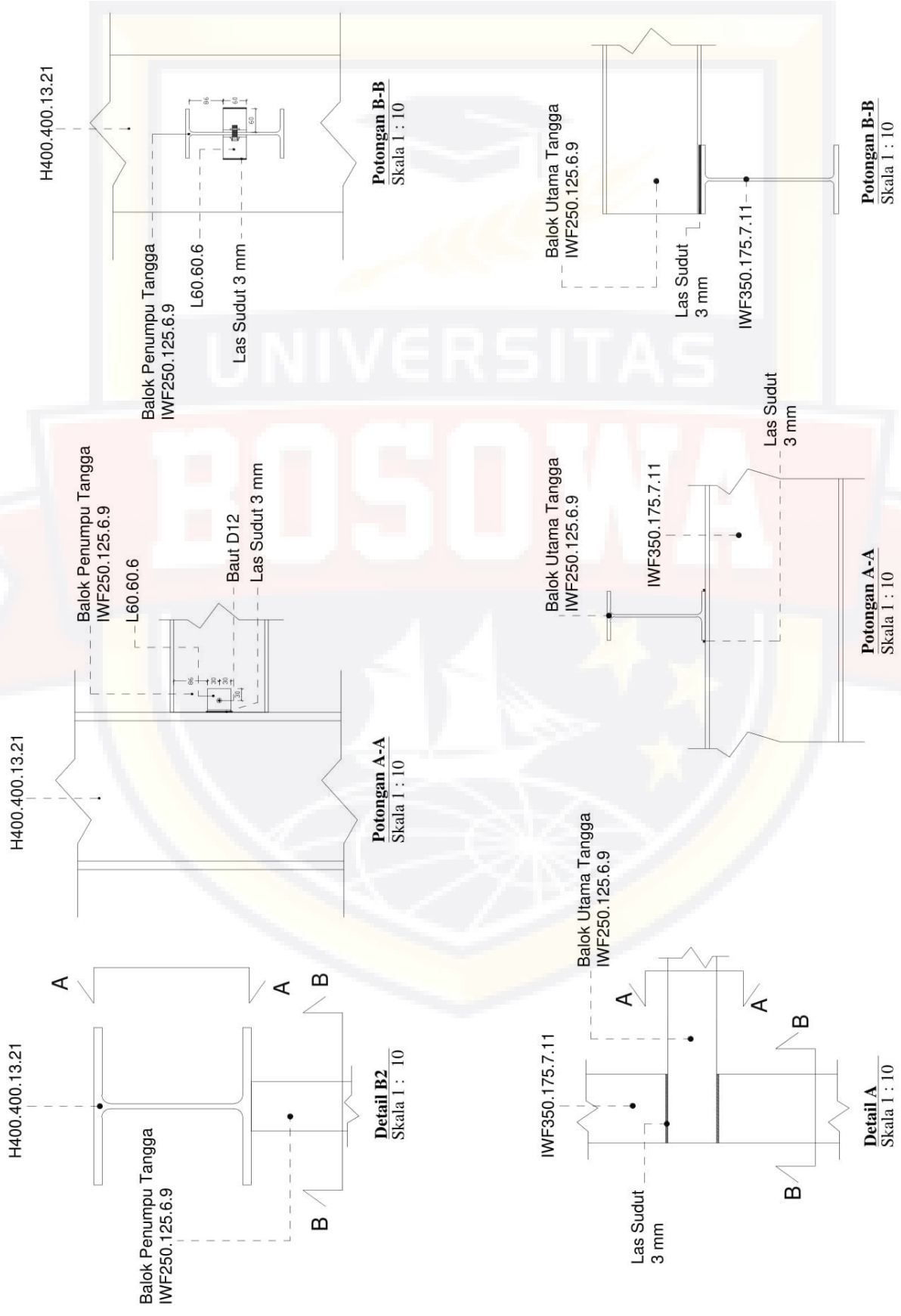
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : F_{E70XX} ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

-SAMBUNGAN BALOK PENUMPUS
TANGGA DENGAN KOLOM
-SAMBUNGAN BALOK UTAMA
TANGGA DENGAN BALOK ANAK

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 10	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
10	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN





PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

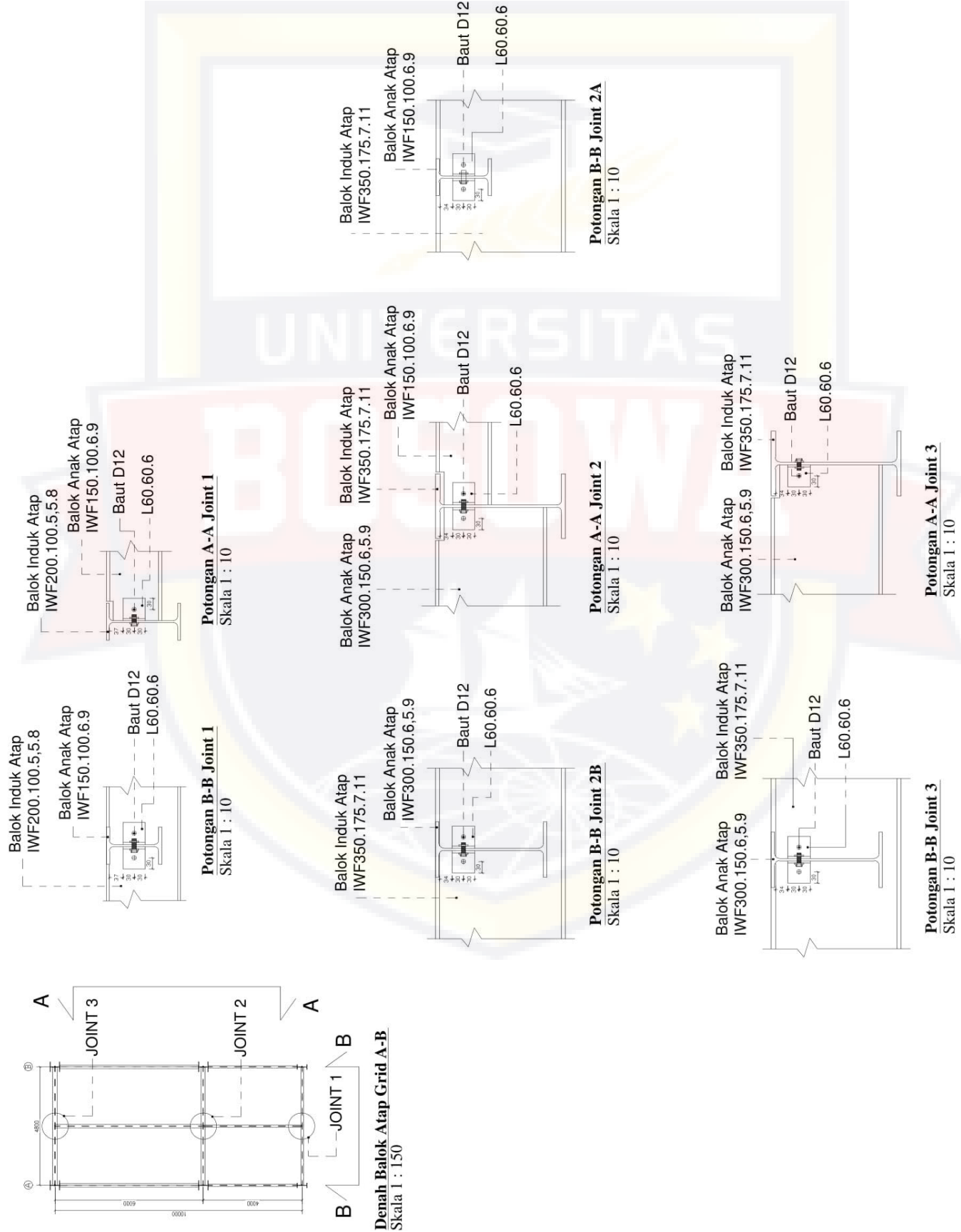
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : E70XX ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK ANAK
DENGAN BALOK INDUK ATAP

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 10	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
11	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN



Denah Balok Atap Grid A-B
Skala 1 : 150

Potongan B-B Joint 2A
Skala 1 : 10

Potongan A-A Joint 2
Skala 1 : 10

Potongan B-B Joint 2B
Skala 1 : 10

Potongan A-A Joint 3
Skala 1 : 10

Potongan B-B Joint 3
Skala 1 : 10



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : E70XX ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

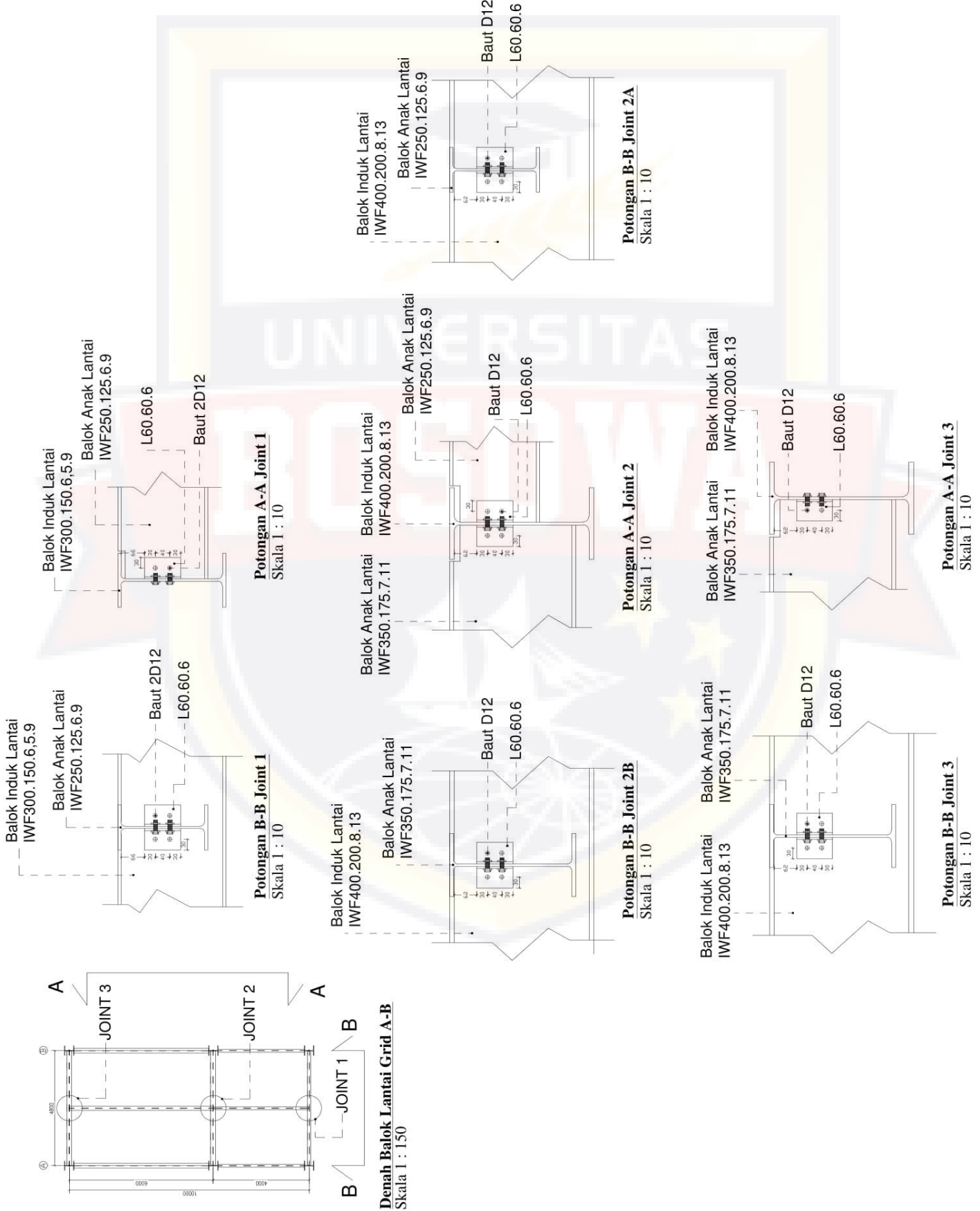
SAMBUNGAN BALOK ANAK
DENGAN BALOK INDUK LANTAI

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 10	STR

NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
12	16

REVISI	TANGGAL

CATATAN





PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

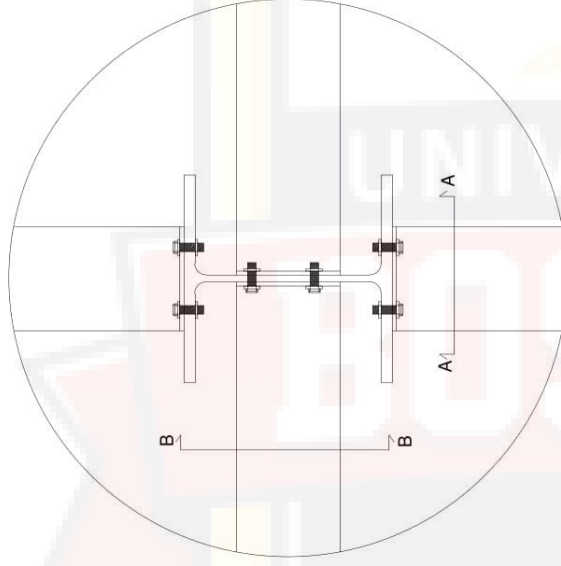
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : F_{E70XX} ($F_u = 492 \text{ Mpa}$)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

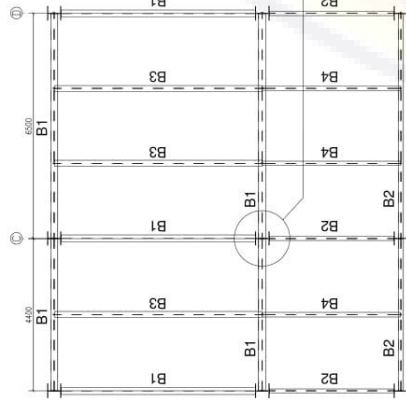
SAMBUNGAN BALOK INDUK
DENGAN KOLOM

SKALA A	KODE GAMBAR
1 : 15	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
13	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN

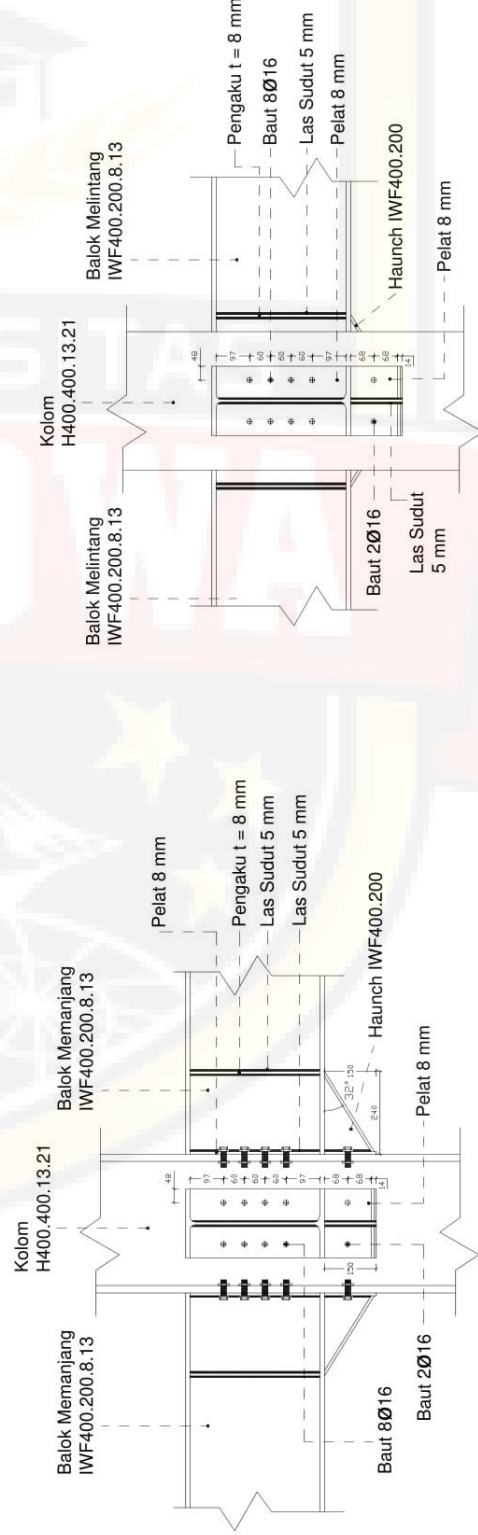


Detail BI
Skala 1 : 10



Denah Balok Induk
Skala 1 : 150

Detail BI



Potongan B-B Detail BI
Skala 1 : 15

Potongan A-A Detail BI
Skala 1 : 15



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

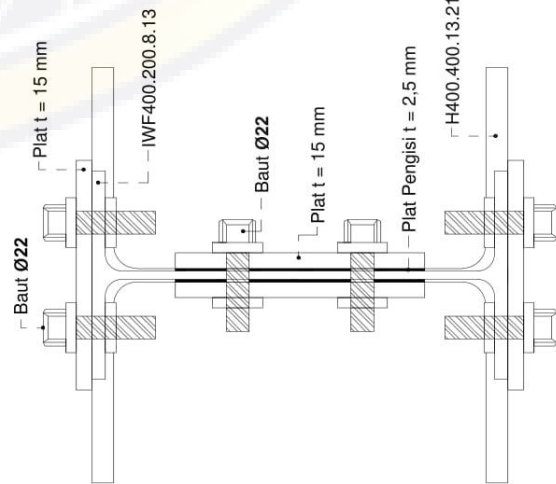
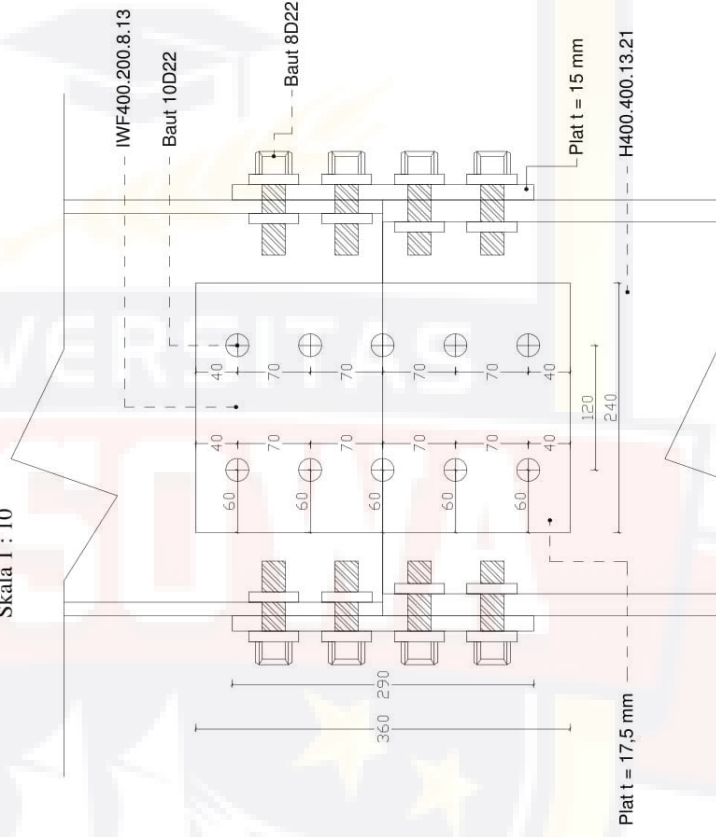
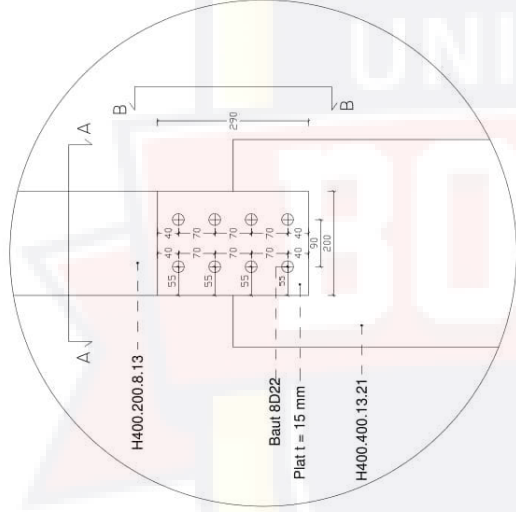
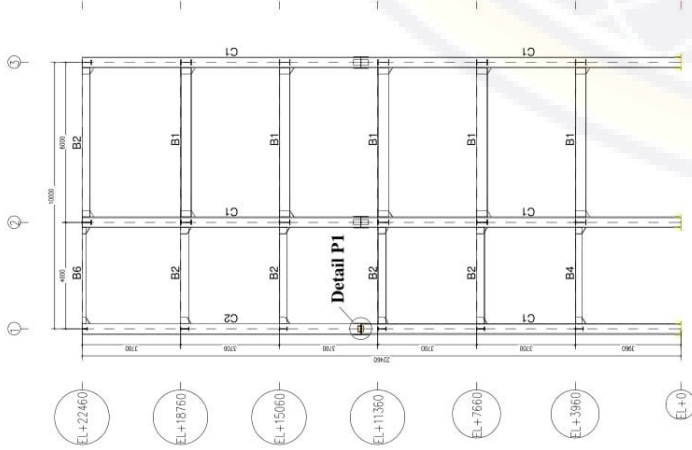
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : E70XX ($F_u = 492 \text{ Mpa}$)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN ANTAR KOLOM
C1 DAN C2

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 10	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
14	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN





PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

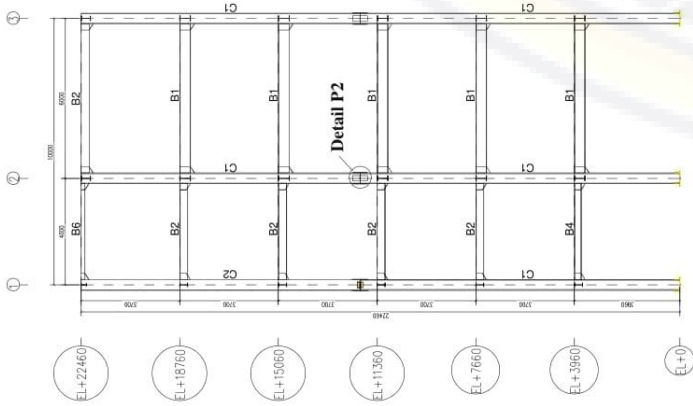
Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41 \text{ Mpa}$
 $F_y = 25 \text{ Mpa}$
Mutu Baut : :A325 ($F_u = 830 \text{ Mpa}$)
Mutu Las : :E70XX ($F_u = 492 \text{ Mpa}$)
Mutu Beton : :20 Mpa

NAMA GAMBAR

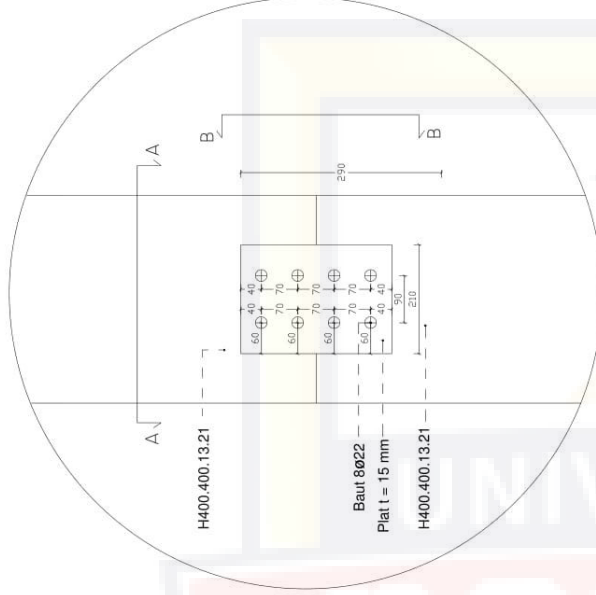
SAMBUNGAN ANTAR KOLOM
CI DAN CI

SKALA A	KODE GAMBAR
1 : 5	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
15	16
REVISI	TANGGAL

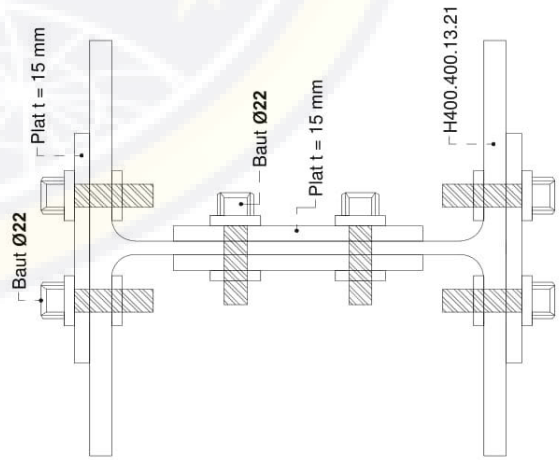
CATATAN



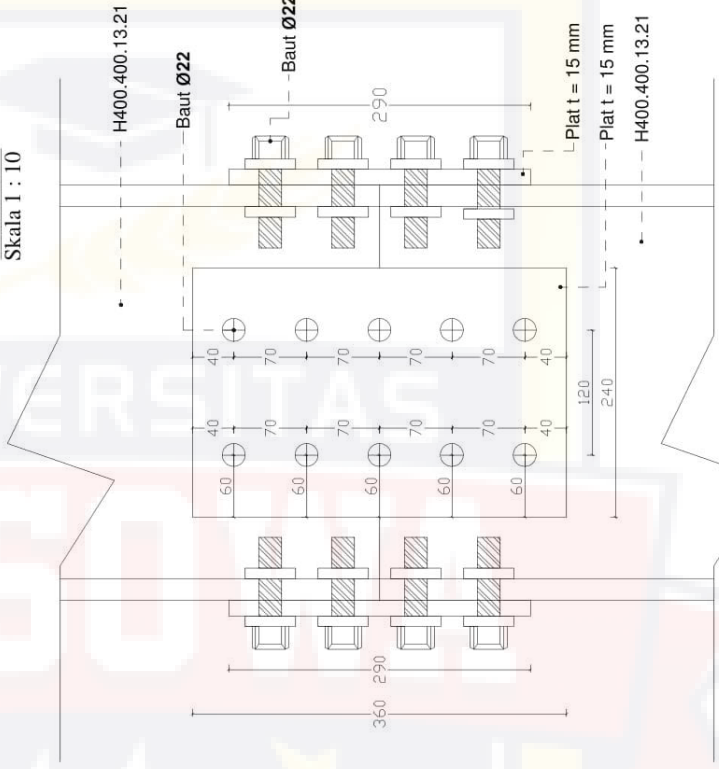
TAMPAK
Skala 1 : 150



Detail P2
Skala 1 : 10



Potongan A-A
Skala 1 : 5



Potongan B-B
Skala 1 : 5



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN SUPER STRUKTUR
RENCANA GEDUNG KULIAH
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS BOSOWA DENGAN
METODE BERBASIS KINERJA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ARMAN SETIAWAN, ST., MT.
Ir. EKA YUNIARTO, ST., MT.

MAHASISWA

ASRIADI A

KETERANGAN

Material Profil: BJ 41
Mutu Baja : $F_u = 41$ Mpa
 $F_y = 25$ Mpa
Mutu Baut : A325 ($F_u = 830$ Mpa)
Mutu Las : E70XX ($F_u = 492$ Mpa)
Mutu Beton : 20 Mpa

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BASE PLATE

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 10	STR
NO. GAMBAR	TOTAL GAMBAR
16	16
REVISI	TANGGAL

CATATAN

