



TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG
SMU MUHAMMADIYAH 2 SURABAYA DENGAN
STRUKTUR KOMPOSIT BAJA-BETON

Oleh :

IVAN DWINANDA W.I.
3199 109 535

RSS
090.7.2
IVa
m-1
2002



PEMBERI SPAKAAN	
ITS	
Tgl. Terima	01/02/02
Terima Dari	H
No. Akun	81.4591

PROGRAM SARJANA EKSTENSI LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2002

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG SMU MUHAMMADIYAH 2 SURABAYA DENGAN STRUKTUR KOMPOSIT BAJA-BETON

Surabaya, Januari 2002

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. HIDAJAT SUGIHARDJO, MS
NIP. 130 816 211

**PROGRAM SARJANA EKSTENSI LINTAS JALUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2002**

ABSTRAK

Pada umumnya gedung-gedung yang terdapat di Surabaya direncanakan menggunakan struktur beton bertulang, namun ada kecenderungan pada akhir-akhir ini struktur komposit baja-beton mulai banyak digunakan. Kecenderungan tersebut memang belum bisa diketahui secara pasti penyebabnya, namun dapat dipastikan bahwa struktur komposit baja-beton atau baja lebih mampu menyediakan bentang-bentang yang panjang dalam suatu geometri gedung daripada menggunakan struktur beton bertulang biasa. Perencanaan bangunan baja selama ini di Indonesia lebih terbiasa dan lebih banyak menggunakan metode ASD (*Allowable Stress Design*), sedangkan untuk metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) belum banyak digunakan, padahal metode ini telah umum dan lama digunakan di luar negeri terutama di Amerika Serikat. Hal ini merupakan tantangan bagi para praktisi teknik sipil maupun mahasiswa. Kebutuhan terhadap kemampuan mendesain struktur bangunan baja dengan metode LRFD semakin mendesak mengingat segera diberlakukannya era pasar bebas, dimana para desainer, investor dan praktisi teknik sipil dari luar negeri akan menyerbu masuk Indonesia. SMU Muhammadiyah 2 Surabaya merupakan obyek yang cukup tepat untuk direncanakan sebagai struktur bangunan baja dengan metode LRFD. Struktur gedung ini mempunyai lay out geometri yang sederhana sehingga tidaklah terlalu sulit untuk dilakukan proses desain. Perlu diadakan modifikasi pada geometri gedung untuk mengoptimalkan kemampuan struktur komposit baja-beton karena pada awalnya gedung ini direncanakan dengan menggunakan beton bertulang.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan barokah-nya lah tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penyusunan tugas akhir ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi di Program S-1 Ekstensi Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

Terwujudnya penyusunan tugas akhir ini sungguh tidak terlepas dari bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu perkenankanlah penyusun mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hidajat Soegihardjo, MS, selaku dosen pembimbing tugas akhir
2. Bapak Drs. Kuswiyanto, Kepala Sekolah SMU Muhammadiyah 2 Surabaya
3. Ibu Ida Ariyaningsih, ST, Panitia Bidang Teknik Proyek Gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya
4. Bapak Ir. Munarus Suluch, MS, selaku dosen wali
5. Ibu Ir. Fifi Sofia, selaku Kajur Teknik Sipil Ekstension FTSP ITS
6. Seluruh staff Panitia Pembangunan Gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya
7. Seluruh staff dan pengurus Pengurus Cabang Muhammadiyah Surabaya
8. Segenap sejawat dan kolega
9. Kedua orang tua penyusun.

Semoga dengan adanya tugas akhir ini dapat memperluas wawasan dan memperkaya wahanza pustaka para pembaca mengenai perencanaan struktur komposit baja-beton dengan menggunakan metode LRFD. Tentunya dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan, maka penyusun sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang akan membantu melengkapi tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2002

(Penyusun)

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR NOTASI	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	1
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Lingkup Pembahasan	2
1.5. Metodologi Pembahasan	3
1.6. Sistematika Penulisan	4

BAB II DASAR TEORI

2.1. Umum	6
2.2. Sifat dan Karakteristik Baja	7
2.3. Prosedur Desain	10
2.4. Filosofi Desain	10
2.5. Beban-beban Kerja	12
2.6. Analisis Struktur	14
2.7. Perencanaan Elemen Struktur	14
2.7.1. Perencanaan Batang Tarik dan Tekan	14
2.7.1.1. Batang Tarik	14
2.7.1.2. Batang Tekan	17
2.7.2. Perencanaan Balok Lentur	20
2.7.3. Perencanaan Balok Komposit	22
2.7.4. Perencanaan Kolom Komposit	27
2.7.5. Perencanaan Sambungan	31
2.7.5.1. Sambungan Baut	31

2.7.5.2. Sambungan Las	33
2.8. Perencanaan Elemen Struktur Beton	36
2.8.1. Perencanaan Pelat Lantai Beton	36
2.8.2. Perencanaan Poer	37
2.8.3. Perencanaan Sloof	40
2.9. Perencanaan Pondasi	41
2.10. Data Perencanaan	42

BAB III DESAIN STRUKTUR PENDUKUNG

3.1. Desain Struktur Atap	44
3.1.1. Desain Gording	44
3.1.2. Desain Penggantung Gording	48
3.1.3. Desain Kuda-kuda	50
3.1.4. Perencanaan Sambungan	52
3.2. Perencanaan Struktur Lantai	59
3.3. Perencanaan Tangga	61
3.3.1. Desain Anak Tangga	61
3.3.2. Desain Bordes	63
3.3.3. Desain Sambungan	68
3.4. Perencanaan Balok Anak	70
3.4.1. Desain Balok Anak	70
3.4.2. Perencanaan Sambungan Balok Anak	78

BAB IV. DESAIN STRUKTUR UTAMA

4.1. Pembebaan	80
4.1.1. Beban Gravitasi	80
4.1.2. Beban Gempa	82
4.2. Analisa Struktur	87
4.3. Perencanaan Balok Induk	88
4.4. Perencanaan Kolom Komposit	97
4.5. Perencanaan Bresing	104
4.6. Perencanaan Sambungan	106
4.6.1. Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom	106

4.6.2. Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom	107
4.6.3. Sambungan Balok Anak – Balok Induk	108
4.6.4. Sambungan Kolom – Kolom	109
4.6.5. Sambungan Bracing – Kolom	112
4.6.6. Sambungan Bresing – Bresing	116
4.7. Perencanaan Base Plate	117

BAB V DESAIN PONDASI

5.1. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang	122
5.2. Desain Poer Pondasi	125
5.3. Desain Sloof Pondasi	128

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	130
6.2. Saran	131

DAFTAR PUSTAKA

132

LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1	: Perhitungan beban balok
Lampiran 2	: Perhitungan analisa struktur dengan SAP 2000
Lampiran 3	: Tabel perhitungan tulangan plat lantai
Lampiran 4	: Tabel data tanah dan pondasi tiang pancang
Lampiran 5	: Gambar :
	1. Tampak depan dan tampak samping
	2. Denah lantai dasar
	3. Denah Lantai 1
	4. Denah Lantai 2
	5. Denah Lantai 3
	6. Denah Lantai 4
	7. Potongan A-A'
	8. Potongan B-B'
	9. Denah Balok Lantai 1

10. Denah Balok Lantai 2, 3, dan 4
11. Portal E
12. Portal 4
13. Portal H
14. Denah Rencana Atap
15. Sambungan 1
16. Sambungan 2
17. Kuda-kuda
18. Tangga
19. Denah Pondasi
20. Sloof dan Poer

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai faktor tekuk pada ujung-ujung ideal	17
Tabel 2.2. Nomogram untuk menentukan faktor tekuk elemen struktur rangka ...	18
Tabel Perhitungan Beban Balok	135

DAFTAR GAMBAR

Gbr. 2.1.a. Diagram tegangan-regangan baja	8
Gbr. 2.1.b. Diagram tegangan-regangan baja mutu A36 sesuai skala	8
Gbr. 2.2. Daerah-daerah pada diagram tegangan-regangan	9
Gbr. 2.3. Luas netto penampang profil berdasarkan variasi lubang baut	15
Gbr. 2.4. Balok komposit dengan garis netral pada slab beton	23
Gbr. 2.5. Balok komposit dengan garis netral pada profil baja	24
Gbr. 2.6. Kolom komposit	27
Gbr. 2.7. Kaki-kaki dan tebal efektif las sudut	34
Gbr. 2.8. Anggapan perhitungan poer	37
Gbr. 2.9. Kondisi geser satu arah	38
Gbr. 2.10. Kondisi geser pons	39

DAFTAR NOTASI

\bar{x}	= eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya antara titik
ϕ	= faktor reduksi tahanan atau kekuatan
ω	= faktor tekuk pada elemen tekan
λ	= parameter kelangsingan penampang atau perbandingan tebal-lebar penampang
λ_c	= parameter kelangsingan kolom
λ_p	= batas atas untuk kategori penampang kompak
λ_t	= batas atas untuk kategori penampang nonkompak
γ_L	= faktor beban hidup, $\gamma_L = 0.5$ bila $L < 5 \text{ kPa}$, dan $\gamma_L = 1$ bila $L \geq 5 \text{ kPa}$
f_{maks}	= lendutan maksimum akibat beban kerja tak berfaktor
\bar{f}	= lendutan yang dijinkan
f^0	= lendutan yang terjadi akibat beban
A_b	= luas beton penumpu kolom komposit
A_c	= luas bersih penampang beton
A_{cb}	= luas penampang beton yang dibutuhkan untuk membatasi tegangan tekan serat bawah sebelum kehilangan tegangan yang merupakan fungsi waktu
A_{ct}	= luas penampang beton yang dibutuhkan untuk membatasi tegangan tekan serat atas setelah beban luar bekerja
A_e	= luas bersih efektif dari penampang profil
A_g	= luas kotor (bruto) penampang profil
A_{gt}	= luas kotor sepanjang permukaan tarik
A_{gv}	= luas kotor sepanjang permukaan geser
A_P	= luas ujung tiang (pada pondasi)
A_r	= luas tulangan longitudinal pada penampang komposit
A_s	= luas tulangan yang diperlukan
A_s, A_t	= luas total penampang profil
A_w	= luas badan penampang profil = $t_w * d$
B, D	= diameer pondasi tiang
C_b	= faktor pembesaran momen

c_r	= tebal selimut rata-rata terhadap tulangan longitudinal
C_b	= konstanta puntir lengkung
D	= beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen
d	= tinggi penampang profil
d_b	= diameter baut
E	= beban gempa
E_c	= modulus elastisitas beton
E_m	= modulus elastisitas untuk penampang komposit (kolom)
E_s	= modulus elastisitas baja
f'_c	= kuat tekan beton (mutu beton) yang digunakan pada elemen struktur
f_{cr}	= tegangan tekan kritis
f_{my}	= tegangan yang diturunkan berdasarkan konsep kompatibilitas regangan antara bahan beton dan baja.
f_r	= tegangan sisa atau residu
f_u	= tegangan putus material baja yang digunakan
f_{uv}	= tegangan geser yang terjadi per baut.
f_v	= tegangan geser yang terjadi pada badan profil
f_y	= tegangan leleh material baja yang digunakan
f_{yr}	= mutu tulangan longitudinal untuk tulangan komposit (< 380 MPa)
G_A, G_B	= perbandingan kekakuan pada join
H	= sisi panjang dari dimensi elemen struktur
h_I	= dimensi penampang kolom komposit yang tegak lurus bidang lentur
h_2	= dimensi penampang kolom komposit yang sejajar bidang lentur
I_x, I_y	= momen inersia penampang terhadap sumbu - x dan sumbu - y
K	= faktor panjang efektif atau faktor panjang tekuk
L	= beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
L_a	= beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
L_p, L_r	= konstanta panjang bentang untuk penekangan lateral, untuk penentuan kategori panjang bentang
L_t	= panjang letak batu pada arah tarik
m	= jumlah bidang geser pada sambungan baut

- U = faktor reduksi untuk mendapatkan luas bersih efektif
- V_n = kuat geser nominal
- V_U = kuat geser terfaktor yang terjadi pada elemen
- W = beban angin
- w = berat beton yang digunakan pada lemen struktur
- Z_x, Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu - x dan sumbu - y

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perencanaan struktur gedung di Surabaya pada umumnya dilakukan dengan menggunakan struktur beton bertulang kecuali bangunan gudang atau pabrik, namun pada waktu akhir-akhir ini sering terlihat proyek-proyek gedung di Surabaya mulai menggunakan struktur baja maupun komposit baja-beton. Dapat disebut sebagai contoh adalah gedung Bank Ekonomi Jalan Basuki Rahmad, gerai-gerai restoran McDonald dan lain sebagainya.

Kecenderungan ini membuat para mahasiswa yang akan segera memasuki dunia kerja diharuskan membenahi diri dalam hal merencanakan bangunan gedung berstruktur baja maupun komposit baja-beton yang berlantai banyak. Hal ini sangat tertantang dengan segera diberlakukannya AFTA 2002, dimana akan banyak sekali investasi-investasi asing yang masuk ke Indonesia dan tentunya dengan beraneka ragam keinginan bestek bangunan gedung yang diminta.

Gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya memiliki permodelan struktur yang cukup untuk digunakan sebagai obyek kajian untuk perencanaan struktur komposit baja-beton, walaupun pada pelaksanaan proyek sesungguhnya menggunakan struktur beton bertulang. Struktur gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya yang berlantai empat dengan tambahan satu basement dan luas total 5220 m^2 , memberikan cukup wahana contoh perhitungan struktur komposit baja-beton.

1.2 PERMASALAHAN

Desain struktur komposit baja beton dengan metode LRFD merupakan hal yang baru bagi sebagian mahasiswa karena pada saat sebelumnya lebih terbiasa menggunakan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI), sehingga diperlukan cukup buku-buku referensi mengenai desain bangunan baja berdasarkan metode LRFD.

Pada segi teknis struktur komposit akan bekerja lebih optimal (terutama pada balok) apabila yang berkerja padanya hanya momen positif. Berkaitan dengan akibat beban gempa yang dapat menimbulkan momen negatif, maka permasalahan ini diatasi

dengan merencanakan adanya sejumlah bresing. Bresing lah yang akan menerima beban horizontal, sehingga dengan merencanakan tumpuan balok sebagai tumpuan sendi (sederhana) maka diharapkan tidak terdapat momen negatif.

1.3. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud penulisan tugas akhir ini adalah untuk memperkaya wawasan contoh perhitungan struktur komposit baja-beton yang menggunakan metode LRFD disamping memberikan perencanaan alternatif SMU Muhammadiyah 2 Surabaya.

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah agar para mahasiswa di Indonesia siap untuk menghadapi berbagai macam keinginan para investor dalam perencanaan dan desain bangunan gedung (diantaranya struktur komposit baja-beton berdasarkan metode LRFD) sehingga menghasilkan hasil pekerjaan struktur yang aman, nyaman dan ekonomis.

1.4. LINGKUP PEMBAHASAN

Mengingat luasnya bidang perencanaan yang akan timbul dan keterbatasan waktu serta disiplin ilmu yang dikuasai, maka dalam penulisan tugas akhir ini mempunyai lingkup pembahasan sebagai berikut :

- a. Perhitungan dititikberatkan pada perhitungan struktur utama dengan tidak memperhatikan kaidah-kaidah arsitektural.
- b. Perumusan yang dipakai dalam perhitungan adalah sesuai dengan yang tercantum dalam literatur, sehingga tidak ada penurunan rumus.
- c. Perhitungan struktur komposit baja-beton SMU Muhammadiyah 2 Surabaya dilakukan dengan metode LRFD dan analisa struktur dilakukan dengan analisis elastis.
- d. Modifikasi perencanaan dalam tugas akhir ini tidak meninjau perubahan-perubahan yang diakibatkan terhadap analisa biaya, metode pelaksanaan dan manajemen konstruksi di dalam penyelesaian proyek.
- e. Data-data proyek adalah yang didapatkan dari Panitia Pembangunan Gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya.
- f. Modifikasi perencanaan dilakukan dengan memenuhi kriteria perencanaan struktur yaitu stabil, cukup kuat dan mampu-layan.

Dengan adanya batasan masalah ini diaharapkan apa yang disajikan dapat mencapai tujuan dan untuk menghindari kesalahan dalam interpretasi.

1.5. METODOLOGI PEMBAHASAN

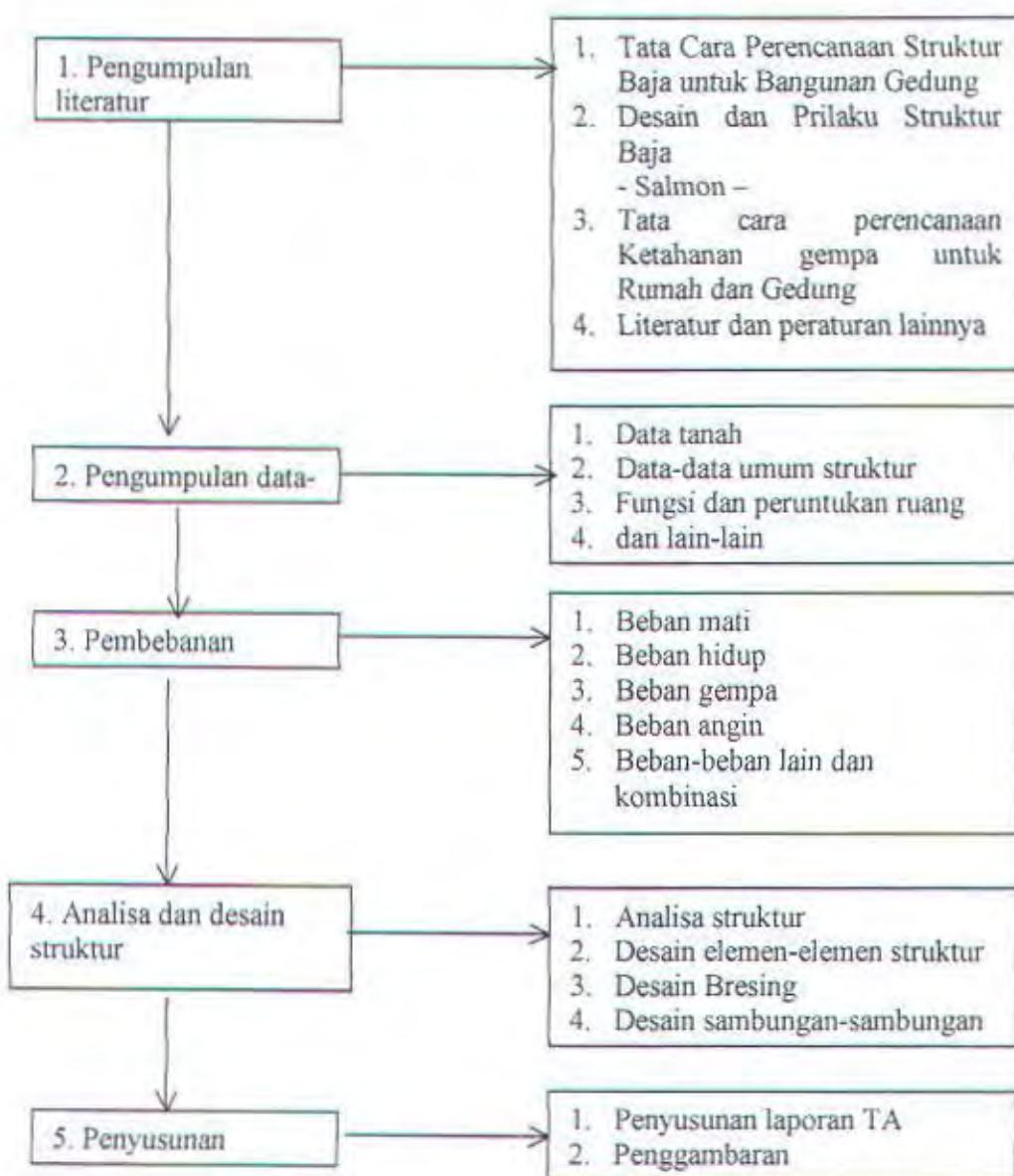
Sebelum dilakukan langkah-langkah perhitungan struktur, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan literatur-literatur dan pedoman-pedoman perencanaan struktur gedung komposit baja-beton berdasarkan metode LRFD. Dalam tugas akhir ini, beban gempa dihitung sesuai dengan cara *Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG 1983)*, beban mati, hidup dan beban angin sesuai dengan *Peraturan Pembebaan Indonesia Untuk Gedung 1983*, dan desain elemen-elemen struktur menggunakan *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung 2000*.

Data-data yang diperlukan dalam hal perencanaan ditinjau ulang dan dilengkapi apabila ternyata masih ada data yang dibutuhkan tetapi belum diperoleh. Data-data perencanaan yang perlu dikumpulkan berupa data tanah lokasi proyek dilaksanakan, data denah dan pengaturan ruangan, data material-material yang digunakan, fungsi dan peruntukan ruangan serta data-data lain yang diperlukan.

Apabila data-data gedung yang dibutuhkan sudah lengkap, mulailah dihitung beban yang diterima struktur beserta kombinasi pembebanannya. Dari hasil pembebaan dapat segera dilanjutkan pada analisa struktur berdasarkan anggapan-anggapan yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada tahap selanjutnya, mulai dilakukan proses desain elemen-elemen struktur mulai dari elemen balok, kolom, sambungan-sambungan dan terakhir pondasi. Setelah seluruh proses perencanaan selesai, maka diterjemahkannya hasil-hasil desain dalam bentuk gambar dan proses-proses perencanaan yang telah dilalui disusun menjadi laporan yang sistematis.

Metodologi penulisan tugas akhir ini dapat digambarkan sebagai berikut :



1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Pada tugas akhir ini dibagi menjadi enam bab pembahasan. Bab-bab tersebut disusun secara sistematis dan kronologis.

Bab pertama merupakan bab pembuka, dimana pada bab ini diuraikan latar belakang penulis menyusun tugas akhir ini, dan tujuannya. Selanjutnya dijelaskan pula metode pembahasan yang dipakai penulis sehingga dapat diketahui proses logika

penyusunan tugas akhir ini. Pada metodologi penulisan juga digambarkan melalui skema agar lebih mudah dimengerti.

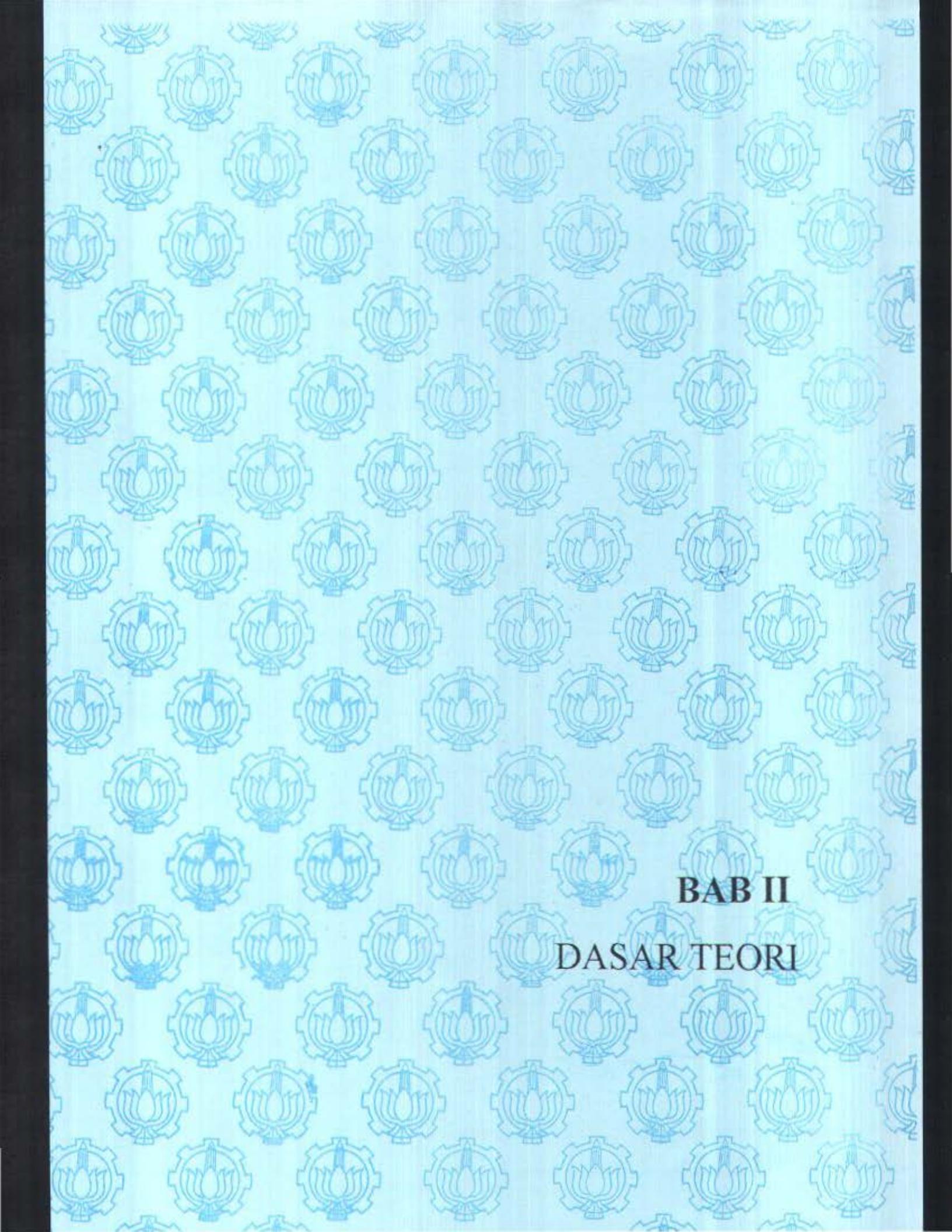
Bab kedua merupakan landasan teori yang dipakai penulis dalam hal perencanaan, desain dan perhitungan-perhitungan yang diperlukan dalam tugas akhir ini. Sebelum masuk ke pembahasan perumusan-perumusan perhitungan, maka perlu juga dijelaskan secara sekilas latar belakang struktur yang dipakai, dan sifat mekanis struktur baja. Penjelasan ini perlu dikarenakan pada perumusan-perumusan yang ada didasarkan oleh sifat mekanis bahan. Pada sub bab selanjutnya baru dijelaskan mengenai perumusan-perumusan yang akan dipakai penulis untuk mendesain elemen-elemen struktur, sambungan-sambungan dan lainnya. Pada akhir bab ini, disajikan data struktur yang akan direncanakan.

Pada bab ketiga, mulai direncanakan struktur-struktur pendukung yang meliputi konstruksi atap, tangga, lantai dan balok anak. Perencanaan struktur pendukung ini, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya tetap mengacu pada perumusan-perumusan yang ada pada landasan teori. Perencanaan struktur pendukung dibahas terlebih dahulu sebelum struktur utama, karena beberapa struktur pendukung yang reaksi / bebananya turut membebani struktur utama, sehingga perlu terlebih dahulu diketahui reaksi dari elemen pendukung yang akan dibebankan ke struktur utama.

Bab keempat merupakan inti dari tugas akhir ini, dimana pada bab ini diuraikan proses perhitungan desain elemen-elemen struktur utama. Tentunya proses desain ini didahului oleh proses analisa struktur yang menggunakan anggapan-anggapan yang akan diuraikan awal-awal bab ini.

Bab kelima merupakan desain penyelesai, yaitu desain pondasi. Pembahasan pada bab ini akan sedikit keluar dari tema utama struktur yang dibahas dalam tugas akhir ini (yaitu struktur komposit). Pada bab ini akan banyak struktur beton yang digunakan dalam perencanaan poer pondasi dan sloof. Tidak ikut ketinggalan membahas tentang teknik pondasi dalam perencanaan pondasi dalam.

Bab terakhir yaitu bab keenam, merupakan kesimpulan yang dapat dipetik dari pembahasan bab-bab sebelumnya secara keseluruhan yang juga merupakan kesimpulan dilakukan perencanaan alternatif ini (struktur komposit).



BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Umum

Manusia telah menggunakan besi selama 5000 tahun. Zaman besi (*Iron Age*) dimulai pada 1000 tahun sebelum masehi di daerah Asia Barat dan Mesir. Manusia menggunakan besi dikarenakan mulai meningkatnya kebutuhan hidup sehingga diperlukan peralatan yang mumpuni. Hal ini dikarenakan juga oleh semakin meningkatnya kemampuan manusia mengolah bahan kasar menjadi material yang mempunyai nilai fungsi guna. Baja yang merupakan turunan dari besi ditemukan secara tidak sengaja, pada saat penempaan besi yang dilakukan berulang-ulang dengan pembakaran dari arang, yang kemudian secara tidak sengaja tercampur oleh bahan carbon dari arang tersebut. Jadi baja merupakan material campuran antara besi murni dengan karbon berkadar 1 %.

Zaman baja dimulai pada saat Sir Henry Bessemer menemukan proses produksi baja yang lebih ekonomis pada pertengahan abad 19. pada saat itu ilmu pengetahuan tentang bahan baja berkembang pesat, terlebih pada saat Hooke dan Euler mengembangkan sifat-sifat baja dan perlakunya pada saat dibebani. Atas dasar pengembangan itulah Eiffel dan Roebling berhasil membangun struktur yang impresif pada akhir abad 19.

Kegunaan yang luas pada baja telah memacu manusia untuk mengembangkan peraturan-peraturan untuk pabrikasi dan desain struktur baja. Peraturan pertama dikeluarkan oleh American Railway Engineering Association (AREA) pada tahun 1905. Pada tahun 1921 American Institut of Steel Construction (AISC) mengeluarkan peraturan (specification) pertamanya. Mulai saat itu hingga sekarang struktur baja berkembang dengan sangat pesat sehingga menciptakan bangunan yang mampu menggapai awan, jembatan yang menghubungkan dua daratan dan berbagai macam bangunan dengan bentuk dan arsitektural yang mengagumkan.

Tujuan desain struktur baja pada dasarnya adalah membuat suatu struktur bangunan yang aman agar terpenuhinya fungsi bangunan tersebut. Tampak disini sangat sederhana jika yang digunakan sebagai patokan hanya aman dan berfungsi sesuai dengan yang diharapkan, tetapi akan menjadi kompleks apabila kata aman dan memenuhi fungsinya ini dijabarkan lebih lanjut. Aman merupakan masalah derajad,

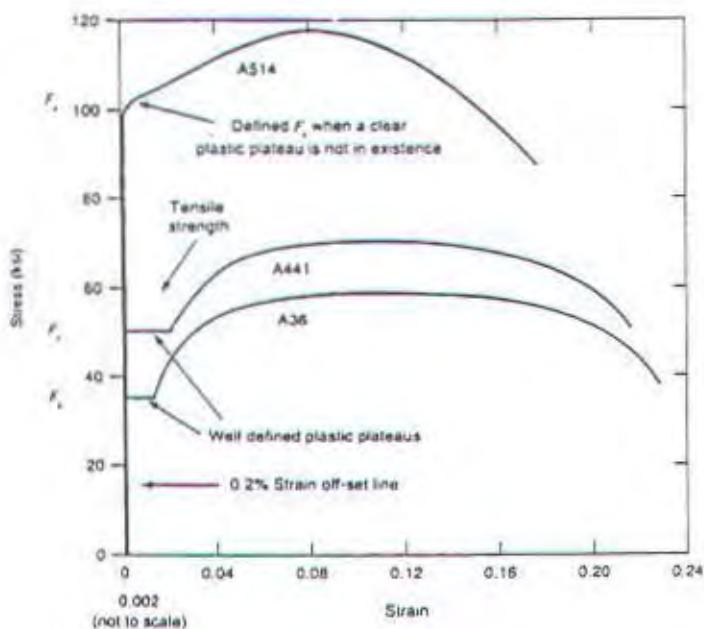
seberapa amankah struktur bangunan yang akan dibangun, dan setiap desain pasti mengandung kemungkinan gagal. Maka dari itu suatu desain yang baik harus dapat memperhitungkan seberapa besar kegagalan yang ada masih bisa ditoleransi dan bagaimana penerapannya di lapangan. Begitu juga dengan patokan bangunan harus dapat memenuhi fungsinya. Sebagai contoh apabila suatu lantai dari suatu gedung kantor bergetar pada saat penghuninya berada di dalam, dan jika getarannya sampai pada level yang mengganggu tentunya gedung ini tidak lagi dapat memenuhi fungsinya, yaitu memberi kenyamanan. Sebagai contoh lain apabila suatu gedung didesain "super aman" dan melebihi dari semestinya, tentunya akan memakan biaya yang besar (berharga mahal), tentunya juga hal ini akan membuat pemilik gedung merasa tidak "nyaman" juga. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa suatu desain struktur yang baik harus dapat memenuhi dan menyeimbangkan antara syarat fungsi, aman (safety), kemampuan layan (serviceability) dan ekonomis.

2.2. Sifat dan Karakteristik Baja

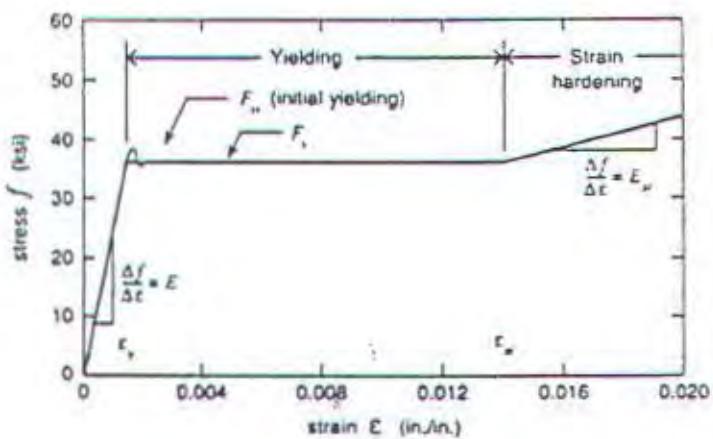
Sebelum membahas lebih jauh masalah desain, prosedur dan filosofi yang mendasarinya, lebih dahulu dibahas tentang sifat-sifat mekanis material yang menjadi bahan struktur bangunan gedung dalam tugas akhir ini, yaitu baja struktur.

Sifat dan karakteristik baja dapat digambarkan melalui diagram tegangan – regangan baja, yang didapat dengan meningkatkan beban tarik secara perlahan-lahan pada sebatang baja sampai batang baja tersebut putus. Tes tarik yang dilakukan pada berbagai macam baja menghasilkan diagram tegangan-regangan yang berbeda-beda, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.a. Pada baja kekuatan tinggi (contoh : A₅₁₄), kurva tegangan-regangannya tidak menunjukkan adanya σ_y (tegangan leleh), namun garis kurva lurus dan langsung putus. Hal ini lain dengan kurva yang ditunjukkan oleh baja lunak (contoh : A₃₆), garis kurvanya setelah mencapai σ_y membentuk garis lurus datar yang kemudian naik lagi baru putus. Untuk mengetahui σ_y pada baja kekuatan tinggi dengan menggunakan $\sigma_{0,2}$ (mutu baja 0,2) yang menunjukkan tegangan baja yang bila dilepas tegangannya maka regangannya tersisa sebesar 0,2 % (tidak kembali ke nol). $\sigma_{0,2}$ ini ekuivalen dengan σ_y . Sedangkan baja lunak mutu baja diukur berdasarkan dua cara yaitu berdasarkan σ_y yang digunakan di Amerika, contohnya mutu baja A₃₆ yang mempunyai σ_y sebesar 36 ksi. Cara kedua adalah yang digunakan

di Indonesia yaitu berdasarkan σ_u (tegangan ultimate) sebagai contoh mutu BJ37 menunjukkan baja tersebut mempunyai σ_u sebesar 37 kg/mm^2 .



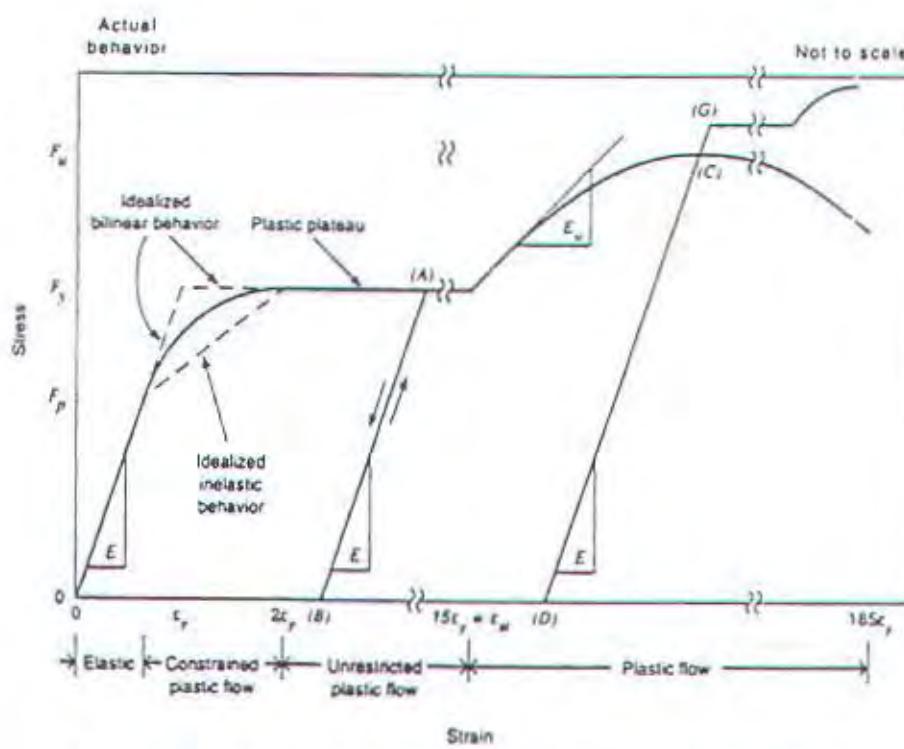
Gbr. 2.1.a. Diagram tegangan-regangan untuk tiga mutu baja



Gbr. 2.1.b. Diagram tegangan-regangan mutu baja A36 sesuai skala

Berdasarkan kurva diagram tegangan-regangan baja lunak tampak ada daerah-daerah tertentu yang mengambarkan sifat baja apabila beban ditingkatkan terus secara bertahap. Daerah pertama merupakan garis lurus dan menyatakan daerah

linear elastis. Daerah ini menunjukkan bahwa apabila beban ditingkatkan terus maka batang baja akan mengalami perpanjangan secara linear dengan kenaikan beban. Kemiringan garis ini ($\tan \alpha$) menyatakan besarnya modulus elastisitas atau disebut juga *modulus young* (E). Diagram tegangan-regangan untuk baja lunak umumnya mempunyai titik leleh atas (upper yield point), σ_{yu} , dan daerah leleh datar. Secara praktis, letak titik leleh atas ini, tidaklah terlalu berarti sehingga pengaruhnya sering diabaikan. Apabila batang baja tersebut telah mencapai titik leleh (σ_y), maka bila beban terus meningkat, maka tegangan tidak akan bertambah naik, tetapi energi akan dipakai untuk menambah regangan, sehingga terbentuk daerah mendatar yang disebut plastic plateau. Setelah regangan membesar kira-kira 15 kali regangan pada saat leleh, batang baja akan mengalami strain hardening, dimana penambahan regangan akan diikuti oleh sedikit penambahan tegangan. Di samping itu, hubungan tegangan-regangannya bersifat tak linear. Harga tegangan maksimum setelah kenaikan ini disebut tegangan tarik ultimate (*ultimate tensile strength*). Setelah itu tegangan kembali turun sebentar dan batang baja baru putus.



Gbr. 2.2. Daerah-daerah pada diagram tegangan-regangan yang diidealisasikan.

2.3. Prosedur Desain

Setelah mengetahui sifat dan karakteristik material baja, maka hal tersebut mendasari prosedur desain yang akan dilakukan. Secara garis besar, prosedur desain dapat diterangkan secara umum sebagai berikut :

1. *Perencanaan awal.* Penentuan fungsi-fungsi yang akan dilayani oleh struktur gedung bersangkutan. Menentukan kriteria-kriteria untuk mengukur apakah desain yang dihasilkan telah mencapai optimum.
3. *Konfigurasi struktur pendahuluan.* Susunan dari elemen-elemen yang akan melayani fungsi-fungsi pada langkah 1.
4. *Pemilihan batang pendahuluan (preliminary design).* Pemilihan ukuran batang dari elemen-elemen struktur berdasarkan bentang dan panjang batang.
5. *Penentuan beban-beban yang harus dipikul.*
6. *Analisis.* Analisa struktural dengan membuat model beban-beban dan kerangka kerja struktural untuk mendapatkan gaya-gaya internal.
7. *Evaluasi.* Apakah semua persyaratan untuk desain seperti kekuatan dan kemampuan kerja dari elemen-elemen struktur telah terpenuhi dan hasilnya sudah optimum ?
8. *Redesain.* Apabila ternyata hasil evaluasi belum memenuhi persyaratan dan belum optimum, maka dilakukan pengulangan mulai dari langkah 3 sampai 6. Langkah-langkah merupakan suatu proses iteratif. Apabila telah dilakukan berkali-kali dan hasilnya tetap belum memenuhi, maka perlu dipikirkan untuk mengulang proses mulai dari langkah no 1.
9. *Keputusan akhir.* Penentuan apakah desain optimum telah tercapai atau belum.

2.4. Filosofi Desain

Filosofi perencanaan bangunan sipil pada umumnya adalah menyalurkan beban struktur melalui elemen-elemen struktur ke pondasi dengan selamat. Sebagai gambaran, beban hidup dari penghuni gedung akan diterima oleh lantai yang kemudian meneruskan gaya yang ada ke balok, dari sini beban diteruskan ke kolom dan pada akhirnya menuju pondasi. Mekanisme penyaluran beban tadi bisa langsung berupa gaya aksial maupun tidak langsung berupa momen, torsi dan geser. Semua mekanisme tadi menyalurkan gaya-gaya ke pondasi dan pondasi harus sanggup memikulnya. Pada dasarnya pondasi akan sanggup menerima beban yang diberikan



padanya akan tetapi ia sendiri akan tenggelam ke dalam tanah, sehingga dicarilah suatu kompromi berkenaan dengan daya pikul pondasi.

Setiap elemen struktur harus mempunyai kapabilitas yang cukup seperti kekakuan dan ketahanan / kekuatan dalam mekanisme penyaluran beban, sehingga struktur dapat berfungsi selama umur bangunan. Apapun desain filosofinya, desain struktural harus menyediakan cadangan kekuatan yang cukup baik terhadap dua kemungkinan, yaitu :

1. Struktur bangunan ternyata kelebihan beban (*overloaded*), yang bisa disebabkan bangunan berubah fungsinya atau rendahnya taksiran atas beban yang bekerja karena penyederhanaan yang berlebihan dalam analisa strukturnya.
2. Kekuatan struktur yang kurang (*under strength*) yang dapat disebabkan penyimpangan pada dimensi, mutu material yang lebih rendah daripada spesifikasi yang digunakan dalam desain.

Kondisi pada saat struktur berhenti/tidak dapat lagi memenuhi fungsi yang diharapkan disebut keadaan batas. Keadaan batas ini dilihat dari dua sudut pandang yaitu dari segi kekuatan (*strength*) dan kemampuan layan (*serviceability*). Pada sudut pandang kekuatan, struktur sudah mencapai keadaan daktil maksimum (yakni plastis), tekukan, keletihan, retakan, lantakan dan geseran. Keadaan batas kemampuan layan berkaitan dengan penggunaan bangunan, seperti adanya defleksi, getaran yang berlebihan, deformasi permanen dan rekanan.

Secara esensial ada tiga filosofi berbeda dalam pendekatan desain, yang secara garis besar dijelaskan sebagai berikut :

1. *Allowable Stress Design – Elastic (ASDE)*.

Elemen struktur yang dipilih dalam filosofi desain ini biasanya mempunyai penampang dan momen inersia yang cukup besar untuk menjaga agar tegangan yang terjadi (akibat beban) masih berada dalam daerah elastis dari material dan harus lebih kecil dari tegangan dasar σ (yang besarnya sekitar $0,6 \sigma_y$). Perumusan hubungan beban yang bekerja dengan kekuatan elemen adalah sebagai berikut:

$$Q \leq R_n / F.S.$$

dimana :

Q adalah beban nominal

R_n adalah kekuatan nominal

F.S. adalah untuk menjelaskan rasio obyektif dari R_n/Q atau bisa juga disebut faktor keamanan

2. *Allowable Stress Design – Plastic (ASDP)*.

Desain dengan menggunakan metode ini turut memperhitungkan kekuatan elemen sebenarnya pada daerah plastis. Jika dilihat pada diagram tegangan-regangan maka sebenarnya suatu elemen masih dapat menerima beban pada saat ia melampaui titik leleh. Kegagalan dalam konteks ini berarti keruntuhan yang hanya akan terjadi bila suatu struktur telah memenuhi syarat mekanisme keruntuhan (yaitu telah terbentuk cukup *sendi plastis*). Perumusan hubungan antara beban dengan kekuatan adalah sebagai berikut :

$$L.F. (Q) \leq R_n$$

dimana :

$L.F.$ adalah load factor (faktor beban) dan digunakan untuk menjelaskan rasio (R_n/Q)

3. *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*.

Metode ini dapat dikatakan menggabungkan konsep metode elastis dan plastis, dimana dalam perhitungan beban digunakan faktor beban dan kekuatan elemen dikurangi oleh adanya faktor reduksi. Beban yang harus diterima merupakan penjumlahan dari semua beban kerja berfaktor (beban-beban yang ada dikalikan faktornya masing-masing baru dijumlahkan). Hubungan antar kekuatan dengan beban dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Sigma \gamma. Q \leq \phi R_n$$

dimana :

$\Sigma \gamma$ adalah faktor beban yang bervariasi tergantung jenis beban yang bekerja.

Apabila terjadi kombinasi pembebaan, maka dijumlahkan

ϕ adalah faktor reduksi kekuatan elemen

2.5. Beban-beban Kerja

Perencanaan suatu struktur untuk keadaan-keadaan stabil batas, kekuatan batas dan kemampuan layan batas harus memperhitungkan pengaruh-pengaruh dari aksi sebagai akibat dari beban-beban berikut ini :

1. Beban hidup dan mati seperti disyaratkan pada SNI 03-1727-1989 atau penggantinya.
2. Pembeban gempa sesuai dengan SNI 03-1726-1989 atau penggantinya.
3. Beban-beban khusus lainnya sesuai dengan kebutuhan.

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur yang direncanakan dengan menggunakan metode LRFD harus mampu memikul semua kombinasi pembeban berfaktor di bawah ini (*Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 6.2.2.*):

$$1.4 D \quad (2.5.1)$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_a \text{ atau } H) \quad (2.5.2)$$

$$1.2 D + 1.6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0.8 W) \quad (2.5.3)$$

$$1.2 D + 1.3 W + \gamma_L L + 0.5 (L_a \text{ atau } H) \quad (2.5.4)$$

$$1.2 D + 1.0 E + \gamma_L L \quad (2.5.5)$$

$$0.9 D - (1.3W \text{ atau } 1.0 E) \quad (2.5.6)$$

Keterangan :

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap.

L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain.

L_a adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.

W adalah beban angin

E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989 atau penggantinya.

Dengan,

$$\gamma_L = 0.5 \text{ bila } L < 5 \text{ kPa} \text{ dan } \gamma_L = 1 \text{ bila } L \geq 5 \text{ kPa}$$

Perkecualian :

Faktor beban untuk L di dalam kombinasi pembeban pada persamaan 5.4-3, 5.4-4 dan 5.4-5 harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum dan semua daerah di mana beban hidup lebih besar daripada 5 kPa.

2.6. Analisis Struktur

Secara umum, analisis struktur untuk mendapatkan beban-beban layanan (atau efek-efek beban, momen lentur, gaya geser, gaya aksial, dan momen puntir) pada elemen, dilakukan dengan cara yang sama, baik untuk desain menggunakan metode LRFD maupun ASDE. Metode analisis struktur tetap digunakan, kecuali bila keadaan batasnya berupa mekanisme runtuh plastis. Analisis ordo pertama sudah cukup memadai untuk struktur-struktur rangka biasa yang diberi bresing untuk melawan goyangan. Dalam analisa ordo pertama, persamaan-persamaan keseimbangan didasarkan atas geometri asli dari struktur yang bersangkutan. Ini berarti bahwa gaya-gaya internal (momen, geser, dsb) diasumsikan tidak terpengaruh oleh perubahan bentuk struktur, sehingga tidak memerlukan analisis yang lebih rumit.

Pada struktur banyak lantai yang bergantung pada kekakuan balok dan kolom yang berinteraksi untuk menahan goyangan karena pembebanan lateral (angin dan gempa), efek ordo kedua harus diperhitungkan. Dalam hal ini, pergeseran lateral Δ (disebut goyangan atau *drift*) akan menyebabkan momen-momen lentur tambahan karena beban gaya berat (ΣP) yang bekerja memiliki eksentrisitas. Analisis harus mengikutsertakan efek sekunder ini.

2.7. Perencanaan Elemen Struktur

2.7.1. Perencanaan Batang Tarik dan Tekan

2.7.1.1. Batang Tarik

Komponen struktur yang memiliki gaya tarik aksial terfaktor N_u harus memenuhi syarat kekuatan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi N_n \quad (2.7.1.)$$

dengan N_n adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga ϕ dan N_n di bawah ini :

$$\phi = 0.9$$

$$N_n = A_g \cdot f_y \quad (2.7.2.)$$

dan

$$\phi = 0.75$$

$$N_n = A_e \cdot f_u \quad (2.7.3.)$$

dimana :

- A_g adalah luas penampang bruto, mm^2
- A_e adalah luas penampang efektif, mm^2
- f_y adalah tegangan leleh, Mpa
- f_u adalah tegangan tarik putus, Mpa

Luas penampang komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan dengan rumus :

$$A_e = A \cdot U \quad (2.7.4.)$$

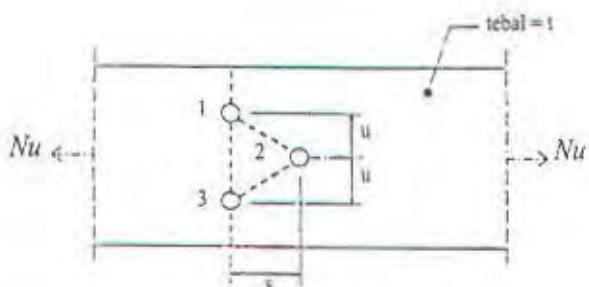
dimana :

- A adalah luas penampang, mm^2
- U adalah faktor reduksi yang dihitung = $1 - (\frac{x}{L}) \leq 0,9$
- x adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, yaitu antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, mm
- L adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, mm

Luas penampang yang dimaksudkan dalam rumus 2.7.4., adalah tergantung dari beberapa kondisi, yaitu :

1. *Kondisi gaya tarik hanya disalurkan oleh baut*

Luas penampang (A) yang dimaksud adalah luas penampang netto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3 dari gambar 2.3. di bawah ini :



Gbr. 2.3. Luas netto berdasarkan variasi lubang baut

Potongan 1-3 : $A_{nt} = A_g - n \cdot d \cdot t$ (2.7.5)

Potongan 1-2-3 : $A_{nt} = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s^2 t}{4 u}$ (2.7.6)

Keterangan :

A_g adalah luas penampang bruto, mm^2

t adalah tebal penampang, mm

d adalah diameter lubang, mm

n adalah banyaknya lubang dalam garis potongan

s adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, mm

u adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur

Perlu diperhatikan bahwa dalam suatu potongan penampang profil jumlah luas lubang dibatasi tidak boleh melebihi 15% luas penampang utuh.

2. Gaya tarik disalurkan oleh las memanjang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan memanjang ke komponen struktur yang bukan pelat, atau oleh kombinasi pengelasan memanjang dan melintang, maka A yang dimaksud dalam rumus 2.7.4. adalah luas penampang bruto komponen struktur dalam mm^2 .

3. Gaya tarik disalurkan oleh las melintang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan melintang, maka A adalah jumlah luas penampang netto yang dihubungkan secara langsung dan $U = 1,0$.

4. Gaya tarik disalurkan oleh las sepanjang dua sisi

Bila gaya tarik disalurkan ke sebuah komponen struktur pelat dengan pengelasan sepanjang kedua sisi pada ujung pelat, dengan $l \geq w$, maka A adalah luas pelat, dan

untuk $l \geq 2w$ $U = 1,0$

untuk $2w > l \geq 1,5w$ $U = 0,87$

untuk $1,5w \geq l \geq w$ $U = 0,75$

Keterangan

l adalah panjang pengelasan, mm

w adalah lebar pelat (jarak antar sumbu penglasan), mm

2.7.1.2. Batang Tekan

Dalam menghitung batang tekan, terlebih dahulu harus dihitung kelangsungan batang, λ_c yang ditetapkan sebagai berikut :

$$\lambda_c = \frac{\pi}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.7.7)$$

Keterangan :

L_k adalah panjang tekuk batang, yang dihitung sebagai $L_k = k_c \cdot L$.

k_c adalah faktor panjang tekuk

L adalah panjang teoris batang

f_y adalah tegangan leleh material

E adalah modulus elastisitas material

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) tergantung pada kekangan rotasi dan translasi pada ujung-ujung komponen struktur. Kekangan translasi ujung untuk komponen struktur tak-bergoyang dianggap tak hingga, sedangkan komponen struktur bergoyang dianggap nol. Pada komponen struktur dengan ujung-ujung ideal, maka nilai faktor tekuk ditentukan sesuai pada gambar 2.4. berikut ini.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<i>Garis terpotong strukturnya dalam diagram kekakuan teknisik</i>						
Bil. k_c teknisik	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai k_c yang diketahui ketika ketaksamaan $k_c > 1$ berlaku	0.05	0.02	1.2	1.0	2.10	2.0
<i>Kode ujung</i>						
	Hinge	Pin	Roller	Rigid	Fixed	Roller yang perlu dilakukan putaran
						Ujung bebas

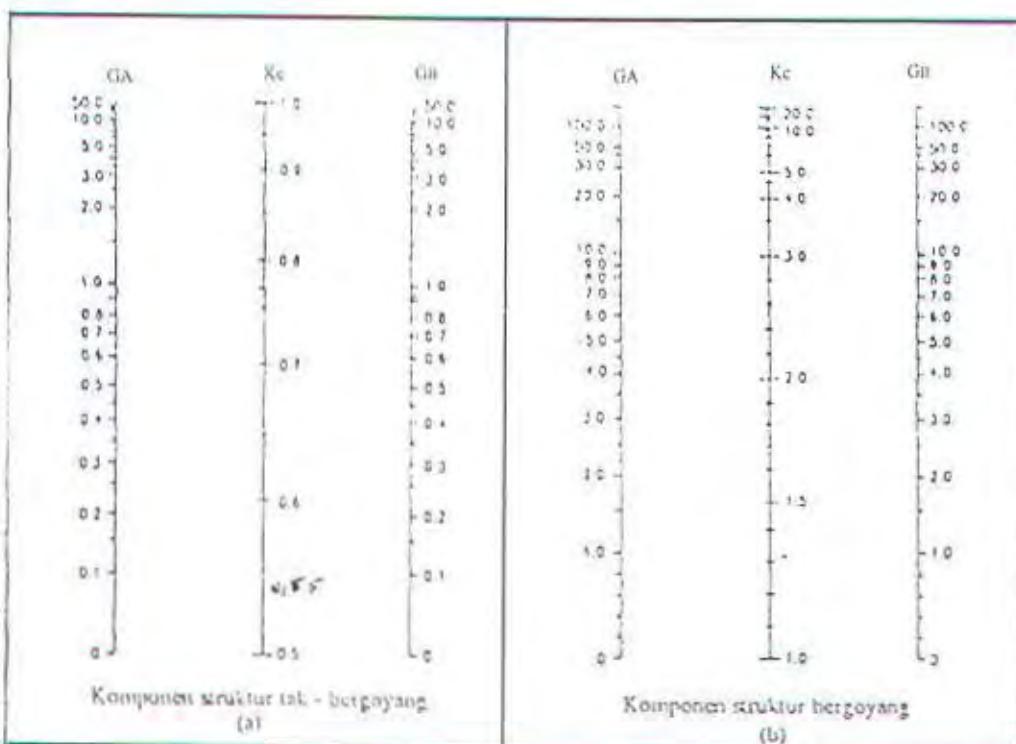
Tabel 2.1. Nilai faktor tekuk pada ujung-ujung ideal

Pada komponen struktur dari suatu rangka, nilai faktor panjang tekuk, didapat dari nomogram nilai G_A dan G_B yang merupakan perbandingan antara kekakuan komponen struktur dengan tekan dominan terhadap kekakuan komponen struktur relatif bebas tekan, masing-masing pada ujung A dan ujung B.

Nilai G ditentukan sebagai berikut :

$$G = \frac{\sum \left[\frac{I}{L} \right]_s}{\sum \left[\frac{I}{L} \right]_b} \quad (2.7.8.)$$

Perbandingan momen inersia dengan panjang pada suku pembilang rumus di atas adalah untuk kekakuan kolom, sedangkan untuk suku penyebut untuk balok-balok yang mengapit ujung kolom yang diperhitungkan. Dari harga G untuk ujung A dan B maka didapat nilai faktor panjang tekuk pada nomogram yang dibedakan untuk struktur bergoyang dan struktur tak-bergoyang.



Tabel 2.2. Nomogram untuk menentukan nilai faktor tekuk elemen struktur rangka

Batang-batang tekan yang direncanakan harus memenuhi syarat kelangsungan yaitu $\lambda = L_k / r$ dibatasi sebesar 200.

Setelah batang tekan yang direncanakan sudah diketahui kelangsungannya, maka daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (2.7.9)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (2.7.10)$$

untuk :

- $\lambda_c \leq 0.25$, maka $\omega = 1$ (2.7.11.a)

- $0.25 < \lambda_c < 1.2$, maka $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c}$ (2.7.11.b)

- $\lambda_c \geq 1.2$, maka $\omega = 1.25 \lambda_c^2$ (2.7.11.c)

Keterangan :

A_g adalah luas penampang bruto, mm^2

f_{cr} adalah tegangan kritis penampang, Mpa

f_y adalah leleh material, Mpa

Perumusan di atas berlaku untuk penampang yang memiliki perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil dari nilai λ_r pada tabel 7.5-1 "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (TCPSBUG)", sedangkan penampang yang perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih besar, maka analisis kekuatan dan kekakuan dilakukan secara tersendiri dengan mengacu pada metode-metode analisis yang rasional.

Dalam perencanaan batang tekan, gaya tekan akibat beban luar berfaktor harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi_n \cdot N_n \quad (2.7.12)$$

dimana :

ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan sebesar 0,85

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur yang ditentukan oleh rumus 2.7.9.

2.7.2. Perencanaan Balok Lentur

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat (sumbu-x) dan dianalisis dengan menggunakan metode elastis, maka momen lentur yang diterimanya harus memenuhi,

$$M_{nx} \leq \phi M_n \quad (2.7.13)$$

Keterangan :

M_{nx} adalah momen lentur berfaktor terhadap sumbu-x, Nmm

ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0.9

M_n adalah kuat nominal dari momen lentur penampang, Nmm

Sedangkan pada sumbu lemah (sumbu-y), harus memenuhi :

$$M_{ny} \leq \phi M_n \quad (2.7.14)$$

Keterangan :

M_{ny} adalah momen lentur berfaktor terhadap sumbu-x, Nmm

Kuat nominal lentur penampang pengaruh tekuk lokal dibagi atas jenis-jenis penampang komponen struktur, yaitu :

1. Penampang kompak

Penampang yang memenuhi syarat ini adalah penampang yang memiliki lebar dan tebal elemen plat, $\lambda \leq \lambda_p$ (*harga batas sesuai tabel 7.5.1 TCPSBUG*), kuat lentur penampang ditentukan sebagai berikut :

$$M_n = M_p \quad (2.7.15)$$

2. Penampang tak-kompak

Adalah untuk penampang yang mempunyai kondisi $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, kuat nominal penampang ditentukan sebagai berikut :

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (2.7.16)$$

3. Penampang langsing

Adalah untuk pelat sayap yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$, kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 \quad (2.7.17)$$

Sedangkan untuk pelat badan yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$, dihitung sesuai rumus

Pada perumusan 2.7.15, 2.7.16 dan 2.7.17, memakai batasan momen sebagai berikut :

- Kuat lentur plastis M_p , yaitu momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh yang diambil terkecil dari harga $f_y \cdot Z$ atau $1.5 \cdot M_y$ dan Z adalah modulus penampang plastis yang ditentukan sebagai berikut :

$$Z_x = 2 \cdot S_x \quad (2.7.18)$$

Dimana S_x adalah momen statis penampang. Modulus penampang plastis ini juga dapat dicari dengan menggunakan shape faktor (faktor bentuk) yang merupakan perbandingan momen plastis dengan momen elastis.

$$f = \frac{M_p}{M_e} = \frac{Z \cdot \sigma_y}{W \cdot \sigma_y} = \frac{Z}{W} \quad (2.7.19)$$

Keterangan :

f adalah faktor bentuk

M_p adalah momen plastis

M_e adalah momen elastis

W adalah modulus penampang elastis

Jadi, bisa disimpulkan bahwa :

$$Z_x = f \cdot W_x \quad (2.7.20)$$

Untuk penampang segi empat nilai f diambil sebesar 1,5 sedangkan untuk bentuk I (profil WF) nilai f sebesar 1,14.

- Momen batas tekuk M_r diambil sama dengan,

$$M_r = S (f_v - f_r) \quad (2.7.21)$$

Dimana f_r adalah tegangan sisa yang diambil sebesar 70 MPa untuk penampang dirol dan 115 MPa untuk penampang dilas.

Sedangkan kuat lentur penampang akibat pengaruh tekuk lateral tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, L . Batas-batas pengekang lateral ditentukan pada tabel 8.3-2. TCPSBUG. Berdasarkan kondisi panjang antara dua pengekang lateral dan batas bentang pengekang lateral, maka ditentukan sebagai berikut :

1. Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p \quad (2.7.22)$$

2. Bentang Menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$, kuat nominal lentur komponen struktur terhadap momen lentur adalah :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p \quad (2.7.23)$$

dimana C_b adalah faktor pengali momen yang ditentukan

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3 \quad (2.7.24)$$

dengan M_{\max} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau serta M_A , M_B dan M_C adalah masing-masing momen pada $\frac{1}{4}$ bentang, tengah bentang dan $\frac{3}{4}$ bentang komponen struktur yang ditinjau.

3. Bentang Panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_r \leq L$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (2.7.25)$$

M_{cr} momen kritis ditentukan oleh tabel 8.3-1 TCPSBUG.

2.7.3. Perencanaan Balok Komposit

Balok komposit pada hakekatnya adalah menggabungkan kelebihan dari dua material yaitu baja dan beton untuk bekerja sama menerima beban. Seperti diketahui bahwa beton dalam setiap perhitungan tidak dapat menerima tarik sedangkan baja dapat menerima tarik dengan bagus. Sehingga dalam balok komposit, diharapkan profil baja dapat bekerja sama dengan slab beton dengan pertolongan *shear connector* (penghubung geser).

Bagian dari slab beton yang dapat menjadi komposit dengan profil baja ditentukan sepanjang (Pasal 12.4.1, TCPSBUG) :

$$B_{eff} = \frac{l}{s} \cdot L_{balok}$$

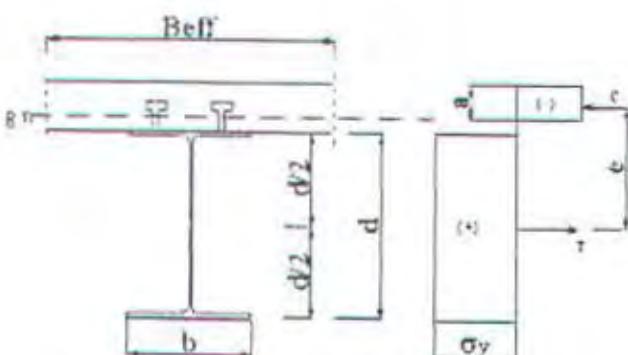
$$B_{eff} = \frac{l}{2} \cdot Jarak~bersih~antar~balok~bersebelahan$$

$$B_{eff} = Jarak~ke~tepi~plat$$

Dari ketiga ketentuan di atas lebar efektif balok komposit ditentukan nilai yang terkecil.

Perencanaan balok komposit didasarkan atas kondisi balok komposit, yang dibedakan menjadi dua berdasarkan letak garis netral.

1. Letak garis netral di dalam slab beton



Gbr. 2.4 Balok komposit dengan grs. netral di dalam slab beton

Profil baja menerima gaya tarik yang dihitung :

$$\text{Tarikan baja : } T = A_y \cdot \sigma_y \quad (2.7.26)$$

Slab beton yang menerima tekan dihitung :

$$\text{Tekanan beton : } C = 0.85 f_c' B \alpha \quad (2.7.27)$$

Keterangan :

A_y adalah luas penampang profil baja, cm^2

σ_y adalah tegangan leleh baja, kg/cm^2

b adalah lebar flens profil baja, cm

d adalah tinggi profi baja, cm

f_c' adalah kuat tekan beton, kg/cm^2

B adalah lebar efektif (B_{eff}), cm

α adalah garis gaya tekan efektif pada beton (*Centroid of the Effective Compressive Force*), cm

e adalah eksentrisitas / jarak antara T dengan C , cm

Kapasitas momen plastis balok dihitung dengan mengalikan tarikan baja dengan eksentrisitas atau tekanan beton dengan eksentrisitas. Jadi harga T dan C sama.

$$M_p = C \cdot e = T \cdot e$$

$$C = T$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot B \cdot a = A_s \cdot \sigma_y$$

sehingga ,

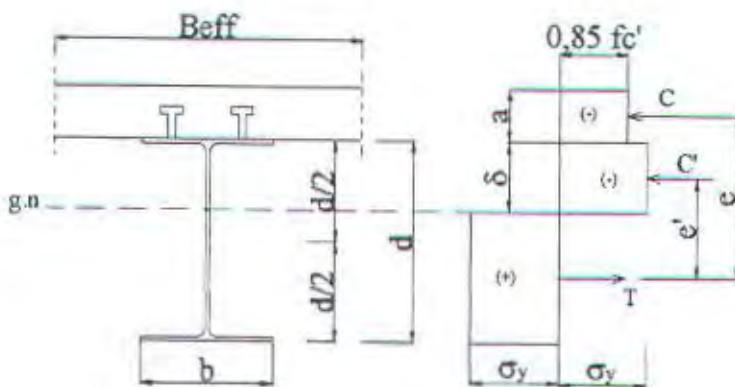
$$a = \frac{A_s \cdot \sigma_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot B} \quad (2.7.28)$$

maka dapat dihitung kapasitas momen plastis balok :

$$M_p = 0.85 \cdot f_c' \cdot B \cdot a \cdot (t + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}a) \quad (2.7.29)$$

$$M_p = A_s \cdot \sigma_y \cdot (t + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}a) \quad (2.7.30)$$

2. Letak garis netral di profil baja



Gbr. 2.5. Kondisi grs. netral di profil baja

Pada kondisi ini profil baja terlalu kuat, sehingga ada bagian dari profil baja yang ikut menerima tekan atau dengan kata lain nilai a lebih kecil daripada tebal slab beton. Tekanan yang diberikan profil baja dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Tekanan profil baja : } C' = \frac{A_s \cdot \sigma_y - C}{2} \quad (2.7.31)$$

Kapasitas momen plastis balok komposit dengan kondisi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M_p = C \cdot e + C' \cdot e' \quad (2.7.32)$$

Keterangan :

C' adalah tekanan beton sesuai dengan rumus 2.7.27, dimana harga a diganti dengan harga t (tebal slab beton)

- e adalah jarak antara pusat tarikan baja dengan pusat tekanan beton
 - C' adalah tekanan profil baja sesuai dengan rumus 2.7.31
 - e' adalah jarak antara pusat tekanan profil baja dengan pusat tarikan profil baja
- Harga e' ini dapat dicari dengan cara statis momen pada luasan profil baja yang menerima tekanan.

Untuk menjamin bahwa profil baja dapat bekerja sama dengan slab beton sesuai dengan yang diharapkan (tidak terjadi slip), maka dipasang penghubung geser (*shear connector*) di sepanjang balok. Perencanaan penghubung geser ini perlu dibedakan antara yang dipasang di daerah momen positif dengan yang dipasang di daerah momen negatif. Penghubung geser pada perencanaan yang menggunakan metode LRFD, penghubung geser dan balok bersama-sama memikul beban yang sama, dan bekerja pada saat setelah menjadi komposit, kecuali pada sistem yang menggunakan perancah (*proped*).

1. Pada daerah momen positif

Gaya geser yang diterima oleh penghubung geser dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_h = \frac{C_{\max}}{2} = \frac{0,85 \cdot f_v' \cdot A_c}{2} \quad (2.7.33.a)$$

$$V_h = \frac{T_{\max}}{2} = \frac{A_s \cdot \sigma_s}{2} \quad (2.7.33.b)$$

Pada perumusan di atas diambil harga terkecil antara rumus 2.7.33.a dengan 2.7.33.b. Sedangkan jumlah penghubung geser yang dipasang antara daerah $M=0$ sampai dengan $M=M_p$, adalah

$$N = \frac{V_h \text{ terkecil}}{q} \quad (2.7.34)$$

Keterangan :

V_h adalah gaya geser horizontal yang harus dipikul pada daerah $M=0$ sampai dengan $M=M_p$

N adalah jumlah penghubung geser pada daerah $M=0$ sampai dengan $M=M_p$

q adalah kekuatan satu penghubung geser yang dihitung dengan membagi dua kekuatan ultimate penghubung geser (q_u).

2. Pada daerah momen negatif

Balok pada daerah ini dianggap tidak komposit, karena beton tidak dapat memikul tarik. Oleh karena itu tulangan beton (A_{sr})lah yang memikul tarik, sehingga gaya geser horizontal pada penghubung geser dihitung sebagai :

$$T = A_{sr} \cdot \sigma_{yr}$$

dan gaya geser horizontal yang diterima penghubung geser adalah :

$$V_h = \frac{T_{pelatbeton}}{2} = \frac{A_{sr} \cdot \sigma_{yr}}{2} \quad (2.7.35)$$

Keterangan :

A_{sr} adalah luasan tulangan pelat beton sepanjang B_{eff}

σ_{yr} adalah tegangan leleh tulangan pelat beton

Jumlah penghubung geser yang dipasang pada daerah $M = 0$ sampai dengan $M = M_p$ adalah

$$N = \frac{V_h}{q}$$

Kekuatan ultimate (q_u) penghubung geser tipe stud dapat dihitung dengan :

$$q_{ult} = 0.0004 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \quad (2.7.36)$$

Keterangan :

d_s adalah diameter stud, mm

f_c' adalah tegangan leleh stud, MPa

E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa

dapat dihitung dengan = $W^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f_c'}$

W adalah berat satuan beton, kg/m³

Sedangkan kekuatan ultimate penghubung geser tipe kanal :

$$q_{ult} = 550 \cdot (h + 0.5t) \cdot W \cdot \sqrt{f_c'} \quad (2.7.37)$$

Keterangan :

q_{ult} adalah kekuatan ultimate penghubung geser, kN

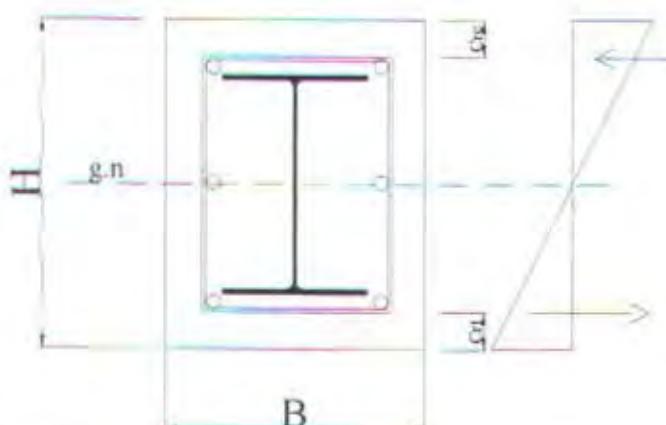
h adalah tinggi penghubung geser kanal, inch

t adalah tebal badan penghubung geser, inch

W adalah lebar penghubung geser, inch

f_c' adalah kuat tekan beton, psi.

2.7.4. Perencanaan Kolom Komposit



Gbr. 2.6. Kolom komposit, Profil WF dibungkus beton

Pada perencanaan kolom komposit, perlu diperhatikan bahwa luas penampang profil baja minimal sebesar 4 % dari luas penampang komposit total. Pada kolom komposit ini harus diberi tulangan baja baik yang dipasang longitudinal maupun lateral. Untuk tulangan baja longitudinal harus menerus pada lantai struktur portal. Pemasangan tulangan ini memiliki persyaratan sebagai berikut :

- *Tulangan lateral* : 1. Jarak antara tidak boleh melebihi $2/3$ dari dimensi terkecil penampang kolom komposit.
2. Luas minimum penampang tidak boleh kurang dari $0,18 \text{ mm}^2$ untuk setiap mm jarak antar tulangan terpasang.
- *Tulangan longitudinal* : 1. Luas minimum penampang tidak boleh kurang dari $0,18 \text{ mm}^2$ untuk setiap mm jarak antar tulangan terpasang.

Mutu beton yang digunakan dalam kolom komposit harus tidak boleh melebihi 55 MPa dan tidak boleh kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan. Sedangkan tulangan baja yang digunakan tegangan lelehnya tidak boleh melebihi dari 380 MPa.

Kolom komposit ini terdiri dari dua macam, yaitu profil baja yang dibungkus beton dan dinding atau pipa baja berongga yang diisi beton. Tebal minimum dinding atau pipa baja yang diisi beton adalah:

- Tebal minimum untuk setiap sisi selebar b pada penampang persegi = $b \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3E}}$

- Sedangkan untuk penampang bulat dengan diameter luar D = $D \cdot \sqrt{\frac{f_y}{8E}}$

Kuat rencana aksial ($\phi_c N_n$) kolom komposit dapat dirumuskan sebagai berikut dengan $\phi_c = 0.85$:

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} \quad (2.7.38)$$

dan $f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega}$

untuk $\lambda_c \leq 0.25$ maka $\omega = 1$

untuk $0.25 < \lambda_c < 1.2$ maka $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c}$

untuk $\lambda_c \geq 1.2$ maka $\omega = 1.25 \lambda_c^2$

dengan,

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r_m} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}}$$

$$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_i} \right) + c_2 f_c \left(\frac{A_c}{A_i} \right)$$

$$E_m = E + c_3 E_c \left(\frac{A_c}{A_i} \right)$$

$$E_c = W^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f_c'}$$

Keterangan :

A_c adalah luas penampang beton, mm^2

A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal, mm^2

A_s adalah luas penampang profil baja, mm^2

E adalah modulus elastisitas baja, MPa

E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa

E_m adalah modulus elastisitas untuk perhitungan kolom komposit, MPa

f_{cr} adalah tegangan tekan kritis, MPa

f_{my} adalah tegangan leleh untuk perhitungan kolom komposit, MPa

- f_{yr} adalah tegangan leleh tulangan baja, MPa
 f_y adalah tegangan leleh profil baja, MPa
 f_c' adalah kuat tekan beton, MPa
 L_k adalah panjang tekuk kolom, mm
 r_m adalah jari-jari girasi kolom komposit, biasanya diambil 0.3 lebar kolom komposit, mm
 ρ adalah berat jenis beton, kg/m³
 λ_c adalah angka kelangsungan kolom
 ω adalah faktor tekuk
 ϕ_c adalah faktor reduksi = 0.85

Pada persamaan di atas, c_1 , c_2 dan c_3 adalah koefisien yang besarnya :

- Untuk pipa baja yang diisi beton :
 $c_1 = 1.0$; $c_2 = 0.85$ dan $c_3 = 0.4$
- Untuk profil baja yang diberi selubung beton :
 $c_1 = 0.7$; $c_2 = 0.6$ dan $c_3 = 0.2$

Pada kolom komposit yang juga menerima momen selain gaya aksial, maka kapasitas momen nominalnya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$1. \text{ Kondisi } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.3$$

Pada kondisi ini harga momen nominalnya :

$$M_{nc} = f_y Z + \frac{1}{3} (h_2 - 2C_r) A_r f_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_w f_y}{1.7 f_c' h} \right) A_w f_y \quad (2.7.39)$$

$$C_r = \frac{C_w + C_n}{2}$$

$$\phi M_n = 0.85 \cdot M_{nc} \quad (2.7.40)$$

Keterangan :

- M_{nc} adalah kapasitas momen kolom
 M_n adalah kapasitas momen nominal kolom
 f_{vr} adalah tegangan leleh tulangan baja
 f_y adalah tegangan leleh profil baja
 f_c' adalah kuat tekan beton

- Z adalah modulus plastis penampang sesuai rumus 2.7.20
- A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal
- A_w adalah luas penampang badan profil
- h_2 adalah sisi panjang penampang kolom komposit
- h adalah sisi pendek penampang kolom komposit

2. Kondisi $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.3$

Pada kondisi ini harga kapasitas momennya dihitung dengan menginterpolasi nilai M_{nc} yang didapat pada rumus 2.7.40 dengan nilai ϕM_{nb} . Nilai M_{nb} ini adalah kapasitas momen kolom komposit pada kondisi tidak ada gaya aksial yang bekerja, jadi seperti layaknya balok.

$$\phi M_{nb} = 0.9 \cdot Z \cdot f_y \quad (2.7.41)$$

Setelah diketahui kapasitas momen kolom yang menerima momen-gaya aksial, maka pada tahap selanjutnya adalah menginteraksinya dengan rumus sebagai berikut :

1. Untuk $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2$

Pada kondisi ini, maka kolom harus memenuhi :

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{nx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ny}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (2.7.42)$$

2. Untuk $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2$

$$\frac{P_u}{2 \phi_c P_n} + \left(\frac{M_{nx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ny}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (2.7.43)$$

Keterangan :

- M_{nx} adalah kapasitas momen nominal terhadap sumbu-x
- M_{ny} adalah kapasitas momen nominal terhadap sumbu-y
- M_{nx} adalah momen perlu terhadap sumbu-x
- M_{ny} adalah momen perlu terhadap sumbu-y
- P_u adalah kuat aksial perlu
- P_n adalah kuat aksial nominal

2.7.5. Perencanaan Sambungan

2.7.5.1. Sambungan Baut

Sambungan baut merupakan sambungan antar elemen struktur yang termudah dan paling ekonomis. Pada sambungan baut diharapkan mampu menyalurkan gaya yang antar elemen struktur yang disambung, sehingga sering dipakai baut dengan baja yang lebih tinggi daripada batang yang disambung. Pada sambungan baut ada dua tipe sambungan, yaitu *sambungan tipe tumpu* dan *sambungan tipe friksi*.

Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambung.

Sambungan tipe friksi adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum baut yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak.

Kekuatan baut ditentukan berdasarkan jenis gaya yang bekerja pada sambungan tersebut. Kekuatan baut dapat dihitung sebagai berikut :

1. Kekuatan baut dalam geser

Kekuatan geser rencana dari satu baut ditentukan sebagai :

$$V_d = \phi_f V_u = \phi_f r_I f_u^b A_b \quad (2.7.44)$$

Keterangan :

f_u^b adalah tegangan tarik putus baut

A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

$r_I = 0.5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_I = 0.4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$\phi_f = 0.75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

Kuat geser baut tergantung juga pada jumlah bidang geser baut. Apabila pada sambungan terdapat dua bidang geser, maka perumusan di atas dikalikan dua.

2. *Kekuatan tarik baut*

Kuat tarik rencana satu baut dapat dihitung sebagai berikut :

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0.75 f_u^b A_b \quad (2.7.45)$$

Keterangan :

f_u^b adalah tegangan tarik putus baut

A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

$\phi_f = 0.75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

3. *Kekuatan tumpu baut*

Kuat tumpu rencana tergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Kuat tumpu rencana baut yang dipasang dengan jarak 1.5 kali diameter lubang dari tepi terdekat pelat dalam arah gaya, dan berjarak antar baut 3 kali diameter lubang, dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_d = \phi_f R_n = 2.4 \phi_f d_b t_p f_u \quad (2.7.46)$$

Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya dihitung dengan :

$$R_d = \phi_f R_n = 2.0 \phi_f d_b t_p f_u \quad (2.7.47)$$

Keterangan :

f_u adalah tegangan tarik putus terendah dari baut atau pelat

d_b adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p adalah tebal pelat

$\phi_f = 0.75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

4. *Kekuatan baut tipe tumpu yang menerima kombinasi tarik dan geser*

Baut yang menerima gaya geser berfaktor, V_u dan gaya tarik berfaktor, T_u secara bersamaan harus memenuhi kedua persyaratan berikut :

$$f_{uv} = \frac{V_u}{nA_b} \leq r_1 \phi_f f_u^b m \quad (2.7.48)$$

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f f_1 A_b \geq \frac{T_u}{n} \quad (2.7.49)$$

$$f_1 \leq f_1 - r_2 f_{uv} \leq f_2$$

Keterangan :

n adalah jumlah baut

m adalah jumlah bidang geser

$\phi_f = 0.75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

Untuk baut mutu normal :

$$f_1 = 410 \text{ MPa}, f_2 = 410 \text{ MPa}$$

$$r_2 = 1.9$$

2.7.5.2. Sambungan Las

Sambungan las ini terbagi dalam las tumpul, las sudut dan las pengisi atau tersusun. Disyaratkan pada sambungan las bahwa mutu las paling tidak sama dengan mutu bahan yang disambung, sehingga diharapkan kegagalan pada sambungan tidak terjadi.

1. Las tumpul

Las tumpul terdiri dari *las tumpul penetrasi penuh* dan *las tumpul penetrasi sebagian*. Pada *las tumpul penetrasi penuh* terdapat penyatuhan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan. Sedangkan pada *las tumpul penetrasi sebagian* kedalaman penetrasi lebih kecil daripada kedalaman penuh sambungan. Ukuran las tipe las tumpul ini diukur dari permukaan luar las dengan kedalaman penetrasinya yang terkecil.

Tebal rencana las ditentukan sebagai berikut :

a. Pada las tumpul penetrasi penuh

Tebal rencana las adalah ditetapkan sebagai ukuran las.

b. Pada las tumpul penetrasi sebagian

Ditentukan sebagai berikut :

- Sudut antara bagian yang disambung $\leq 60^\circ$

Satu sisi : $t_1 = (d - 3) \text{ mm}$

Dua sisi : $t_2 = (d_3 + d_4 - 6) \text{ mm}$

- Sudut antara bagian yang disambung $> 60^\circ$

Satu sisi : $t_1 = d \text{ mm}$

Dua sisi : $t_2 = (d_3 + d_4) \text{ mm}$

Dengan d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las (d_3 dan d_4 adalah nilai untuk tiap sisi las).

Kekuatan pada las tumpul penetrasi penuh ditetapkan sebagai berikut :

- Bila sambungan dibebani oleh gaya aksial (tekan atau tarik)

$$\phi_y R_{nw} = 0.9 t_f f_y \text{ (bahan dasar)} \quad (2.7.50.a)$$

$$\phi_y R_{nw} = 0.9 t_f f_{yw} \text{ (las)} \quad (2.7.50.b)$$

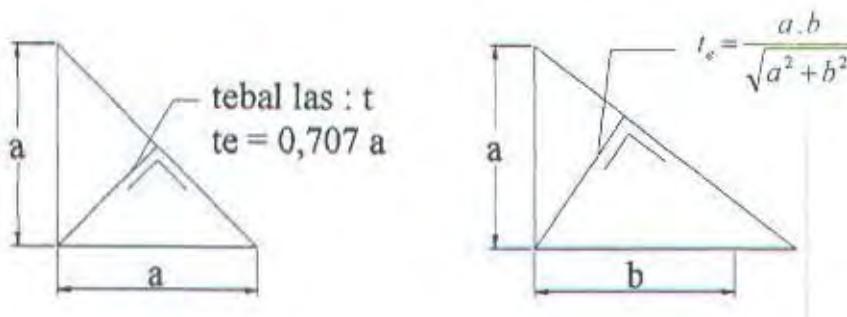
- Bila sambungan dibebani dengan gaya geser

$$\phi_y R_{ng} = 0.9 t_f (0.6 f_y) \text{ (bahan dasar)} \quad (2.7.51.a)$$

$$\phi_y R_{ng} = 0.8 t_f (0.6 f_{uw}) \text{ (las)} \quad (2.7.51.b)$$

2. Las sudut

Pada sambungan las sudut biasanya dibuat dengan panjang kaki (a) yang sama. Tebal efektif (t_e) atau tebal rencana las sudut adalah jarak terpendek dari sudut sambungan ke permukaan las.



Gbr. 2.7. Kaki-kaki dan tebal efektif las sudut

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut yang berukuran penuh. Pada saat pengelasan, pengelas membentuk las dengan dimensi penuh dan merata sejak awal pengelasan, tetapi pada ujungnya terdapat bentuk peruncingan. Oleh karena itu disyaratkan panjang las sudut tidak boleh kurang empat kali kaki las, jika hal ini tidak terpenuhi, ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0,25 kali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga pada sambungan pelat yang bertumpuk (lap). Maka dapat ditentukan bahwa luas las (A) adalah panjang efektif las dikalikan dengan tebal efektif las.

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung adalah :

- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen

- b. Sedang untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen kecuali jika dirancang agar memperoleh tebal rencana las.

Untuk ukuran minimum las sudut dapat dilihat pada tabel 13.5-1 *TCPSBU/G*.

Kekuatan nominal sambungan las sudut per satuan panjang dihitung berdasarkan kekuatan terkecil dari kekuatan las dengan kekuatan bahan logam dasar yang disambung.

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

dengan,

$$\phi f R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 f_{uw}) \text{ (untuk las)} \quad (2.7.52.a)$$

$$\phi f R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 f_u) \text{ (untuk bahan dasar)} \quad (2.7.52.b)$$

Keterangan

f_{uw} adalah tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u adalah tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

t_e adalah tebal efektif las, mm

ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0.75

3. Las pengisi

Las pengisi yang berupa las sudut di sekeliling lubang bulat atau selot, dianggap sebagai las sudut dengan kuat nominal yang dihitung berdasarkan rumus 2.7.52. dan mempunyai batasan ukuran yang juga sama dengan las sudut.

Untuk las pengisi dalam bentuk terisi dengan metal las mempunyai luas geser efektif (A_w) yang harus dianggap sama dengan luas penampang melintang nominal lubang bulat atau selot dalam bidang permukaan komponen tersambung. Las pengisi tipe ini memikul gaya geser berfaktor yang harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

dengan

$$\phi f R_{nw} = 0.75 (0.6 f_{uw}) A_w \quad (2.7.53)$$

Keterangan

f_{uw} adalah tegangan tarik putus logam las, MPa

ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0.75

2.8. Perencanaan Elemen Struktur Beton

2.8.1. Perencanaan Pelat Lantai Beton

Lantai beton direncanakan sesuai dengan anggapan perencana terhadap tumpuan dari sisi-sisinya, apakah jepit penuh atau elastis. Pada pelaksanaan di lapangan nanti terdapat perbedaan pemasangan tulangannya pada daerah tumpuan untuk masing-masing anggapan.

Terlebih dahulu dalam perencanaan pelat lantai ini adalah menentukan beban-beban yang bekerja di atasnya, yaitu beban mati dan beban hidup. Beban mati mencakup berat sendiri plat beton, berat spesi, berat ubin dan lain-lain. Sedangkan beban hidup ditentukan dalam *Peraturan Pembangunan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1983* yang tergantung dari fungsi bangunan. Dari beban-beban yang telah dihitung dikombinasikan dengan :

$$1.2 D + 1.6 L = q_u$$

Dari q_u yang didapat dihitung momen ultimate yang bekerja dengan melihat tabel perhitungan momen plat pada *Peraturan Beton Indonesia* yang selanjutnya dibagi oleh faktor reduksi (ϕ) sebesar 0.8 untuk mendapatkan momen perlu (momen nominal). Untuk dapat perencanaan selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} \quad (2.8.1)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} \quad (2.8.2)$$

sehingga,

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (2.8.3)$$

Keterangan :

- M_n adalah momen nominal, Nmm
- b adalah lebar, yang untuk plat diambil per 1 m, yaitu 1000 mm
- d adalah tinggi efektif plat, mm
- R_n adalah *coefficient of resistance*
- f_y adalah tegangan leleh tulangan baja, MPa
- f'_c adalah kuat tekan beton, MPa

ρ adalah prosentase luas perlu tulangan baja terhadap luas efektif ($b \cdot d$)

Setelah didapat penulangan perlu dari rumus di atas perlu dikontrol apakah masih berada di dalam daerah yang dijinkan, yaitu dengan :

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b \quad (2.8.4)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.8.5)$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (2.8.6)$$

Disyaratkan ρ_{perlu} :

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

dimana :

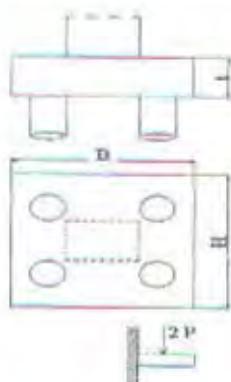
$$\beta = 0.85, \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0.85 - 0.008 (f'_c - 30) \geq 0.65, \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ MPa}$$

Dari ρ yang diperoleh dapat dihitung luas tulangan perlu untuk tiap meter panjang dari pelat lantai, sehingga untuk selanjutnya bisa dihitung pula jarak antar as tulangan.

2.8.2. Perencanaan Poer

Pada dasarnya perencanaan poer ini sama dengan perencanaan balok kantilever yang terjepit salah satunya. Pada poer ujung yang terjepit adalah lokasi dimana terletak kolom dan pada ujung satunya terdapat beban dari daya dukung tanah atau tiang pancang. Idealisasinya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gbr. 2.8. Anggapan perhitungan poer

Perhitungan tulangan lentur sama halnya dengan perhitungan tulangan lentur pada plat di atas. Perumusan yang dipakai sama dengan perumusan 2.8.1. sampai dengan 2.8.3 yang dibatasi oleh ρ_{min} dan ρ_{max} .

Perhitungan selanjutnya adalah memeriksa kekuatan geser poer terhadap beban yang bekerja, jika diperlukan maka dipasang tulangan geser. Kondisi geser ini ada dua kemungkinan, yaitu :

1. *Kondisi geser satu arah :*

Pada kondisi ini retak akibat geser kemungkinan terjadi memanjang pada salah satu sisi dari tepi kolom, sehingga pada perhitungan bidang geser adalah tinggi efektif poer dikalikan dengan lebar poer.



Gbr. 2.9. Kondisi geser satu arah

Kekuatan geser beton dan kekuatan geser baja perlu dihitung sebagai berikut :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d \quad (2.8.7)$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.8.8)$$

Maka dapat dihitung jarak tulangan yang perlu :

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (2.8.9)$$

Keterangan :

V_c adalah kekuatan geser beton, MPa

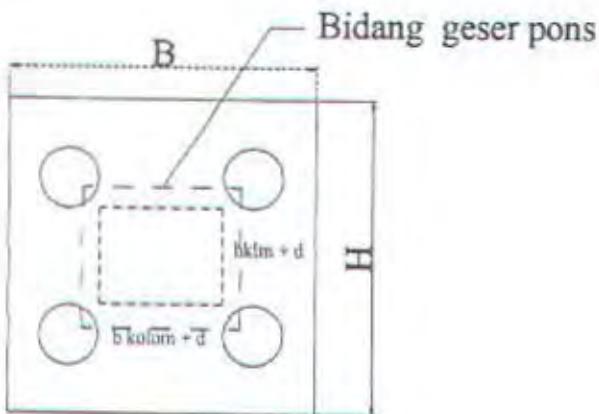
V_s adalah kekuatan geser tulangan, MPa

ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0.6

A_v adalah luas tulangan geser dalam satu potongan penampang, mm^2

2. Kondisi geser pons

Pada kondisi ini bidang geser terjadi di sekeliling pangkal kolom dengan panjang sisi-sisinya adalah sepanjang sisi-sisi pangkal kolom ditambah dengan tebal efektif poer.



Gbr. 2.10. Kondisi geser pons

Perhitungan kuat geser beton untuk kondisi ini diambil yang terkecil dari perumusan berikut :

$$V_c = 4\sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.8.10)$$

$$V_c = \left[2 + \frac{4}{\beta_c} \right] \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.8.11)$$

$$V_c = \left[\frac{\alpha_i d}{b_o} \right] \frac{1}{12} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.8.12)$$

Keterangan :

b_o adalah lebar dasar kolom ditambah $d_{efektif}$ poer

β_c adalah rasio sisi panjang dan pendek kolom

Kemudian harga V_c yang telah dipilih dibandingkan dengan V_u (akibat daya dukung tiang). Apabila ternyata V_c lebih besar daripada V_u yang telah dibagi faktor reduksi (ϕ), maka poer tidak perlu dipasang tulangan geser pons. Apabila perlu dipasang tulangan geser pons, maka perhitungannya dapat dipakai rumus 2.8.8 dan 2.8.9.

2.8.3. Perencanaan Sloof

Sloof berfungsi sebagai pengaku agar penurunan pondasi terjadi secara bersamaan, sehingga tidak terjadi keretakan pada balok dan dinding. Pada perencanaan sloof beban aksial pada kolom ikut diperhitungkan sebagai beban aksial yang ikut bekerja pada sloof, namun cukup diambil 10 % nya saja.

Selain beban aksial akibat kolom yang menjepitnya, beban lainnya yang ikut diperhitungkan adalah berat sendiri, beban dinding yang berada di atasnya dan beban tanah yang tertimbun di atasnya apabila ada. Analisanya dapat dianggap sebagai balok pada dua tumpuan sederhana.

Penulangan lentur perlu didapat dari diagram interaksi antara :

$$\frac{P_u}{\phi A_g} \text{ dan}$$

$$\frac{M_u}{\phi A_g h}$$

Keterangan :

P_u adalah gaya aksial sloof didapat dari 10 % $P_{u \text{ kolom}}$ (diambil yang terbesar antara dua kolom yang menjepit), N

M_u adalah momen ultimate berfaktor, Nmm

ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0.8

A_g adalah luas penampang sloof, mm^2

h adalah tinggi penampang sloof, mm

Penulangan geser didapat dari rumus :

$$V_c = 2 \left[1 + \frac{P_u}{14 A_g} \right] \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d \quad (2.8.13)$$

Untuk menghitung gaya geser yang akan dibebankan pada tulangan baja dapat dipakai rumus 2.8.8 dan jarak pasang tulangan geser dapat dipakai rumus 2.8.9. Apabila ternyata $V_u / \phi < V_c$ maka dipasang tulangan geser minimum dengan jarak $d/4$ untuk daerah tumpuan dan $d/2$ untuk daerah lapangan, dimana d adalah tinggi efektif sloof.

2.9. Perencanaan Pondasi

Dalam tugas akhir ini direncanakan menggunakan pondasi dalam, yaitu pondasi tiang pancang. Pondasi tiang pancang digunakan karena lapisan tanah yang dapat mendukung beban dari struktur atas berada dalam di bawah permukaan tanah.

Berdasarkan faktor pendukungnya, tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Tiang pancang yang bertahan di ujungnya (*point bearing pile*)
2. Tiang yang bertahan oleh karena pelekatan antara tiang dengan tanah (*friction pile*).
3. Tiang yang bertahan pada ujung dan pelekatan antara tiang dengan tanah.

Daya dukung tiang pancang dipengaruhi oleh ukuran penampang dan kedalaman / panjang tiang pancang. Penentuan daya dukung berdasarkan hasil tes sondir yang dilakukan pada lokasi akan didirikan bangunan. Tes sondir ini ada dua macam yaitu tes sondir ringan (2.5 ton) hanya mampu untuk daya dukung tanah sampai 250 kg/m^2 dan tes sondir berat (10 ton) yang biasanya digunakan untuk bangunan dengan beban yang sangat besar. Daya dukung tiang pancang yang ditentukan berdasarkan tes sondir dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\bar{P} = \frac{A \cdot C_n}{n_1} + \frac{K \cdot JHP}{n_2} \quad (2.9.1)$$

Keterangan :

- A adalah luas penampang ujung tiang pancang, cm^2
- K adalah keliling tiang pancang, cm
- C_n adalah nilai *conus* (daya dukung tanah), kg/cm^2
- JHP adalah jumlah hambatan pelekatan, kg/cm
- n_1 adalah angka keamanan sebesar 3
- n_2 adalah angka keamanan sebesar 5

Daya dukung yang dihasilkan dari perhitungan di atas dibandingkan dengan kekuatan bahan tiang pancang yang dihitung sebagai berikut :

$$P_{\text{bahan}} = A \cdot \frac{f_c}{3} \cdot 0.67 \quad (2.9.2)$$

Untuk perencanaan, diambil nilai terkecil antara hasil perhitungan rumus 2.9.1 dengan rumus 2.9.2.

Apabila dibutuhkan jumlah tiang pancang lebih daripada satu, maka untuk perencanaan perlu diperhatikan penempatan masing-masing tiang pancang. Apabila tiang pancang ditempatkan dengan jarak antar tiang $< 1.75 \times \text{diameter}$, untuk tiang segiempat atau bulat, dan $< 60 \text{ cm}$ untuk tiang pancang pipa, maka tiang daya dukung tiang dihitung sebagai tiang pancang group. Sedangkan untuk tanah batuan, jarak antar tiang yang $< 2 \times \text{diameter}$ untuk tiang bulat dan persegi, dan $< 60 \text{ cm}$ untuk tiang pipa, dikategorikan sebagai tiang pancang group.

Daya dukung tiang pancang group dihitung sebagai berikut :

$$\bar{P} = \bar{P}_i \cdot n \cdot E_s \quad (2.9.3)$$

$$E_s = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (2.9.4)$$

Keterangan :

- \bar{P} adalah daya dukung tiang pancang group
- \bar{P}_i adalah daya dukung tiang satu pancang sesuai rumus 2.9.1
- n adalah jumlah tiang pancang dalam satu group
- E_s adalah efisiensi
- θ adalah $\text{arc tg } d/s$
- d adalah diameter tiang pancang
- s adalah jarak antar tiang
- m adalah jumlah tiang tiap baris
- m adalah jumlah baris dalam satu group

2.10. Data Perencanaan

Dalam tugas akhir ini struktur yang direncanakan adalah gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya yang pada mulanya direncanakan dengan struktur beton bertulang. Denah struktur semula kemudian dimodifikasi disesuaikan dengan perencanaan menggunakan struktur komposit.

Data secara umum setelah dimodifikasi sebagai berikut :

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| 1. Panjang | = 35.00 m |
| 2. Lebar | = 33.00 m |
| 3. Tinggi total | = +23.92 m dari permukaan jalan |
| 4. Jumlah lantai | = 4 lantai plus 1 basement |

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 5. Elevasi lantai dasar | = +1.80 m dari permukaan jalan |
| 6. Elevasi lantai 1 | = +5.45 m dari permukaan jalan |
| 7. Elevasi lantai 2 | = +9.10 m dari permukaan jalan |
| 8. Elevasi lantai 3 | = +12.75 m dari permukaan jalan |
| 9. Elevasi permukaan lantai basement | = - 1.20 m dari permukaan jalan |
| 10. Dinding | = Batu bata merah |
| 11. Jarak antar kolom arah panjang | = 5.00 m dan 7.50 m |
| 12. Jarak antar kolom arah lebar | = 4.00 m, 5.00 m dan 10.00 m |
| 13. Penutup atap | = Genteng dengan kuda-kuda profil baja |

Data-data yang disebut di atas secara lengkap terangkum dalam lampiran gambar.

BAB III

DESAIN STRUKTUR PENDUKUNG

BAB III

DESAIN STRUKTUR PENDUKUNG

3.1. Desain Struktur Atap

3.1.1. Desain Gording

Struktur atap yang dua diantaranya yaitu kuda-kuda dan gording direncanakan konstruksi baja, sedangkan penutup atap adalah genteng. Perencanaan struktur atap didahului dengan merencanakan gording yang akan membebani kuda-kuda.

Dicoba gording dengan profil WF 100 x 50 x 5 x 7 dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} w = 9.3 \text{ kg/m}^3 & A = 11.85 \text{ cm}^2 \\ i_x = 3.98 \text{ cm} & i_y = 1.12 \text{ cm} \\ I_x = 187 \text{ cm}^4 & I_y = 14.8 \text{ cm}^4 \\ W_x = 37.5 \text{ cm}^3 & W_y = 5.91 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Gording terpanjang yang menentukan adalah 5.00 m dengan jarak antar gording 1.25m (gambar rencana atap).

Momen-momen yang bekerja pada gording adalah sebagai berikut :

I. Akibat beban mati (D), beban yang bekerja adalah :

$$\begin{aligned} - \text{Berat sendiri gording} &= 9.3 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{Berat penutup atap (genteng + usuk + reng)} &= 50 \text{ kg/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 62.5 \text{ kg/m}^3 \\ &\quad 71.8 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Berat pengikat (10\%)} &= 71.8 \times 10\% = 7.18 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Total beban mati } (q_d) &= 78.98 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga momen yang terjadi dengan panjang gording (L) = 5 m, adalah :

- Sumbu Y :

$$M_{yD} = \frac{1}{8} q_D L^2 \sin \alpha = \frac{1}{8} 78.98 5^2 \frac{3}{5} = 148.09 \text{ kgm}$$

- Sumbu X :

Pada sumbu X akibat dua pengantung gording sehingga L terbagi menjadi tiga lapangan :

$$M_{xD} = \frac{1}{8} q_D \left(\frac{L}{3}\right)^2 \cos \alpha = \frac{1}{8} 78.98 \left(\frac{5}{3}\right)^2 \frac{4}{5} = 21.94 \text{ kgm}$$

2. Akibat beban hidup (L), yang terdiri dari dua macam, yaitu :

a. Beban hidup terbagi rata (beban akibat air hujan) :

$$Q_L = 20 \text{ kg/m}^2, q_L = 20 \text{ kg/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 25 \text{ kg/m}^3,$$

dan kemiringan sudut sisi kuda-kuda adalah α , dimana

$$\sin \alpha = \frac{3}{5} \text{ dan } \cos \alpha = \frac{4}{5}, \text{ dengan } L = 5 \text{ m.}$$

Sehingga momen yang terjadi akibat beban ini adalah :

- $M_{yL} = \frac{1}{8} q_L L^2 \sin \alpha = \frac{1}{8} 25 5^2 \frac{3}{5} = 46.88 \text{ kgm}$

- $M_{xL} = \frac{1}{8} q_L \left(\frac{L}{3}\right)^2 \cos \alpha = \frac{1}{8} 25 \left(\frac{5}{3}\right)^2 \frac{4}{5} = 6.94 \text{ kgm}$

b. Beban hidup terpusat :

$P = 100 \text{ kg}$, sehingga momen yang terjadi :

- $M_{yL} = \frac{1}{4} P_L L \sin \alpha = \frac{1}{4} 100 5 \frac{3}{5} = 75 \text{ kgm}$

- $M_{xL} = \frac{1}{4} P_L \left(\frac{L}{3}\right) \cos \alpha = \frac{1}{4} 100 \left(\frac{5}{3}\right) \frac{4}{5} = 33.3 \text{ kgm}$

Pada kombinasi pembebanan momen yang terjadi pada poin a dan b di atas dipilih salah satu yang terbesar, yaitu dipilih momen yang terjadi pada poin b.

3. Akibat beban angin (W)

Pada perhitungan akibat beban angin, terlebih dahulu ditentukan koefisiennya sesuai dengan *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung* pasal 4.3, yaitu :

$$\text{Koefisien} = 0.02 \alpha - 0.4 = 0.02 \text{ arc tg } (3/4) - 0.4 = 0.34 \text{ (tekan)}$$

Beban yang bekerja akibat angin :

$$25 \text{ kg/m}^2 \times 0.34 \times 1.25 \text{ m} = 10.625 \text{ kg/m}$$

Sehingga :

$$M_{yw} = \frac{1}{8} q_w L^2 = \frac{1}{8} 10.625 5^2 = 33.2 \text{ kgm}$$

Setelah momen-momen yang bekerja diketahui, pada tahap selanjutnya ditentukan kombinasinya untuk mendapatkan *momen ultimate* (M_u). Dalam kasus ini, karena yang bekerja adalah beban mati, hidup dan angin, maka kombinasi beban dilakukan menurut rumus 2.5.3.

Kombinasi momen :

- $M_{ux} = 1.2 M_{xD} + 1.6 M_{xL} = 1.2 \cdot 21.94 + 1.6 \cdot 33.3 = 79.61 \text{ kgm}$
- $M_{uy} = 1.2 M_{yD} + 1.6 M_{yL} + 0.8 M_{yW}$
 $= 1.2 \cdot 148.09 + 1.6 \cdot 75 + 0.8 \cdot 33.2 = 324.27 \text{ kgm}$

Momen Ultimate adalah momen akibat beban yang harus dilawan oleh momen nominal penampang yang dihitung sesuai dengan perumusan dan tahap pada subbab 2.7.2 di atas. Pertama-tama adalah memeriksa penampang profil sebagai berikut :

Kontrol penampang profil :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \frac{b}{2t_f} = \frac{50}{2.7} = 3.58 \\ \quad \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97 \end{array} \right\} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p \quad \left. \begin{array}{l} \bullet \frac{h}{t_w} = \frac{100}{5} = 20 \\ \quad \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{Penampang Kompak } M_u = M_p$$

Kontrol lateral buckling :

Jarak penahan lateral = 100 cm (L_b)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.76 \cdot 1.12 \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^5}{240}} = 184.4 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$, jadi termasuk bentang pendek ($M_n = M_p$)

Maka momen nominal dapat ditentukan sebagai berikut :

- $M_{ny} = Z_x \cdot f_y = W_c \cdot f \cdot f_y = 37.5 \cdot 1.14 \cdot 2400 = 102600 \text{ kgcm}$
- $M_{nx} = Z_y \cdot f_y = W_y \cdot f \cdot f_y = 5.91 \cdot 1.14 \cdot 2400 = 16176 \text{ kgcm}$

Interaksi antara *momen nominal* dengan *momen ultimate* :

$$\frac{M_{nx}}{\phi M_{nu}} + \frac{M_{ny}}{\phi M_{nv}} \leq 1$$

$$\frac{7961}{0.9 \cdot 16176} + \frac{32427}{0.9 \cdot 102600} = 0.55 + 0.35 = 0.9 < 1$$

Interaksi yang dihasilkan lebih kecil daripada 1 sehingga persyaratan kekuatan dapat dipenuhi oleh profil terpilih, selanjutnya profil diperiksa kemampuannya pada syarat layan batas.

$$\text{Lendutan yang diijinkan} \cdot \tilde{f} = \frac{L}{360} = \frac{500}{360} = 1.39 \text{ cm}$$

$$\bullet \quad f_y = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_x}$$

P dan q diambil sebagai berikut :

$$P = P_L \cdot \sin \alpha = 100 \cdot 3/5 = 60 \text{ kg}$$

$$q = q_D \cdot \sin \alpha = 78.98 \cdot 3/5 = 47.38 \text{ kg/m}', \text{ sehingga}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_x} = \frac{5}{384} \frac{0.4738 \cdot 500^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 187} + \frac{1}{48} \frac{60 \cdot 500^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 187} = 0.984$$

$$\bullet \quad f_x = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_y} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_y}$$

P dan q diambil sebagai berikut :

$$P = P_L, \cos \alpha = 100, 4/5 = 80 \text{ kg}$$

$$q = q_D, \cos \alpha = 78.98, 4/5 = 63.184 \text{ kg/m}^2, \text{ sehingga}$$

$$f_x = \frac{5}{384} \frac{q \left(\frac{L}{3}\right)^4}{E I_x} + \frac{1}{48} \frac{P \left(\frac{L}{3}\right)^3}{E I_x} = \frac{5}{384} \frac{0.632 \left(\frac{500}{3}\right)^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 14.8} + \frac{1}{48} \frac{80 \left(\frac{500}{3}\right)^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 14.8} = 0.2025$$

- $f_{total} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0.984^2 + 0.2025^2} = 1 \text{ cm} < \tilde{f} = 1.39 \text{ cm}$

Profil yang dipilih dapat digunakan, karena telah memenuhi syarat kekuatan dan kemampuan layan (lendutan).

3.1.2 Desain Penggantung Gording

Penggantung gording digunakan agar lendutan gording tidak terlalu besar, karena lapangan gording dibagi menjadi tiga.

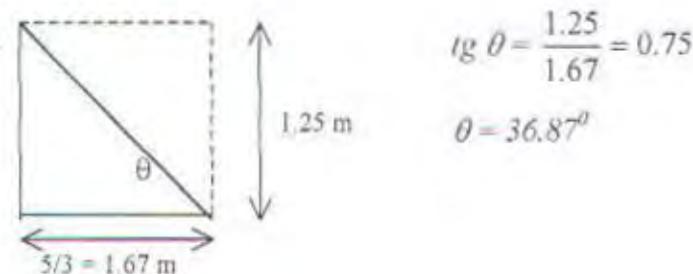
Pada struktur atap tugas akhir ini penggantung gording menerima beban dari gording-gording yang dipegangnya. Jumlah gording yang dipegang oleh setiap penggantun gording adalah enam (6) buah (gambar rencana atap).

Perhitungan beban :

- Beban mati : $q_{yD \text{ gording}} \cdot 6 = 78.98 \cdot 3/5 \cdot 6 = 284.328 \text{ kg}$

- Beban hidup merata : $q_{yL \text{ gording}} \cdot 6 = 20 \cdot 1,25 \cdot 3/5 \cdot 6 = 90 \text{ kg}$

Keseimbangan gaya :



Kombinasi beban :

$$R_{total} = 1.2 R_d + 1.6 R_L$$

$$R_{total} = 1.2 \cdot 284.328 + 1.6 \cdot 90 \\ = 485.19 \text{ kg}$$

Gaya tarik yang diterima penggantung gording (T) :

$$T = \frac{R_{total}}{\sin \theta} = \frac{485.19}{\sin 36.87^\circ} = 808.65 \text{ kg}$$

Dari gaya tarik yang dipikul, dapat dihitung luas penampang penampang gording yang diambil terbesar dari :

- Keadaan leleh :

$$P_u = \phi F_y A_g$$

$$A_{g \text{ perlu}} = \frac{P_u}{\phi F_y} = \frac{808.65}{0.9 2400} = 0.37 \text{ cm}^2$$

- Keadaan putus :

$$P_u = \phi 0.75 F_u A_g$$

$$A_{g \text{ perlu}} = \frac{P_u}{\phi 0.75 F_u} = \frac{808.65}{0.9 0.75 3700} = 0.32 \text{ cm}^2$$

Dari dua keadaan di atas diambil luas perlu pada saat leleh yaitu 0.37 cm^2 , maka diameter (d) penggantung gording perlu :

$$d = \sqrt{\frac{A_g 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.37 4}{3.14}} = 0.67 \text{ cm} \approx \text{pakai } d=8 \text{ mm}$$

Selanjutnya penggantung gording dikontrol kelangsingannya :

$$d > \frac{L}{500}$$

$$L = \frac{1.25}{\sin 36.87} = 2.08 \text{ m}$$

$$d = 0.8 \text{ cm} > \frac{208}{500} = 0.416 \text{ cm}$$

Jadi untuk penggantung gording dapat digunakan diameter 8 mm.

3.1.3. Desain Kuda-kuda

Kuda-kuda dianalisa dengan anggapan terletak pada tumpuan sendi dan rol, yang menerima beban-beban pada titik-titik gording.

Beban mati :

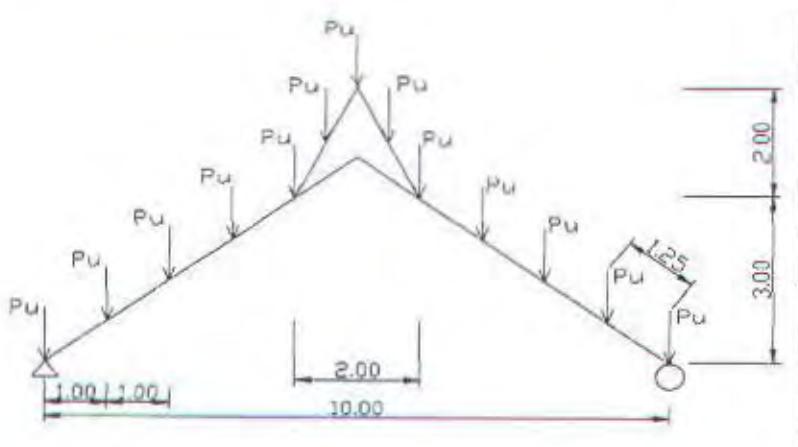
$$P_D = q_d \times L = 78.98 \times 5 = 394.9 \text{ kg}$$

Beban hidup :

$$P_L = q_L \times L = 20 \times 1.25 \times 5 = 125 \text{ kg}$$

Beban angin :

$$P_W = q_w \times L = 10.625 \times 5 = 53.125 \text{ kg (searah sumbu y profil kuda-kuda)}$$



Hasil analisa kuda-kuda sebagai berikut :

$$P_U = 2990.16 \text{ kg (tekan)}$$

$$M_{U1} = 13167.33 \text{ kgm}$$

$$L = 6.25 \text{ m}$$

Kuda-kuda memakai profil WF 200 x 200 x 10 x 16 dengan spesifikasi :

$$A = 83.69 \text{ cm}^2 \quad i_x = 8.83 \text{ cm}$$

$$I_x = 6530 \text{ cm}^4 \quad i_y = 5.13 \text{ cm}$$

$$I_y = 2200 \text{ cm}^4 \quad r = 13 \text{ mm}$$

Kelangsungan profil :

$$\lambda = \frac{L_x}{i_{min}} = \frac{625}{5.13} = 121.8$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{121.8}{3.14} \sqrt{\frac{240}{2.1 \cdot 10^5}} = 1.31 > 1.2 \text{ sehingga}$$

$$\omega = 1.25 \lambda_c^2 = 1.25 \cdot 1.31^2 = 2.145$$

Maka kuat tekan :

$$\phi P_n = \phi A_g \frac{f_y}{\omega} = 0.85 \cdot 83.69 \frac{2400}{2.145} = 79593.287 \text{ kg} > P_u = 2990.16 \text{ kg (OK)}$$

Profil mampu menerima gaya tekan yang bekerja, namun masih harus diperiksa akibat kombinasi gaya tekan dengan momen lentur :

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{2990.16}{79593.287} = 0.037 < 0.2, \text{ sehingga dipakai rumus interaksi 2.7.43}$$

Kontrol profil :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{b}{2t_f} = \frac{20}{2.16} = 6.25 \\ \quad \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97 \end{array} \right\} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p$$

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{h}{t_w} = \frac{20 - (2 \times (1.3 + 1.6))}{5} = 14.2 \\ \quad \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \left. \begin{array}{l} \text{Penampang Kompak } M_n = M_p \end{array} \right\}$$

Sehingga momen nominal dapat dihitung :

$$M_n = Z_x \cdot f_y = 628 \cdot 1.14 \cdot 2400 = 1718208 \text{ kgcm}$$

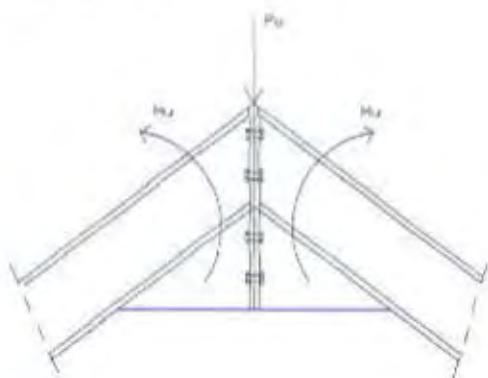
$$\begin{aligned} \frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_{nx}}{\phi_b M_{nx}} &= \frac{2990.16}{2 \cdot 79593.287} + \frac{1316733}{0.9 \cdot 1718208} \\ &= 0.0188 + 0.851 \\ &= 0.87 &< 1 \end{aligned}$$

Hasil interaksi lebih kecil daripada satu, sehingga profil yang dipilih dapat digunakan.

3.1.4. Perencanaan Sambungan

Sambungan profil penyusun kuda-kuda merupakan sambungan baut dengan bantuan plat yang dilas pada profil. Sambungan direncanakan sendiri-sendiri pada setiap simpul.

1. Sambungan joint 6



Hasil analisa :

$$P_u = 2 \times (V_u / \sin \alpha) = 2 \times (495.5 / (3/5)) = 11651.77 \text{ kg}$$

$$M_u = 8776.59 \text{ kgm}$$

Kuda-kuda memakai profil WF 200 x 200 x 10 x 16 dengan plat simpul tebal (t) = 12 mm, dan baut digunakan diameter (d) 16 mm dengan mutu BJ50.

Perencanaan las :



Las memakai elektrode mutu E70 dengan tebal efektif (t_e) awal direncanakan 1 cm.

Berdasarkan bentuk las dapat dihitung :

- $A_{\text{las}} = 2(25 + 20) + 2(25 + 20)$
 $= 90.4 + 90.4$
 $= 180.8 \text{ cm}^2$
- $S_n = 2.b.d + d^2/3 + 2bd$
 $= 2 \cdot 20 \cdot 25 + 25^2/3 + 2 \cdot 20 \cdot 1.6$
 $= 1282.97 \text{ cm}^3$

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser (P_u) dan momen (M_u) :

$$\bullet \quad f_{vp} = \frac{P_u}{A_{\text{las}}} = \frac{11651.77}{180.8} = 64.45 \text{ kg/cm}^2$$

- $f_{uw} = \frac{M_u}{S_x} = \frac{877659}{1282.97} = 684.1 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{total} = \sqrt{f_{vp}^2 + f_{hw}^2} = \sqrt{64.45^2 + 684.1^2} = 687.13 \text{ kg/cm}^2$

Kemampuan las mutu E70 ($f_{uw} = 70 \text{ ksi} = 4921 \text{ kg/cm}^2$) :

- $\phi f_u = \phi_f \cdot t_e \cdot (0.6 f_{uw})$
 $= 0.75 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 4921 = 2214.45 \text{ kg/cm}^2$

t_e perlu dapat dihitung sebagai berikut :

- $t_e \text{ perlu} = \frac{f_{total}}{\phi f_u} = \frac{687.13}{2214.45} = 0.31 \text{ cm}$
- $t_w = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.31}{0.707} = 0.44 \text{ cm}$

Karena $t_w < \text{tebal las minimum}$, sehingga pakai tebal las minimum $t_w = 0.5 \text{ cm}$

Periksa Kekuatan Baut

Direncanakan pasang 8 buah baut $d = 16 \text{ mm}$ BJ 50.

Kekuatan baut :

Kuat geser (ϕR_{ng}) : $\phi \times 0.5 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.5 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 3768 \text{ kg}$

Kuat tarik (ϕR_{nt}) : $\phi \times 0.75 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.75 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 5652 \text{ kg}$

Gaya geser akibat P_u :

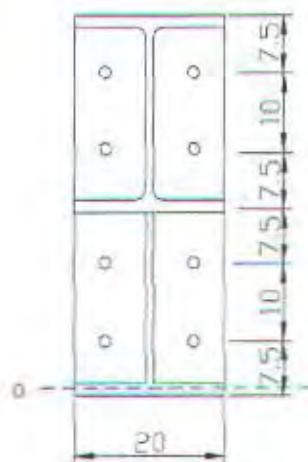
- $R_{ng} = \frac{P_u}{n} = \frac{11651.77}{8} = 1456.5 \text{ kg}$

Persamaan interaksi :

- $\left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} \right)^2 + \left(\frac{R_{ng}}{\phi R_{nt}} \right)^2 \leq 1$

$$\left(\frac{R_{ut}}{5652} \right)^2 + \left(\frac{1456.5}{3768} \right)^2 \leq 1$$

$$R_{ut} = 5212.67 \text{ kg}$$



Garis netral (a) dapat ditentukan sebagai berikut :

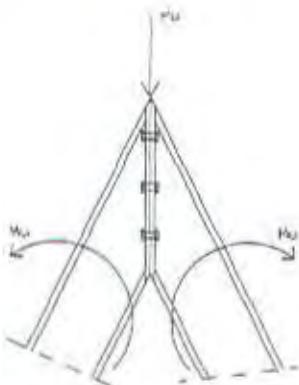
$$a = \frac{\sum T}{b f_y} = \frac{8 \cdot 5212.67}{20 \cdot 2400} = 0.87 \text{ cm}$$

Setelah a diketahui dapat dihitung momen nominal sambungan :

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot b f_y - T \cdot \Sigma d \\ &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot (0.87)^2 \cdot 20 \cdot 2400 + 5212.67 \cdot (2 \cdot (6.63+16.63+31.53+41.63) \\ &= 16349.04 + 1006253.82 \\ &= 1022602.86 \text{ kgcm} \quad > \quad M_u = 877659 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

Momen nominal sambungan lebih besar daripada momen yang terjadi, sehingga sambungan baut yang direncanakan dapat dipakai.

2. Sambungan joint 3



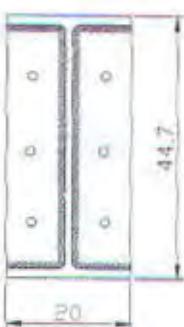
Hasil analisa :

$$P_u = 2 \times (V_u / \sin \alpha) = 2 \times (5083.58 / \left(\frac{2}{\sqrt{5}} \right)) = 11367.23 \text{ kg}$$

$$M_u = 1500 \text{ kgm}$$

Kuda-kuda memakai profil WF 200 x 200 x 10 x 16 dengan plat simpul tebal (t) = 12 mm, dan baut digunakan diameter (d) 16 mm dengan mutu BJ50.

Perencanaan las :



Las memakai elektrode mutu E70 dengan tebal efektif (t_e) awal direncanakan 1 cm.

Berdasarkan bentuk las dapat dihitung :

- $A_{las} = 2 (20 + 44.7) = 129.4 \text{ cm}^2$
- $S_x = b \cdot d + d^2/3$
 $= 20 \cdot 44.7 + 44.7^2/3 = 1560.03 \text{ cm}^3$

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser (P_u) dan momen (M_u) :

- $f_{vp} = \frac{P_u}{A_{lw}} = \frac{11367.23}{129.4} = 87.85 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{hm} = \frac{M_u}{S_x} = \frac{150000}{1560.03} = 96.15 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{total} = \sqrt{f_{vp}^2 + f_{hm}^2} = \sqrt{87.85^2 + 96.15^2} = 130.24 \text{ kg/cm}^2$

Kemampuan las mutu E70 ($f_{uw} = 70 \text{ ksi} = 4921 \text{ kg/cm}^2$) :

- $\phi f_u = \phi_f \cdot t_e \cdot (0.6 f_{uw})$
 $= 0.75 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 4921 = 2214.45 \text{ kg/cm}^2$

t_e perlu dapat dihitung sebagai berikut :

- $t_e \text{ perlu} = \frac{f_{total}}{\phi f_u} = \frac{130.24}{2214.45} = 0.06 \text{ cm}$
- $t_w = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.06}{0.707} = 0.08 \text{ cm}$

Karena $t_w <$ tebal las minimum, sehingga pakai tebal las minimum $t_w = 0.5 \text{ cm}$

Periksa Kekuatan Baut

Direncanakan pasang 6 buah baut $d = 16 \text{ mm BJ 50}$.

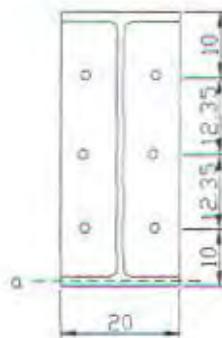
Kekuatan baut :

Kuat geser (ϕR_m) : $\phi \times 0.5 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.5 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 3768 \text{ kg}$

Kuat tarik (ϕR_n) : $\phi \times 0.75 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.75 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 5652 \text{ kg}$

Gaya geser akibat P_u :

- $R_w = \frac{P_u}{n} = \frac{1367.23}{6} = 1894.54 \text{ kg}$



Persamaan interaksi :

- $\left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} \right)^2 + \left(\frac{R_{uv}}{\phi R_{nv}} \right)^2 \leq 1$

$$\left(\frac{R_{ut}}{5652} \right)^2 + \left(\frac{1894.54}{3768} \right)^2 \leq 1$$

$$R_{ut} = 4885.61 \text{ kg}$$

Garis netral (a) dapat ditentukan sebagai berikut :

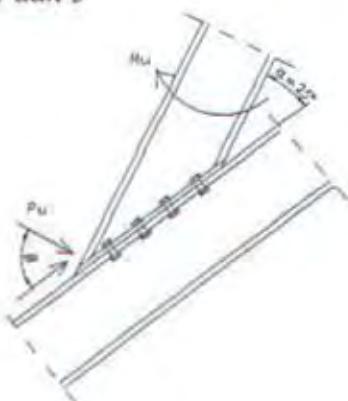
$$a = \frac{\sum T}{b f_y} = \frac{6 \cdot 4885.61}{20 \cdot 2400} = 0.61 \text{ cm}$$

Setelah a diketahui dapat dihitung momen nominal sambungan :

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot b f_y + T \cdot \Sigma d \\ &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot (0.61)^2 \cdot 20 \cdot 2400 + 4885.61 \cdot (2 \cdot (9.39 + 21.74 + 34.09)) \\ &= 8037.36 + 637278.97 \\ &= 645316.33 \text{ kgcm} > M_u = 150000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Momen nominal sambungan lebih besar daripada momen yang terjadi, sehingga sambungan baut yang direncanakan dapat dipakai.

3. Sambungan joint 4 dan 5



Hasil analisa :

$$P_u = V_u \times \cos \beta = 5083.58 \times \cos (180 - 90 - 25) = 2148.4 \text{ kg}$$

$$M_u = 8748.29 \text{ kgm}$$

Kuda-kuda memakai profil WF 200 x 200 x 10 x 16 dengan plat simpul tebal (t) = 12 mm, dan baut digunakan diameter (d) 16 mm dengan mutu BJ50.

Perencanaan las :



Las memakai elektrode mutu E70 dengan tebal efektif (t_e) awal direncanakan 1 cm.

Berdasarkan bentuk las dapat dihitung :

- $A_{las} = 2(20 + 47.32) = 134.64 \text{ cm}^2$
- $S_x = b \cdot d + d^2/3$
 $= 20 \cdot 47.32 + 47.32^2/3$
 $= 1692.79 \text{ cm}^3$

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser (P_u) dan momen (M_u) :

- $f_{vp} = \frac{P_u}{A_{las}} = \frac{2148.4}{134.64} = 15.96 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{hm} = \frac{M_u}{S_x} = \frac{874829}{1692.79} = 516.8 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{total} = \sqrt{f_{vp}^2 + f_{hm}^2} = \sqrt{15.96^2 + 516.8^2} = 517.05 \text{ kg/cm}^2$

Kemampuan las mutu E70 ($f_{uw} = 70 \text{ ksi} = 4921 \text{ kg/cm}^2$) :

- $\phi f_u = \phi_f \cdot t_e \cdot (0.6 f_{uw})$
 $= 0.75 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 4921 = 2214.45 \text{ kg/cm}^2$

t_e perlu dapat dihitung sebagai berikut :

- $t_e \text{ perlu} = \frac{f_{total}}{\phi f_u} = \frac{517.05}{2214.45} = 0.23 \text{ cm}$
- $t_e = \frac{t_w}{0.707} = \frac{0.23}{0.707} = 0.33 \text{ cm}$

Karena $t_w <$ tebal las minimum, sehingga pakai tebal las minimum $t_w = 0.5 \text{ cm}$

Periksa Kekuatan Baut

Direncanakan pasang 8 buah baut $d = 16 \text{ mm}$ BJ 50.

Kekuatan baut :

Kuat geser (ϕR_m) : $\phi \times 0.5 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.5 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 3768 \text{ kg}$

Kuat tarik (ϕR_m) : $\phi \times 0.75 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.75 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 5652 \text{ kg}$

Gaya geser akibat P_u :

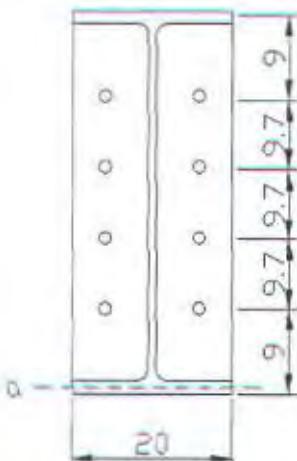
$$\bullet \quad R_{uv} = \frac{P_u}{n} = \frac{2148.4}{8} = 268.55 \text{ kg}$$

Persamaan interaksi :

$$\bullet \quad \left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} \right)^2 + \left(\frac{R_{uv}}{\phi R_{nv}} \right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{R_{ut}}{5652} \right)^2 + \left(\frac{268.55}{3768} \right)^2 \leq 1$$

$$R_{ut} = 5637.63 \text{ kg}$$



Garis netral (a) dapat ditentukan sebagai berikut :

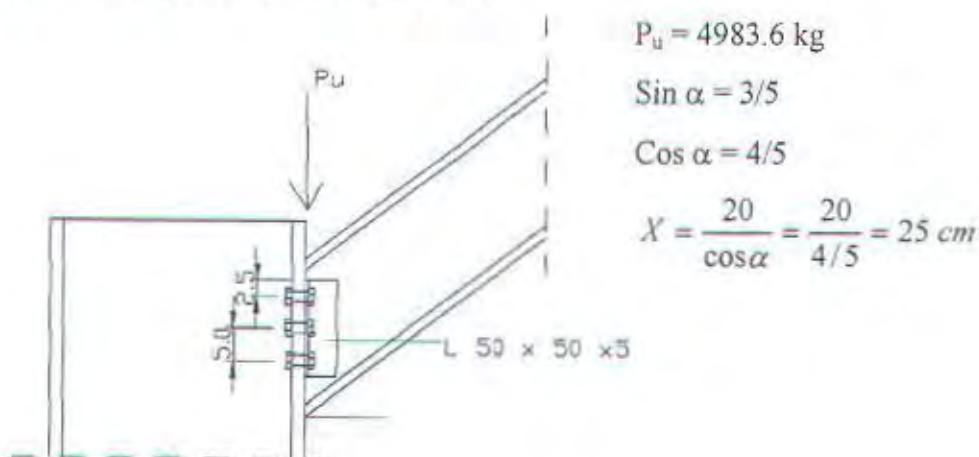
$$a = \frac{\sum T}{b f_y} = \frac{8 \cdot 5637.63}{20.2400} = 0.94 \text{ cm}$$

Setelah a diketahui dapat dihitung momen nominal sambungan :

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot b f_y - T \cdot \Sigma d \\ &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot (0.94)^2 \cdot 20 \cdot 2400 + 5637.63 \cdot (2 \cdot (8.06 + 17.76 + 27.46 + 37.16)) \\ &= 19085.76 + 1019734.52 \\ &= 1038820.28 \text{ kgcm} \quad > \quad M_u = 874829 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Momen nominal sambungan lebih besar daripada momen yang terjadi, sehingga sambungan baut yang direncanakan dapat dipakai.

4. Sambungan kuda-kuda dengan kolom



Sambungan yang dipakai menunjukkan bahwa anggapan dalam analisa adalah sendi.

Pakai baut diameter 16 mm dengan mutu BJ 37, kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 2230.66 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{nv}) : \phi \times 2.4 \times f_u \times t_p \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 0.5 \times 1.6 = 5328 \text{ kg}$$

Dari perhitungan dapat dipilih $\phi R_{nv} = 2230.66 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah baut yang diperlukan pada badan kuda-kuda dan sayap kolom :

$$n = \frac{P_u}{\phi R_{nv}} = \frac{4983.6}{2230.66} = 2.23 \approx 3 \text{ baut}$$

Kontrol kekuatan siku penyambung :

$$\text{Diameter lubang (dengan bor)} = 1.6 \text{ cm} + 0.16 \text{ cm} = 1.76 \text{ cm}$$

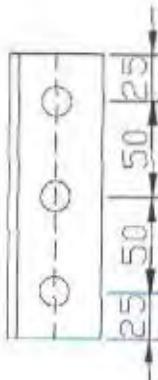
$$A_{nv} = (15 - 3 \cdot 1.76) \cdot 0.5 = 4.86 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0.75 \cdot 0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.75 \cdot 0.6 \cdot 3700 \cdot 4.86 \\ &= 8091.9 \text{ kg} > P_u = 4983.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol jarak baut :

$$\text{Jarak ke tepi} : 1.6 \text{ cm} \times 1.5 = 2.4 \text{ cm} < 2.5 \text{ cm (OK)}$$

$$\text{Jarak antar as} : 1.6 \text{ cm} \times 3 = 4.8 \text{ cm} < 5 \text{ cm (OK)}$$



3.2. Perencanaan Struktur Lantai

Struktur lantai menggunakan beton dengan kuat tekan (f_c') sebesar 22.5 MPa dan menggunakan tulangan baja mutu (f_y) 240 MPa, sedangkan plat direncanakan tebal 12 cm. Beban-beban dari lantai ini selanjutnya diterima oleh balok anak maupun balok induk.

Beban lantai :

1. Beban mati

$$\begin{aligned} - \text{Berat sendiri plat} &= 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 288 \text{ kg/m}^2 \\ - \text{Berat spesi} &= 2 \text{ cm} \times 24 \text{ kg/m}^2 &= 48 \text{ kg/m}^2 \\ - \text{Berat tegel} &= 2 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^2 &= 42 \text{ kg/m}^2 \\ q_d & &= 378 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban hidup, lantai untuk ruang sekolah sehingga $q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

Beban mati dan hidup dikombinasikan sesuai rumus 2.5.2.

Kombinasi beban :

$$q_u = 1.2 \cdot q_D + 1.6 \cdot q_L = 1.2 \cdot 378 + 1.6 \cdot 250 = 853.6 \text{ kg/m}^2$$

Pada perhitungan ini diambil plat lantai yang diapit titik 1F-G - 2F-G sehingga sisi panjang (l_y) = 5.00 m dan sisi pendek (l_x) = 5.00 m.

Perhitungan momen

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5.00}{5.00} = 1.00, \text{ sehingga}$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= M_{tx} = M_y = M_b = 0.001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot 36 \\ &= 0.001 \cdot 853.6 \cdot 5^2 \cdot 36 \\ &= 768.24 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_u = 7682400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7682400}{0.8} = 9603000 \text{ Nmm}$$

Untuk mendapatkan tulangan, dipakai rumus 2.8.1 sampai dengan 2.8.3

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{9603000}{1000 \cdot 100^2} = 0.96 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{240}{0.85 \cdot 22.5} = 12.55, \text{ sehingga } \rho \text{ dapat ditentukan :}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{12.55} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12.55 \cdot 0.96}{240}} \right) = 0.0041$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.0058 > \rho_{perlu} = 0.0041, \text{ sehingga pakai } \rho_{min} = 0.0058$$

Tulangan perlu = $0.0058 \times b \times d = 0.0058 \times 1000 \times 100 = 580 \text{ mm}^2/\text{m}$

Pasang tulangan diameter 10 mm ($A_s = 78.5 \text{ mm}^2$) sebanyak :

$$n = \frac{580}{78.5} = 7.389 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah per 1 meter. Jadi pasang } \phi 10 - 125$$

3.3. Perencanaan Tangga

3.3.1. Desain Anak Tangga

Tangga direncanakan sebagaimana persyaratan agar pemakai gedung merasa cukup nyaman. Perhitungan dilakukan sebagai berikut :

$$\text{Injakan } i = 30 \text{ cm}$$

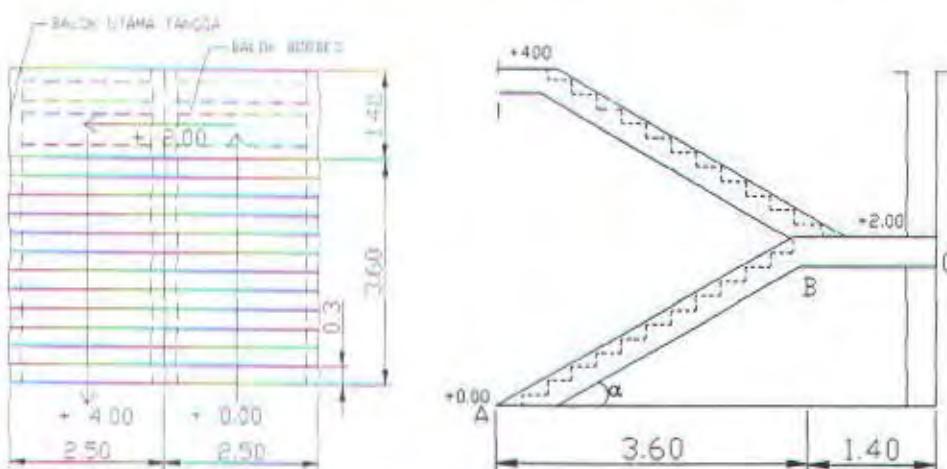
$$\text{Syarat : } 60 < 2t + i < 66$$

$$\text{Coba dipakai } t = 17 \text{ cm}$$

$$2t + i = 2 \cdot 17 + 30 = 64, \quad 60 < 64 < 66 \text{ (OK)}$$

Jadi ukuran injakan dan tinggi anak tangga dapat dipakai.

Tinggi lantai 1 adalah + 4.00 m, direncanakan bordes pada elevasi + 2.00 m.



Gambar denah dan potongan tangga

$$\alpha = \arctg(2/3.6) ; \quad AB = \sqrt{2^2 + 3.6^2}$$

$$= 29^\circ \quad = 4.12 \text{ m}$$

Perencanaan plat anak tangga :

Plat anak tangga memakai plat baja dengan tebal (i) 3 mm

Beban yang diterima plat ini terdiri dari beban mati dan beban hidup.

Beban mati

- Berat sendiri plat : $0.005 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 \times 0.44 \text{ m} = 17.27 \text{ kg/m}^2$
 - Berat spesi : $2 \text{ cm} \times 24 \text{ kg/m}^2 \times 0.3 \text{ m} = 14.4 \text{ kg/m}^2$
 - Berat tegel : $2 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 0.3 \text{ m} = 12.6 \text{ kg/m}^2$
 - Berat ikatan baja : $10\% \times 17.27 \text{ kg/m}^2 = 1.727 \text{ kg/m}^2$
- $q_d = 45.997 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup

$$\text{Beban hidup tangga (q}_L\text{)} : 300 \text{ kg/m}^2 \times 0.3 \text{ m} \times 0.75 = 67.5 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi beban

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \cdot 45.997 + 1.6 \cdot 67.5 \\ &= 163.196 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Momen pada plat

Plat dianggap seperti balok yang berada pada dua tumpuan jepit, sehingga momen maksimum terjadi pada tumpuan sebesar :

$$M_u = \frac{1}{12} q_u l^2 = \frac{1}{12} \cdot 163.196 \cdot 2.5^2 = 84.998 \text{ kgm} = 8499.80 \text{ kgcm}$$

Kontrol penampang

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{300}{5} = 60 > \lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{240}} = 40.34$$

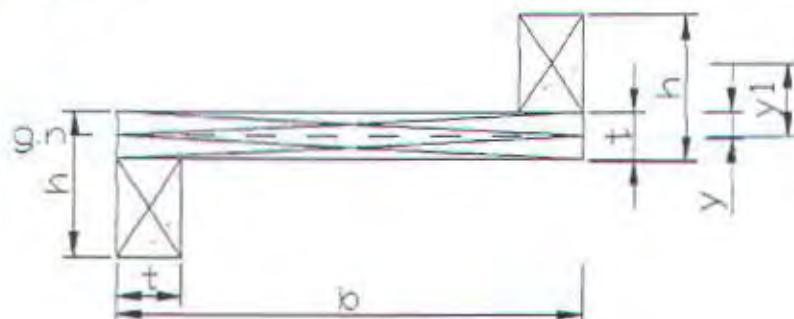
Mencari statis momen plastis plat (Z_x)

$$A_1 = b \cdot t$$

$$Y = \frac{1}{2} \cdot t$$

$$A_2 = t \cdot (h - t)$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{1}{2} (h - t) + \frac{1}{2} t \\ &= \frac{1}{2} h - \frac{1}{2} t + \frac{1}{2} t \\ &= \frac{1}{2} h \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} S_x &= \frac{1}{2} A_1 \cdot \frac{1}{2} y + A_2 \cdot y_1 \\ &= \frac{1}{2} b \cdot t \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} t + t \cdot (h - t) \cdot \frac{1}{2} h \\ &= \frac{1}{8} b \cdot t^2 + \frac{1}{2} t h (h - t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= 2 \cdot S_x = 2 \left(\frac{1}{8} b \cdot t^2 + \frac{1}{2} t h (h - t) \right) \\ &= \frac{1}{4} b \cdot t^2 + t \cdot h (h - t) \end{aligned}$$

Plat anak tangga dipakai $t = 5 \text{ mm}$, $b = 30 \text{ cm}$, $h = 7 \text{ cm}$

$$Z_x = \frac{1}{4} b \cdot t^2 + t \cdot h (h - t) = \frac{1}{4} \cdot 30 \cdot 0.5^2 + 0.5 \cdot 7 \cdot (7 - 0.5) = 24.625 \text{ cm}^3$$

Berdasarkan pasal 8.2.-c TCPSBUG, maka momen nominal penampang dihitung dengan rumus 2.7.17.

$$M_r = Z(f_y - f_r) = 24.625 (2400 - 700) = 41862.5 \text{ kgcm}$$

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 = 41862.5 \left(\frac{40.34}{60} \right)^2 = 18923.19 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \cdot 18923.19 = 17030.875 \text{ kgcm} > M_u = 8499.80 \text{ kgcm}$$

Momen nominal penampang lebih besar daripada momen ultimate berfaktor, sehingga plat dapat dipakai sebagai plat anak tangga.

3.3.2. Desain Bordes

Bordes berukuran 2.5 m x 1.4 m dengan penempatan balok bordes sebagai berikut :



Plat bordes memakai bondek ($t = 0.75 \text{ mm}$) dengan beton setebal 9 cm. Beban-beban yang bekerja pada plat bordes :

Beban mati

- Berat sendiri plat bondek = 10.1 kg/m^2
- Berat beton : $0.09 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 216 \text{ kg/m}^2$
- Berat spesi : $2 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$
 $q_d = 268.1 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup

$$q_L = 300 \text{ kg/m}^2 \times 0.75 = 225 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban beguna } (q_u) = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \cdot 268.1 + 1.6 \cdot 225 = 681.72 \text{ kg/m}^2$$

Pada tabel bondek dengan bentang tunggal tanpa tulangan negatif, bentang 1.75 m, maka tebal plat beton didapat 9 cm.

Selanjutnya beban plat bordes ini diterima oleh balok bordes yang direncanakan menggunakan profil WF 100 x 50 x 5 x 7 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$r = 8 \text{ mm}, w = 9.30 \text{ kg/m}^2, W_x = 37.5 \text{ cm}^3, I_x = 183 \text{ cm}^3$$

Beban-beban yang diterima balok bordes :

Beban mati :

- Beban dari plat bordes : $268.1 \text{ kg/m}^2 \times 0.7 \text{ m} = 187.67 \text{ kg/m}^2$
- Berat sendiri profil : $= 9.30 \text{ kg/m}^2$
 196.97 kg/m^2
- Berat ikatan : $10\% \times 196.97 \text{ kg/m}^2 = 19.697 \text{ kg/m}^2$
 $q_D = 216.67 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup

$$q_L = 300 \text{ kg/m}^2 \times 0.75 \times 0.7 \text{ m} = 157.5 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi beban :

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \cdot 216.67 + 1.6 \cdot 157.5 = 512 \text{ kg/m}^2$$

Momen yang timbul akibat beban (balok dianggap di atas dua tumpuan sederhana) :

$$M_u = \frac{1}{8} q_u l^2 = \frac{1}{8} \cdot 512 \cdot 2.5^2 = 400 \text{ kNm}$$

Kontrol penampang

- $\frac{b}{2t_f} = \frac{50}{2.7} = 3.57$
 - $\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97$
 - $\frac{h}{t_w} = \frac{100 - 2(7+8)}{5} = 14$
 - $\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44$
- $\left. \begin{array}{l} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p \\ \frac{h}{t_w} < \lambda_p \end{array} \right\} \text{Penampang Kompak } M_n = M_p$

Momen nominal :

$$M_n = f_y \cdot Z_x$$

$$= 2400 \cdot 1.14 \cdot 37.5 = 102600 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \cdot 102600 = 92340 \text{ kgcm} > M_u = 40000 \text{ kgcm (OK)}$$

Kontrol lendutan

$$\text{Lendutan yang diijinkan} = \bar{f} = \frac{L}{360} = \frac{250}{360} = 0.69 \text{ cm}$$

$$\bullet \quad f_y = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} = \frac{5}{384} \frac{5.12 \cdot 250^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 187} = 0.66 \text{ cm}$$

$f_y = 0.66 \text{ cm} < f_{ijin} = 0.69 \text{ cm}$, sehingga profil yang terpilih dapat dipakai.

Kontrol Kuat Rencana Geser

$$\frac{h}{t_w} = 15.17 < \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{1100}{\sqrt{240}} = 71$$

$$V_n = 0.6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$= 0.6 \cdot 2400 \cdot (10 - 2(0.7 - 0.8) \cdot 0.5)$$

$$= 10080 \text{ kg}$$

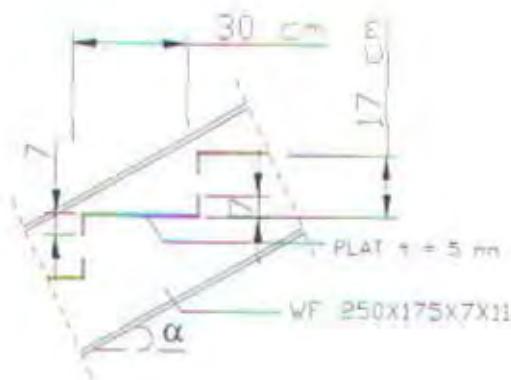
$$\phi V_n = 0.9 \cdot 10080 = 9072 \text{ kg} > V_u = R_d = 512 \text{ kg} \times 2.5 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 640.005 \text{ kg (OK)}$$

3.3.3. Desain Balok Utama Tangga

Balok utama tangga dianalisa dengan anggapan terletak di atas dua tumpuan sederhana dengan menerima beban merata dari berat sendiri dan beban terpusat dari anak tangga.

Balok utama direncanakan profil WF 250 x 125 x 6 x 9

$$w = 29.6 \text{ kg/m} \quad I_x = 4050 \text{ cm}^4 \quad W_x = 324 \text{ cm}^3$$



Beban merata :

- Berat sendiri : $29.6 \text{ kg/m}^3 \times (4.12/3.6) \text{ m} = 33.88 \text{ kg/m}^3$
- Berat ikatan : $10\% \cdot 33.88 \text{ kg/m}^3 = 3.388 \text{ kg/m}^3$

$$q_D = 37.26 \text{ kg/m}$$

$$q_{uD} = q_D \cdot 1.2 = 37.26 \cdot 1.2 = 44.712 \text{ kg/m}^3$$

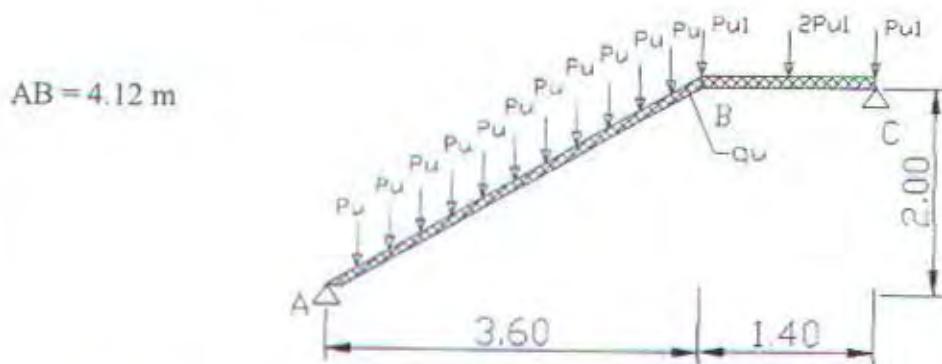
Beban terpusat :

- Reaksi plat anak tangga : $q_{uplat} \times b_{tangga} \times \frac{1}{2}$

$$P_u : 163.196 \text{ kg/m}^3 \times 2.5 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 203.995 \text{ kg}$$

- Reaksi balok bordes : $\frac{1}{2} q_u \text{ balok bordes} \times L \times \frac{1}{2}$

$$P_{u1} : \frac{1}{2} 512 \text{ kg/m}^3 \times 2.5 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 320 \text{ kg}$$



Jumlah anak tangga 11 buah, sehingga momen yang terjadi :

$$\sum M_C = 0 \rightarrow R_A \cdot 5 - q_u \cdot 5 \frac{5}{2} - P_u (4.7 + 4.4 + 4.1 + 3.8 + 3.5 + 3.3 + 3 + 2.7 + 2.4 + 2.1 + 1.8) - P_{u1} (1.4 + 2.07) = 0$$

$$R_A = (44.712 \cdot 12.5 + 203.995 \cdot 35.8 + 320 \cdot 2.8) / 5 = 1751.58 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= R_A L \cdot 0.5 - q_{uD} \frac{1}{8} L^2 - P_u (0.3 + 2 \cdot 0.3 + 3 \cdot 0.3 + 4 \cdot 0.3 + 5 \cdot 0.3 + 6 \cdot 0.3 + 7 \cdot 0.3 + 8 \cdot 0.3) \\
 &= 1751.58 \cdot 2.5 - 44.712 \frac{1}{8} \cdot 5^2 - 203.995 \cdot 10.8 \\
 &= 2036.079 \text{ kgm} = 203607.9 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

Kontrol penampang profil :

$$\left. \begin{array}{l}
 \bullet \quad \frac{b}{2t_f} = \frac{125}{2.9} = 6.944 \\
 \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97
 \end{array} \right\} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p$$

$$\left. \begin{array}{l}
 \bullet \quad \frac{h}{t_w} = \frac{250 - 2(9+12)}{6} = 34.67 \\
 \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44
 \end{array} \right\} \frac{h}{t_w} < \lambda_p$$

Penampang Kompak $M_n = M_p$

Momen nominal profil :

$$\begin{aligned}
 M_n &= f_y \cdot Z_x \\
 &= 2400 \cdot 1.14324 = 886464 \text{ kgcm} \\
 \phi M_n &= 0.9 \cdot 886464 = 797817.6 \text{ kgcm} > M_u = 203607.9 \text{ kgcm (OK)}
 \end{aligned}$$

Kekuatan profil mampu memikul beban yang bekerja, jadi profil dapat dipakai sebagai balok utama tangga.

Kontrol Kuat Rencana Geser

$$\frac{h}{t_u} = 34.67 < \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{1100}{\sqrt{240}} = 71$$

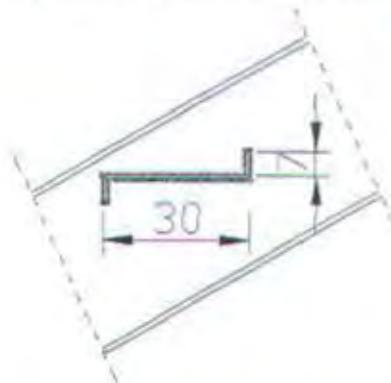
$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0.6 \cdot 2400 \cdot ((25 - 2(0.9 + 1.2)) \cdot 0.6) \\
 &= 179712 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0.9 \cdot 179712 = 161740.8 \text{ kg} > V_u = R_A = 1751.58 \text{ kg (OK)}$$

3.3.4. Desain Sambungan

Sambungan plat anak tangga ke balok utama

Plat anak tangga disambung dengan las pada badan balok utama tangga, dengan harapan pada tumpuan berperilaku seperti yang diharapkan yaitu jepit.



Berdasarkan bentuk las dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \bullet \quad A_{las} &= 2(30 + 7) = 74 \text{ cm}^2 \\ \bullet \quad S_x &= \frac{1}{2} d^2 + \frac{1}{4} b d \\ &= \frac{1}{2} 7^2 + \frac{1}{4} 30 \cdot 7 \\ &= 77 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser (P_u) dan momen (M_u) :

- $f_{vp} = \frac{P_u}{A_{las}} = \frac{163.196 \times 2.5 / 2}{74} = 2.76 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{hm} = \frac{M_u}{S_x} = \frac{8499.8}{77} = 110.38 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{total} = \sqrt{f_{vp}^2 + f_{hm}^2} = \sqrt{2.76^2 + 110.38^2} = 110.414 \text{ kg/cm}^2$

Kemampuan las mutu E70 ($f_{uw} = 70 \text{ ksi} = 4921 \text{ kg/cm}^2$) :

$$\begin{aligned} \bullet \quad \phi f_u &= \phi_f \cdot t_e \cdot (0.6 f_{uw}) \\ &= 0.75 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 4921 = 2214.45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

t_e perlu dapat dihitung sebagai berikut :

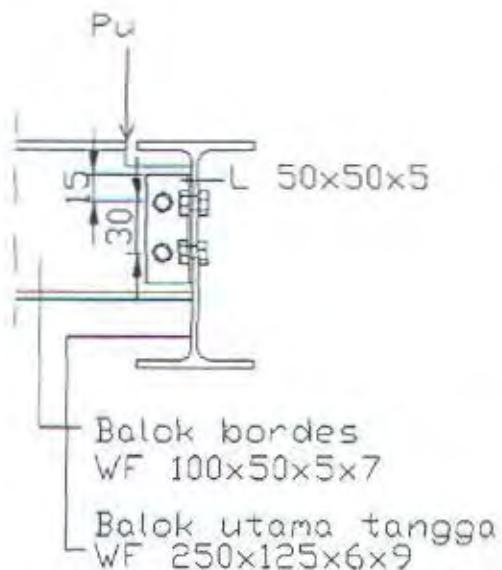
- $t_e \text{ perlu} = \frac{f_{total}}{\phi f_u} = \frac{110.414}{2214.45} = 0.049 \text{ cm}$
- $t_w = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.049}{0.707} = 0.07 \text{ cm}$

Karena $t_w < \text{tebal las minimum}$, sehingga pakai tebal las minimum $t_w = 0.3 \text{ cm}$ (untuk plat dengan tebal < 7 mm).

Sambungan balok bordes pada balok utama tangga

Balok bordes dianggap terletak pada dua tumpuan sederhana, sehingga sambungan yang dipakai adalah sambungan baut.

$$P_u = q_u \cdot L \cdot \frac{1}{2} = 512 \cdot 2.5 \cdot \frac{1}{2} = 640 \text{ kg}$$



Pakai baut diameter 10 mm dengan mutu BJ 37, kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.0^2 = 871.35 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{nt}) : \phi \times 2.4 \times f_u \times t_p \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 0.5 \times 1.0 = 3330 \text{ kg}$$

Dari perhitungan dapat dipilih $\phi R_{nv} = 871.35 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah baut yang diperlukan pada badan balok utama dan balok bordes:

$$n = \frac{P_u}{\phi R_{nv}} = \frac{640}{871.35} = 0.734 \approx 2 \text{ baut}$$

Agar simetris maka pada badan balok utama dipasang 4 buah baut dan pada badan balok bordes 2 buah baut.

Kontrol kekuatan siku penyambung :

$$\text{Diameter lubang (dengan bor)} = 1.0 \text{ cm} + 0.16 \text{ cm} = 1.16 \text{ cm}$$

$$A_{nv} = (6 - 2 \cdot 1.16) \cdot 0.5 = 1.84 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = 0.75 \cdot 0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.75 \cdot 0.6 \cdot 3700 \cdot 1.84$$

$$= 3063.6 \text{ kg} > P_n = 640 \text{ kg}$$

Kontrol jarak baut :

$$\text{Jarak ke tepi : } 1.0 \text{ cm} \times 1.5 = 1.5 \text{ cm} = 1.5 \text{ cm (OK)}$$

$$\text{Jarak antar as : } 1.0 \text{ cm} \times 3 = 3 \text{ cm} = 3 \text{ cm (OK)}$$

3.4. Perencanaan Balok Anak

Desain Balok Anak Melintang

Balok anak berfungsi agar luasan plat lantai tidak terlalu lebar sehingga masih mempunyai kekakuan yang cukup. Balok anak melintang menumpu pada balok anak memanjang dengan anggapan di atas dua tumpuan sederhana, sedangkan balok anak memanjang akan membebani balok induk juga dengan anggapan di atas dua tumpuan sederhana.

Balok anak melintang dicoba memakai profil WF 175 x 125 x 5.5 x 8 x 12, dengan

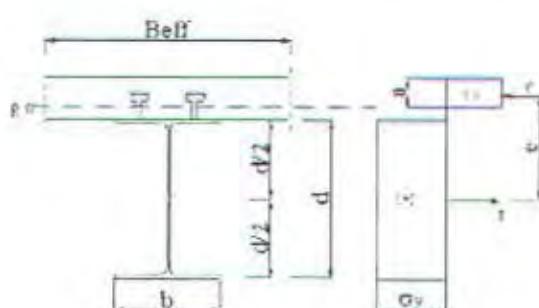
$$A = 29.65 \text{ cm}^2 \quad i_x = 7.18 \text{ cm}$$

$$I_x = 1530 \text{ cm}^4 \quad i_y = 2.97 \text{ cm}$$

$$I_y = 261 \text{ cm}^4 \quad W_x = 181 \text{ cm}^3$$

Kuat tekan beton lantai (f_c') = 22.5 MPa, Panjang bentang balok anak (L) = 5.00 m, sehingga lebar efektif balok :

$$B_{eff} = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} 5.00 = 0.625 \text{ m}$$



Periksa sebelum komposit

Beban yang bekerja

- Berat sendiri plat = $0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.625 \text{ m} = 180 \text{ kg/m}^2$
- Berat sendiri profil = 29.65 kg/m^2
- Berat ikatan $10\% \times 209.65 \text{ kg/m}^2$ = 20.96 kg/m^2
- q_{\perp} = 230.61 kg/m^2

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned}M &= \frac{1}{8} q l^2 \\&= \frac{1}{8} 230.61 \cdot 5^2 \\&= 720.66 \text{ kgm} = 72066 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

$$M_U = 1.2 \times 72066 = 86479.2 \text{ kgcm}$$

Kontrol penampang profil :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{b}{2t_f} = \frac{125}{2.8} = 7.81 \\ \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97 \end{array} \right\} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p \quad \left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{h}{t_w} = \frac{175}{5.5} = 31.82 \\ \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \left. \begin{array}{l} \text{Penampang Kompak } M_n = M_p \end{array} \right\}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned}M_n &= f_y \cdot Z_y \\&= 2400 \cdot 1.14181 = 495216 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

$$\phi M_c = 0.9 \cdot 495216 = 445694.4 \text{ kgcm} = M_c = 86479.2 \text{ kgcm (OK)}$$

Setelah komposit

Periksa profil :

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{t_s} &= \frac{450}{8} = 56.25 \\ \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{aligned} \right\} \quad \frac{h}{t_s} < \lambda_p$$

Penampang kompak, sehingga $M_n = M_p$ dengan $\phi = 0.85$

Periksa

$$C = 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot t_{plat} = 0.85 \cdot 225 \cdot 62.5 \cdot 12 = 143437.5 \text{ kg}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 29.65 \cdot 2400 = 71160 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan : $C = 143437.5 \text{ kg} > T = 71160 \text{ kg}$, sehingga :

- Beton lebih kuat daripada profil baja
- Garis netral berada di dalam plat beton

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' B_{eff}} = \frac{71160}{0.85 225 62.5} = 5.95 \text{ cm} < t = 12 \text{ cm}, \text{ g.n. berada di dalam plat beton}$$

Jadi momen plastis penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_p &= 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot a \cdot (t + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}a) \\ &= 0.85 \cdot 225 \cdot 62.5 \cdot 5.95 \cdot (12 + \frac{1}{2}17.5 - \frac{1}{2}5.95) \\ &= 1266302.11 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\phi M_p = 0.85 \cdot 1266302.11$$

$$= 1076356.79 \text{ kgcm}$$

Balok anak melintang ini menerima beban sebagai berikut :

Beban mati :

1. Beban mati

$$\begin{aligned}-\text{Berat sendiri plat} &= 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.625 \text{ m} = 180 \text{ kg/m}^3 \\-\text{Berat spesi} &= 2 \text{ cm} \times 24 \text{ kg/m}^2 \times 0.625 \text{ m} = 30 \text{ kg/m}^3 \\-\text{Berat tegel} &= 2 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 0.625 \text{ m} = 26.25 \text{ kg/m}^3 \\-\text{Berat sendiri profil} &= 29.65 \text{ kg/m}^3 \\&\quad 265.9 \text{ kg/m}^3 \\-\text{Berat ikatan } 10\% &\times 265.9 \text{ kg/m}^3 = 26.59 \text{ kg/m}^3 \\q_d &= 292.49 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$2. \text{ Beban hidup, } q_L = 250 \text{ kg/m}^2 \times 0.625 \text{ m} = 156.25 \text{ kg/m}^3$$

Kombinasi beban :

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \cdot 292.49 + 1.6 \cdot 156.25 = 600.988 \text{ kg/m}^2$$

Momen yang bekerja

Untuk analisa balok dianggap terletak di atas dua tumpuan sederhana dengan bentang 5,00 m.

$$M_u = \frac{1}{8} q_u l^2 = \frac{1}{8} 600.988 \cdot 5^2 = 1878.0875 \text{ kgm} = 187808.75 \text{ kgcm}$$

Momen yang bekerja dibandingkan dengan momen plastis penampang

$$\phi M_p = 1076356.79 \text{ kgcm} > M_u = 187808.75 \text{ kgcm} \text{ (OK)}$$

Momen plastis penampang lebih besar daripada momen akibat beban berfaktor, sehingga balok mampu memikul beban yang diterima.

Perencanaan penghubung geser

Penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud dengan,

$$d_s = \frac{1}{2} " = 1.27 \text{ cm}, H = 2 " = 5.08 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}E_c &= W^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f_c'} \\&= 2400^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{22.5} = 23981.51 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$q_{ult} = 0.0004 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c}$$

$$= 0.0004 \cdot 12.7^2 \cdot \sqrt{22.5 \cdot 23981.51} = 47.39 \text{ kN} = 4739 \text{ kg}$$

Maka kekuatan satu penghubung geser :

$$q_u = \frac{q_{uh}}{2} = \frac{4739}{2} = 2369.5 \text{ kg}$$

Gaya geser yang bekerja :

$$V_h = \frac{C_{max}}{2} = \frac{0.85 \cdot f_c' \cdot A_e}{2} = \frac{0.85 \cdot 225 \cdot 62.5 \cdot 12}{2} = 71718.75 \text{ kg}$$

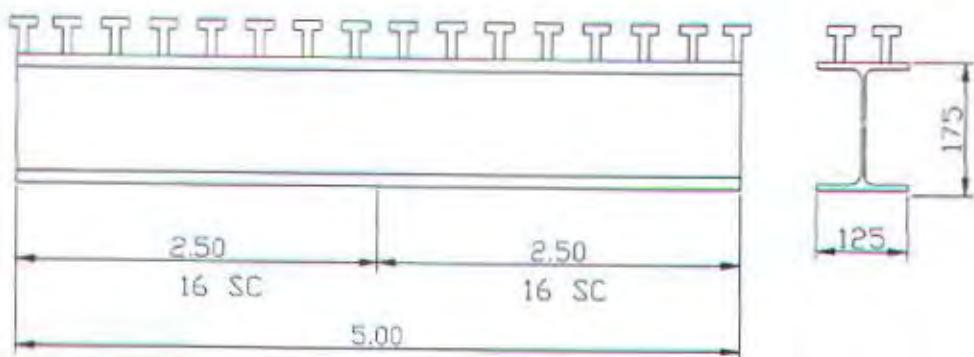
$$V_h = \frac{T_{max}}{2} = \frac{A_s \cdot \sigma_s}{2} = \frac{71160}{2} = 35580 \text{ kg}$$

V_h diambil yang terkecil, yaitu $V_h = 35580 \text{ kg}$

Jadi jumlah penghubung geser pada daerah $M = 0$ sampai dengan $M = M_p$ adalah :

$$n = \frac{V_h}{q_u} = \frac{35580}{2369.5} = 15.02 \text{ buah} \approx 16 \text{ buah}$$

Pemasangan penghubung geser seperti pada gambar :



Jarak antar penghubung geser : $2.50 \text{ m} - (8 \cdot 1.27) = 239.84 \text{ cm} / 7 = 34 \text{ cm}$

Kontrol lendutan

1. Lendutan sebelum komposit

$$\text{Lendutan yang diijinkan} \quad \tilde{f} = \frac{L}{240} = \frac{500}{240} = 2.08 \text{ cm}$$

$$\bullet \quad f_y = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x}$$

Beban yang bekerja

- Berat sendiri plat	$= 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.625 \text{ m}$	$= 180 \text{ kg/m}^3$
- Berat sendiri profil		$= 29.65 \text{ kg/m}^3$
		209.65 kg/m^3
- Berat ikatan 10 %	$\times 209.65 \text{ kg/m}^3$	$= 20.96 \text{ kg/m}^3$
		$q_d = 230.61 \text{ kg/m}^3$

$$f_y = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} = \frac{5}{384} \frac{2.3061500^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 1530} = 0.584 \text{ cm}$$

$$f_y = 0.596 \text{ cm} < f_{yin} = 0.69 \text{ cm} (\text{OK})$$

2. Sesudah komposit

$$n = \frac{E_s}{E_e} = \frac{2.1 \cdot 10^5}{23981.51} = 8.76$$

Momen inersia sesudah komposit

$$\begin{aligned}
 I_t &= I_x + A_s d_s^2 + \frac{I_e}{n} + \frac{A_e}{n} d_e^2 \\
 &= 1530 + 29.65 (8.75 + 12 - 5.95)^2 + \frac{1}{12} \frac{62.5}{8.76} 12^3 + \frac{62.5}{8.76} 12 (6 - 5.95)^2 \\
 &= 9052.154 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$q_u = q_d + q_i = 292.49 \text{ kg/m}^3 + 156.25 \text{ kg/m}^3 = 448.74 \text{ kg/m}^3$$

$$f_x = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_t} = \frac{5}{384} \frac{4.4874 \cdot 750^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 9052.154} = 0.97 \text{ cm} < f_{yin} = 2.08 \text{ cm}$$

Lendutan yang terjadi baik sebelum dan setelah komposit masih jauh berada di bawah lendutan ijin sehingga profil dapat dipakai.

Desain Balok Anak Memanjang

Balok anak memanjang dibebani balok anak melintang pada tengah bentang sehingga dalam perhitungan berupa beban terpusat P .

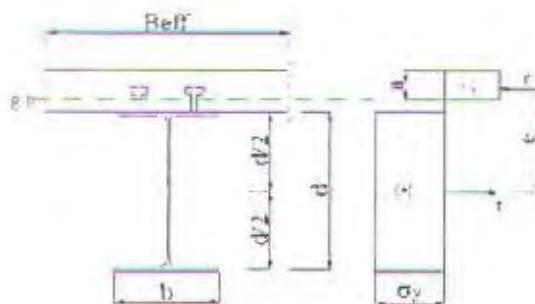
Balok anak melintang dicoba memakai profil WF 250 x 125 x 6 x 9 x 12, dengan

$$A = 37.66 \text{ cm}^2 \quad W_s = 324 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 4050 \text{ cm}^4 \quad w = 29.6 \text{ kg/cm}^2$$

Kuat tekan beton lantai (f_c') = 22.5 MPa, Panjang bentang balok anak (L) = 7.50 m, sehingga lebar efektif balok :

$$B_{\text{eff}} = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} 7.50 = 0.9375 \text{ m}$$



Sebelum komposit

Beban yang bekerja

- Berat sendiri plat = $0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.9375 \text{ m} = 270 \text{ kg/m}^3$

- Berat sendiri profil = 29.6 kg/m³

299.6 kg/m³

- Berat ikatan 10 % x 299.6 kg/m³ = 29.96 kg/m³

$q_d = 329.56 \text{ kg/m}^3$

Beban terpusat akibat balok anak melintang :

$$P = q_d b_{\text{anak melintang}} \times 5 \text{ m} = 230.61 \times 5 = 1153.05 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi :

$$M = \frac{1}{8} q I^2 + \frac{1}{4} P I$$

$$= \frac{1}{8} 329.56 7.5^2 + \frac{1}{4} 1153.05 7.5$$

$$= 2317.22 + 2161.97$$

$$= 4479.19 \text{ kgm} = 447919 \text{ kgem}$$

$$M_u = 1.2 \times 447919 = 537502.8 \text{ kgcm}$$

Kontrol penampang profil :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{h}{2t_f} = \frac{125}{2.9} = 6.94 \\ \quad \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \frac{h}{2t_f} < \lambda_p \\ \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Penampang Kompak } M_n = M_p \\ \frac{h}{t_w} < \lambda_p \end{array} \right\}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= f_y \cdot Z_y \\ &= 2400 \cdot 1.14324 = 886464 \text{ kgcm} \\ \phi M_n &= 0.9 \cdot 886464 = 797817.6 \text{ kgcm} > M_u = 537502.8 \text{ kgcm (OK)} \end{aligned}$$

Setelah komposit

Periksa profil :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{t_w} = \frac{450}{8} = 56.25 \\ \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \frac{h}{t_w} < \lambda_p \end{array} \right\}$$

Penampang kompak, sehingga $M_n = M_p$ dengan $\phi = 0.85$

Periksa

$$C = 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot t_{plat} = 0.85 \cdot 225 \cdot 93.75 \cdot 12 = 215156.25 \text{ kg}$$

$$T = A_w \cdot f_y = 37.66 \cdot 2400 = 90384 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan : $C = 215156.25 \text{ kg} > T = 90384 \text{ kg}$, sehingga :

- Beton lebih kuat daripada profil baja
- Garis netral berada di dalam plat beton

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c B_{eff}} = \frac{90834}{0.85 225 93.75} = 5.041 \text{ cm} < t = 12 \text{ cm}, \text{ g.n. berada di dalam plat beton}$$

Jadi momen plastis penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_p &= 0.85 \cdot f'_c \cdot B_{eff} \cdot a \cdot (t + t_2 d - t_2 a) \\ &= 0.85 \cdot 225 \cdot 93.75 \cdot 5.041 \cdot (12 + 2.25 - 2 \cdot 5.041) \\ &= 1986585.34 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_p &= 0.85 \cdot 1986585.34 \\ &= 1688597.54 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Balok anak memanjang ini menerima beban sebagai berikut :

Beban mati :

1. *Beban mati*

$$\begin{aligned} - \text{Berat sendiri plat} &= 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.9375 \text{ m} = 270 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{Berat spesi} &= 2 \text{ cm} \times 24 \text{ kg/m}^2 \times 0.625 \text{ m} = 30 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{Berat tegel} &= 2 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 0.625 \text{ m} = 26.25 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{Berat sendiri profil} &= 29.6 \text{ kg/m}^3 \\ &\quad 355.85 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{Berat ikatan } 10\% &\times 355.85 \text{ kg/m}^3 = 35.585 \text{ kg/m}^3 \\ q_d &= 391.435 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

2. *Beban hidup*, $q_L = 250 \text{ kg/m}^2 \times 0.9375 \text{ m} = 234.375 \text{ kg/m}^2$

Kombinasi beban :

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \cdot 391.435 + 1.6 \cdot 234.375 = 844.72 \text{ kg/m}^2$$

Beban terpusat, $P = 2 \times R_{\Delta \text{ balok anak melintang}} = 2 \times (600.988 \times 5 \times \frac{1}{2}) = 3004.94 \text{ kg}$

Momen yang bekerja

Untuk analisa balok dianggap terletak di atas dua tumpuan sederhana dengan bentang 7.50 m dengan memikul beban merata dan terpusat

$$M_u = \frac{1}{8} q_u l^2 + \frac{1}{4} P L = \frac{1}{8} 844.72 \cdot 7.5^2 + \frac{1}{4} 3004.94 \cdot 7.5 = 11573.7 \text{ kgm} = 1157370 \text{ kgcm}$$

Momen yang bekerja dibandingkan dengan momen plastis penampang

$$\phi M_p = 1688597.54 \text{ kgcm} > M_u = 1157370 \text{ kgcm} \text{ (OK)}$$

Momen plastis penampang lebih besar daripada momen akibat beban berfaktor, sehingga balok mampu memikul beban yang diterima.

Perencanaan penghubung geser

Penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud dengan,

$$d_s = \frac{1}{2} " = 1.27 \text{ cm}, H = 2 " = 5.08 \text{ cm}$$

$$E_c = W^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f_c}$$

$$= 2400^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{22.5} = 23981.51 \text{ MPa}$$

$$q_{ult} = 0.0004 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f_c} \cdot E_c$$

$$= 0.0004 \cdot 12.7^2 \cdot \sqrt{22.5 \cdot 23981.51} = 47.39 \text{ kN} = 4739 \text{ kg}$$

Maka kekuatan satu penghubung geser :

$$q_u = \frac{q_{ult}}{2} = \frac{4739}{2} = 2369.5 \text{ kg}$$

Gaya geser yang bekerja :

$$V_h = \frac{C_{maks}}{2} = \frac{0.85 \cdot f_c' \cdot A_c}{2} = \frac{0.85 \cdot 225 \cdot 93.75 \cdot 12}{2} = 107578.125 \text{ kg}$$

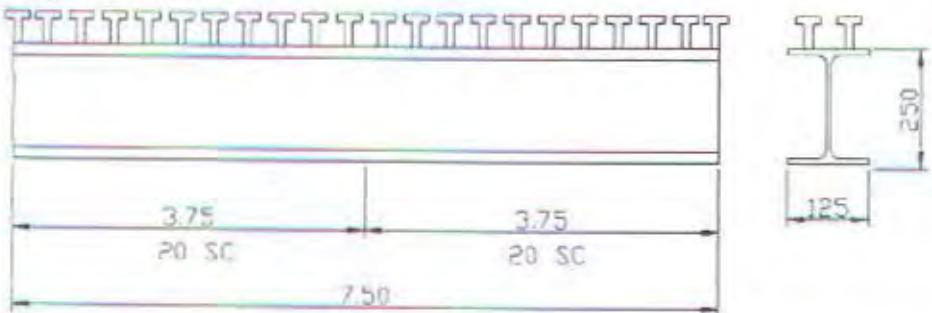
$$V_h^* = \frac{T_{maks}}{2} = \frac{A_s \cdot \sigma_y}{2} = \frac{90384}{2} = 45192 \text{ kg}$$

V_h diambil yang terkecil, yaitu V_h = 45192 kg

Jadi jumlah penghubung geser pada daerah M = 0 sampai dengan M = M_p adalah :

$$n = \frac{V_h}{q_u} = \frac{45192}{2369.5} = 19.07 \text{ buah} \approx 20 \text{ buah}$$

Pemasangan penghubung geser seperti pada gambar :



Jarak antar penghubung geser : $3.75 \text{ m} - (10 \cdot 1.27) = 362.3 \text{ cm} / 9 = 40.26 \text{ cm}$

Kontrol lendutan

1. Lendutan sebelum komposit

$$\text{Lendutan yang diijinkan} \circ \bar{f} = \frac{L}{240} = \frac{750}{240} = 3.125 \text{ cm}$$

- $f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_s} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_s}$

Beban yang bekerja

- Berat sendiri plat $= 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.9375 \text{ m} = 270 \text{ kg/m}^3$
- Berat sendiri profil $= 29.6 \text{ kg/m}^3$
- Berat ikatan 10 % $\times 299.6 \text{ kg/m}^3 = 29.96 \text{ kg/m}^3$
- $q_d = 329.56 \text{ kg/m}^3$

Beban terpusat akibat balok anak melintang :

$$P = q_{D6 \text{ anak melintang}} \times 5 \text{ m} = 230.61 \times 5 = 1153.05 \text{ kg}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E I_s} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_s} = \frac{5}{384} \frac{3.2956 \cdot 750^4}{2.1 \cdot 10^9 \cdot 4050} + \frac{1}{48} \frac{1153.05 \cdot 750^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 4050} = 2.79 \text{ cm}$$

2. Sesudah komposit

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.1 \cdot 10^5}{23981.51} = 8.76$$

Momen inersia sesudah komposit

$$\begin{aligned}
 I_t &= I_s + A_s d_s^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} d_c^2 \\
 &= 4050 + 37.66 (12.5 + 12 - 5.041)^2 + \frac{1}{12} \frac{93.75}{8.76} 12^3 + \frac{93.75}{8.76} 12 (6 - 5.041)^2 \\
 &= 19969.26 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$q_u = q_d + q_l = 391.435 \text{ kg/m}^3 + 234.375 \text{ kg/m}^3 = 625.81 \text{ kg/m}^3$$

$$P = 3004.94 \text{ kg}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_t} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_t} = \frac{5}{384} \frac{6.2581750^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 19969.26} + \frac{1}{48} \frac{3004.94750^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 19969.26} = 1.24 \text{ cm}$$

$$f = 1.24 < f_{ijin} = 3.125 \text{ cm}$$

Lendutan yang terjadi baik sebelum dan setelah komposit masih jauh berada di bawah lendutan ijin sehingga profil dapat dipakai.

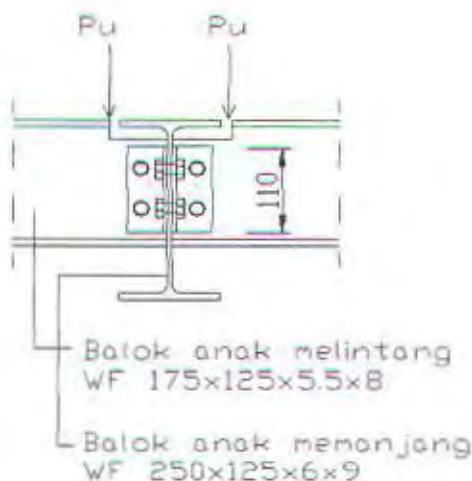
3.4.2. Perencanaan Sambungan Balok Anak

Sambungan antara balok melintang dengan balok anak memanjang direncanakan dengan baut yang tidak dapat memikul momen karena disesuaikan dengan anggapan dalam analisa sebagai sendi.

$$P_u = R_A \text{balok anak melintang}$$

$$= 600.988 \text{ kg} \times 5 \text{ m} \times \frac{1}{2}$$

$$= 1502.47 \text{ kg}$$



Pakai baut diameter 16 mm dengan mutu BJ 37, kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times m \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 2 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 4461.32 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{nv}) : \phi \times 2.4 \times f_u \times t_p \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 0.5 \times 1.6 = 5328 \text{ kg}$$

Dari perhitungan dapat dipilih $\phi R_{nv} = 4461.312 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah baut yang diperlukan pada badan badan balok anak memanjang

$$n = \frac{2 P_u}{\phi R_{nv}} = \frac{2 \times 1502.47}{4461.312} = 0.67 \approx \text{pasang 4 baut agar simetris}$$

Jumlah baut yang diperlukan pada badan badan balok anak melintang

$$n = \frac{P_u}{\phi R_{nv}} = \frac{1502.47}{4461.312} = 0.34 \approx \text{pasang 2 baut}$$

Kontrol kekuatan siku penyambung :

$$\text{Diameter lubang (dengan bor)} = 1.6 \text{ cm} + 0.16 \text{ cm} = 1.76 \text{ cm}$$

$$A_{nv} = (11 - 2 \cdot 1.76) \cdot 0.5 = 3.74 \text{ cm}^2$$

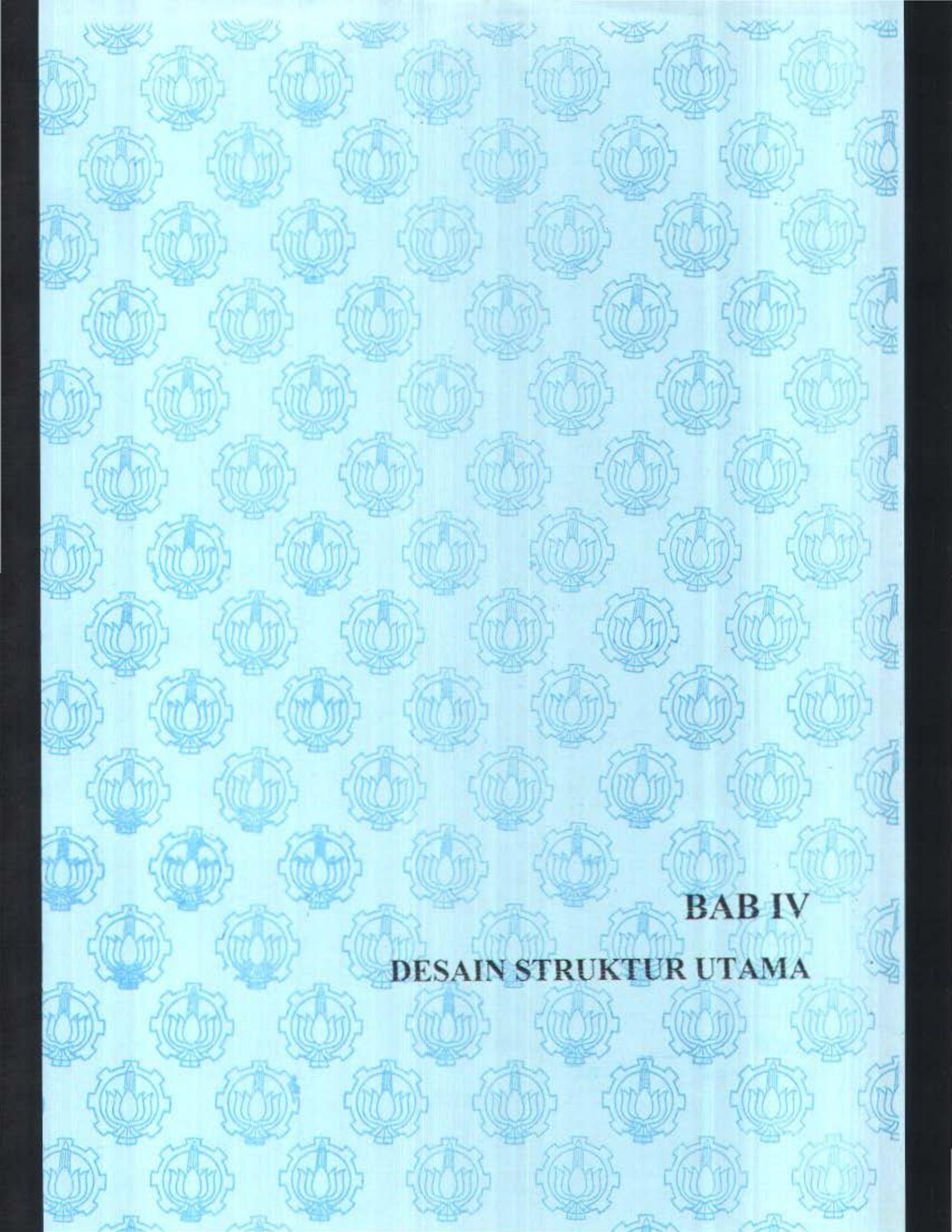
$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0.75 \cdot 0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.75 \cdot 0.6 \cdot 3700 \cdot 3.74 \\ &= 6227.1 \text{ kg} > P_u = 1502.47 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol jarak baut :

$$\text{Jarak ke tepi} : 1.6 \text{ cm} \times 1.5 = 2.4 \text{ cm} < 3 \text{ cm (OK)}$$

$$\text{Jarak antar as} : 1.6 \text{ cm} \times 3 = 4.8 \text{ cm} < 5 \text{ cm (OK)}$$





BAB IV

DESAIN STRUKTUR UTAMA

BAB IV

DESAIN STRUKTUR UTAMA

4.1. Pembebaan

Struktur utama dibebani oleh beban mati dan hidup yang berasal dari lantai dan beban gempa. Beban mati dan hidup dikelompokkan dalam beban gravitasi yang dipikul oleh balok hasil dari penyaluran plat lantai, yang selanjutnya disalurkan ke kolom untuk menuju pondasi. Sedangkan beban gempa yang berupa beban horizontal diterima oleh kolom pada masing-masing tingkat dengan dukungan bresing juga untuk disalurkan menuju pondasi.

4.1.1. Beban Gravitasi

Beban mati maupun beban hidup merupakan beban yang diterima plat lantai dengan perhitungan sebagai berikut :

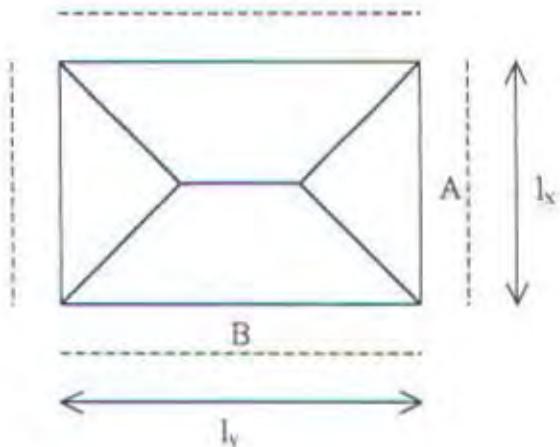
Beban mati plat :

- Berat beton plat	: 0.12 m x 2400 kg/m ³	= 288 kg/m ²
- Berat tegel	: 2 cm x 24 kg/m ²	= 48 kg/m ²
- Berat spesi	: 2 cm x 21 kg/m ²	<u>= 42 kg/m²</u>
		q _D = 378 kg/m ²

Beban hidup plat :

- Beban hidup lantai untuk ruang sekolah = 250 kg/m² x 0.9 = 225 kg/m²

Plat lantai ditumpu balok-balok pada keempat sisinya sehingga penyaluran beban plat menuju balok dapat dianggap sebagai beban merata berbentuk segitiga dan trapesium bagi balok. Beban merata yang diambil dalam analisa struktur (q_{eq}) pada balok yang menyangga plat dengan l_x sebagai panjang sisi pendek dan l_y sebagai panjang sisi panjang, dapat dihitung sebagai berikut :



Balok A :

Beban ekuivalen (q_{eq}) balok A yang menerima beban plat berbentuk segitiga dihitung sebagai berikut :

$$q_{eq} = \frac{1}{3} q l_x$$

Balok B

Beban ekuivalen (q_{eq}) balok B yang menerima beban plat berbentuk trapesium dihitung sebagai berikut :

$$q_{eq} = \frac{1}{2} q \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right)$$

q dalam rumus diatas disesuaikan dengan beban yang akan dihitung, jika akan dihitung beban mati maka q dipakai q_D dan begitu juga dengan beban hidup.

Untuk selanjutnya beban-beban ekuivalen yang terhitung dapat dipakai sebagai beban merata dalam analisa struktur. Khusus untuk beban mati harus diperhitungkan pula berat sendiri dari elemen-elemen struktur yang bersangkutan. Beban-beban yang diterima balok dalam analisa struktur ditabelkan (lampiran) agar mudah dalam perhitungan dan pengklasifikasian pada analisa.

4.1.2. Beban Gempa

Beban gempa dihitung dengan cara statik ekivalen. Gaya geser per lantai dihitung dengan memperhitungkan beban gedung secara keseluruhan yang kemudian disebarluaskan pada masing-masing portal.

Data bangunan :

Tinggi bangunan (H) : 23 m

Lebar arah X (D_x) : 33 m

Lebar arah Y (D_y) : 35 m

Waktu getar alami :

$$\text{Arah X} \quad : T_{nx} = \frac{0.09 H}{\sqrt{D_x}} = \frac{0.09 \cdot 23}{\sqrt{33}} = 0.36 \text{ dt}$$

$$\text{Arah Y} \quad : T_{ny} = \frac{0.09 H}{\sqrt{D_y}} = \frac{0.09 \cdot 23}{\sqrt{35}} = 0.35 \text{ dt}$$

Koefisien C^ :*

Untuk daerah Surabaya dengan tanah lunak, maka :

$$T_{nx} = 0.36 \text{ dt} \text{ didapat } C_x^* = 0.05$$

$$T_{ny} = 0.35 \text{ dt} \text{ didapat } C_y^* = 0.05$$

$$\text{Sehingga } C_x^* = C_y^* = 0.05$$

Faktor Keutamaan Gedung (l) = 1

Faktor Jenis Struktur (K) = 1.5

Perhitungan Berat Struktur :

Atap :

1. Berat atap (genteng + reng + usuk)	: $172 \text{ m}^2 \times 50 \text{ kg/m}^2$	= 8600 kg
2. Berat gording	: $166 \text{ m} \times 9.3 \text{ kg/m}^2$	= 1543.8 kg
3. Nok + jurai	: $35 \text{ m} \times 9.3 \text{ kg/m}^2$	= 325.5 kg
4. Kuda-kuda	: $4 \times 16.97 \text{ m} \times 65.7 \text{ kg/m}^2$	= 4460.28 kg
5. Berat plat atap beton ($t = 12 \text{ cm}$)	: $0.12 \text{ m} \times 885 \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	= 254880 kg
6. Balok induk melintang	: $188 \text{ m} \times 76 \text{ kg/m}^2$	= 14288 kg
7. Balok induk memanjang	: $175 \text{ m} \times 49.6 \text{ kg/m}^2$	= 8680 kg
8. Balok anak melintang	: $40 \text{ m} \times 29.6 \text{ kg/m}^2$	= 1184 kg
9. Balok anak memanjang	: $60 \text{ m} \times 29.6 \text{ kg/m}^2$	= 1176 kg
10. Berat dinding	: $645.75 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kg/m}^2$	= 161437.5 kg
11. Plafond dan rangka	: $885 \text{ m}^2 \times 11 \text{ kg/m}^2$	= 9735 kg
12. Kolom	: $40 \times 1.75 \text{ m} \times 449.25 \text{ kg/m}^2$	= <u>31447.36 kg</u>
	Total	= 497757.44 kg
13. Berat lain-lain 10 %	: $10 \% \times 497757.44 \text{ kg}$	= <u>49775.74 kg</u>
	Total beban mati	= 547533.18 kg
14. Beban hidup	: $885 \text{ m}^2 \times 100 \text{ kg/m}^2 \times 0.5$	= <u>44250 kg</u>
	Total berat atap	= 591783.18 kg

Lantai 4,3 dan 2

1. Berat plat lantai	$: 885 \text{ m}^2 \times 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 254880 \text{ kg}$	
2. Balok induk	$: 14288 \text{ kg} + 8680 \text{ kg}$	= 22968 kg
3. Balok anak	$: 1184 \text{ kg} + 1176 \text{ kg}$	= 2360 kg
4. Berat dinding		= 339675 kg
5. Plafond	$: 885 \text{ m}^2 \times 11 \text{ kg/m}^2$	= 9735 kg
6. Kolom	$: 40 \times 3.5 \text{ m} \times 449.25 \text{ kg/m}^3$	= <u>62895 kg</u>
	Total	= 692513 kg
7. Berat lain-lain	$: 10 \% \times 692513 \text{ kg}$	= 69251.3 kg
8. Beban hidup	$: 885 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 0.5$	= <u>110625 kg</u>
	Total berat	= 872389.3 kg

Lantai 1

1. Berat plat lantai	$: 1080 \text{ m}^2 \times 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 311040 \text{ kg}$	
2. Balok induk		= 25444 kg
3. Balok anak		= 3129.6 kg
4. Berat dinding		= 345937.5 kg
5. Plafond	$: 1080 \text{ m}^2 \times 11 \text{ kg/m}^2$	= 11880 kg
6. Kolom		= <u>65365.875 kg</u>
	Total	= 762796.97 kg

7. Berat lain-lain	: $10\% \times 762796.97 \text{ kg}$	= 76279.69 kg
8. Beban hidup	: $1080 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 0.5$	= <u>135000 kg</u>
	Total berat	= 974076.67 kg

Perhitungan gaya geser ditabelkan sebagai berikut :

Lantai	$H_i (\text{m})$	$W_i (\text{kg})$	$W_i \cdot H_i (\text{kNm})$	$F_i = \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i} V (\text{kg})$
1	4	974076.67	3896306.69	28206.15
2	7.5	872389.3	6542919.75	47365.513
3	11	872389.3	9596282.30	69469.42
4	14.5	872389.3	12649644.85	91573.325
Atap	18	591783.184	10652097.31	77112.676
Total		4183027.757	43337250.9	
$V = C.I. K.W_i (\text{kg})$			313727.082	

Harga F dalam tabel merupakan gaya geser per tingkat akibat beban gempa, yang kemudian harus dibagi per portal dalam masing-masing arah.

Gaya geser per tingkat per portal :

Dalam arah memanjang terdiri dari enam portal, sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Lantai 1} = \frac{28206.15}{6} = 4701.025 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 2} = \frac{47365.513}{6} = 7894.25 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 3} = \frac{69469.42}{6} = 11578.24 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 4} = \frac{91573.325}{6} = 15262.22 \text{ kg}$$

$$\text{Atap} = \frac{77112.676}{6} = 12852.11 \text{ kg}$$

Untuk arah melintang portal A menerima beban gempa sebesar :

$$\text{Gaya geser portal A} = \frac{\text{Luas portal A}}{\text{Luas total}} \times \text{gaya geser pertingkat}$$

$$\text{Luas lantai yang dipikul portal A} = 5.00 \times 18.00 = 90 \text{ m}^2$$

Luas keseluruhan = 885 m², sehingga gaya geser pertingkat untuk portal A :

$$\text{Lantai 1} = \frac{90}{885} \times 28206.15 = 2868.42 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 2} = \frac{90}{885} \times 47365.513 = 4816.83 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 3} = \frac{90}{885} \times 69469.42 = 7064.69 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 4} = \frac{90}{885} \times 91573.325 = 9312.54 \text{ kg}$$

$$\text{Atap} = \frac{90}{885} \times 77112.676 = 7841.97 \text{ kg}$$

Sedangkan gaya geser untuk portal-portal lainnya dalam arah melintang :

$$\text{Lantai 1} = \frac{28206.15 - 2868.42}{6} = 4222.955 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 2} = \frac{47365.513 - 4816.83}{6} = 7091.45 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 3} = \frac{69469.42 - 7064.69}{6} = 10400.79 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai 4} = \frac{91573.325 - 9312.54}{6} = 13710.13 \text{ kg}$$

$$\text{Atap} = \frac{77112.676 - 7841.97}{6} = 11545.12 \text{ kg}$$

4.2. Analisa Struktur

Struktur dalam tugas akhir ini dianalisa dengan bantuan program SAP2000 secara tiga dimensi. Balok-balok dibebani sesuai dengan hasil perhitungan pada subbab 4.1 dan pada beberapa balok dibebani beban hasil reaksi tangga.

Pada dasar kolom dianggap tumpuan jepit dengan taraf nol pada permukaan dasar kolom. Sedangkan untuk ujung-ujung balok dianggap sebagai tumpuan sendi dengan harapan pada balok hanya timbul momen positif sehingga balok dapat bekerja secara optimal sebagai balok komposit. Tentunya untuk beban horizontal (beban gempa) harus ada yang menerima apabila balok tidak dapat memikulnya. Sehingga beban horizontal ini direncanakan dipikul oleh bresing yang ditempatkan di tempat-tempat tertentu pada masing-masing arah tinjauan bangunan (arah X dan arah Y).

Analisa dilakukan berulang-ulang sampai dengan mendapatkan elemen-elemen struktur yang optimal. Balok-balok, kolom-kolom dan bresing pada analisa awal direncanakan terlebih dahulu dengan profil yang sekiranya mampu yang kemudian diperiksa kekuatan dan kemampuan layannya. Apabila masih tersedia ruang aman yang cukup maka dimensi awal diperkecil sehingga benar-benar didapat profil yang optimal.

Input dan hasil perhitungan oleh program SAP2000 dapat dilihat pada lampiran analisa struktur.

4.3. Perencanaan Balok Induk

Balok Induk Melintang ($L = 10.00 \text{ m}$)

Setelah dilakukan *trial and error* untuk memeriksa dimensi profil, maka dicoba profil WF 450 x 200 x 8 x 12, dengan

$$A = 84.3 \text{ cm}^2 \quad r = 18 \text{ mm}$$

$$I_s = 28700 \text{ cm}^4 \quad W_s = 1290 \text{ cm}^3$$

Kuat tahanan beton lantai (f_c') = 22.5 MPa, Panjang bentang balok induk (L) = 10.00 m,

$$B_{eff} = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} 10.00 = 1.25 \text{ m}$$

Periksa sebelum komposit

Beban-beban sebelum komposit :

- Beban beton : $1.25 \text{ m} \times 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	= 360 kg/m ³
- Berat sendiri profil	= 66.2 kg/m ³
	= 426.2 kgm ³
- Berat ikatan (10%)	= 42.62 kg/m ³
q _p	= 468.82 kg/m ³

Beban terpusat akibat balok anak (P) = 1833.44 kg

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} q l^2 + \frac{1}{4} P l \\ &= \frac{1}{8} 468.82 \cdot 10^2 + \frac{1}{4} 1833.44 \cdot 10 \\ &= 5860.25 + 4583.6 \\ &= 10443.85 \text{ kgm} = 1044385 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$M_U = 1.2 \times 1044385 = 1253262 \text{ kgcm}$$

Kontrol penumpang profil :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{b}{2t_f} = \frac{200}{2.12} = 8.33 \\ \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97 \end{array} \right\} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p$$

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{h}{t_s} = \frac{450}{8} = 56.25 \\ \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \frac{h}{t_s} < \lambda_p$$

Penampang Kompak $M_n = M_p$

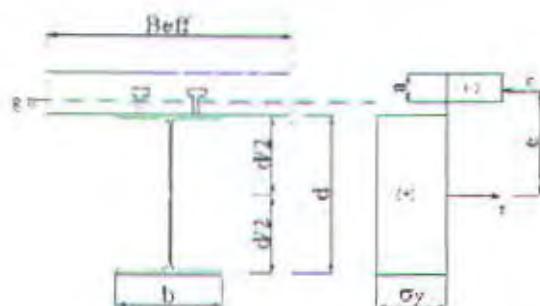
Momen nominal :

$$M_n = f_y \cdot Z_x$$

$$= 2400 \cdot 1.141290 = 3529440 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \cdot 3529440 = 3176496 \text{ kgcm} > M_u = 1253262 \text{ kgcm (OK)}$$

Setelah komposit :



Periksa profil :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{t_s} = \frac{450}{8} = 56.25 \\ \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\} \frac{h}{t_s} < \lambda_p$$

Penampang kompak, sehingga $M_n = M_p$ dengan $\phi = 0.85$

Periksa

$$C = 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot t_{plat} = 0.85 \cdot 225 \cdot 125 \cdot 12 = 286875 \text{ kg}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 84.3 \cdot 2400 = 202320 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan : $C = 143437.5 \text{ kg} > T = 71160 \text{ kg}$, sehingga :

- Beton lebih kuat daripada profil baja
- Garis netral berada di dalam plat beton

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' B_{eff}} = \frac{202320}{0.85 225 125} = 8.463 \text{ cm} < t = 12 \text{ cm}, \text{ g.n. berada di dalam plat beton}$$

Jadi momen plastis penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_p &= 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot a \cdot (t - \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}a) \\ &= 0.85 \cdot 225 \cdot 125 \cdot 8.463 \cdot (12 - \frac{1}{2}22.5 + \frac{1}{2}8.463) \\ &= 6123880.355 \text{ kgcm} \\ \phi M_p &= 0.85 \cdot 6123880.355 \\ &= 5205298.3 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa struktur dengan combo 7 ($1.2 q_D + 1.6 q_L$) didapatkan momen yang bekerja adalah (ambil balok dengan momen terbesar yaitu portal G) :

$$M_t = 28511.51 \text{ kgm} = 2851151 \text{ kgcm}$$

Momen yang bekerja dibandingkan dengan momen plastis penampang

$$\phi M_p = 5205298.3 \text{ kgcm} > M_t = 2851151 \text{ kgcm} \text{ (OK)}$$

Momen plastis penampang lebih besar daripada momen akibat beban berfaktor, sehingga balok mampu memikul beban yang diterima.

Perencanaan penghubung geser

Penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud dengan,

$$d_s = \frac{1}{2} " = 1.27 \text{ cm}, H = 2 " = 5.08 \text{ cm}$$

$$E_c = W^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f'_c}$$
$$= 2400^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{22.5} = 23981.51 \text{ MPa}$$

$$q_{ult} = 0.0004 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$
$$= 0.0004 \cdot 12.7^2 \cdot \sqrt{22.5 \cdot 23981.51} = 47.39 \text{ kN} = 4739 \text{ kg}$$

Maka kekuatan satu penghubung geser :

$$q_u = \frac{q_{ult}}{2} = \frac{4739}{2} = 2369.5 \text{ kg}$$

Gaya geser yang bekerja :

$$V_h = \frac{C_{max}}{2} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot A_z}{2} = \frac{0.85 \cdot 225 \cdot 125 \cdot 12}{2} = 143437.5 \text{ kg}$$

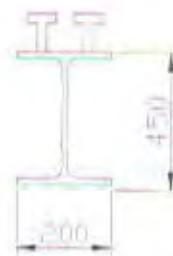
$$V_h = \frac{T_{max}}{2} = \frac{A_s \cdot \sigma_v}{2} = \frac{84.3 \cdot 2400}{2} = 101160 \text{ kg}$$

V_h diambil yang terkecil, yaitu $V_h = 101160 \text{ kg}$

Jadi jumlah penghubung geser pada daerah $M = 0$ sampai dengan $M = M_p$ adalah :

$$n = \frac{V_h}{q_u} = \frac{101160}{2369.5} = 42.69 \text{ buah} \approx 43 \text{ buah}$$

Pemasangan penghubung geser seperti pada gambar :



Jarak antar penghubung geser ; $5.00 \text{ m} - (22 \cdot 1.27) = 472.06 \text{ cm} / 21 = 22.48 \text{ cm}$

Kontrol lendutan

1. Lendutan sebelum komposit

$$\text{Lendutan yang diijinkan} = \bar{f} = \frac{L}{360} = \frac{1000}{360} = 2.78 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_x}$$

Beban yang bekerja

$$\text{Beban merata} \quad q_D = 468.82 \text{ kg/m}^2$$

Sedangkan beban terpusat dari balok anak memanjang :

$$q_{\text{anak memanjang}} = q_D = 391.435 \text{ kg/m}^2$$

Beban terpusat akibat balok anak melintang yang diterima balok anak memanjang :

$$P = q_D \times L \times 0.5 = 292.45 \text{ kg} \times 5 \text{ m} \times 0.5 = 731.125 \text{ kg}$$

Sehingga dengan beban terpusat dari balok anak melintang ($P = 731.125 \text{ kg}$), dapat dihitung :

$$P = (391.435 \times 7.5 \times 0.5) + (731.125 \times 0.5) = 1833.44 \text{ kg}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_s} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_s} = \frac{5}{384} \frac{4.6882 \cdot 1000^4}{2.1 \cdot 10^9 \cdot 28700} + \frac{1}{48} \frac{1833.44 \cdot 1000^3}{2.1 \cdot 10^9 \cdot 28700}$$

$$f = 1.01 + 0.63 = 1.64 \text{ cm}$$

$$f_y = 1.64 \text{ cm} < f_{yin} = 2.78 \text{ cm} (\text{OK})$$

2. Sesudah komposit

Beban yang bekerja

- Berat merata	= 803.25 kg/m ²
- Berat sendiri profil	= 66.2 kg/m ²
q _d	= 869.45 kg/m ²

Beban terpusat (P) :

$$q_{\text{anak memanjang}} = q_D + q_L = 391.435 + 234.375 = 625.81 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga dengan beban terpusat dari balok anak melintang ($P = 3004.94 \text{ kg}$), dapat dihitung :

$$P = (625.81 \times 7.5 \times 0.5) + (3004.94 \times 0.5) = 3849.2575 \text{ kg}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2110^5}{22866.09} = 9.18$$

Momen inersia sesudah komposit

$$\begin{aligned} I_t &= I_s + A_s d_s^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} d_c^2 \\ &= 28700 + 84.3 (22.5 + 12 - 8.463)^2 + \frac{1}{12} \frac{125}{9.18} 12^3 + \frac{125}{9.18} 12 (8.463 - 6)^2 \\ &\approx 88801.126 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_{komp}} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_{komp}} = \frac{5}{384} \frac{8.6945 \cdot 1000^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 88801.126} + \frac{1}{48} \frac{3849.26 \cdot 1000^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 88801.126}$$

$$f = 0.61 + 0.43 = 1.04 \text{ cm}$$

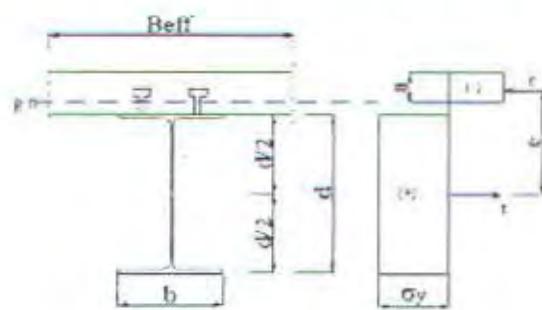
$$f_y = 1.04 \text{ cm} < f_{yin} = 2.78 \text{ cm (OK)}$$

Lendutan yang terjadi baik sebelum dan setelah komposit masih jauh berada di bawah lendutan ijin sehingga profil dapat dipakai.

Balok Induk Memanjang ($L = 7.50 \text{ m}$)

Setelah dilakukan *trial and error* untuk memeriksa dimensi profil, maka dicoba profil WF 350 x 175 x 7 x 11, dengan

$$\begin{aligned} A &= 63.1 \text{ cm}^2 & r &= 14 \text{ mm} \\ I_s &= 13600 \text{ cm}^4 & W_s &= 775 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



Kuat tekan beton lantai (f_c') = 22.5 MPa, Panjang bentang balok induk (L) = 7.50 m, sehingga lebar efektif balok :

$$B_{\text{eff}} = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} 7.50 = 0.9375 \text{ m} \approx 0.94 \text{ cm}$$

Periksa sebelum komposit

Beban-beban sebelum komposit :

- Beban beton : $1.00 \text{ m} \times 0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
- Berat sendiri profil	<u>$= 49.6 \text{ kg/m}^2$</u>
	$= 337.6 \text{ kgm}^2$
- Berat ikatan (10%)	<u>$= 33.76 \text{ kg/m}^2$</u>
	$q_D = 371.36 \text{ kg/m}^2$

Beban terpusat akibat balok anak (P) = 731.225 kg

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} q l^2 + \frac{1}{4} P l \\ &= \frac{1}{8} 371.36 7.5^2 + \frac{1}{4} 731.225 7.5 \\ &= 2611.125 + 1371.05 \\ &= 3982.175 \text{ kgm} = 398217.5 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$M_U = 1.2 \times 398217.5 = 477861 \text{ kgcm}$$

Kontrol penampang profil :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{b}{2t_f} = \frac{175}{2.11} = 7.95 \\ \quad \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.97 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p \\ \frac{h}{t_w} < \lambda_p \end{array} \right\} \quad \text{Penampang Kompak } M_n = M_p$$

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad \frac{h}{t_w} = \frac{350}{7} = 50 \\ \quad \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \end{array} \right\}$$

Momen nominal :

$$M_n = -f_y \cdot Z_x$$
$$= 2400 \cdot 1.14775 = 2120400 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \cdot 2120400 = 1908360 \text{ kgcm} > M_u = 477861 \text{ kgcm (OK)}$$

Setelah komposit

Periksa profil :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{350}{7} = 50$$
$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 108.44 \quad \left. \right\} \quad \frac{h}{t_w} < \lambda_p$$

Penampang kompak, sehingga $M_n = M_p$ dengan $\phi = 0.85$

Periksa

$$C = 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot t_{plat} = 0.85 \cdot 225 \cdot 94 \cdot 12 = 215156.25 \text{ kg}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 63.1 \cdot 2400 = 151440 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan : $C = 215156.25 \text{ kg} > T = 151440 \text{ kg}$, sehingga :

- Beton lebih kuat daripada profil baja
- Garis netral berada di dalam plat beton

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' B_{eff}} = \frac{151440}{0.85 225 94} = 8.45 \text{ cm} < t = 12 \text{ cm}, \text{ g.n. berada di dalam plat beton}$$

Jadi momen plastis penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_p = 0.85 \cdot f_c' \cdot B_{eff} \cdot a \cdot (t + \frac{t_2}{2} d - \frac{t_2}{2} a)$$
$$= 0.85 \cdot 225 \cdot 94 \cdot 8.45 \cdot (12 + \frac{17.5}{2} - \frac{17.5}{2} \cdot 8.45)$$
$$= 3829310.596 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_p = 0.85 \cdot 3829310.596$$
$$= 3254914.067 \text{ kgcm}$$

Dari hasil analisa struktur dengan combo 7 ($1.2 q_D + 1.6 q_L$) didapatkan momen yang bekerja adalah (ambil balok dengan momen terbesar yaitu portal 3) :

$$M_U = 1660335 \text{ kgcm}$$

Momen yang bekerja dibandingkan dengan momen plastis penampang

$$\phi M_p = 3254914.067 \text{ kgcm} > M_U = 1660335 \text{ kgcm} \text{ (OK)}$$

Momen plastis penampang lebih besar daripada momen akibat beban berfaktor, sehingga balok mampu memikul beban yang diterima.

Perencanaan penghubung geser

Penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud dengan,

$$d_s = \frac{1}{2} " = 1.27 \text{ cm}, H = 2 " = 5.08 \text{ cm}$$

$$E_c = W^{1/5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f_c'} \\ = 2400^{1/5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{22.5} = 23981.51 \text{ MPa}$$

$$q_{uh} = 0.0004 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \\ = 0.0004 \cdot 12.7^2 \cdot \sqrt{22.5 \cdot 23981.51} = 47.39 \text{ kN} = 4739 \text{ kg}$$

Maka kekuatan satu penghubung geser :

$$q_u = \frac{q_{uh}}{2} = \frac{4739}{2} = 2369.5 \text{ kg}$$

Gaya geser yang bekerja :

$$V_h = \frac{C_{maks}}{2} = \frac{0.85 \cdot f_c' \cdot A_i}{2} = \frac{0.85 \cdot 225.94 \cdot 12}{2} = 107578.25 \text{ kg}$$

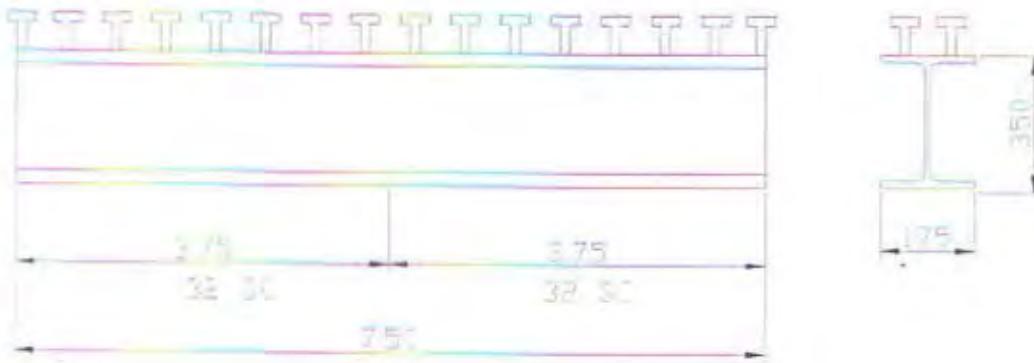
$$V_h = \frac{T_{maks}}{2} = \frac{A_i \cdot \sigma_y}{2} = \frac{151440}{2} = 75720 \text{ kg}$$

V_h diambil yang terkecil, yaitu $V_h = 75720 \text{ kg}$

Jadi jumlah penghubung geser pada daerah $M = 0$ sampai dengan $M = M_p$ adalah :

$$n = \frac{V_h}{q_u} = \frac{75720}{2369.5} = 31.95 \text{ buah} \approx 32 \text{ buah}$$

Pemasangan penghubung geser seperti pada gambar :



Jarak antar penghubung geser : $3.70 \text{ m} - (16 \cdot 1.27) = 354.68 \text{ cm} / 15 = 23.64 \text{ cm}$

Kontrol lendutan

1. Lendutan sebelum komposit

$$\text{Lendutan yang diijinkan} = \tilde{f} = \frac{L}{360} = \frac{750}{360} = 2.08 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_s} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_s}$$

Beban yang bekerja

$$\text{Beban merata : } q_D = 371.36 \text{ kg/m'}$$

Sedangkan beban terpusat dari balok anak melintang :

$$q_{\text{anak melintang}} = q_D = 292.49 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga beban terpusat dapat dihitung :

$$P = (292.49 \times 5 \times 0.5) = 731.225 \text{ kg}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_x} = \frac{5}{384} \frac{3.7136 \cdot 750^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 13600} + \frac{1}{48} \frac{731.225 \cdot 750^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 13600}$$

$$f = 0.54 + 0.225 = 0.775 \text{ cm}$$

$$f_y = 0.775 \text{ cm} < f_{ijin} = 2.78 \text{ cm (OK)}$$

2. Sesudah komposit

Beban yang bekerja

- Berat merata	= 1116.08 kg/m ³
- Berat sendiri profil	= 49.6 kg/m ³
q _d	= 1165.68 kg/m ³

Beban terpusat (P)

$$q_{\text{tanak melintang}} = q_D + q_L = 292.49 + 156.25 = 448.74 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga beban terpusat dapat dihitung :

$$P = (448.74 \times 5 \times 0.5) = 1121.85 \text{ kg}$$

$$n = \frac{E_s}{E_e} = \frac{2.1 \cdot 10^5}{22866.09} = 9.18$$

Momen inersia sesudah komposit

$$\begin{aligned} I_t &= I_s + A_s d_s^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} d_c^2 \\ &= 13600 + 63.1 (17.5 + 12 - 8.45)^2 + \frac{1}{12} \frac{94}{9.18} 12^3 + \frac{94}{9.18} 12 (8.45 - 6)^2 \\ &= 43802.25 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_{\text{komp}}} + \frac{1}{48} \frac{P L^3}{E I_{\text{komp}}} = \frac{5}{384} \frac{11.6568 \cdot 750^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 43802.25} + \frac{1}{48} \frac{1121.85 \cdot 750^3}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 43802.25}$$

$$f = 0.522 + 0.107 = 0.629 \text{ cm}$$

$$f_y = 0.629 \text{ cm} < f_{ijin} = 2.08 \text{ cm (OK)}$$

Lendutan yang terjadi baik sebelum dan setelah komposit masih jauh berada di bawah lendutan ijin sehingga profil dapat dipakai.

4.4. Perencanaan Kolom Komposit

Dari hasil analisa struktur, maka didapat kolom lantai dasar C-3 yang memiliki gaya-gaya dan momen paling besar, sebagai berikut :

Akibat Beban Mati

Arah X : - Gaya aksial : 94443,56 kg

- Momen ujung i : 1090.7 kgm

- Momen ujung j : 3306.2 kgm

Arah Y : - Momen ujung j : 314.48 kgm

Akibat Beban Gempa Melintang

Arah X : - Gaya aksial : 2043,15 kg

- Momen ujung i : 62088.79 kgm

- Momen ujung j : 39835,31 kgm

Arah Y : - Momen ujung j : 474.32 kgm

Akibat Beban Hidup

Arah X : - Gaya aksial : 32595,19 kg

- Momen ujung i : 644.76 kgm

- Momen ujung j : 1923.6 kgm

Arah Y : - Momen ujung j : 147.73 kgm

Akibat Beban Gempa Memanjang

Arah X : - Gaya aksial : 138726,8 kg

- Momen ujung i : 10.79 kgm

- Momen ujung j : 61.24 kgm

Arah Y : - Momen ujung j : 35237,81 kgm

- Momen ujung i : 2659.36 kgm

Kolom komposit direncanakan memakai profil WF 400x400x20x35

$$A_s = 360.70 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 18.2 \text{ cm}$$

$$W_y = 1930 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 119000 \text{ cm}^4$$

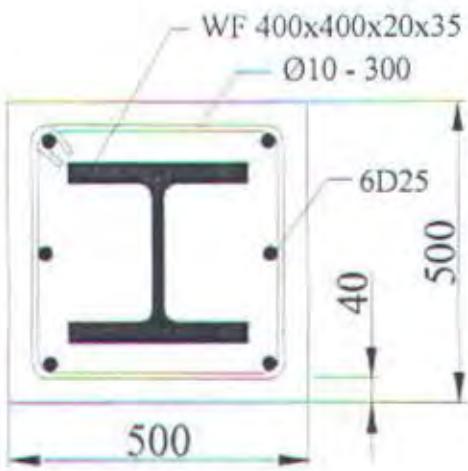
$$i_y = 10.4 \text{ cm}$$

$$r = 22 \text{ mm}$$

$$I_y = 39400 \text{ cm}^4$$

$$W_s = 5570 \text{ cm}^3$$

Profil baja yang dipakai adalah profil dengan mutu baja BJ37 dan beton yang dipakai mempunyai kuat tekan $f_c' = 22.5 \text{ MPa}$. Tulangan yang dipasang bermutu (f_y) 240 MPa.



Kontrol Luas Penampang

Syarat : $\frac{\text{Luas profil baja}}{\text{Luas kolom}} > 4\%$

$$; \frac{A_s}{A_{col}} = \frac{360.7}{50 \times 50} = 0.14 = 14\% > 4\% \quad (\text{OK})$$

Syarat Luas Tul. Longitudinal

Pasang tulangan longitudinal 6D25 dan tulangan sengkang $\phi 10 - 300$.

$$\text{Luas tul. longitudinal} : A_t = 6 \times (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2.5^2) = 29.44 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jarak spasi antar tul. longitudinal} : 500 - (10 \times 2 + 40 \times 2) = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm}$$

$$; \frac{40 - (3 \times 25)}{2} = 10.83 \text{ cm}$$

$$\text{Syarat} : 108.3 \text{ mm} \times 0.18 = 19.5 \text{ mm}^2 < A_t = 29.44 \text{ cm}^2 \quad (\text{OK})$$

Syarat Luas Tul. Sengkang

$$\text{Luas tulangan sengkang} : \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas sengkang minimun} : 0.18 \times 300 \text{ mm} = 54 \text{ mm}^2 < 157 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Luas Penampang Bersih Beton Kolom (A_{cn})

$$A_{cn} = A_{col} - (A_s + A_t) = (50 \times 50) - (360.7 + 29.44) = 2109.86 \text{ cm}^2$$

Untuk profil baja yang diberi selubung beton :

$$C_1 = 0.7 \quad C_2 = 0.6 \quad C_3 = 0.2$$

Tegangan Leleh Kolom Komposit (f_{my})

$$\begin{aligned} f_{my} &= f_y + c_1 f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 f_c \left(\frac{A_{cn}}{A_s} \right) \\ f_{my} &= 240 + 0.7 \cdot 240 \left(\frac{29.44}{360.7} \right) + 0.6 \cdot 22.5 \left(\frac{2109.86}{360.7} \right) \\ &= 240 + 13.71 + 78.966 \\ &= 332.676 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Modulus Elastisitas Kolom Komposit (E_m)

$$\begin{aligned} E_c &= W^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{f_c'} \\ &= 2400^{1.5} \cdot 0.041 \cdot \sqrt{22.5} = 22866.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_m &= E_s + c_3 E_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \\ &= 2.1 \cdot 10^5 + 0.2 \cdot 22866.1 \cdot \frac{2109.86}{360.7} \\ &= 236750.36 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jari-jari Girasi Kolom Komposit ($r_{m\beta}$)

$$r_{\beta} = 0.3, b = 0.3, 50 = 15 \text{ cm}$$

Panjang Efektif Kolom

$$G = \frac{\sum \left[\frac{I}{L} \right]_c}{\sum \left[\frac{I}{L} \right]_b}$$

Arah X

Balok memiliki $I_x = 13600 \text{ cm}^4$ dengan panjang $L = 7.5 \text{ m}$ dan 5 m , sehingga

$G_A = 1$ (jepit)

$$G_A = \frac{\sum \left[\frac{I_x}{L} \right]_c}{\sum \left[\frac{I_x}{L} \right]_b} = \frac{\frac{119000}{350} + \frac{119000}{400}}{\frac{13600}{750} + \frac{13600}{500}} = 14.06$$

Arah Y

Balok memiliki $I_y = 28700 \text{ cm}^4$ dengan panjang $L = 10 \text{ m}$ dan 4 m , sehingga

$G_A = 1$ (jepit)

$$G_A = \frac{\sum \left[\frac{I_y}{L} \right]_c}{\sum \left[\frac{I_y}{L} \right]_b} = \frac{\frac{39400}{350} + \frac{39400}{400}}{\frac{28700}{1000} + \frac{28700}{400}} = 2.1$$

Dari kedua arah arah Y yang menentukan sehingga dengan $G_A = 1$ dan $G_B = 2.1$ maka dengan bantuan nomogram gambar 2.5, untuk struktur tak bergoyang didapat $k = 0.82$

Kelangsungan Kolom (λ_c)

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r_m} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} = \frac{0.82 \cdot 400}{15} \sqrt{\frac{332.676}{236750.36}} = 0.82, \text{ sehingga}$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot 0.82} = 1.36$$

Kemampuan Tekan Kolom (P_n)

$$f_{cr} = \frac{f_{ay}}{\omega} = \frac{332.676}{1.36} = 244.62 \text{ MPa}$$

$$P_n = A_s \cdot f_{cr} = 360.7 \cdot 244.62 = 882344.34 \text{ kg}$$

$$\phi_n \cdot P_n = 0.85 \cdot 882344.34 = 749992.689 \text{ kg}$$

Gaya Aksial yang Bekerja

$$\begin{aligned} P_u &= 1.2 \cdot P_D + P_L + P_E \\ &= 1.2 \cdot 94443.56 + 32595.19 + 0.3 \cdot 2043.15 + 0.3 \cdot 138726.8 \\ &= 285267.21 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u = 285267.21 \text{ kg} < \phi_n \cdot P_n = 749992.689 \text{ kg}$$

Beban tekan yang dipikul profil

$$\begin{aligned} \phi \cdot P_{ns} &= 0.85 \cdot A_s \cdot f_y \\ &= 0.85 \cdot 360.7 \cdot 2400 = 735828 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban tekan yang langsung dipikul beton

$$\begin{aligned} \phi \cdot P_{nc} &= \phi \cdot P_n - \phi \cdot P_{ns} \\ &= 749992.689 - 735828 \\ &= 14164.689 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat $\phi \cdot P_{nc} \leq 1.7 \cdot \phi \cdot f_c' \cdot A_b$

$$A_b = \frac{\phi \cdot P_{nc}}{1.7 \cdot \phi \cdot f_c'} = \frac{14164.689}{1.7 \cdot 0.85 \cdot 225} = 43.57 \text{ cm}^2$$

$$A_{cn} = 2109.86 \text{ cm}^2 > A_b = 43.57 \text{ cm}^2 \text{ (OK)}$$

Momen Nominal Kolom Komposit

$$\begin{aligned} \text{Luas badan profil (A}_w\text{)} &= 2 \times (40 - 2(3.5 + 2.2)) \\ &= 57.2 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal selimut (C}_t\text{)} = 4 \text{ cm}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{285267.21}{749992.689} = 0.38 > 0.3, \text{ maka}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= f_y Z + \frac{1}{3} (h_2 - 2C_r) A_r f_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_w f_y}{1.7 f_c h} \right) A_w f_y \\
 M_{nx} &= f_y Z_s + \frac{1}{3} (h_2 - 2C_r) A_r f_{yv} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_w f_y}{1.7 f_c h} \right) A_w f_y \\
 &= 2400 \cdot 1.14 \cdot 5570 + \frac{1}{3} (40 - 2 \cdot 4) 29.44 \cdot 2400 + \left(\frac{40}{2} - \frac{57.2 \cdot 2400}{1.7 \cdot 225 \cdot 40} \right) 57.2 \cdot 2400 \\
 &= 15239520 + 753664 = 1513848.71 \\
 &= 17507032.47 \text{ kgcm} \\
 \phi M_{nx} &= 0.85 \cdot 17507032.47 = 14880977.6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= f_y Z_y + \frac{1}{3} (h_2 - 2C_r) A_r f_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_w f_y}{1.7 f_c h} \right) A_w f_y \\
 &= 2400 \cdot 1.14 \cdot 1930 + \frac{1}{3} (40 - 2 \cdot 4) 29.44 \cdot 2400 + \left(\frac{40}{2} - \frac{57.2 \cdot 2400}{1.7 \cdot 225 \cdot 40} \right) 57.2 \cdot 2400 \\
 &= 5280480 + 753664 = 1513848.71 \\
 &= 7547992.471 \text{ kgcm} \\
 \phi M_{ny} &= 0.85 \cdot 7547992.471 = 6415793.6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Momen yang Bekerja

$$M_{u \text{ ny}} = \delta_b \cdot M_{intu} + \delta_s \cdot M_{intu}$$

$C_m = 0.85$ (untuk struktur tidak bergoyang dengan ujung-ujung kaku)

$$N_{cr} = \frac{A_b f_y}{\lambda_c^2} = \frac{360.7 \cdot 2400}{0.82^2} = 1287447.95 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{cr}}} = \frac{0.85}{1 - \frac{285267.21}{1287447.95}} = 1.09$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{2701769.54}{36 \cdot 1287447.95}} = 0.32 < 1 \rightarrow \delta_s = 1$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= \delta_b \cdot M_{ntx} + \delta_s \cdot M_{ntx} \\ &= 1.09 (1.2 M_D + M_L) + 1 \cdot M_E \\ &= 1.09 (1.2 \cdot 3306.2 + 1923.6) + (62088.79 + 0.3 \cdot 61.24) \\ &= 6852839.6 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_b \cdot M_{nuy} + \delta_s \cdot M_{nuy} \\ &= 1.09 (1.2 M_D + M_L) + 1 \cdot M_E \\ &= 1.09 (1.2 \cdot 314.48 + 147.73) + (474.32 + 0.3 \cdot 35237.81) \\ &= 1161803 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Interaksi Gaya Aksial dan Momen

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{285267.21}{749992.689} = 0.38 > 0.2, \text{ sehingga interaksi:}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{nx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ny}}{\phi M_{ny}} \right) &\leq 1 \\ \frac{285267.21}{749992.689} + \frac{8}{9} \left(\frac{6852839.6}{14880977.6} + \frac{1161803}{6415793.6} \right) &\leq 1 \\ 0.38 + \frac{8}{9} (0.46 + 0.18) &\leq 1 \\ 0.95 &< 1 (\text{OK}) \end{aligned}$$

Hasil interaksi lebih kecil daripada 1 sehingga profil dan dimensi yang dipilih untuk kolom memenuhi syarat.

4.5. Perencanaan Bresing

Bresing menerima beban aksial tekan dan tarik. Pada sub bab ini diperiksa presing yang menerima gaya aksial tekan. Ambil bresing yang mengalami gaya aksial tekan terbesar yaitu bresing pada as C3 – A3.

Pakai profil WF 250 x 175 x 7 x 11

$$A = 56.24 \text{ cm}^2 \quad i_s = 10.4 \text{ cm}$$

$$I_x = 6120 \text{ cm}^4 \quad i_y = 4.18 \text{ cm}$$

$$I_y = 984 \text{ cm}^4 \quad r = 16 \text{ mm}$$

Panjang Bresing

$$L = \sqrt{2.5^2 + 2^2} = 3.2 \text{ m}$$

Kontrol penampang profil :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b}{2t_f} = \frac{17.5}{2.1.1} = 7.95 \\ \lambda_p = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = 16.14 \end{array} \right\} \frac{b}{2t_f} < \lambda_p \quad \left. \begin{array}{l} h \\ t_w \end{array} \right\} \frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \left. \begin{array}{l} \lambda_p = \frac{665}{\sqrt{f_t}} = 42.93 \end{array} \right\} \text{Penampang Kompak}$$

$$L_{kx} = L_{ky} = 1 : L = 3.2 \text{ m}$$

Kelangsungan Bresing

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{320}{10.4} = 30.77$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{320}{4.18} = 76.56 < \frac{1900}{\sqrt{f_y}} = \frac{1900}{\sqrt{240}} = 122.65$$

Arah Y menentukan sehingga :

$$\lambda_c = \frac{\lambda_e}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{76.56}{3.14} \sqrt{\frac{240}{2.110^5}} = 0.82 \quad , \quad 0.25 < \lambda_c = 0.82 < 1.2 \quad , \text{ maka}$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot 0.82} = 1.36$$

Kemampuan Tekan Bresing

$$f_r = \frac{f_y}{\omega} = \frac{2400}{1.36} = 1758.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = 56.24 \cdot 1758.45 = 98895.228 \text{ kg}$$

$$\phi_n \cdot N_n = 0.85 \cdot N_n = 0.85 \cdot 98895.228 = 84060.75 \text{ kg}$$

Untuk bresing yang menerima gaya aksial tekan, kemampuan tekannya adalah :

$$0.8 \phi_n \cdot N_n = 0.8 \cdot 84060.75 = 67248 \text{ kg}$$

Gaya aksial tekan yang bekerja :

$$\text{Akibat beban mati : } N_D = 647.69 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat beban hidup : } N_L = 163.63 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat gempat memanjang : } N_E = 22721.32 \text{ kg}$$

Kombinasi beban :

$$\begin{aligned} N_U &= 1.2 N_D + \gamma N_L + \Omega_a N_E \\ &= 1.2 \cdot 647.69 + 163.63 + 2.2 \cdot 22721.32 \\ &= 50927.762 \text{ kg} \end{aligned}$$

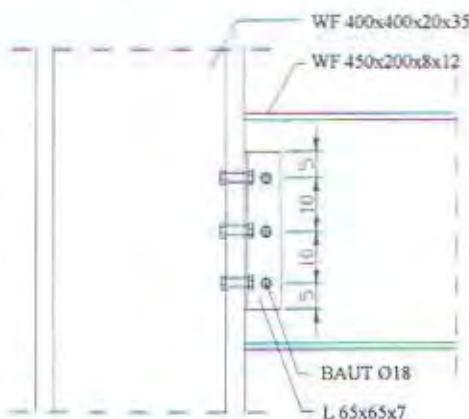
$$N_U = 50927.762 \text{ kg} > 0.8 \phi_n \cdot N_n = 67248 \text{ kg}$$

Gaya aksial tekan yang bekerja masih di bawah kemampuan tekan profil, sehingga profil yang terpilih dapat dipakai.

4.6. Perencanaan Sambungan

4.6.1. Sambungan Balok Induk Melintang – Kolom

Sambungan antara balok induk melintang dengan kolom direncanakan dengan baut yang tidak dapat memikul momen karena disesuaikan dengan anggapan dalam analisa sebagai sendi.



Dari hasil analisa balok portal C :

$$P_U = V_{Ubalok} \text{ (combo 7)} \\ = 11445.92 \text{ kg}$$

Pakai baut diameter 18 mm dengan mutu BJ 37, kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{ng}) : \phi x 0.4 x m x f_u x A_b = 0.75 x 0.4 x 3700 x 0.25 x 3.14 x 1.8^2 = 2823.17 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{\text{ay}}) : \phi \times 2.4 \times f_y \times t_w \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 0.7 \times 1.8 = 8391.6 \text{ kg}$$

Dari perhitungan dapat dipilih $\phi R_m = 2823,17 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah bantuan yang diperlukan pada setiap kolom

$$n = \frac{P_u}{\phi R_{\text{min}}} = \frac{11445.92}{2823.17} = 4.05 \approx \text{pasang 6 baut agar simetris}$$

Jumlah baut yang diperlukan pada badan badan balok induk melintang

Bidang geser baut ada dua, sehingga

$$n = \frac{P_u}{2\phi R_c} = \frac{11445.92}{2 \cdot 2823.17} = 2.02 \approx \text{pasang 3 baut}$$

Kontrol kekuatan siku penyambung :

Diameter lubang (dengan bor) = 1,8 cm + 0,16 cm = 1,96 cm

$$A_{\text{min}} = (30 - 3 \cdot 1.96) \cdot 0.7 = 16.884 \text{ cm}^2$$

$$\phi_{P_+}^P = 0.75 \cdot 0.6 \cdot f_{-A_+} = 0.75 \cdot 0.6 \cdot 3700 = 16884$$

$$= 28111.86 \text{ kg} \geq P = 11445.92 \text{ kg}$$

Kontrol jarak baut :

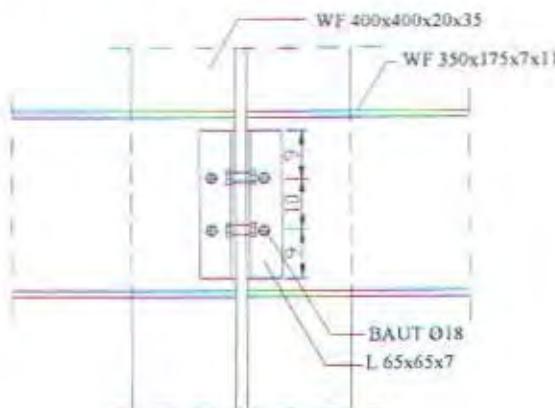
Jarak ke tepi : $1.8 \text{ cm} \times 1.5 = 2.7 \text{ cm} \leq 5 \text{ cm}$ (OK)

Jarak antar as : $1.8 \text{ cm} \times 3 = 5.4 \text{ cm} < 10 \text{ cm}$ (OK)



4.6.2. Sambungan Balok Induk Memanjang – Kolom

Sambungan antara balok induk memanjang dengan kolom direncanakan sama dengan sambungan antara balok induk melintang – kolom.



Dari hasil analisa balok portal 3 :

$$\begin{aligned} P_u &= V_{ubalok} \text{ (combo 7)} \\ &= 9231.34 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pakai baut diameter 18 mm dengan mutu BJ 37, kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times m \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.8^2 = 2823.17 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{nv}) : \phi \times 2.4 \times f_u \times t_p \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 0.7 \times 1.8 = 8391.6 \text{ kg}$$

Dari perhitungan dapat dipilih $\phi R_{nv} = 2823.17 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah baut yang diperlukan pada kolom

$$n = \frac{P_u}{\phi R_{nv}} = \frac{9231.34}{2823.17} = 1.45 \approx \text{pasang 4 baut agar simetris}$$

Jumlah baut yang diperlukan pada badan badan balok induk melintang

Bidang geser baut ada dua, sehingga

$$n = \frac{P_u}{2 \phi R_{nv}} = \frac{9231.34}{2 \times 2823.17} = 1.45 \approx \text{pasang 4 baut}$$

Kontrol kekuatan siku penyambung :

$$\text{Diameter lubang (dengan bor) } = 1.8 \text{ cm} - 0.16 \text{ cm} = 1.96 \text{ cm}$$

$$A_{nv} = (28 - 2 \cdot 1.96) \cdot 0.7 = 16.856 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0.75 \cdot 0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.75 \cdot 0.6 \cdot 3700 \cdot 16.856 \\ &= 20046.6 \text{ kg} > P_u = 11445.92 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol jarak baut :

Jarak ke tepi : $1.8 \text{ cm} \times 1.5 = 2.7 \text{ cm} < 9 \text{ cm (OK)}$

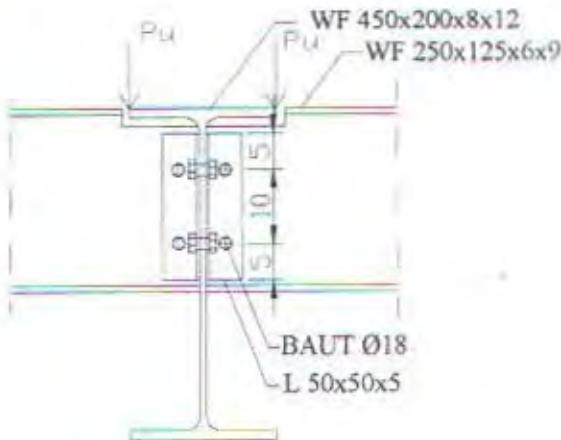
Jarak antar as : $1.8 \text{ cm} \times 3 = 5.4 \text{ cm} < 10 \text{ cm (OK)}$



4.6.3. Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Sambungan antara balok induk melintang dengan balok anak memanjang direncanakan dengan baut karena disesuaikan dengan anggapan dalam analisa sebagai sendi.

$$\begin{aligned}P_u &= R_A \text{balok anak memanjang} \\&= (844.72 \text{ kg} \times 5 \text{ m} \times \frac{1}{2}) + (3004.97 \times \frac{1}{2}) \\&= 4670.185 \text{ kg}\end{aligned}$$



Pakai baut diameter 18 mm dengan mutu BJ 37, kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{ny}) : \phi x 0.4x m x f_u x A_b = 0.75 x 0.4 x 2 x 3700 x 0.25 x 3.14 x 1.8^2 = 5646.35 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{n\!v}) : \phi x 2.4 x f_u x t_p x d_b = 0.75 x 2.4 x 3700 x 0.5 x 1.8 = 5994 \text{ kg}$$

Dari perhitungan dapat dipilih $\phi R_m = 5646.35 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah baut yang diperlukan pada badan balok induk melintang

$$n = \frac{2 P_u}{\phi R_{av}} = \frac{2 \cdot 4670.185}{5646.35} = 1.65 \approx \text{pasang 4 baut agar simetris}$$

Jumlah baut yang diperlukan pada badan balok anak memanjang

$$n = \frac{P_u}{\phi R_{inv}} = \frac{4670.185}{5646.35} = 0.83 \approx pasang\ 2\ baut$$

Kontrol kekuatan siku penyambung :

$$\text{Diameter lubang (dengan bor)} = 1.8 \text{ cm} + 0.16 \text{ cm} = 1.96 \text{ cm}$$

$$A_{nv} = (20 - 2 \cdot 1.96) \cdot 0.5 = 8.04 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = 0.75, 0.6, f_\mu, A_{nv} = 0.75, 0.6, 3700, 8.04$$

$$= 13386.6 \text{ kg} > P_u = 4670.185 \text{ kg}$$

Kontrol jarak baut :

Jarak ke tepi : $1.8 \text{ cm} \times 1.5 = 2.7 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$ (OK)

Jarak antar as : $1.8 \text{ cm} \times 3 = 5.4 \text{ cm} < 10 \text{ cm}$ (OK)

4.6.4. Sambungan Kolom – kolom

Kolom perlu disambung sesuai dengan panjang maksimal profil yaitu 12 m, sehingga direncanakan sambungan pada lantai 3 dengan elevasi +1 m dari muka lantai 3.

Gaya yang bekerja pada elevasi + 1m dari muka lantai 3 :

Akibat beban mati : $P = 39479.27 \text{ kg}$

$$V = 419.76 \text{ kg}$$

$$M_x = 374.29 \text{ kgm}$$

Akibat beban hidup : $P = 11936.3 \text{ kg}$

$$V = 119.92 \text{ kg}$$

$$M_x = 121.32 \text{ kgm}$$

Akibat beban gempa melintang : $P = 0$

$$M_x = 11795.27 \text{ kgm}$$

$$V = 3250.17 \text{ kg}$$

Akibat beban gempa memanjang : $M_y = 1451.59 \text{ kgm}$

$$V = 51.83 \text{ kg}$$

Kombinasi Beban

$$P_u = 1.2 P_D + 1.6 P_L = 1.2 \cdot 39479.27 + 1.6 \cdot 11936.3 = 66473.204 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.2 V_D + V_L + V_E = 1.2 \cdot 419.76 + 119.92 + 3250.17 = 3870.8 \text{ kg}$$

$$M_{UX} = 1.2 M_{DX} + M_{LX} + M_{EX} = 1.2 \cdot 374.29 + 121.32 + 11795.27 = 12365.74 \text{ kgm}$$

Pakai baut diameter 20 mm dengan mutu BJ 37 dan plat penyambung $t = 2 \text{ cm}$

Kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{ng}) : \phi \times 0.4 \times m \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 2 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 2^2 = 6970.8 \text{ kg}$$

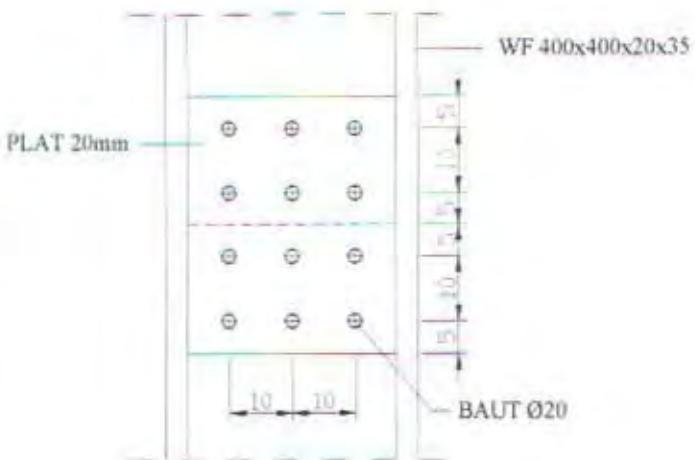
$$\text{Kuat tumpu } (\phi R_{nq}) : \phi \times 2.4 \times f_u \times t_p \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 2 \times 2 = 26640 \text{ kg}$$

Sambungan badan

Perencanaan awal sambungan badan seperti gambar di bawah ini, yang kemudian diperiksa apakah mampu menahan beban yang bekerja.

$$\begin{aligned}
 M_{\text{badan}} &= \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profile}}} M_n \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 40^3 \\
 &= \frac{1236574}{119000} \\
 &= 110841.367 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{sayap}} &= M_U - M_{\text{badan}} \\
 &= 1236574 - 110841.367 \\
 &= 1125732.63 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$



Jarak antar as baut (μ) = 10 cm

Momen yang terjadi pada sambungan

$$\begin{aligned}
 M &= M_{\text{badan}} + V_U \cdot e \\
 &= M_{\text{badan}} + V_U \cdot (2 \cdot \mu) \\
 &= 110841.367 + 3870.8 \cdot (2 \cdot 10) \\
 &= 188257.367 \text{ kgcm} \\
 P_o &= 0.6 \cdot 1.2 \cdot \phi R_{nv} \\
 &= 0.6 \cdot 1.2 \cdot 6970.8 \\
 &= 5018.976 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah baut perlu

$$n = \sqrt{\frac{6M}{\mu P_o}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 188257.37}{10 \cdot 5018.976}} = 4.74$$

Baut yang dipasang 6 buah sehingga mencukupi dari baut perlu yang harus dipasang (OK).

Sambungan sayap kolom

$$\begin{aligned}
 M_{\text{sayap}} &= 1125732.63 \text{ kgcm} \\
 T &= \frac{M_{\text{sayap}}}{H} = \frac{1125732.63}{40} = 28143.32 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Direncanakan pakai baut diameter 20 mm dengan mutu BJ 37 dan pakai plat penyambung $t = 3.5$ cm (setebal sayap kolom)

Kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser} (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times m \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 1 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 2^2 = 3485.4 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tumpu} (\phi R_{nv}) : \phi \times 2.4 \times f_u \times t_p \times d_b = 0.75 \times 2.4 \times 3700 \times 3.5 \times 2 = 46620 \text{ kg}$$

Kuat geser baut lebih menentukan ($\phi R_{nv} = 3485.4 \text{ kg}$) sehingga dipakai dalam perhitungan.

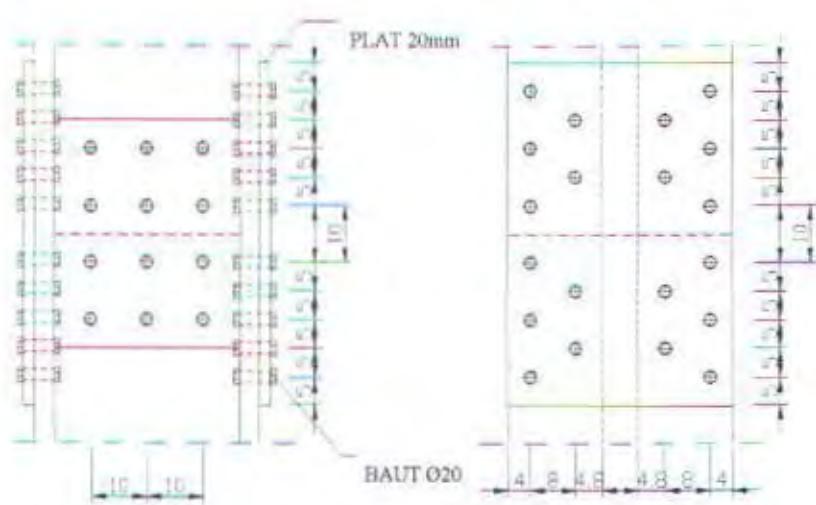
Jumlah baut yang perlu dipasang

$$n = \frac{T}{\phi R_{nv}}$$

$$= \frac{28143.32}{3485.4}$$

$$= 8.07$$

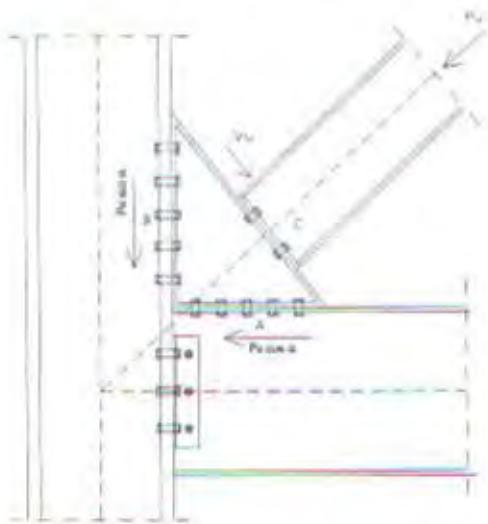
Agar pemasangan baut simetris, maka dipasang 10 buah baut.



Periksa jarak antar as baut

$$r = \sqrt{8^2 + 5^2} = 9.4 \text{ cm} > 3d = 6 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

4.6.5. Sambungan Bresing – Kolom



Hasil analisa struktur didapat

$$P_U = 53861.43 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_U \sin \alpha &= 53861.43 \sin 38.66 \\ &= 33647.11 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_U \cos \alpha &= 53861.43 \cos 38.66 \\ &= 42058.398 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_U &= 1.2 V_D + V_L + V_E \\ &= 1.2 \cdot 69.13 + 4.89 + 349.9 \\ &= 207.816 \text{ kg} \end{aligned}$$

Direncanakan memakai baut diameter 22 mm BJ50

Kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times m \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 1 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 2.2^2 = 5699.1 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tarik } (\phi R_{nt}) : \phi \times 0.75 \times f_u \times A_p = 0.75 \times 0.75 \times 5000 \times 0.25 \times 3.14 \times 2.2^2 = 10685.81 \text{ kg}$$

Dari perhitungan kuat geser $\phi R_{nv} = 5699.1 \text{ kg}$ yang menentukan

Perhitungan sambungan terbagi menjadi tiga sisi (gambar di atas) yang masing-masing merupakan sambungan baut.

Sisi A

Dicoba pasang 10 buah baut diameter 22 mm dengan BJ 50

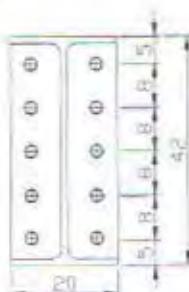
Gaya geser akibat $P_u \cos \alpha$:

$$\bullet \quad R_{uv} = \frac{P_u \cos \alpha}{n} = \frac{42058.598}{10} = 4205.86 \text{ kg}$$

Persamaan interaksi :

$$\bullet \quad \left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nv}} \right)^2 + \left(\frac{R_{uv}}{\phi R_{nv}} \right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{R_{ut}}{10685.81} \right)^2 + \left(\frac{4205.86}{5699.1} \right)^2 \leq 1$$



$$R_{ut} = 7210.95 \text{ kg}$$

Garis netral (a) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$a = \frac{\sum T}{b f_y} = \frac{10 \cdot 7210.95}{20 \cdot 2400} = 1.5 \text{ cm}$$

Setelah a diketahui dapat dihitung momen nominal sambungan :

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot b f_y + \Sigma T \cdot d \\ &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot (1.5)^2 \cdot 20 \cdot 2400 + 7210.95 \cdot 2 \cdot (3.5 + 11.5 + 19.5 + 27.5 + 35.5) \\ &= 48600 + 1406135.25 \\ &= 1454735.25 \text{ kgcm} > M_u = P_u \sin \alpha (42 - 5) = 33647.11 \cdot 37 = 1244943.07 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

Momen nominal sambungan lebih besar daripada momen yang terjadi, sehingga sambungan baut yang direncanakan dapat dipakai.

Sisi B

Dicoba pasang 10 buah baut diameter 22 mm dengan BJ 50

Gaya geser akibat $P_u \sin \alpha$:

- $R_{uv} = \frac{P_u \sin \alpha}{n} = \frac{33647.11}{10} = 3364.71 \text{ kg}$

Persamaan interaksi :

- $\left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{ut}} \right)^2 + \left(\frac{R_{uv}}{\phi R_m} \right)^2 \leq 1$
- $\left(\frac{R_{ut}}{10685.81} \right)^2 + \left(\frac{3364.71}{5699.1} \right)^2 \leq 1$



$$R_{ut} = 8624.69 \text{ kg}$$

Garis netral (a) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$a = \frac{\sum T}{b f_y} = \frac{10 \cdot 8624.69}{20 \cdot 2400} = 1.79 \text{ cm}$$

Setelah diketahui dapat dihitung momen nominal sambungan :

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot b \cdot f_y + \Sigma T \cdot d \\ &= 0.9 \cdot \frac{1}{2} \cdot (1.79)^2 \cdot 20 \cdot 2400 + 8624.69 \cdot 2 \cdot (4.46 + 14.46 + 24.46 + 34.46 + 44.46) \\ &= 69208.56 + 2109599.174 \\ &= 2178807.73 \text{ kgcm} > M_u = P_t \cos \alpha (52.5 - 6.25) = 42058.59 \cdot 46.25 = 1945210.15 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

Momen nominal sambungan lebih besar daripada momen yang terjadi, sehingga sambungan baut yang direncanakan dapat dipakai.

Sisi C

Gaya aksial tarik yang bekerja :

$$\begin{aligned}P_U &= 1.2 P_D + P_L + P_E \\ &= 1.2 \cdot 738.83 + 196.13 + 0.3 \cdot 46484.37 \\ &= 15028.027 \text{ kg}\end{aligned}$$

Dicoba pasang 4 buah baut diameter 22 mm dengan BJ 50

- $R_{ut} = \frac{P_u}{n} = \frac{15028.027}{4} = 3757 \text{ kg}$

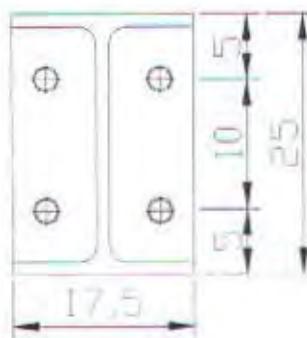
Gaya geser akibat V_U :

- $R_{uv} = \frac{V_u}{n} = \frac{207.816}{4} = 51.954 \text{ kg}$

Persamaan interaksi :

- $\left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} \right)^2 + \left(\frac{R_{uv}}{\phi R_{nv}} \right)^2 \leq 1$

$$\left(\frac{3757}{10685.81} \right)^2 + \left(\frac{51.954}{5699.1} \right)^2 = 0.12 \leq 1 \quad (\text{OK})$$



Hasil interaksi = 0.12 lebih kecil dari satu (1) sehingga jumlah baut yang dipasang memenuhi.

Desain End Plate



Las memakai elektrode mutu E70 dengan tebal efektif (t_e) awal direncanakan 1 cm.

Berdasarkan bentuk las dapat dihitung :

- $A_{las} = 2(25 + 17.5) = 85 \text{ cm}^2$
- $S_x = b \cdot d + d^2/3$
 $= 17.5 \cdot 25 + 25^2/3 = 645.83 \text{ cm}^3$

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser (V_u) :

$$\bullet \quad f_{vp} = \frac{V_u}{A_{las}} = \frac{207.816}{85} = 2.44 \text{ kg/cm}^2$$

Kemampuan las mutu E70 ($f_{uw} = 70 \text{ ksi} = 4921 \text{ kg/cm}^2$) :

$$\bullet \quad \phi f_u = \phi_f \cdot t_e \cdot (0.6 f_{uw}) \\ = 0.75 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 4921 = 2214.45 \text{ kg/cm}^2$$

t_e perlu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\bullet \quad t_e \text{ perlu} = \frac{f_{total}}{\phi f_u} = \frac{2.44}{2214.45} = 0.0011 \text{ cm}$$

$$\bullet \quad t_* = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.0011}{0.707} = 0.00156 \text{ cm}$$

Karena $t_w <$ tebal las minimum, sehingga pakai tebal las minimum $t_w = 0.5 \text{ cm}$

4.6.6. Sambungan Bresing – Bresing

Sambungan bresing dengan bresing terjadi di tengah-tengah yang merupakan pertemuan antar bresing silang. Sambungan direncanakan menggunakan sambungan baut karena bresing tidak menerima momen hanya gaya aksial dan gaya geser yang relatif kecil.

Gaya geser yang bekerja

$$\text{Akibat beban mati } (V_D) = 87.83 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat beban hidup } (V_L) = 4.89 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat beban gempa memanjang } (V_E) = 399.90 \text{ kg}$$



Kombinasi beban

$$\begin{aligned} V_U &= 1.2 \cdot V_D + V_L + V_E \\ &= 1.2 \cdot 87.83 + 4.89 + 0.3 \cdot 399.90 \\ &= 230.256 \text{ kg} \end{aligned}$$

Direncanakan memakai baut diameter 16 mm BJ37

Kekuatan baut :

$$\text{Kuat geser } (\phi R_{nv}) : \phi \times 0.4 \times f_u \times A_b = 0.75 \times 0.4 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 2230.66 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat tarik } (\phi R_{nt}) : \phi \times 0.75 \times f_u \times A_p = 0.75 \times 0.75 \times 3700 \times 0.25 \times 3.14 \times 1.6^2 = 4187.48 \text{ kg}$$

Dari perhitungan kuat geser $\phi R_{nv} = 2230.66 \text{ kg}$ yang menentukan

Jumlah baut di badan balok bresing

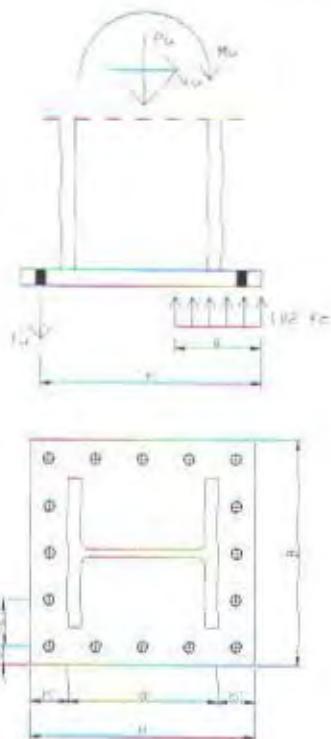
$$n = \frac{V_U}{\phi R_{nv}} = \frac{230.256}{2230.66} = 0.1 \quad \text{Pasang 2 buah baut}$$

Jumlah baut di sayap balok bresing

$$n = \frac{V_U}{\phi R_{nv}} = \frac{230.256}{2230.66} = 0.1 \quad \text{Pasang 4 buah baut agar simetris}$$

4.7. Perencanaan Base Plate

Base plate direncanakan dengan menggunakan angker yang menerima gaya aksial tekan, geser dan momen. Untuk perencanaan diambil base plate kolom C-3 yang mempunyai gaya-gaya paling besar.



Gaya – gaya yang bekerja

$$\begin{aligned}
 P_U &= 1.2 P_D + P_L + P_E \\
 &= 1.2 \cdot 95276.03 + 30655.46 + (0.3 \cdot 101276.72 + 3399.1) \\
 &= 178768.81 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{UX} &= 1.2 V_D + V_L + V_E \\
 &= 1.2 \cdot 137.13 + 48.58 + (18.26 + 5724.32) \\
 &= 5955.72 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{UY} &= 1.2 V_D + V_L + V_E \\
 &= 1.2 \cdot 47.77 + 44.97 + (165.49 + 0.3 \cdot 6668.77) \\
 &= 2268.06 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{UY} &= 1.2 M_D + M_L + M_E \\
 &= 1.2 \cdot 149.895 + (-1.324) + (0.3 \cdot 21387.84 + 678.74) \\
 &= 7273.64 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{UX} &= 1.2 M_D + M_L + M_E \\
 &= 1.2 \cdot 137.29 + 47.1 + (68386.05 + 0.3 \cdot 22.7) \\
 &= 68604.581 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Gaya aksial dan momen yang dipakai dalam perhitungan :

$$P_U = 178768.81 \text{ kg} = 393.291 \text{ kips}$$

$$M_U = 68604.581 \text{ kgm} = 5942.117 \text{ kips-in}$$

Direncanakan :

$$h' = 10 \text{ cm} = 3.937 \text{ inch}$$

$$H = d + 2 h'$$

$$= 40 + 2 \cdot 10 = 60 \text{ cm} = 23.622 \text{ inch}$$

$$B = H = 23.622 \text{ inch}$$

$$\text{Kuat tekan beton } (f_c') = 22.5 \text{ MPa} = 3.2625 \text{ ksi}$$

$$\text{Tegangan leleh baja } (f_y) = 240 \text{ MPa} = 34.8 \text{ ksi}$$

Periksa kondisi

$$e = \frac{M_U}{P_U} = \frac{68604.581}{178768.81} = 0.384 \text{ m} > \frac{H}{6} = \frac{0.6}{6} = 0.1 \text{ m}$$

Dari syarat kondisi di atas dapat diketahui bahwa pada base plate momen yang bekerja cukup dominan sehingga menimbulkan gaya tarik (T) pada beberapa baut.

$$\begin{aligned}
 h &= H - 0.5 h' \\
 &= 23.622 - 0.5 \cdot 3.937 \\
 &= 21.6535 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

Mencari garis netral gaya (a)

$$a = h - \sqrt{h^2 - \frac{P_U (2h - H) + 2M_U}{1.02 f_c' B}}$$

$$a = 21.6535 - \sqrt{21.6535^2 - \frac{393.291(221.65 - 23.622) + 25942.117}{1.023.2625 \cdot 23.622}}$$

$$= 6.85 \text{ inch}$$

Tekan beton :

$$C_U = 1.02 f_c' B a$$

$$= 1.023.2625 \cdot 23.622 \cdot 6.85$$

$$= 538.466 \text{ kips}$$

Gaya tarik yang diterima angker

$$T_U = C_U - P_U$$

$$= 538.466 - 393.291$$

$$= 145.175 \text{ kips}$$

dengan jarak antara angker ke tepi plat minimum (w_e) :

$$w_e = 1.5 \cdot D_{angker} = 1.5 \cdot 26 \text{ mm} = 39 \text{ mm} = 1.535 \text{ inch}$$

maka tebal plat dapat dihitung :

$$t = 2.108 \sqrt{\frac{T_U (h' - w_e)}{f_y B}}$$

$$= 2.108 \sqrt{\frac{145.175 (3.937 - 1.535)}{34.8 \cdot 23.622}}$$

$$= 1.37 \approx 1.4 \text{ inch} = 3.556 \text{ cm}$$

Plat dipasang dengan tebal 4 cm

Jumlah angker

Angker yang dipakai diameter 26 mm BJ50.

Kekuatan angker :

$$\phi R_n = \phi_r 0.75 f_u^b A_g$$

$$= 0.75 \cdot 0.75 \cdot 5000 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3.14 \cdot 2.6^2$$

$$= 14924.81 \text{ kg} = 32.835 \text{ kips}$$

Angker juga memikul gaya geser V_U sebesar $5955.72 \text{ kg} = 13.102 \text{ kips}$.

Jumlah angker diperkirakan 10 buah, sehingga diperiksa :

$$\frac{n}{2} \left(\phi R_u - C_v \frac{V_U}{n} \right) \geq T_u$$

dengan n sebagai jumlah baut yang dipasang dan $C_V = 1.1$ untuk plat dasar yang masuk sebagian ke dalam beton.

$$\frac{10}{2} \left(32.835 - 1.1 \frac{13.102}{10} \right) = 159.96 \text{ kips} > T_u = 145.175 \text{ kips} \quad (\text{OK})$$

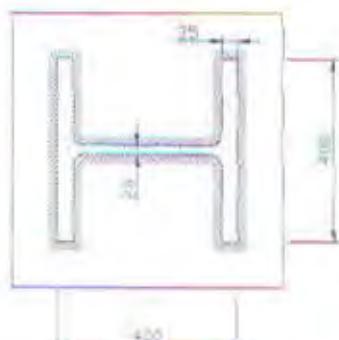
Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah baut yang dipasang sudah mencukupi.

Panjang angker(L_{db})

$$\begin{aligned} L_{db} &\geq 0.04 d_b f_y \\ &\geq 0.004 \cdot 26 \cdot 240 = 249.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pasang angker dengan panjang penyaluran 300 mm = 30 cm

Sambungan las



Las memakai elektrode mutu E110 dengan tebal efektif (t_e) awal direncanakan 1 cm.

Berdasarkan bentuk las dapat dihitung :

$$\begin{aligned} * A_{las} &= (40 \times 2) + (33 \times 2) + (3.5 \times 4) + (19 \times 4) = 236 \text{ cm}^2 \\ * S_x &= b \cdot d + d^2 / 3 \\ &= 40 \cdot 40 + 40^2 / 3 = 2133.33 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Gaya-gaya yang bekerja :

$$P_U = 178768.81 \text{ kg}$$

$$H_U = V_X = 5955.72 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_U &= M_x + 0.3 M_y \\ &= 68604.581 + 0.3 \cdot 7273.64 \\ &= 70786.673 \text{ kgm} \\ &= 7078667.3 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

- $f_{vp} = \frac{P_u}{A_{las}} = \frac{178768.81}{236} = 757.5 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{hm} = \frac{M_u}{S_x} = \frac{7078667.3}{2133.33} = 3318.13 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{hp} = \frac{H_u}{A_{las}} = \frac{5955.72}{236} = 25.236 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{total} = \sqrt{f_{hp}^2 + (f_{vp} + f_{hm})^2} = \sqrt{25.236^2 + (757.5 + 3318.13)^2} = 4075.91 \text{ kg/cm}^2$

Kemampuan las mutu E70 ($f_{uw} = 110 \text{ ksi} = 7584.5 \text{ kg/cm}^2$) :

- $\phi f_u = \phi_f \cdot t_e \cdot (0.6 f_{uw})$
 $= 0.75 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 7584.5 = 3413.025 \text{ kg/cm}^2$

t_e perlu dapat dihitung sebagai berikut :

- $t_e \text{ perlu} = \frac{f_{total}}{\phi f_u} = \frac{4075.91}{3413.025} = 1.19 \text{ cm}$
- $t_w = \frac{t_e}{0.707} = \frac{1.19}{0.707} = 1.69 \text{ cm}$

Pasang $t_w = 1.7 \text{ cm}$, periksa dengan t_{wmaks}

$$\begin{aligned} t_{wmaks} &= t_{plat} - 1.6 \text{ mm} \text{ (untuk plat dengan } t > 6.4 \text{ mm)} \\ &= 20 - 1.6 \\ &= 18.4 \text{ mm} = 1.84 \text{ cm} > t_w \text{ pasang} = 1.7 \text{ cm (OK)} \end{aligned}$$

Tebal las yang dipasang masih lebih kecil daripada tebal maksimum yang disyaratkan sehingga tebal las bisa dipakai.

BAB V
DESAIN PONDASI

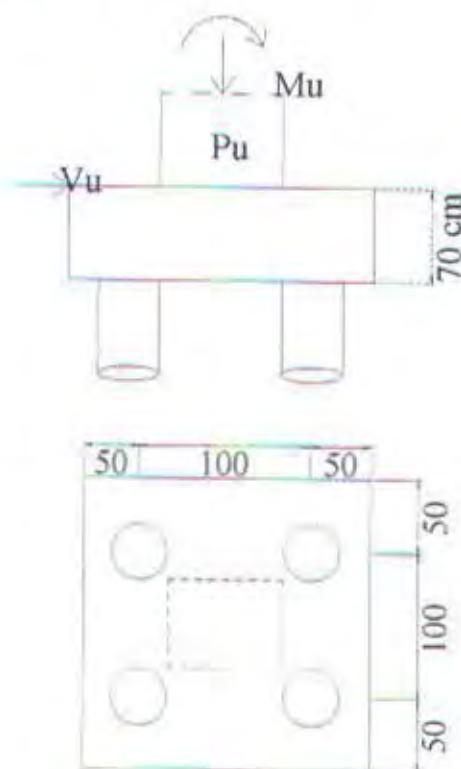
BAB V

DESAIN PONDASI

5.1. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Pada struktur tugas akhir ini menggunakan pondasi tiang pancang, yang direncanakan sesuai dengan hasil penelitian tanah. Pondasi diusahakan merupakan single pile karena kemampuan per tiang pancang tidak berkurang akibat adanya faktor efisiensi. Namun apabila tidak tersedia tempat yang cukup sehingga harus direncanakan group pile, maka perlu adanya efisiensi group pile.

Pondasi direncanakan menggunakan tiang pancang berdiameter 40 cm dengan kedalaman 24 meter, sehingga berdasarkan hasil penelitian tanah didapatkan kemampuan tiang pancang $\bar{P} = 70.71 \text{ ton}$ (diambil yang terkecil antara kuat tekan bahan dengan daya dukung tanah). Poer direncanakan berisi empat tiang pancang dengan penempatan sebagai berikut :



Cek jarak tiang pancang :

Jarak antar as tiang = 100 cm

Syarat tiang pancang group :

Jarak antar tiang < 1.75 D

$$< 1.75 \cdot 40 = 70 \text{ cm}$$

Jarak pasang = 100 cm > 70 cm

Jadi pondasi termasuk single pile
(tiang pancang tunggal)

Untuk perencanaan diperiksa secara acak pada titik pondasi yang mempunyai gaya-gaya terbesar baik akibat beban tetap maupun beban sementara.

Periksa pada as H-3 (joint 32)

Periksa pondasi terhadap gaya-gaya akibat beban tetap.

- $P_{mati} = 106501.17 \text{ kg}$

$$P_{hidup} = 26466.16 \text{ kg}$$

$$P_u = P_D + P_L$$

$$= 106501.17 + 26466.16$$

$$= 132967.33 \text{ kg}$$

- $M_{Xmati} = 335.39 \text{ kgm}$

$$M_{Xhidup} = 167.11 \text{ kgm}$$

$$V_{Xmati} = 4011.37 \text{ kg}$$

$$V_{Xhidup} = 1215.31 \text{ kg}$$

$$M_{Xtotal} = (335.39 + 4011.37 \cdot 0.7) + (167.11 + 1215.31 \cdot 0.7)$$

$$= 4161.176 \text{ kgm}$$

- $M_{Ymati} = 421.89 \text{ kgm}$

$$M_{Yhidup} = 123.06 \text{ kgm}$$

$$V_{Ymati} = 96.76 \text{ kg}$$

$$V_{Yhidup} = 49.92 \text{ kg}$$

$$M_{Ytotal} = (421.89 + 96.76 \cdot 0.7) + (123.06 + 49.92 \cdot 0.7)$$

$$= 647.63 \text{ kgm}$$

Periksa :

$$P_{max} = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_X Y_{max}}{\sum Y^2} + \frac{M_Y X_{max}}{\sum X^2}$$

$$= \frac{132967.33}{4} + \frac{416117.6 \cdot 50}{4 \cdot 50^2} + \frac{64763 \cdot 50}{4 \cdot 50^2}$$

$$= 33241.83 + 2080.6 + 323.82$$

$$= 35646.245 \text{ kg} = 35.646 \text{ ton} < \overline{P} = 70.71 \text{ ton (OK)}$$

Pada as H-3 pondasi dapat dipakai.

Periksa pada as E-8 (joint 18)

Periksa pondasi terhadap gaya-gaya akibat beban tetap.

- $P_{mati} = 88040.59 \text{ kg}$
 $P_{hidup} = 25664 \text{ kg}$
 $P_u = P_D + P_L$
 $= 88040.59 + 25664$
 $= 113704.59 \text{ kg}$
- $M_{Xmati} = -260.2 \text{ kgm}$
 $M_{Xhidup} = -24.51 \text{ kgm}$
 $M_{Xgempa} (\text{combo 5}) = 127601.91 \text{ kgm}$
 $V_{Xmati} = -266.4 \text{ kg}$
 $V_{Xhidup} = -58.02 \text{ kg}$
 $V_{Xgempa} (\text{combo 5}) = -7597.86 \text{ kg}$
 $M_{Xtotal} = (-260.2 - 24.51 + 127601.91) - ((266.4 + 58.02 + 7597.86) 0.7)$
 $= 121771.5 \text{ kgm}$
- $M_{Ymati} = 22.31 \text{ kgm}$
 $M_{Yhidup} = 0.83 \text{ kgm}$
 $M_{Ygempa} (\text{combo 4}) = 14141.7 \text{ kgm}$
 $V_{Ymati} = -8.86 \text{ kg}$
 $V_{Yhidup} = -1.96 \text{ kg}$
 $V_{Ygempa} (\text{combo 4}) = -2848.94 \text{ kg}$
 $M_{Ytotal} = (22.31 + 0.83 + 14141.7) - ((8.86 + 1.96 + 2848.94) 0.7)$
 $= 12163 \text{ kgm}$

Periksa :

$$\begin{aligned}
 P_{maks} &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_X Y_{maks}}{\sum Y^2} + \frac{M_Y X_{maks}}{\sum X^2} \\
 &= \frac{113704.59}{4} + \frac{121771.5 \cdot 50}{4.50^2} + \frac{121630 \cdot 50}{4.50^2} \\
 &= 28426.15 + 60885.75 + 6081.5 \\
 &= 95393.4 \text{ kg} = 95.39 \text{ ton} < 1.5 \bar{P} = 1.5 \cdot 70.71 = 106.065 \text{ ton} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Akibat beban rencana kemampuan daya dukung tiang pancang dikalikan satu setengah sehingga untuk pondasi pada as E-8 masih memenuhi untuk beban sementara.

5.2. Desain Poer Pondasi

Poer menggunakan beton dengan mutu $f_c' = 22.5 \text{ MPa}$ dan tulangan baja diameter 25 mm deform dengan mutu $f_y' = 240 \text{ MPa}$. Perhitungan tulangan poer menggunakan anggapan seperti balok kantilever dengan beban pada titik as tiang pancang sebesar P_U . P_U diambil dari P ijin tiang pancang.

Selimut beton poer : 70 mm, sehingga

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif } (d) &= 700 - 70 - (\frac{1}{2} \cdot 25) \\ &= 617.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

P ijin satu tiang pancang = 70.71 ton = 70710 kg, sehingga

$$P_U = 1.2 \cdot 70710 = 84852 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada ujung jepit (ujung poer – kolom) :

$$\begin{aligned} M_U &= 2 P_U l \\ &= 2 \cdot 84852 \cdot 0.5 \\ &= 84852 \text{ kgm} = 848520000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y'}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{240}{0.85 \cdot 22.5} = 12.55 \end{aligned}$$

Sebelum menghitung ρ_{perlu} terlebih dahulu ditentukan batas-batas ρ :

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0.85 f_c' \beta}{f_y'} \left(\frac{600}{600 + f_y'} \right) \\ \rho_b &= \frac{0.85 \cdot 22.5 \cdot 0.85}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) = 0.048 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \cdot 0.048 = 0.036$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y'} = \frac{1.4}{240} = 0.005833$$

Penulangan Lentur

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_n}{\phi b d^2} = \frac{(1 - 0.5) 848520000}{0.8 \cdot 2000 \cdot 617.5^2} = 0.695$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_u}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12.55} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12.55 \cdot 0.695}{240}} \right) = 0.00295$$

$$\rho = \frac{\delta M_u}{\phi f_y (d - d') b d} = \frac{0.5 \cdot 848520000}{0.8 \cdot 240 \cdot (617.5 - 82.5) \cdot 2000 \cdot 617.5} = 0.0033$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho' + \rho = 0.0033 + 0.00295 = 0.00629 > \rho_{\min} = 0.005833 \text{ (OK)}$$

Pada poer dipasang 16 D25 dengan luas (A_s pasang = 7850 mm²) yang lebih besar daripada A_s perlu = 0.00629 . 2000 . 617.5 = 7768.15 mm².

Periksa geser satu arah

$$V_U = 2 \cdot P_U \cdot 1.2$$

$$= 2 \cdot 84852 = 169704 \text{ kg} = 1697040 \text{ N}$$

$$\frac{V_U}{\phi} = \frac{1697040}{0.6} = 2828400 \text{ N}$$

Kuat geser beton :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d = \frac{1}{6} \sqrt{22.5} 2000 \cdot 617.5 = 976353.23 \text{ N}$$

Gaya geser yang diterima oleh tulangan baja (V_s) :

$$V_s = \frac{V_U}{\phi} - V_c$$

$$= 2828400 - 976353.23$$

$$= 1852046.77 \text{ N}$$

Pakai tulangan geser D25 ($A_V = 981.25 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_V f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{981.25 \cdot 240 \cdot 617.5}{1852046.77} = 78.52 \text{ mm}$$

Pasang tulangan geser D25 – 75 mm.

Periksa geser pons

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{1697040}{0.6} = 2828400 \text{ N}$$

dengan b_O merupakan panjang daerah kritis yang dihitung sebesar lebar / panjang kolom ditambah tebal efektif puer.

$$b_O = 600 + 617.5$$

= 1217.5 mm , sehingga kuat geser beton pada daerah kritis :

$$V_{C1} = 4 \sqrt{f_c'} b_o d = 4 \sqrt{22.5} 1217.5 \cdot 617.5 = 14264520.65 \text{ N}$$

dan β_C merupakan rasio sisi panjang dan pendek dari kolom, sehingga

$$V_{C2} = \left[2 + \frac{4}{\beta_C} \right] \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$= \left[2 + \frac{4}{1} \right] \sqrt{22.5} 1217.5 \cdot 617.5 = 21396780.98 \text{ N}$$

Ambil yang terkecil dari V_{C1} dan V_{C2} , yaitu $V_{C1} = 14264520.65 \text{ N}$, sehingga

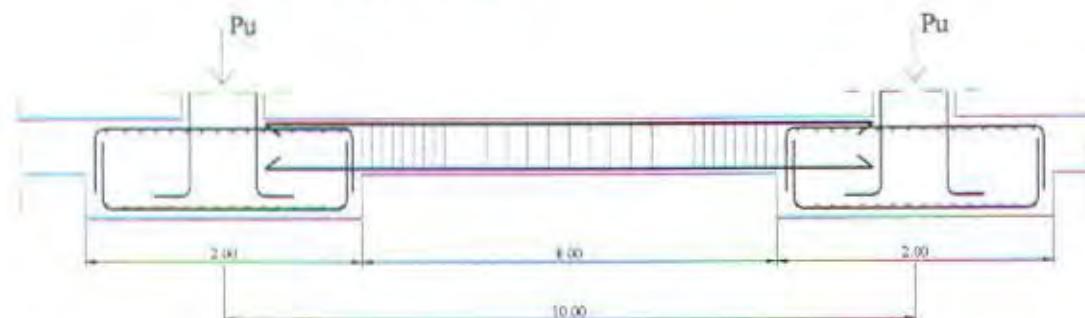
$$V_C = 14264520.65 \text{ N} > \frac{V_u}{\phi} = \frac{1697040}{0.6} = 2828400 \text{ N}$$

Jadi tulangan geser pons tidak diperlukan.

5.3. Desain Sloof Pondasi

Mutu beton pada sloof ini sama dengan yang dipakai pada komponen-komponen struktur lainnya yaitu $f_c' = 22.5 \text{ MPa}$, dengan dimensi sloof direncanakan lebar 30 cm dan tinggi 40 cm. Karena berhubungan dengan tanah, maka tebal selimut beton adalah 70 mm, sehingga dengan memakai tul. lentur D25 dan sengkang $\phi 10$:

$$\begin{aligned} d (\text{tinggi efektif}) &= 400 - (70 + 10 + \frac{1}{2} 25) \\ &= 307.5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Beban sloof:

$$\begin{aligned} 1. \text{ Berat sendiri sloof} : 0.30 \cdot 0.40 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 &= 288 \text{ kg/m}^3 \\ 2. \text{ Berat dinding} : 4 \text{ m} \cdot 250 \text{ kg/m}^2 &= 1000 \text{ kg/m}^2 \\ q_D &= 1288 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_U &= 1.05 q_D \\ &= 1.05 \cdot 1288 = 1352.4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Momen akibat beban merata :

$$M_{tump} = \frac{1}{12} q_U l^2 = \frac{1}{12} 1352.4 \cdot 8^2 = 7212.8 \text{ kgm} = 72128000 \text{ Nmm}$$

$$M_{lap} = \frac{1}{2} M_{tump} = \frac{1}{2} 72128000 = 36064000 \text{ Nmm}$$

Gaya aksial pada sloof

Ambil sloof dengan kolom 32 pada as H-3 yang mempunyai gaya aksial sebesar :

$$\begin{aligned} P_U &= 1.05 \cdot (P_D + P_L + P_E) \\ &= 1.05 (106476.4 + 26452.86 + 46919.07) \\ &= 188840.75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya aksial yang diterima sloof :

$$P_{Usloof} = 10\% \cdot P_{Ukonom} = 0.1 \cdot 188840.75 = 18884.075 \text{ kg} = 18884.075 \text{ N}$$

Sehingga setelah didapat momen dan gaya aksial yang dipikul oleh sloof,

$$\frac{M_U}{\phi A_g h} = \frac{72128000}{0.8300400^2} = 0.188$$

$$\frac{P_U}{\phi A_g} = \frac{188840.75}{0.8300400} = 1.97$$

Dari diagram interaksi untuk diagram dengan $f_c' = 20 \text{ MPa}$, $f_y = 300 \text{ MPa}$ dan γ (persentase tinggi beton dalam kekangan tulangan) = 0.8,

maka didapat $\rho = 0.01$, sehingga

$$A_s = \rho \cdot b \cdot h \\ = 0.01 \cdot 300 \cdot 400 = 1200 \text{ mm}^2$$

Sehingga dapat dipasang 4D25 dengan $A_s = 1962.5 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 1200 \text{ mm}^2$.

Penulangan geser sloof

Gaya geser maksimum :

$$V_U = R_A = R_B = \frac{1}{2} q_{U,I} \cdot l \\ = \frac{1}{2} 1352.4 \cdot 8 \\ = 5409.6 \text{ kg} = 54096 \text{ N}$$

$$V_c = 2 \left[1 + \frac{P_U}{14 A_g} \right] \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \\ = 2 \left[1 + \frac{188840.75}{14400300} \right] \frac{1}{6} \sqrt{22.5} 300 307.5 = 162255.5 \text{ N}$$

$$\frac{V_U}{\phi} = \frac{54096}{0.6} = 90160 \text{ N} < V_c = 162255.5 \text{ N}$$

Pasang sengkang minimum ($\phi 10$, $A_y = 157 \text{ mm}^2$)

$$S_{maks} = \frac{d}{4} = \frac{307.5}{4} = 76 \text{ mm} , \text{ Pasang daerah tumpuan } \phi 10 - 75$$

$$S_{maks} = \frac{d}{2} = \frac{307.5}{2} = 153.75 \text{ mm} , \text{ Pasang daerah lapangan } \phi 10 - 150$$

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah desain seluruh elemen-elemen struktur bangunan dapat memenuhi syarat kekuatan dan kemampuan layan, maka dari modifikasi perencanaan gedung SMU Muhammadiyah 2 Surabaya dalam tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebelum melangkah lebih jauh ke proses desain, sangat penting diperhatikan perencanaan geometri bangunan dan menetapkan anggapan-anggapan sehingga gedung berperilaku seperti yang diharapkan.
2. Perencanaan geometri bangunan sebaiknya mengoptimalkan jenis struktur yang akan dipakai.
3. Pada tugas akhir ini yang semula gedung direncanakan dengan struktur beton bertulang biasa dan kemudian direncanakan dengan struktur komposit baja-beton, membawa perubahan-perubahan pada geometri bangunan untuk mengoptimalkan jenis struktur yaitu komposit baja-beton. Salah satu contoh adalah pengurangan jumlah kolom.
4. Perencanaan dengan menggunakan metode LRFD, yang perlu diperhatikan adalah pembebanan yang diperhitungkan dalam analisa adalah beban ultimate yang merupakan hasil pembesaran beban kerja dengan menggunakan faktor beban.
5. Pada analisa struktur, tumpuan-tumpuan pada balok sebaiknya dianggap sebagai tumpuan sendi (sederhana) dan gaya-gaya horisontal yang ada dipikul oleh bresing-bresing. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengoptimalkan balok komposit karena pada balok tidak akan timbul momen negatif.
6. Penentuan letak bresing-bresing pada geometri struktur sebaiknya direncanakan terletak simetris sehingga meniadakan efek puntiran akibat beban horisontal (beban gempa).
7. Pada proses desain elemen-elemen struktur menggunakan metode LRFD, gaya-gaya dan momen-momen yang digunakan dalam perhitungan adalah gaya-gaya dan momen-momen yang sudah dibesarkan oleh faktor reduksi.

6.2. Saran

Setelah melalui proses-proses desain dalam tugas akhir ini, berikut beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan pada perencanaan-perencanaan struktur komposit baja-beton yang menggunakan metode LRFD :

1. Pada perencanaan kolom, sebaiknya menggunakan profil K (king cross) yang mempunyai kekuatan yang sama pada dua arahnya.
2. Pada perencanaan sambungan-sambungan sedapat mungkin menghindari sambungan las, karena sambungan ini sulit dikontrol mutunya pada saat pelaksanaan.
3. Perencanaan base plate lebih baik (dalam sudut pandang ekonomis) menggunakan plat-plat pengaku pada kolom karena akan menghasilkan tebal base plate yang lebih tipis daripada tidak menggunakan.
4. Sambungan bresing-kolom-balok perlu direncanakan lagi dengan model sambungan yang lebih mudah untuk dilaksanakan di lapangan.
5. Perlu adanya kajian lebih lanjut dalam sudut pandang biaya (ekonomis atau tidak) dengan memperbandingkan desain struktur komposit metode LRFD dan ASD, atau desain struktur komposit dengan desain struktur beton bertulang biasa.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 1991, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung", SK SNI T15-1991 5-C-03
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983, "Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung"
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983, "Peraturan Pembebatan Indonesia untuk Gedung"
- Englekirk, Robert, 1994, " Steel Structures, Controlling Behaviour Through Design", University of California, John Wiley & Sons, Inc.
- Laboratorium Mekanika Struktur Pusat Penelitian Antar Universitas Ilmu Rekayasa ITB: Kursus Singkat Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2000, "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung"
- McCormack, Jack, 1992, " Structural Steel Design", Harper Collins Publisher, Inc., New York
- Salmon, Charles G ; Johnson, John, 1990, "Struktur Baja Desain dan Perilaku: Penekanan terhadap Metode LRFD Jilid 1 dan 2", Harper Collins Publisher, Inc., New York
- Segui, William T, 1994, "LRFD Steel Design", The University of Memphis, PWS Publishing Company
- Smith, J.C, 1996, "Structural Steel Design, LRFD Approach", John Wiley & Sons, Inc.
- Sunggono, Ir., 1984, "Mekanika Tanah", Penerbit Nova, Bandung
- Winter, George ; Nilson, Arthur H, 1993, "Perencanaan Struktur Beton Bertulang", Tim Penerjemah dan Editor ITB, PT Pradnya Paramita, Jakarta



LAMPIRAN

Pada lampiran ini memuat tentang proses analisa struktur yang dimulai dari perhitungan beban balok, input untuk analisa struktur (program SAP 2000) dan output analisa struktur (SAP 2000). Juga dilampirkan data-data tanah yang digunakan dalam perencanaan pondasi dan pentabelan perhitungan tulangan plat lantai.

Perhitungan beban balok

Beban-beban gravitasi yang dipikul oleh balok-balok dihitung sesuai dengan penjelasan pada bab sebelumnya (4.1.1). Balok-balok dikelompokkan menjadi 19 balok yang sesuai dengan besar beban gravitasi yang diterima. Dalam tabel dimasukkan data tentang panjang sisi-sisi plat yang dipikul balok atau yang mempengaruhi balok (l_x dan l_y). Panjang sisi-sisi ini diperlukan dalam perumusan untuk menghitung q_{eq} yaitu beban merata balok akibat beban plat yang dibagi secara trapesium atau segitiga (type plat A atau B). Dengan demikian yang dimasukkan dalam perhitungan analisa struktur adalah jumlah total beban mati dan total beban hidup beserta jumlah beban terpusat yang dipikul balok.

Untuk beban terpusat, mekanisme penurunan bebannya adalah balok anak melintang (G1) menumpu pada balok anak memanjang (G2) dan balok induk memanjang (B16), sehingga ada beberapa balok induk melintang (B1 dan B2) yang memikul beban tepusat dari balok anak memanjang dan balok anak melintang. Hal ini direncanakan agar balok anak dapat dianalisa secara sederhana (dua tumpuan sederhana).

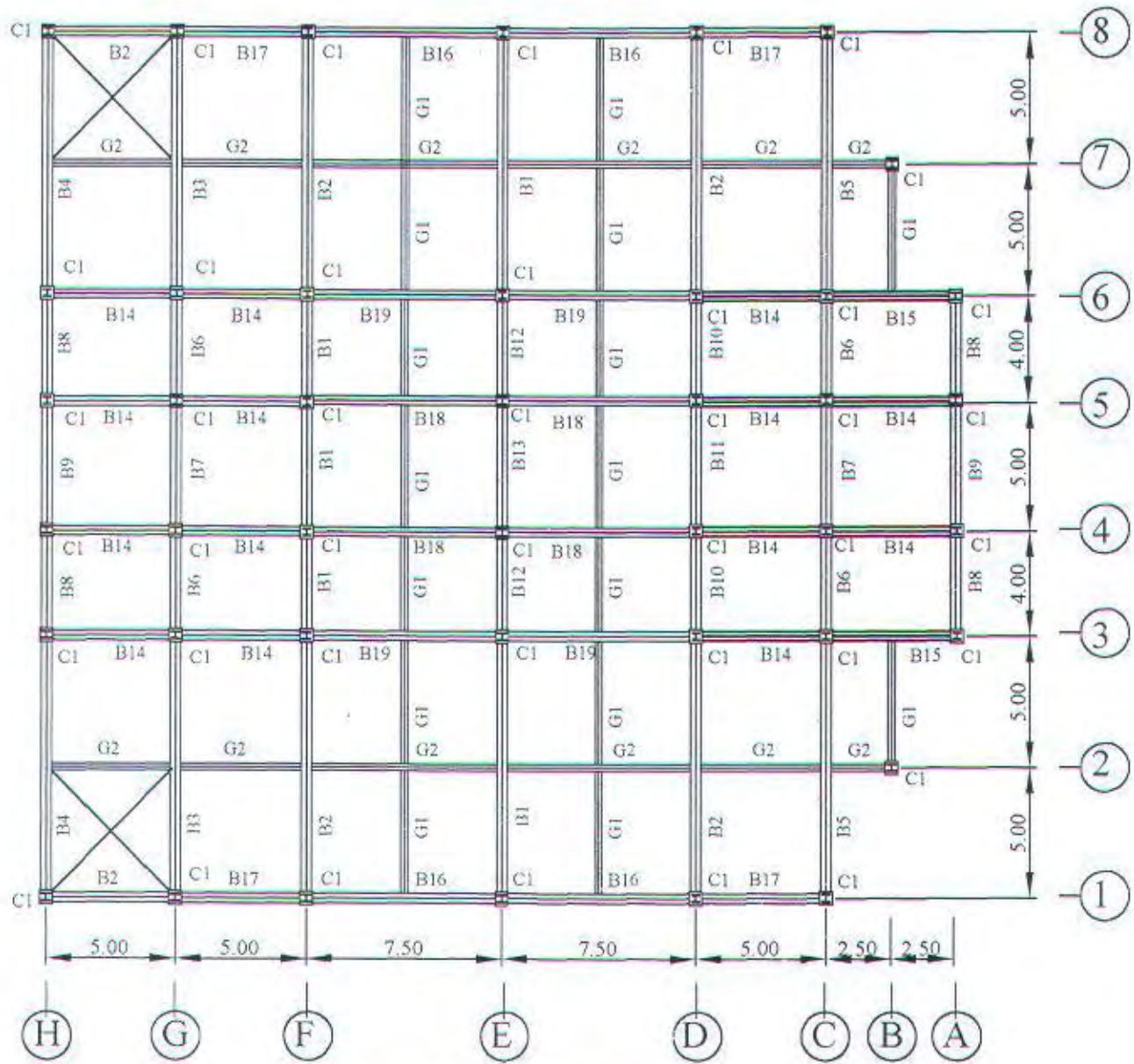
Perhitungan tulangan plat lantai

Perhitungan dilakukan sesuai yang telah diuraikan pada subbab 3.2. Hanya disini ditabelkan secara sistematis untuk jenis-jenis plat lainnya yang memiliki panjang sisi-sisi yang berbeda. Penabelan dimulai dari perhitungan momen untuk plat yang terjepit elastis pada keempat sisinya. Angka-angka koefisien perhitungan momen diambil dari buku "Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971". Dari momen-momen yang dihasilkan pada penabelan tersebut, kemudian dipakai untuk menghitung tulangan yang akan dipasang.

LAMPIRAN

Lampiran I :

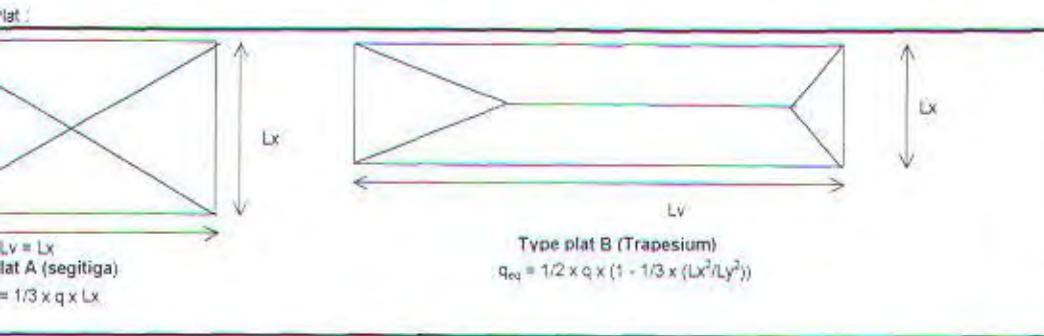
Perhitungan Beban Balok



DENAH BALOK Lt. I

SKALA 1:200

AN BEBAN BALOK



Berat beton plat	$0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 =$	288 kg/m^2
Berat tegel	$2 \text{ cm} \times 24 \text{ kg/m}^2 =$	48 kg/m^2
Berat spesi	$2 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^2 =$	42 kg/m^2

$$378 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup lantai} \quad 250 \text{ kg/m}^2 \times 0,9 = 225 \text{ kg/m}^2$$

Profil	Lx plat (m)	Ly plat (m)	Beban mati plat (kg/m ²)	Beban hidup plat (kg/m ²)	Type plat	Qeq mati plat (kg/m ³)	Total Beban mati (kg/m ³)	Qeq hidup plat (kg/m ³)	Total beban hidup (kg/m ³)	Balok anak yg Menampung	w (kg/m ³)
LOK MELINTANG											
450x200x8x12	7,50	10,00	378,00	225,00	B	153,56		91,41	182,81	WF 250X125X6X9	29,65
	7,50	10,00		225,00	B		307,13			WF 175X125X5,5X8	
450x200x8x12	7,50	10,00	378,00	225,00	B	153,56		91,41	194,53	WF 250X125X6X9	29,65
	5,00	10,00		225,00	B		325,81			WF 175X125X5,5X8	
450x200x8x12	5,00	10,00	378,00	225,00	B	173,25		103,13	478,13	WF 250X125X6X9	29,65
	5,00	5,00		225,00	A		630,00			Beban tangga	
450x200x8x12	5,00	5,00	378,00	225,00	A	630,00		375,00	375,00	WF 250X125X6X9	29,65
	5,00	10,00		225,00	B		630,00			Beban tangga	
450x200x8x12	2,50	5,00	378,00	225,00	-	360,00		281,25	384,38	WF 250X125X6X9	29,65
	5,00	10,00		225,00	B		173,25				
450x200x8x12	4,00	5,00	378,00	225,00	A	504,00		300,00	600,00		
	4,00	5,00		225,00	A		504,00				
450x200x8x12	5,00	5,00	378,00	225,00	A	630,00		375,00	750,00		
	5,00	5,00		225,00	A		630,00				
450x200x8x12	4,00	5,00	378,00	225,00	A	504,00		300,00	300,00		
	4,00	5,00		225,00	A		504,00				

Profil	Lx plat (m)	Ly plat (m)	Beban mati plat (kg/m ²)	Beban hidup plat (kg/m ²)	Type plat	Qeq mati plat (kg/m)	Total Beban mati (kg/m ²)	Qeq hidup plat (kg/m ²)	Total beban hidup (kg/m ²)	Balok anak yg Menutupi	w (kg/m)
I F 450x200x8x12	5.00	5.00	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
						630.00		375.00			
I F 450x200x8x12	4.00	5.00	378.00	225.00	A	504.00		300.00			
	4.00	7.50	378.00	225.00	A	504.00		300.00			
I F 450x200x8x12	5.00	5.00	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
	5.00	7.50	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
I F 450x200x8x12	4.00	7.50	378.00	225.00	A	504.00		300.00			
	4.00	7.50	378.00	225.00	A	504.00		300.00			
I F 450x200x8x12	5.00	7.50	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
	5.00	7.50	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
LOK MEMANJANG											
I F350x175x7x11	5.00	5.00	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
	4.00	5.00	378.00	225.00	B	148.68		88.50			
I F350x175x7x11	4.00	5.00	378.00	225.00	B	148.68		88.50			
	4.00	5.00	378.00	225.00	-	720.00		562.50			
I F350x175x7x11	7.50	10.00	378.00	225.00	A	945.00		562.50		WF 175X125X5.5X8	29.6
						945.00		562.50			
I F350x175x7x11	5.00	10.00	378.00	225.00	A	630.00		375.00			
						630.00		375.00			
I F350x175x7x11	4.00	7.50	378.00	225.00	B	171.08		101.83		WF 175X125X5.5X8	29.6
	5.00	7.50	378.00	225.00	B	161.00		95.83			
I F350x175x7x11	4.00	7.50	378.00	225.00	B	171.08		332.08		WF 175X125X5.5X8	29.6
	7.50	10.00	378.00	225.00	A	945.00					
I F350x175x7x11	4.00	7.50	378.00	225.00	B	171.08		101.83		WF 175X125X5.5X8	29.6
	7.50	10.00	378.00	225.00	A	945.00		562.50			
						1,116.08				654.33	

Lampiran II :

Perhitungan Analisa Struktur

SAP2000 v7.42 File: ATAKU Kgf-m Units
9/21/01 13:45:54

PERHITUNGAN STRUKTUR TUGAS AKHIR - IVAN D.W.I.-

MATERIAL PROPERTY DATA

MAT LABEL	MODULUS OF ELASTICITY	POISSON'S RATIO	THERMAL COEFF	WEIGHT PER UNIT VOL	MASS PER UNIT VOL
IFR	2100000.00	0.300	0.000	0.000	0.000
STEEL	2.039E+10	0.300	1.170E-05	7833.414	798.140
CONC	2.531E+09	0.200	9.900E-06	2402.616	244.801
KOLOM	2.369E+10	0.300	1.170E-05	3166.890	316.689

MATERIAL DESIGN DATA

MAT LABEL	DESIGN CODE	STEEL FY	CONCRETE FC	REBAR FY	CONCRETE FCS	REBAR FYS
IFR	N					
STEEL	S	25310507.0				
CONC	C		2812278.50	42184178.	2812278.50	28122785.0
KOLOM	N					

FRAME SECTION PROPERTY DATA

SECTION LABEL	MAT LABEL	SECTION TYPE	DEPTH	FLANGE WIDTH	FLANGE TOP	WEB THICK	FLANGE WIDTH	FLANGE THICK
1	STEEL		0.450	0.200	1.2E-02	8.0E-03	0.200	1.2E-02
FSEC1	STEEL		0.350	0.175	1.1E-02	7.0E-03	0.175	1.1E-02
FSEC2	STEEL		0.250	0.175	1.1E-02	7.0E-03	0.175	1.1E-02
FSEC3	KOLOM		0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000

FRAME SECTION PROPERTY DATA

SECTION LABEL	AREA	TORSIONAL INERTIA	MOMENTS OF INERTIA		SHEAR AREAS
1	8.208E-03	0.000	2.818E-04	1.602E-05	3.600E-03 4.000E-03
FSEC1	6.146E-03	0.000	1.312E-04	9.835E-06	2.450E-03 3.208E-03
FSEC2	5.446E-03	0.000	6.193E-05	9.932E-06	1.750E-03 3.208E-03
FSEC3	0.250	8.802E-03	5.208E-03	5.208E-03	0.208 0.208

SECTION LABEL	SECTION MODULII S33	PLASTIC MODULII Z22	RADIIS OF GYRATION R33	R22
1	1.252E-03	1.602E-04	1.414E-03	2.468E-04
FSEC1	7.499E-04	1.124E-04	8.408E-04	1.725E-04
FSEC2	4.955E-04	1.124E-04	5.510E-04	1.712E-04
FSEC3	2.083E-02	2.083E-02	3.125E-02	3.125E-02

F R A M E S E C T I O N P R O P E R T Y D A T A

SECTION LABEL	TOTAL WEIGHT	TOTAL MASS
1	232139.032	6603.545
FSEC1	44292.627	4512.941
FSEC2	19276.308	1964.048
FSEC3	543121.635	54312.163

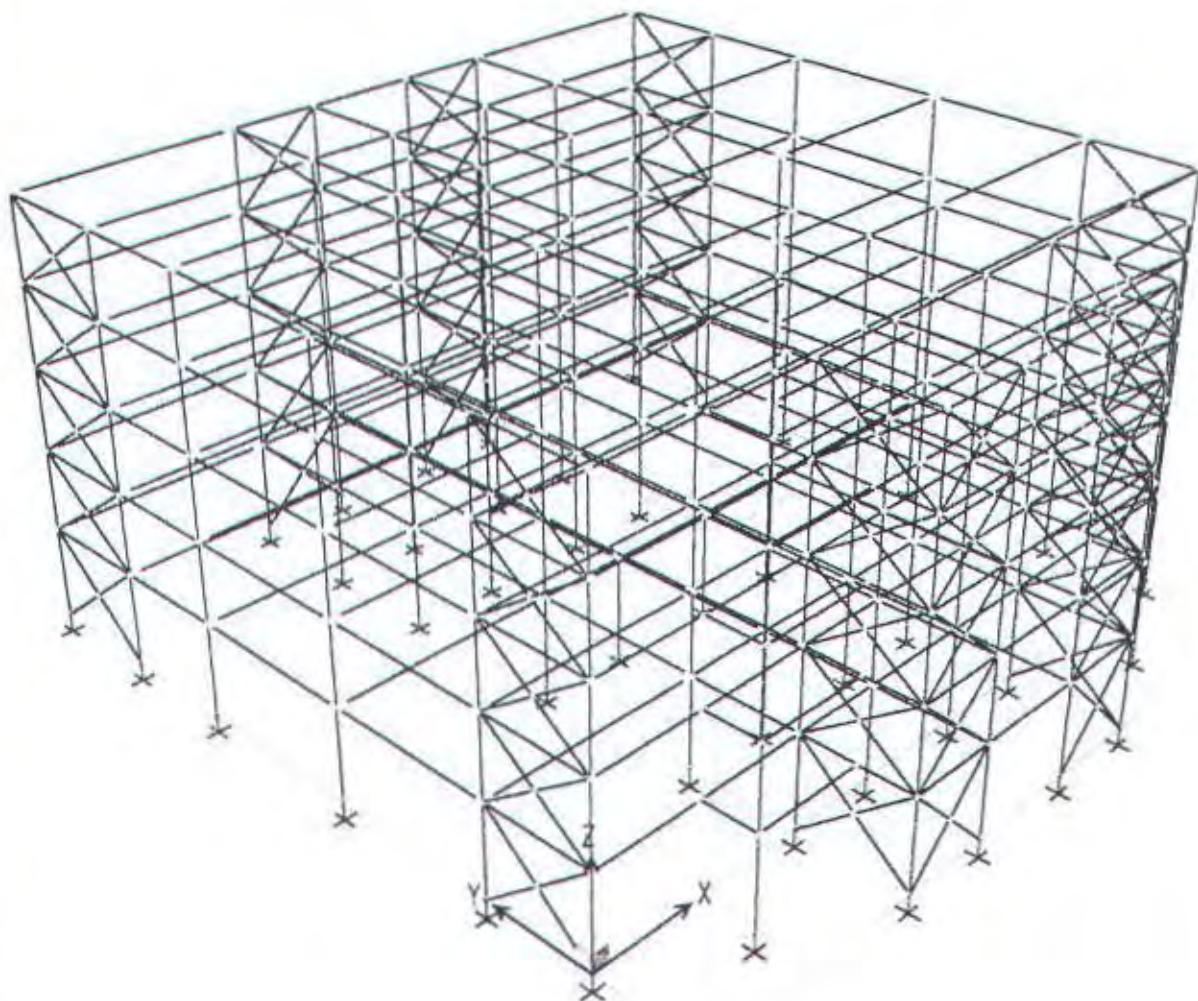
JOINT REACTIONS

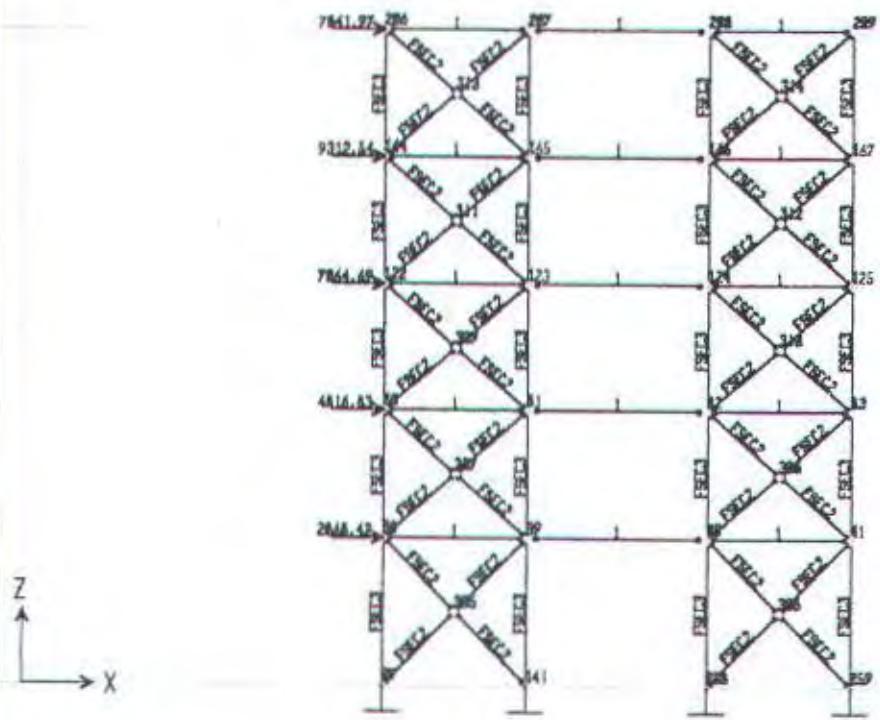
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	COMB1	1293.1956	680.2582	64814.4688	-407.2249	1408.4348	-25.4288
1	COMB2	723.8431	182.4650	16134.0078	-141.4992	783.7592	-28.5467
1	COMB3	-6952.2910	-259.6577	-2641.0515	389.3842	-67707.8203	1195.2427
1	COMB4	17.4435	-14053.9316	-65407.6523	21234.5234	65.5771	149.6629
1	COMB5	5446.3262	248.6055	2543.7507	-373.4609	61339.0391	-1579.6932
1	COMB6	-11.2929	9567.4258	47580.2461	-13751.4707	-29.6864	-7.1693
2	COMB1	-1204.8081	-500.2873	95370.6016	356.3397	-1512.6704	-17.0822
2	COMB2	-703.7865	-158.1608	32669.1758	170.7213	-891.2742	-0.0931
2	COMB3	-6110.6016	661.2234	-2431.1987	-535.9785	-64250.3008	5948.4087
2	COMB4	18.7301	-27605.6035	153670.7969	38361.8867	66.1350	-8779.2061
2	COMB5	5620.2515	-646.9589	2428.2319	537.7833	61988.2383	-6008.4219
2	COMB6	-11.2958	25120.6797	-148339.250	-35939.5000	-26.7696	374.6039
3	COMB1	41.8981	34.9691	85714.9141	101.1825	83.7954	8.8141
3	COMB2	19.8029	16.3580	26662.5000	46.5975	40.0663	4.2988
3	COMB3	-4770.6230	-41.2205	0.0000	-987.5754	-61078.7227	3881.9429
3	COMB4	4.6261	-1839.2328	0.0000	74947.1641	24.1056	-9434.0967
3	COMB5	4610.2339	15.7087	0.0000	713.4295	61055.5820	-3795.6384
3	COMB6	-1.3739	5724.8848	0.0000	-27054.8828	-7.5552	-352.2970
4	COMB1	-41.9130	32.0011	85714.9141	108.6017	-84.0148	-7.5977
4	COMB2	-18.1065	15.2013	26662.5000	48.5088	-37.3506	-3.6665
4	COMB3	-4609.8906	-42.4123	0.0000	903.5328	-61056.1797	3805.9810
4	COMB4	-4.2542	-1667.2500	0.0000	74352.0078	-19.9877	9452.0537
4	COMB5	4770.6826	17.1581	0.0000	-1178.5208	61877.1055	-3892.7065
4	COMB6	1.0085	5398.9268	0.0000	-25979.6289	3.3946	344.3401
5	COMB1	1204.7820	-486.3248	95290.0469	336.2953	1512.4303	17.6722
5	COMB2	628.0115	-149.4150	31814.6211	157.1154	792.2949	9.8798
5	COMB3	-5619.6470	-506.4117	2020.8679	451.4520	-61987.9141	6016.3672
5	COMB4	-18.2455	-27457.6523	152842.1563	38149.7031	-61.8534	8767.0400
5	COMB5	6110.3984	600.7439	-2023.9103	-449.7587	64247.8359	-5956.5107
5	COMB6	10.8700	25126.7695	-148507.625	-35947.4805	22.5250	-346.4480
6	COMB1	-1293.1537	682.9678	64828.1367	-411.1239	-1408.7002	25.5594
6	COMB2	-651.5507	184.9530	15351.0439	-144.2668	-708.5182	14.4339
6	COMB3	-5459.5513	248.8971	2545.7925	-373.8420	-61345.7578	1525.5015
6	COMB4	-17.0092	-14054.2197	-65408.7422	21234.9277	-61.3438	-150.7529
6	COMB5	6967.2935	-259.7804	-2642.0557	389.5327	67714.9141	-1162.4272
6	COMB6	10.9251	9571.0264	47598.5586	-13756.6484	25.6576	5.0201
7	COMB1	285.5403	-306.9438	78375.7734	8.6451	443.3177	-5.5631
7	COMB2	67.4058	-28.7371	19854.1328	-36.6533	101.5867	-2.7060
7	COMB3	-8134.6553	-257.3945	1486.2050	368.8010	-92324.8594	5935.6694
7	COMB4	4.9431	-14159.9160	65417.6836	19282.8516	26.5695	68.2683
7	COMB5	6659.4297	246.4617	-1439.4872	-352.8329	85834.8516	-1419.3378
7	COMB6	-0.1174	9430.9668	-47588.8047	-13618.3057	0.6979	299.0726
8	COMB1	-57.1367	39.7440	91340.0859	122.6662	-83.9008	7.6043
8	COMB2	18.0163	26.7906	25365.7383	40.5950	18.6391	3.2343
8	COMB3	-7185.2979	97.6414	0.0000	-372.9103	-88641.0469	4192.0410
8	COMB4	7.3220	-5580.3950	0.0000	30204.1113	32.7060	-10292.8340
8	COMB5	6726.7666	-98.2926	0.0000	384.6111	86335.7344	-21.4572
8	COMB6	-0.0167	5458.7114	0.0000	-30541.2988	1.2198	-175.1380
9	COMB1	36.4246	-18.4123	68501.4297	188.3575	46.0179	7.2671
9	COMB2	19.0571	-20.4061	16198.7627	104.6540	22.9959	4.0014
9	COMB3	-6970.3162	-263.9996	0.0000	-498.9459	-87638.0547	993.3903
9	COMB4	3.9216	5836.0942	0.0000	57828.1523	18.7192	-10489.8105
9	COMB5	6804.3755	169.5199	0.0000	368.8778	86776.8203	-1212.3867
9	COMB6	0.1160	10691.2285	0.0000	-37813.2813	1.7025	-488.5304
10	COMB1	-36.5297	-24.7868	68501.4297	203.1603	-47.5309	-5.8811
10	COMB2	-19.1920	-22.9503	16198.7627	109.5619	-24.9902	-2.9584
10	COMB3	-6804.5229	51.3619	0.0000	689.0427	-86774.5234	1224.6549
10	COMB4	-3.9692	6183.8950	0.0000	56852.0625	-19.2775	10511.0264
10	COMB5	6970.1729	-145.3330	0.0000	-820.5419	87641.0156	-1006.3547
10	COMB6	0.0166	10025.3232	0.0000	-36001.4453	1.2136	479.1465

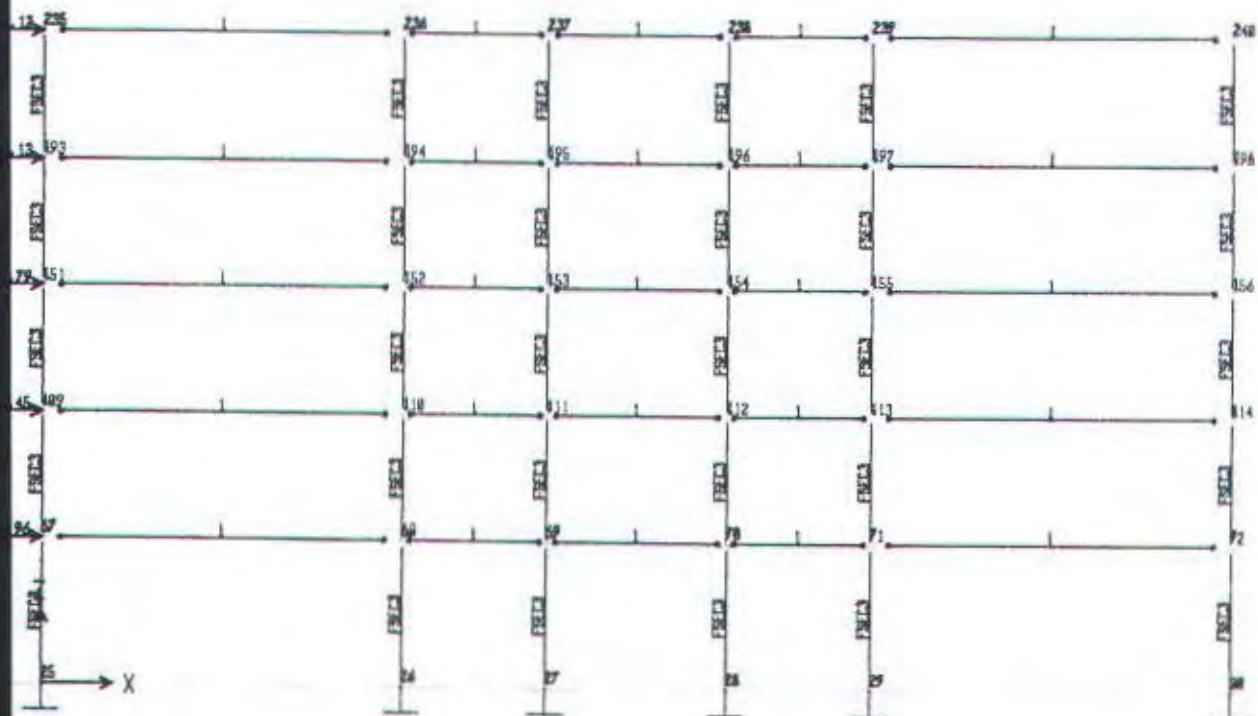
11	COMB1	57.0459	42.9214	91340.0859	105.2658	82.4149	-5.9498
11	COMB2	-18.1469	30.5451	25365.7383	28.6199	-20.6261	-2.9387
11	COMB3	-6727.1709	-87.5018	0.0000	316.4569	-86334.1250	30.8997
11	COMB4	-7.3619	-5546.0498	0.0000	30019.4883	-33.2322	10281.0576
11	COMB5	7185.5430	86.8924	0.0000	-304.9110	88644.5469	-4202.4321
11	COMB6	0.1280	5452.4370	0.0000	-30532.8027	1.5427	209.7888
12	COMB1	-285.6682	-304.2714	79362.1016	4.7869	-444.6429	5.9321
12	COMB2	-67.5306	-21.3215	19858.5156	-41.5755	-103.4544	2.7236
12	COMB3	-6648.5479	246.7401	-1441.5232	-353.2861	-85832.4141	1475.9023
12	COMB4	-4.9388	-14160.1973	65418.6680	19283.2598	-27.0247	-69.7851
12	COMB5	9122.0947	-257.5085	1487.2621	369.0031	92327.3594	-5975.8018
12	COMB6	0.1805	9434.5186	-47607.0508	-13623.4385	2.2012	-303.3226
13	COMB1	266.5319	-9.5680	88040.5938	25.9032	238.6297	-0.4370
13	COMB2	58.0643	-2.7783	25664.0000	2.9510	17.4783	-1.2275
13	COMB3	7598.6392	-49.8576	0.0000	261.7325	-127605.399	125.6528
13	COMB4	-59.3064	-2848.8315	0.0000	14141.2158	186.4237	-275.9979
13	COMB5	10593.3018	46.7523	0.0000	-256.5879	60572.9570	-118.0509
13	COMB6	-67.9964	2522.6113	0.0000	-12783.7412	266.5139	370.8898
14	COMB1	-13.6471	-20.6230	92467.0391	204.2696	-188.4544	-0.5045
14	COMB2	39.6388	-7.9679	27687.7246	93.5614	-15.3873	-1.2559
14	COMB3	31193.6367	68.3296	0.0000	-325.6699	-75405.2578	161.8458
14	COMB4	-148.6347	-3878.8760	0.0000	25121.3320	-4.6218	-105.5947
14	COMB5	18009.3203	-66.9572	0.0000	330.3542	76673.6172	-161.9748
14	COMB6	-175.0682	4299.7163	0.0000	-29004.7754	37.5179	163.5994
15	COMB1	53.7607	-21.3682	16771.7773	85.4751	-8.7954	0.8937
15	COMB2	28.5233	-11.0035	4497.5249	44.0152	5.5309	0.3954
15	COMB3	-31828.9902	10.2865	0.0000	-41.1441	-127316.109	0.7715
15	COMB4	25.6046	-14074.2324	0.0000	56296.7188	102.4180	-103.6760
15	COMB5	23336.0762	-15.4826	0.0000	61.9285	93344.6641	-0.7942
15	COMB6	45.1497	15680.0615	0.0000	-62720.0156	180.5998	103.3029
16	COMB1	-60.3329	-28.4587	16771.7773	113.8362	-17.4952	-0.6224
16	COMB2	-30.6686	-13.5074	4497.5249	54.0303	-14.1125	-0.2740
16	COMB3	-23336.0469	-159.5484	0.0000	638.1854	-93344.5547	3.6396
16	COMB4	-27.3658	-13638.6104	0.0000	54554.2695	-109.4626	107.0773
16	COMB5	31828.3223	154.9989	0.0000	-619.9875	127313.4453	-3.5915
16	COMB6	-15.7375	14862.6113	0.0000	-59450.2969	-62.9479	-107.5580
17	COMB1	15.6061	-17.9364	92467.0391	186.9222	170.8588	9.3695
17	COMB2	-38.9985	-6.4918	27687.7246	82.2489	9.6451	3.8956
17	COMB3	-18011.1680	-61.4600	0.0000	274.1291	-76674.5078	159.0235
17	COMB4	149.0491	-3849.1887	0.0000	24939.4688	-0.2631	99.1986
17	COMB5	-31191.6133	62.9167	0.0000	-269.7391	75404.4141	-157.6224
17	COMB6	167.1106	4284.2192	0.0000	-28970.2324	42.4606	-201.1422
18	COMB1	-266.4026	-8.8603	88040.5938	22.3071	-260.1989	9.3889
18	COMB2	-58.0214	-1.9638	25664.0000	0.8332	-24.5183	3.8943
18	COMB3	-10594.0989	48.8379	0.0000	-257.0579	-60571.6094	116.3964
18	COMB4	59.2366	-2848.9395	0.0000	14141.7031	-192.3190	272.7681
18	COMB5	-7597.8560	-49.8947	0.0000	261.9509	127601.9141	-123.3005
18	COMB6	68.1709	2523.5559	0.0000	-12788.5176	-169.2037	-388.7693
19	COMB1	274.8889	-56.8432	77623.7656	87.0414	285.4841	19.5364
19	COMB2	63.9645	-37.1017	20097.6250	55.7105	51.2637	4.8493
19	COMB3	-8484.8584	-41.0276	0.0000	216.0527	-97331.1797	-4281.3008
19	COMB4	-0.1813	-2506.1643	0.0000	12501.0869	0.5556	-253.7075
19	COMB5	7012.2422	42.1926	0.0000	-220.1339	90839.8828	-535.6520
19	COMB6	30.0350	3039.0017	0.0000	-14822.8652	370.4754	-46.3267
20	COMB1	-67.7226	-91.3021	91340.0938	307.4320	-242.3352	42.3681
20	COMB2	14.6692	-47.8870	25365.7383	152.8584	-31.8498	15.4550
20	COMB3	-7560.2319	63.1645	0.0000	-338.0025	-93679.6328	-3930.7881
20	COMB4	-0.0544	-3084.6497	0.0000	22396.5137	0.9988	-108.0422
20	COMB5	7101.7607	-59.1086	0.0000	333.9728	91362.9141	-236.4258
20	COMB6	32.6345	4013.4414	0.0000	-29798.0781	376.7880	12084.5791
21	COMB1	25.7262	12.7249	68501.4297	-46.3502	-112.8212	40.2588
21	COMB2	15.6543	17.1039	16198.7627	-31.0095	-27.6804	15.5903
21	COMB3	-7345.5610	331.8292	0.0000	346.4891	-92675.8047	-916.3587
21	COMB4	0.0402	-9571.4932	0.0000	36063.9023	1.2801	252.8641

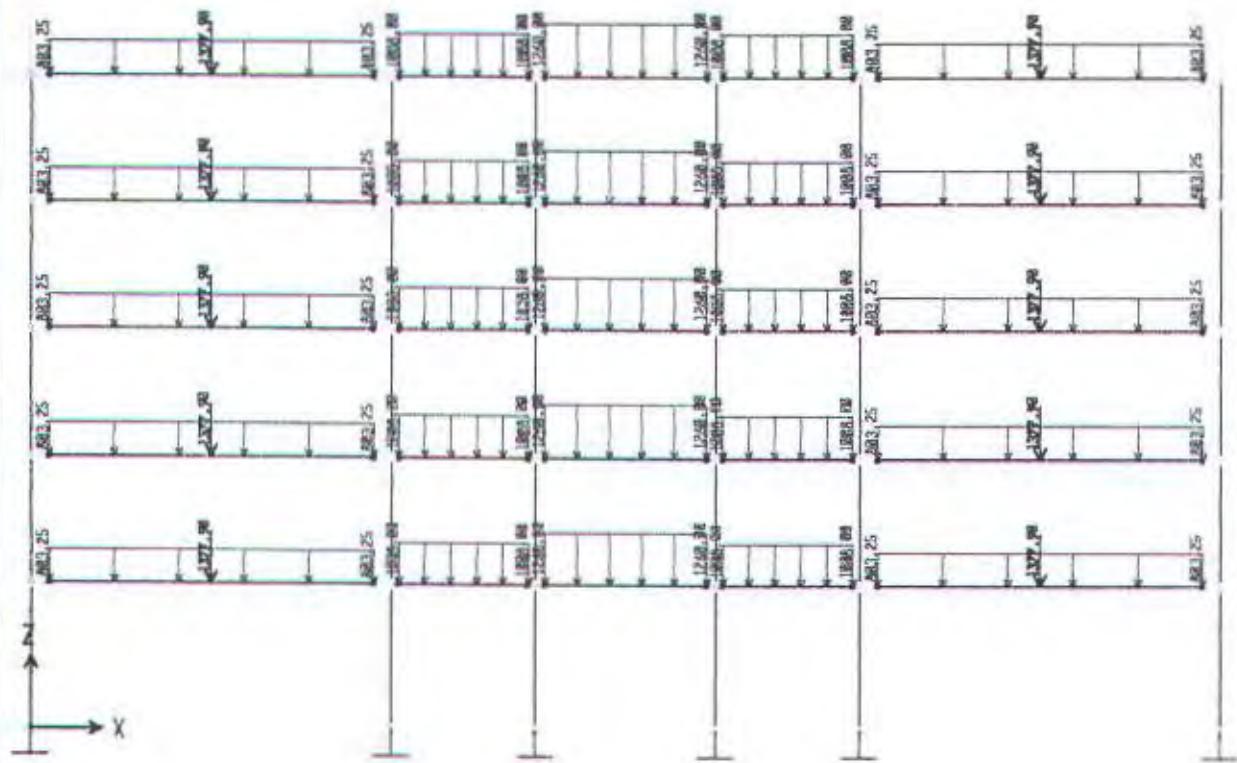
21	COMB5	7179.2202	-224.5002	0.0000	-200.2600	91799.6016	1132.7981
21	COMB6	28.1511	-8544.3398	0.0000	-64168.4844	358.6261	11534.6904
22	COMB1	-47.3667	23.4571	68501.4297	-21.8606	-206.8618	0.4269
22	COMB2	-22.6626	22.5006	16198.7627	-23.7344	-75.8958	-2.0073
22	COMB3	-7180.1523	-75.6235	0.0000	351.8472	-91813.7500	-932.8926
22	COMB4	-0.0126	-9038.0332	0.0000	33131.9063	0.9425	-181.8536
22	COMB5	7344.5313	170.1441	0.0000	-192.3198	92661.1250	721.7678
22	COMB6	19.1930	-7132.8374	0.0000	-61766.6289	315.4803	-11951.5195
23	COMB1	46.0867	-87.9645	91340.0938	287.8394	-77.2893	20.5900
23	COMB2	-21.6761	-46.1813	25365.7383	140.8029	-71.7084	6.4120
23	COMB3	-7102.5889	-56.4571	0.0000	264.1795	-91376.6484	413.9460
23	COMB4	0.0334	-3055.7148	0.0000	22205.6816	1.0403	-54.8421
23	COMB5	7559.0947	60.6583	0.0000	-288.7034	93664.5469	3752.8252
23	COMB6	15.2572	3989.8833	0.0000	-29736.4199	299.2907	-11021.8311
24	COMB1	-296.4593	-55.9997	77623.7636	82.9169	-604.8175	38.2783
24	COMB2	-70.9517	-36.7463	20097.6250	54.8825	-154.7334	13.7448
24	COMB3	-7013.0425	42.3092	0.0000	-220.7137	-90853.4609	527.7126
24	COMB4	0.2097	-2506.3320	0.0000	12501.8086	1.6357	252.5094
24	COMB5	8483.7021	-41.0819	0.0000	216.3279	97315.9688	4294.6250
24	COMB6	17.6554	3040.1750	0.0000	-14828.4844	305.0085	-109.0161
25	COMB1	461.3302	297.0363	74531.0156	1.1241	213.7131	164.1328
25	COMB2	150.5629	1.4151	16390.3359	39.7086	85.1568	51.4244
25	COMB3	-7109.3472	-155.8927	-867.9161	226.2871	-77487.1094	-7886.9780
25	COMB4	0.2893	-9345.6338	-47793.2227	13467.6631	12.5003	-234.6672
25	COMB5	5636.4795	158.0953	877.2090	-229.4967	71063.8672	8051.2197
25	COMB6	59.1921	13904.1074	65225.9141	-18874.9316	938.5540	130.3426
26	COMB1	-271.6209	-29.6905	100837.2813	228.5266	-883.5174	106.4129
26	COMB2	-78.0514	-14.2736	29840.7500	110.1736	-270.1211	35.8270
26	COMB3	-6155.1357	62.5736	0.0000	-353.0207	-73812.6719	-4396.8628
26	COMB4	0.3697	-2800.6182	0.0000	21353.0215	13.4701	-114.7911
26	COMB5	5693.4053	-59.6757	0.0000	353.6385	71513.6328	4465.4646
26	COMB6	56.0563	4205.6553	0.0000	-31345.4805	933.9061	11494.3691
27	COMB1	-7.0042	-17.8597	85835.2734	23.3598	-532.5434	108.3327
27	COMB2	4.9791	-10.4545	26662.5000	21.5711	-161.2435	38.4202
27	COMB3	-5935.8887	133.7088	0.0000	772.7839	-72822.4219	-3914.7349
27	COMB4	0.2992	-6052.4248	0.0000	28547.3203	13.5925	214.7715
27	COMB5	5767.5449	-90.3150	0.0000	-494.5844	71930.0594	3844.9734
27	COMB6	52.5651	131.3864	0.0000	-83365.8750	927.0787	9289.2705
28	COMB1	-71.9504	3.3872	85835.2734	30.4249	-629.5342	67.9244
28	COMB2	-30.2702	1.1917	26662.5000	18.0170	-214.2583	19.4922
28	COMB3	-5771.3760	-23.4664	0.0000	233.1742	-71983.7891	-3875.4431
28	COMB4	0.5595	-4871.7690	0.0000	24105.4453	14.4449	-160.1684
28	COMB5	5931.2173	48.2393	0.0000	72.0785	72766.1016	3966.8086
28	COMB6	54.3153	1473.1832	0.0000	-80905.2813	923.3045	-10401.7508
29	COMB1	192.8606	-24.9800	100837.2813	205.2193	-278.1847	84.1105
29	COMB2	52.7955	-11.8861	29840.7500	96.4546	-105.3173	26.1660
29	COMB3	-5695.5283	-59.9419	0.0000	309.0731	-71561.9609	-4260.0952
29	COMB4	0.7334	-2770.7542	0.0000	21154.4473	15.0940	-37.8874
29	COMB5	6148.7222	63.0823	0.0000	-309.1865	73751.6563	4202.1899
29	COMB6	55.4985	4168.8159	0.0000	-31256.0449	922.7012	-10196.1025
30	COMB1	-538.5993	300.6483	74548.9531	-3.9858	-1373.8403	178.8559
30	COMB2	-183.3582	1.5463	16384.5547	39.4941	-460.1295	57.5773
30	COMB3	-5637.6963	158.4295	879.2695	-230.0893	-71107.6094	-7924.5269
30	COMB4	1.1488	-9346.3037	-47795.7813	13468.5752	16.7085	237.6269
30	COMB5	7102.5693	-155.9478	-868.6162	226.4887	77421.6094	7791.9014
30	COMB6	58.4119	13908.3789	65247.2578	-18881.3223	926.5861	2.1960
31	COMB1	798.1311	-625.0833	62153.2227	349.1393	450.9726	134.6192
31	COMB2	246.1337	-132.0733	9625.4141	84.2897	129.1582	41.4241
31	COMB3	-4302.9604	-159.2881	867.9161	229.5452	-24183.0527	-7073.7710
31	COMB4	0.7445	-9499.0322	47793.2227	13696.7588	2.6247	-266.0087
31	COMB5	2072.2639	161.4855	-877.2090	-232.6301	17998.1426	7054.4746
31	COMB6	-31.8558	13823.2285	-65225.9141	-20968.7734	-211.2940	156.6735
32	COMB1	4011.3718	-96.7578	106501.1719	335.3923	421.8952	67.9866
32	COMB2	1215.3065	-49.9127	26466.1621	167.1085	123.0565	22.8220

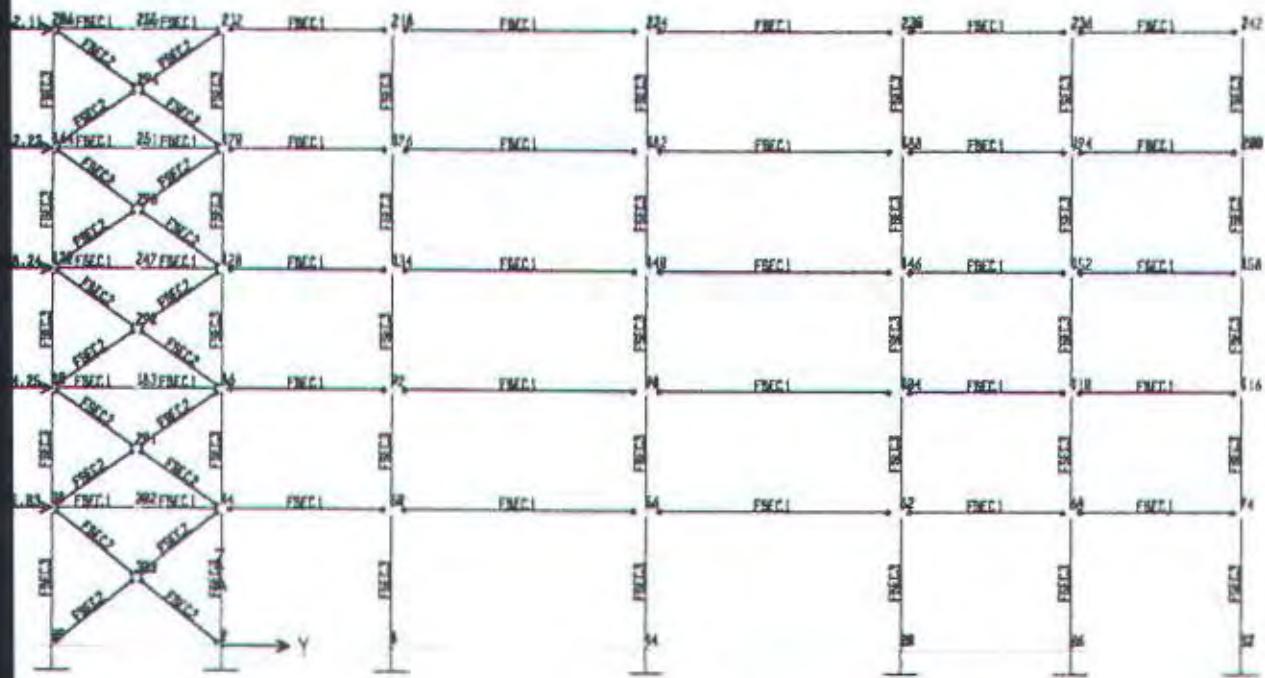
32	COMB3	-8117.7119	57.4272	-45495.4766	-355.8792	-22626.2246	-2788.9727
32	COMB4	0.6144	-2673.9878	-2.4432	20885.5254	0.5102	-180.8966
32	COMB5	7651.3232	-54.5621	42164.7734	358.0677	20568.2031	2700.5981
32	COMB6	-68.4406	4822.2290	-535.1983	-34064.6563	-237.4162	13351.1162
33	COMB1	-932.0401	-102.8224	19971.4766	130.7243	-45.3572	18.6959
33	COMB2	-237.3380	-54.4803	5802.5869	69.2854	-11.4755	9.9012
33	COMB3	-10770.0322	0.7627	45495.4766	3.0601	-1243.2446	-0.5226
33	COMB4	0.0571	-23.1400	2.4432	94.0277	-0.0146	16.7291
33	COMB5	9816.9814	-0.9024	-42164.7734	-2.0123	1179.5139	0.7656
33	COMB6	-115.4842	53.3974	535.1983	-309.4230	-12.6526	-60.0034
34	COMB1	-1001.2714	-137.6761	43078.7656	245.4504	-2332.5059	41.5653
34	COMB2	-379.2172	-73.7630	6729.0430	132.0217	-752.5184	12.8384
34	COMB3	-16971.8672	-7.5098	-121908.391	188.4186	-26453.1270	-2417.0142
34	COMB4	-1.1752	-3646.4199	-13.7859	21277.2617	-1.4615	-336.7679
34	COMB5	17831.3145	11.5724	125426.6406	162.0662	27110.8633	2521.9236
34	COMB6	-128.5402	4693.3809	-1188.1433	-89183.7656	-212.5051	-16554.6250
35	COMB1	-1824.1970	-84.4901	103605.2109	292.6856	-2530.5715	51.4712
35	COMB2	-518.8577	-43.5105	25539.7070	143.2265	-788.7477	14.7240
35	COMB3	-16634.5898	-58.9381	121908.3906	321.0516	-25654.0410	-3023.8337
35	COMB4	-1.0619	-2646.6577	13.7859	20681.8145	-2.1594	-126.2133
35	COMB5	17478.9844	62.1320	-125426.641	-319.8370	27269.3105	3132.8740
35	COMB6	-130.9472	4778.1631	1188.1433	-33947.9219	-194.4952	-14430.4951
36	COMB1	-747.3517	-621.4600	62135.2813	343.8318	-3035.1560	160.0885
36	COMB2	-228.1368	-131.9267	9631.1943	84.2369	-946.0919	51.6972
36	COMB3	-3844.2578	161.8497	-879.2695	-233.0509	-20994.9863	-7174.9995
36	COMB4	-0.8674	-9499.6953	47795.7813	13697.7480	-4.4852	275.2375
36	COMB5	5221.9766	-159.3734	868.6162	229.5539	26700.0098	7222.5278
36	COMB6	-27.4631	13827.6191	-65247.2578	-20974.8535	-162.1230	170.2560
99	COMB1	618.5522	698.3472	52547.7578	-279.8005	376.0571	44.6962
99	COMB2	141.9879	240.9749	12768.0947	-117.1147	102.5351	24.3341
99	COMB3	-11729.4697	316.6515	-64184.3633	-381.0648	-18280.7344	7327.3184
99	COMB4	98.0549	-27531.2871	-143127.547	41345.9102	125.2253	-13153.9932
99	COMB5	10908.1445	-321.5581	60753.4844	391.6684	16524.0977	-7174.2778
99	COMB6	-142.8510	25406.1523	137907.6563	-37230.8984	-224.2044	-615.6766
100	COMB1	113.2816	21.9906	33341.2656	159.4863	300.2057	-24.5694
100	COMB2	67.8293	30.7784	6772.1104	152.1078	189.2258	-5.8366
100	COMB3	-2629.6487	-482.5660	-2.2043	6616.9429	-37657.2422	4719.4385
100	COMB4	74.2181	-581.3102	-0.8176	6949.9873	498.1284	-665.1590
100	COMB5	2703.1123	471.3640	2.1893	-6495.5229	36616.9766	-4532.9390
100	COMB6	69.4096	621.9438	0.7436	-7459.3984	650.3834	452.4780
141	COMB1	-277.0157	88.6818	60442.7422	-4.0690	21.3676	1.3363
141	COMB2	-48.7626	51.0560	13891.6025	-16.8146	14.1132	1.9379
141	COMB3	-11829.7393	26.8759	67772.6172	-1160.1836	-17350.7168	2289.9109
141	COMB4	1046.0294	-4796.5195	-10552.4678	82621.8438	363.4314	-13762.1328
141	COMB5	10926.2783	-31.7928	-64280.1680	840.9653	16734.2168	-2204.3728
141	COMB6	-1069.6205	4259.8374	10439.4199	-23686.6563	-412.4612	-435.5827
258	COMB1	277.3077	86.6986	60443.0898	1.0346	-21.5859	0.2397
258	COMB2	49.8631	50.3028	13898.0195	-15.8628	-12.7425	-0.0131
258	COMB3	-10923.3984	-72.4317	-64259.3203	990.2816	-16733.2324	2219.7236
258	COMB4	-1043.9746	-4675.9951	-10553.3936	82146.1406	-367.0641	13776.9629
258	COMB5	11826.5400	67.6925	67741.7266	-1310.1542	17549.2461	-2305.0149
258	COMB6	1072.0071	4033.1619	10448.8730	-22842.3789	414.5508	440.2482
259	COMB1	-618.7729	712.5294	52627.9609	-300.5036	-376.4833	-43.1244
259	COMB2	-141.1543	244.8613	12797.2959	-128.5501	-101.2912	-23.9920
259	COMB3	-10907.8477	-260.3712	61131.9922	300.8596	-16523.5898	7189.5557
259	COMB4	-101.2534	-27381.4551	-142297.875	41127.0781	-131.0444	13141.7500
259	COMB5	11728.8564	255.5440	-64560.8125	-290.3659	18279.7402	-7341.9697
259	COMB6	144.0769	25412.6641	138066.5000	-37243.3047	225.8951	662.4142
290	COMB1	-113.3593	22.3071	33341.2656	155.6988	-301.0046	24.3295
290	COMB2	-67.6708	14.8606	4894.0029	87.6383	-190.1698	14.3742
290	COMB3	-2703.2578	474.0588	2.1911	-6526.4170	-36619.6641	4532.3208
290	COMB4	-74.6140	-578.5715	-0.8146	6917.1797	-501.6686	661.7852
290	COMB5	2829.7380	-484.9347	-2.2057	6644.4204	37657.4297	-4718.4141
290	COMB6	-70.0335	622.7674	0.7446	-7469.9307	-656.4545	-452.1003

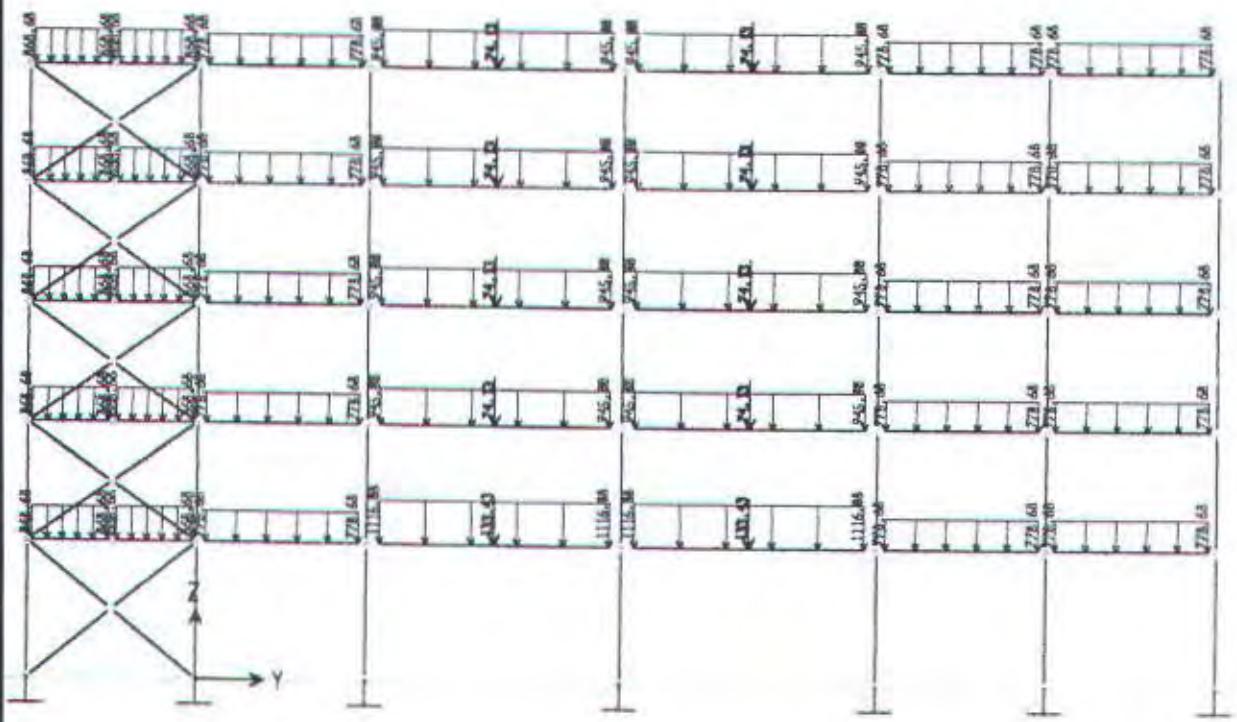


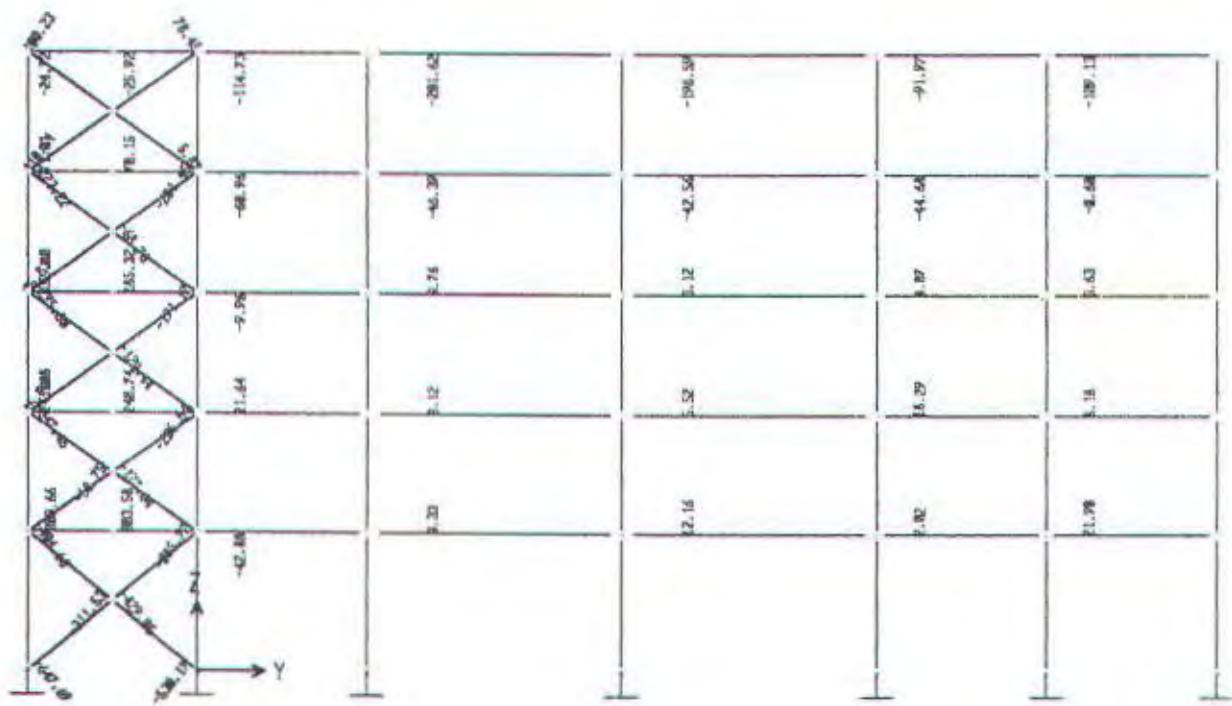


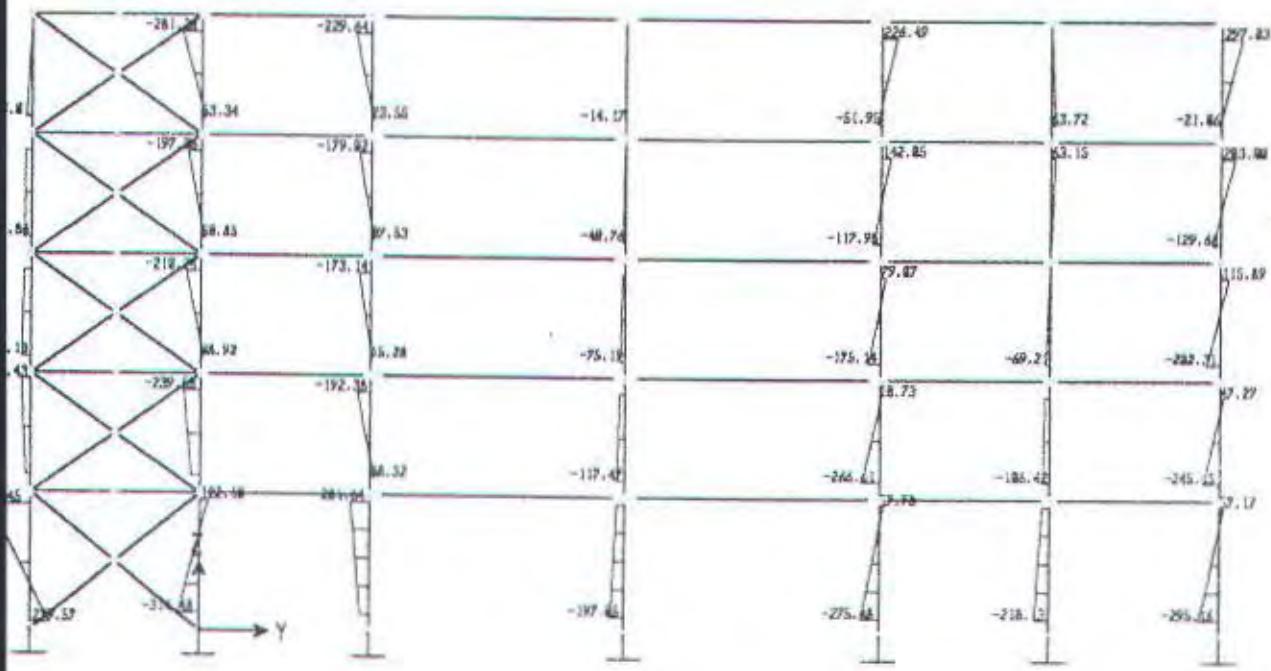


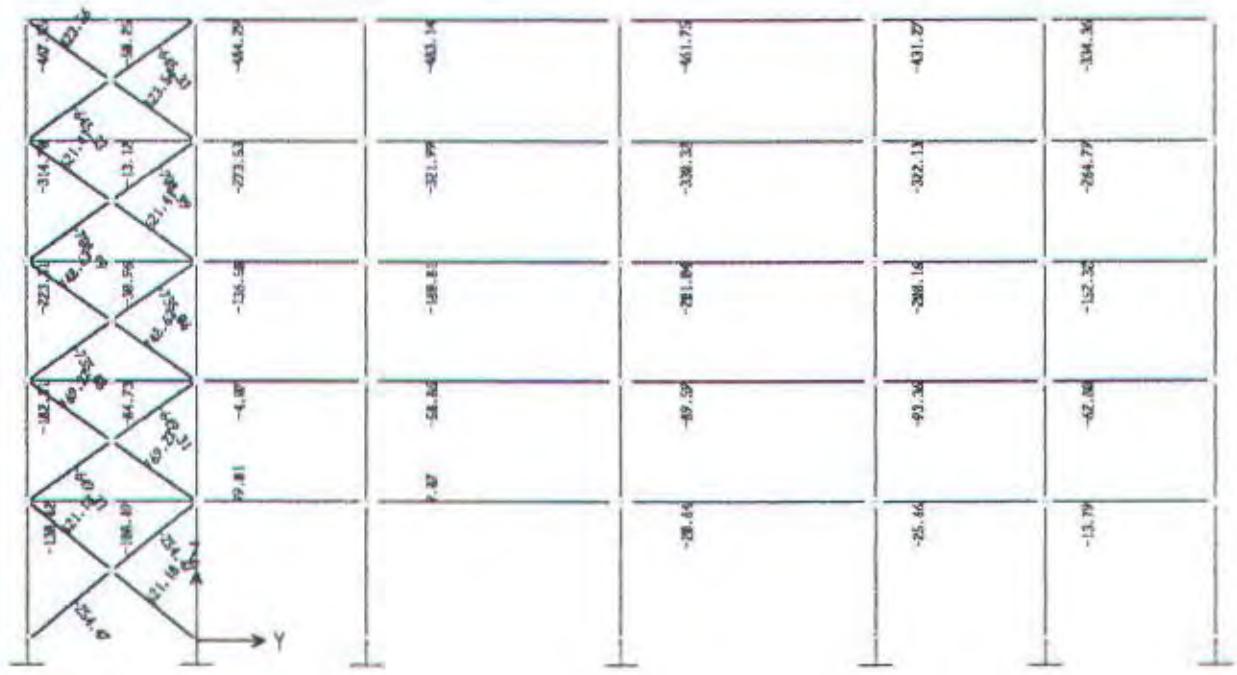


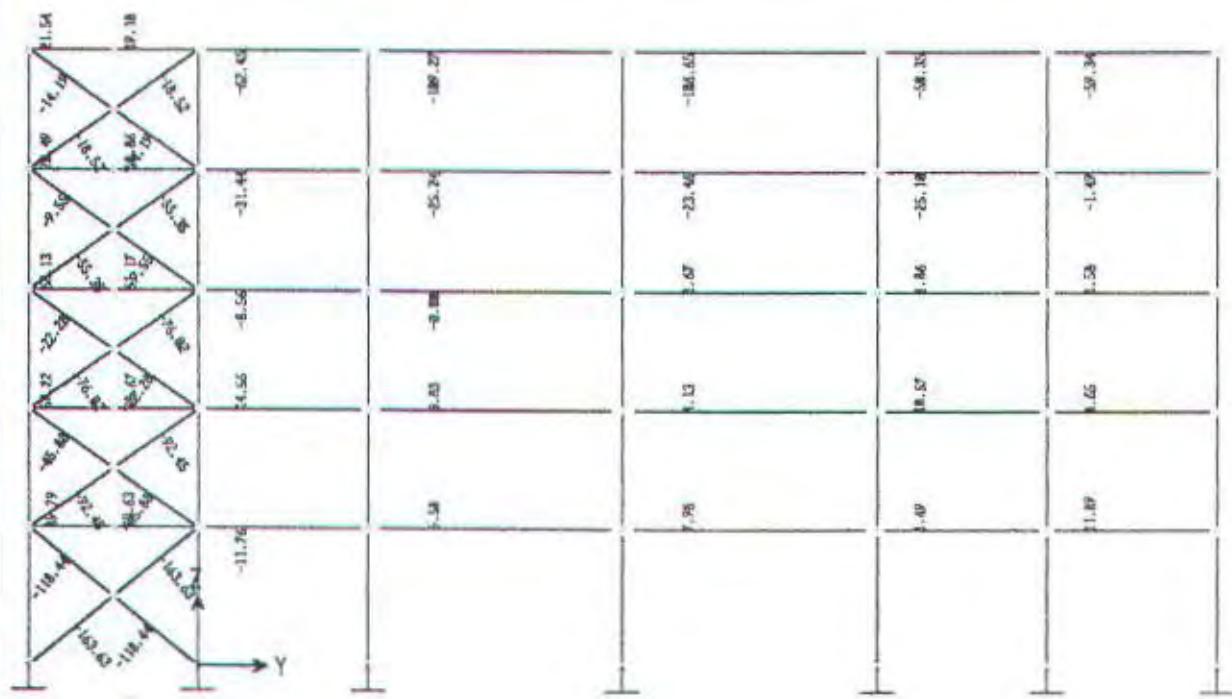


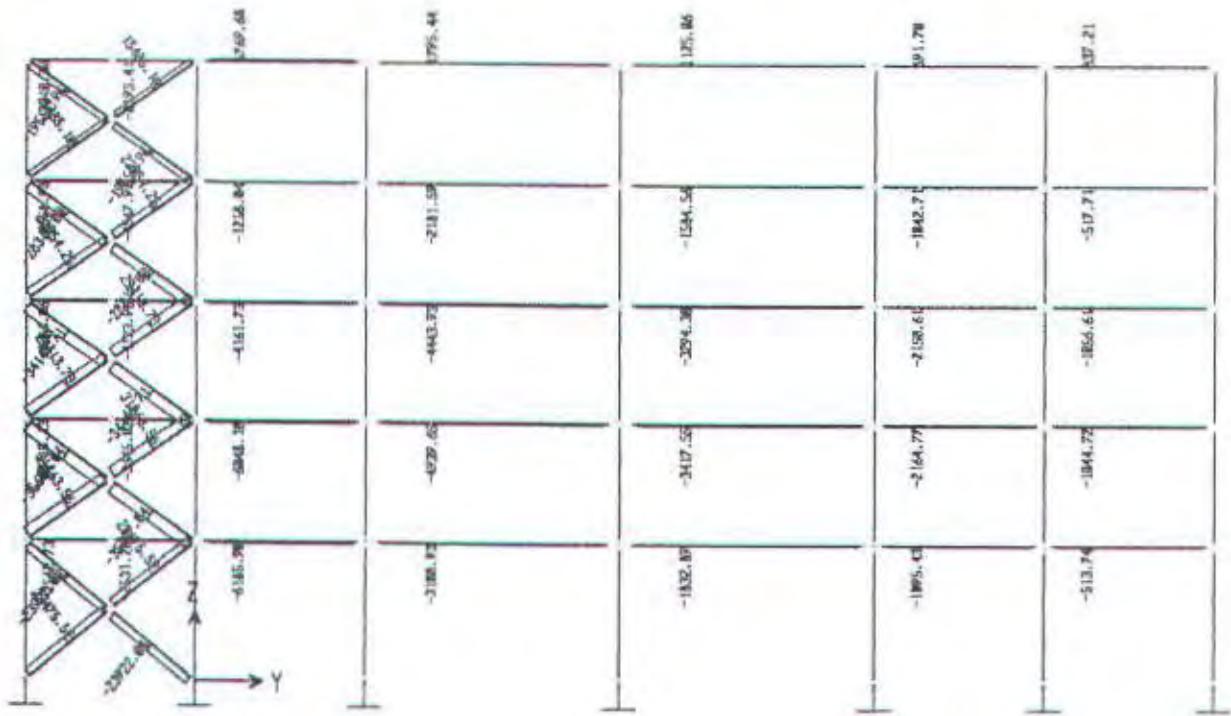


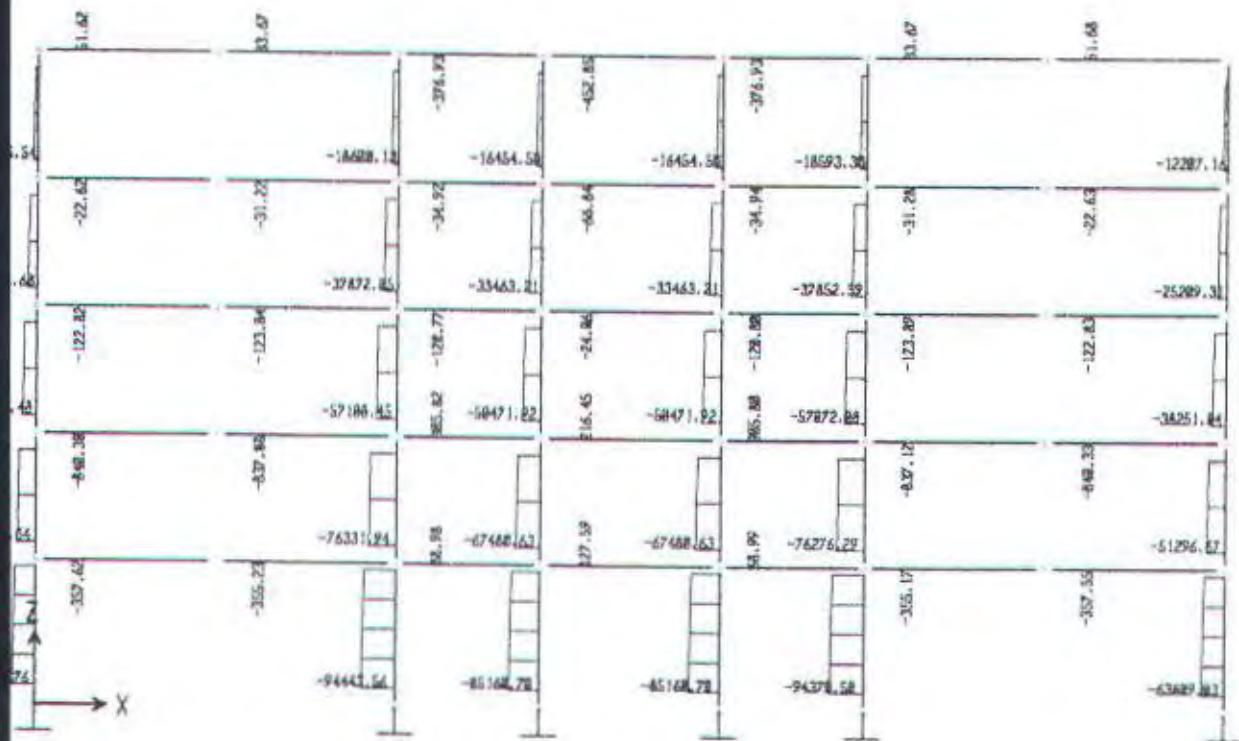


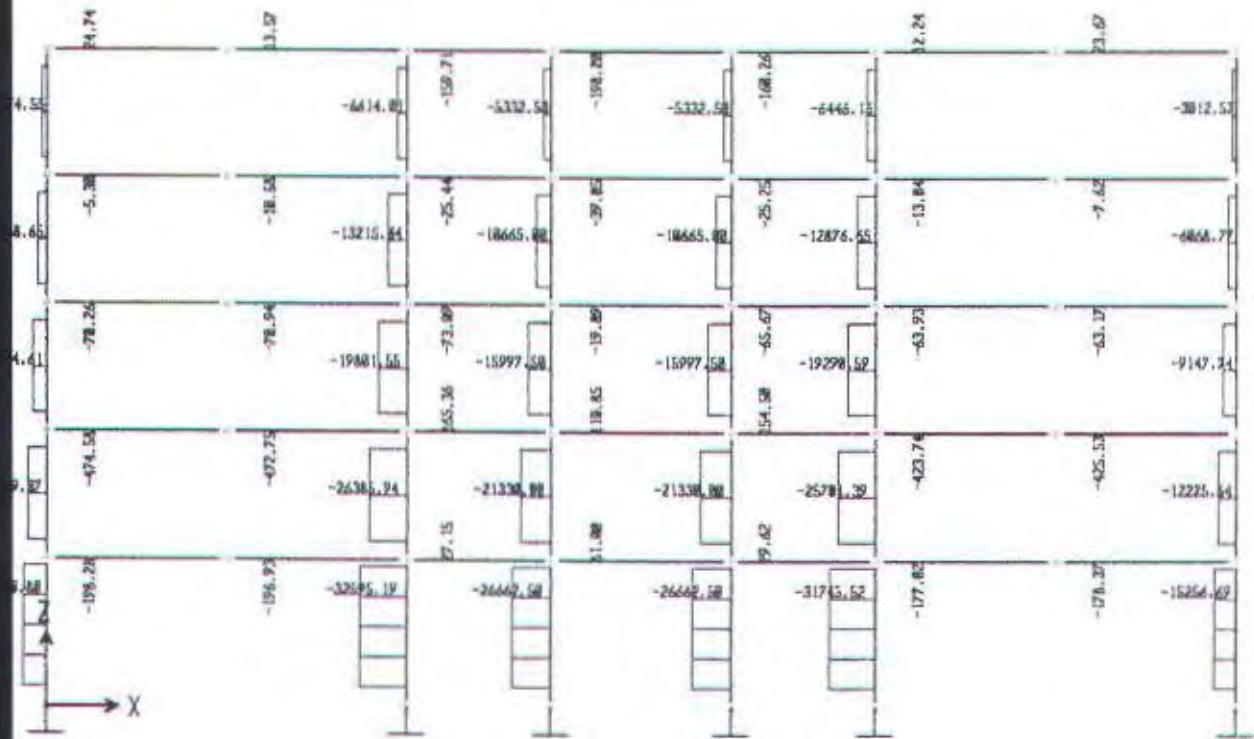




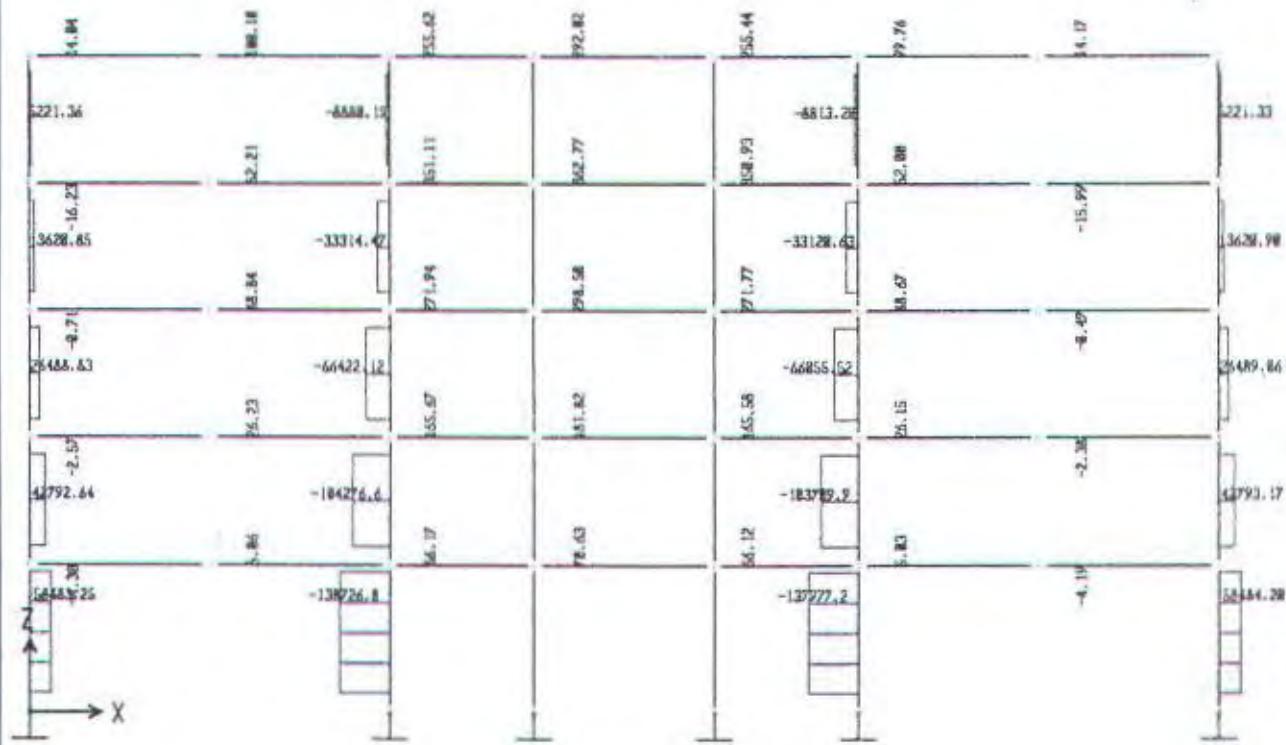


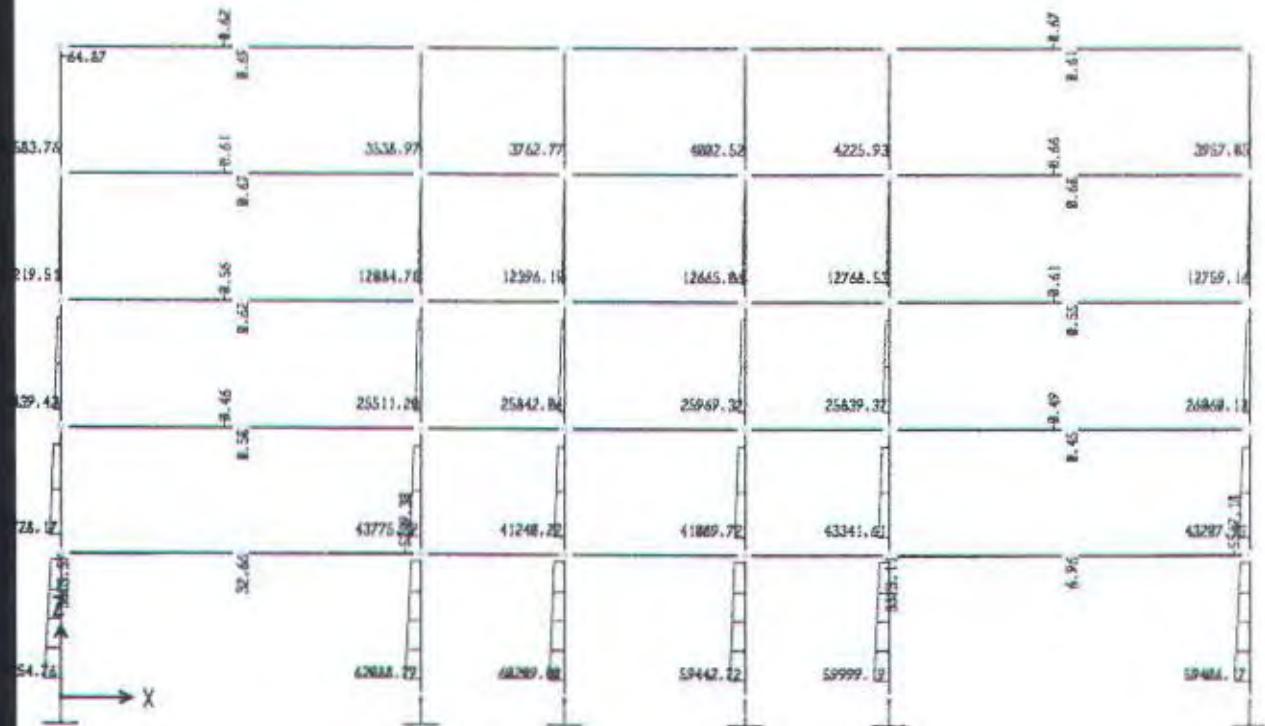


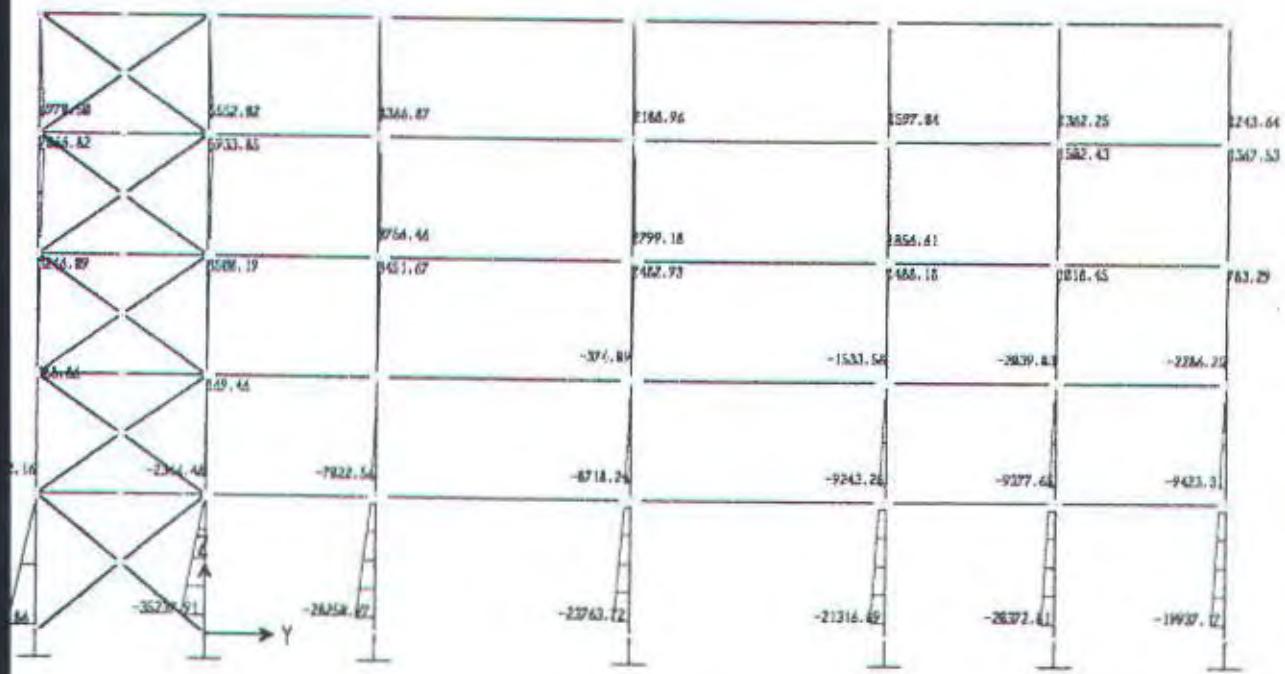


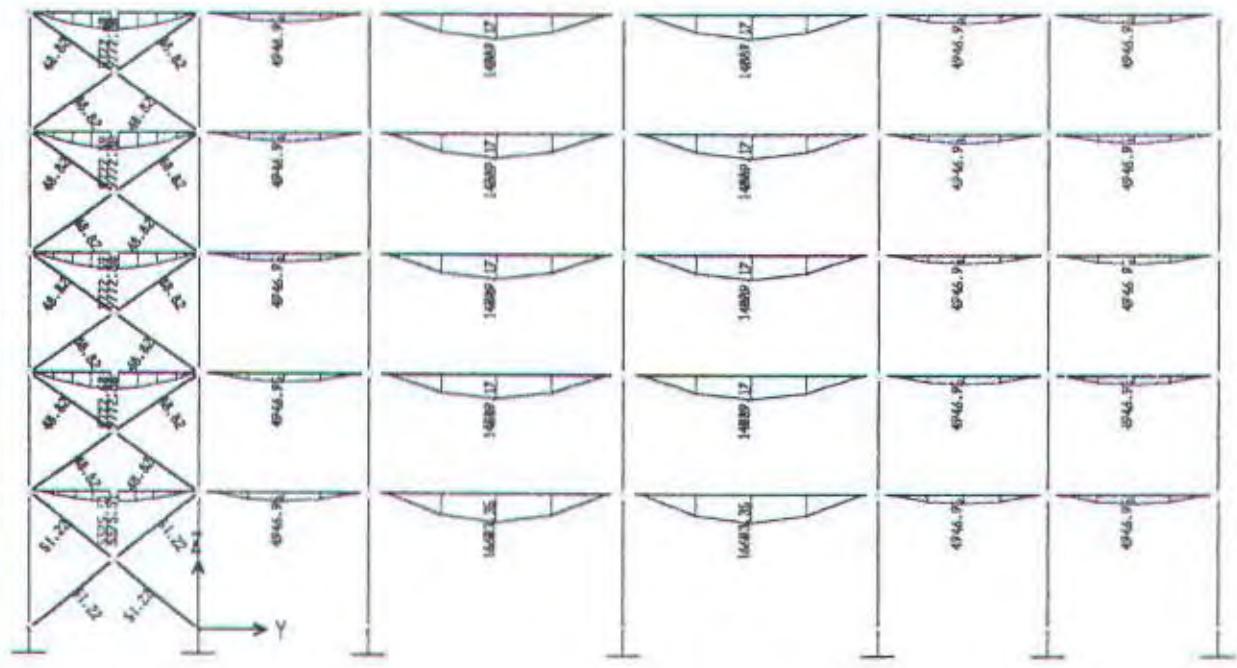


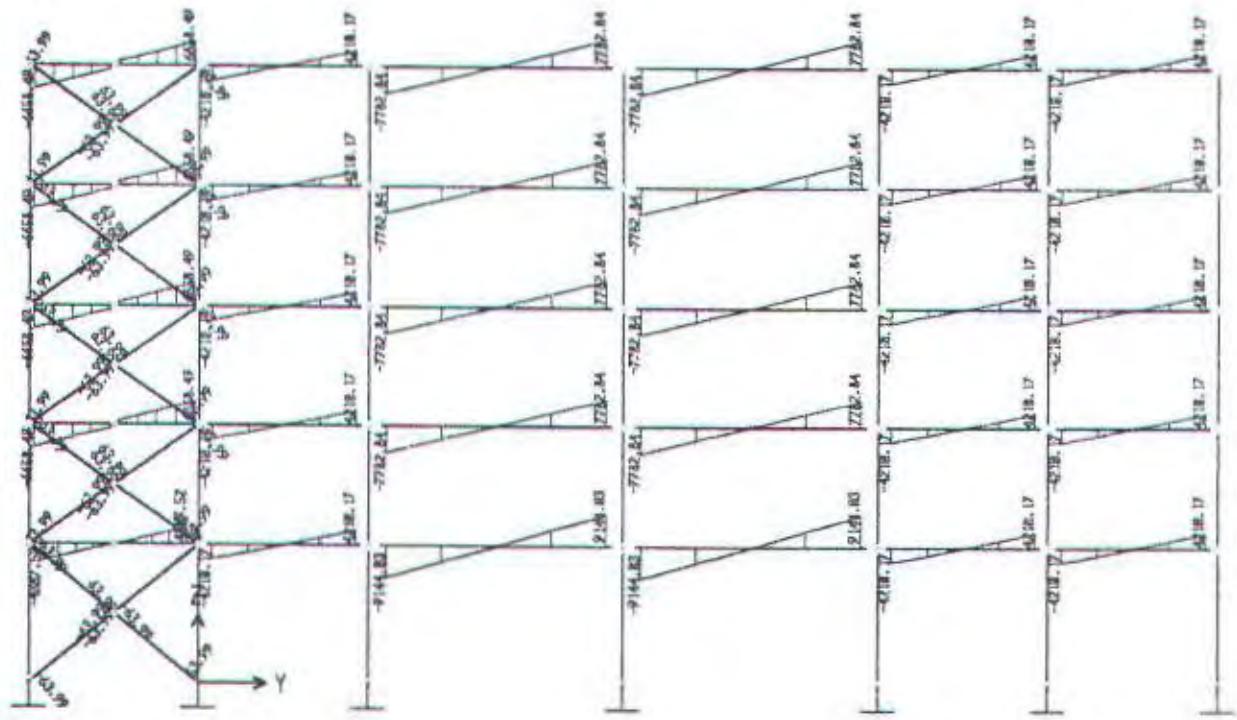


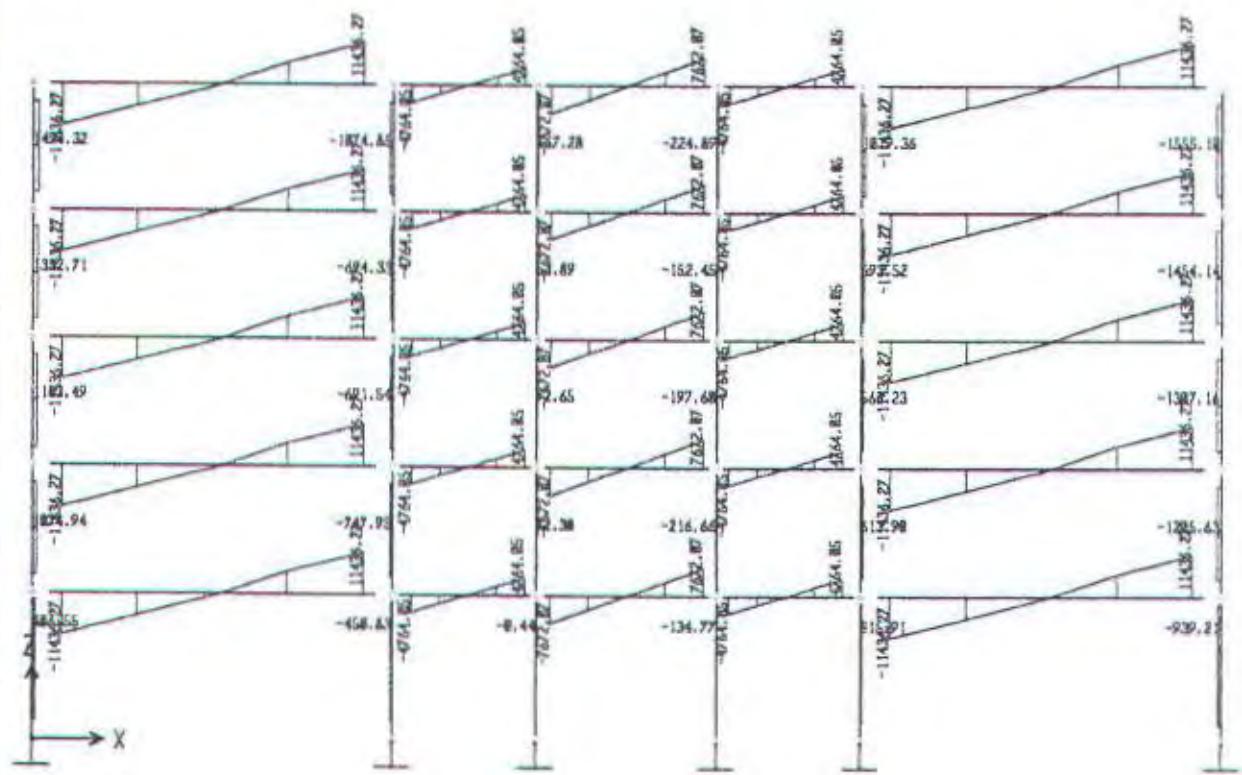


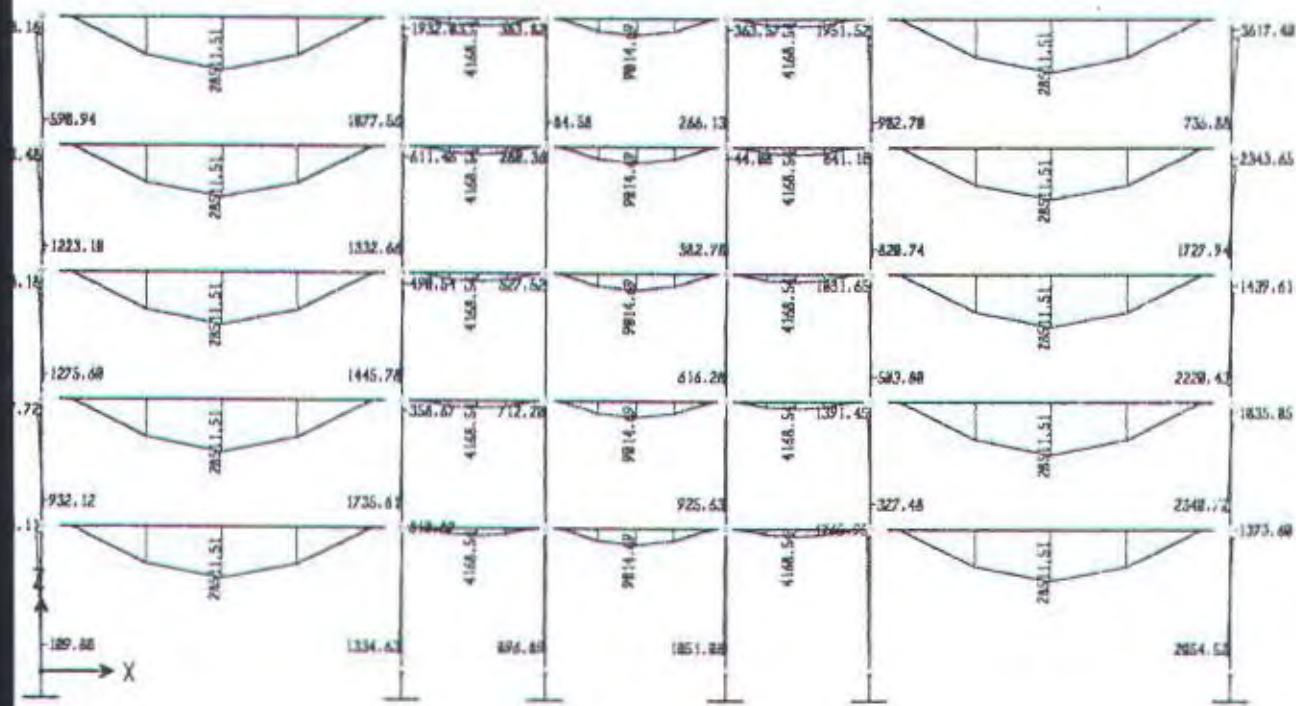


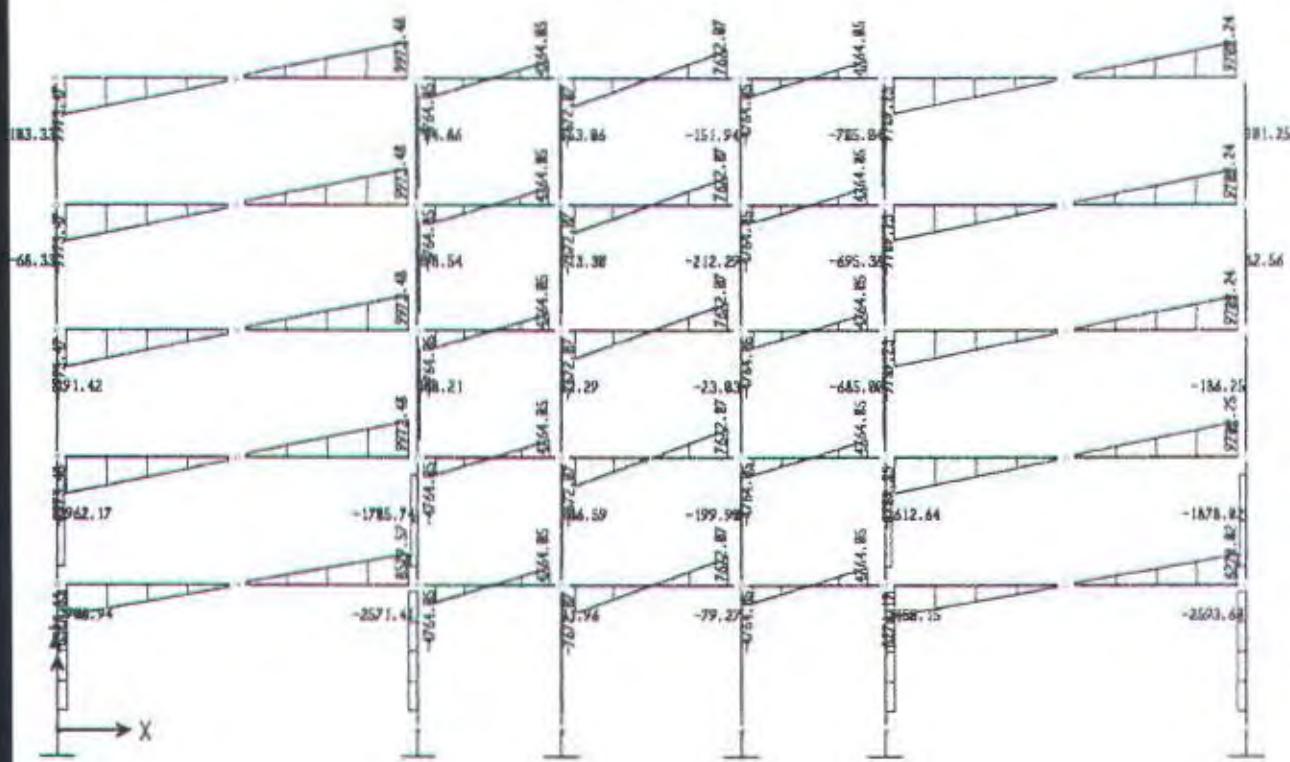


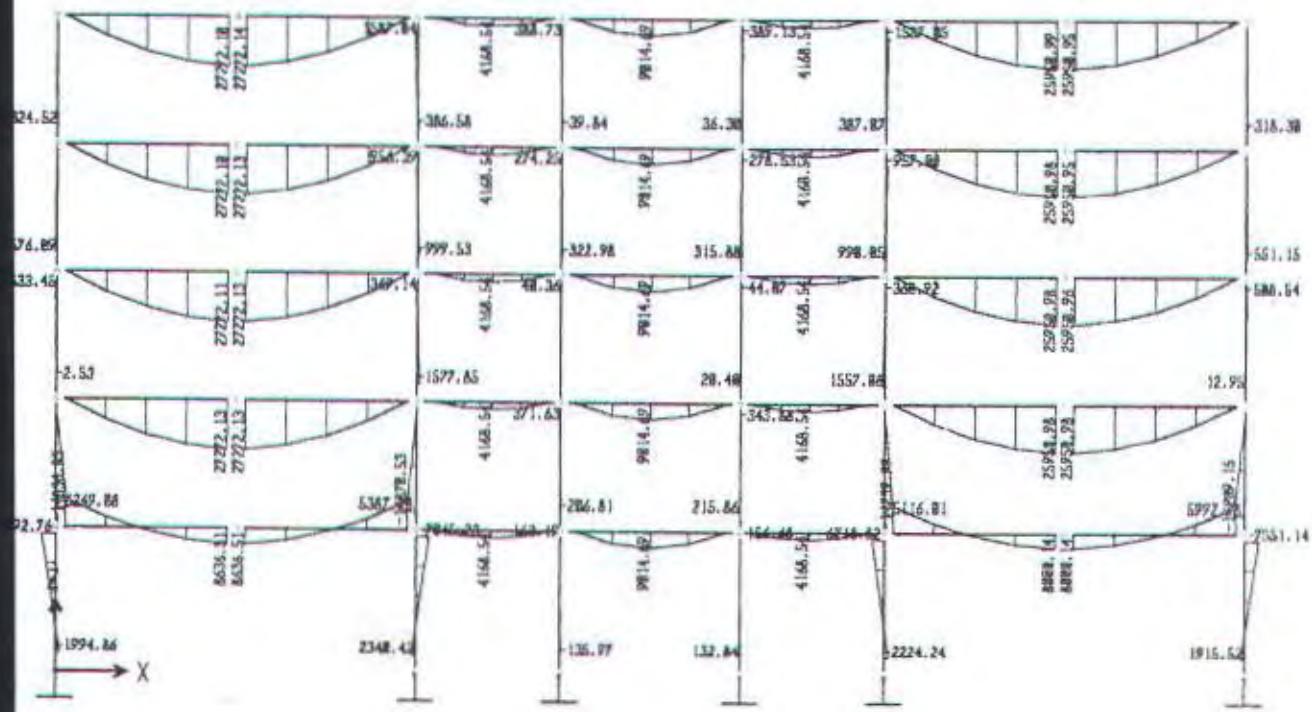












SAP2000 v7.42 File: ATAKU Kgf-m Units PAGE 1
1/21/02 23:02:42

GRAFFITEK
PERHITUNGAN STRUKTUR TUGAS AKHIR - IVAN D.W.I.-

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
1	DEAD	1.0000
2	LIVE	0.0000
3	QUAKE	0.0000
GPMEL	QUAKE	0.0000
GPMEM2	QUAKE	0.0000
GPMEL2	QUAKE	0.0000
EX1	QUAKE	0.0000
EY1	QUAKE	0.0000

JOINT CONSTRAINT DATA

JOINT	TYPE	76	DIAPH1	115	DIAPH2	154	DIAPH3
		77	DIAPH1	116	DIAPH2	155	DIAPH3
37	DIAPH1	78	DIAPH1	117	DIAPH2	156	DIAPH3
38	DIAPH1	299	DIAPH1	118	DIAPH2	157	DIAPH3
39	DIAPH1	301	DIAPH1	119	DIAPH2	158	DIAPH3
40	DIAPH1	302	DIAPH1	120	DIAPH2	159	DIAPH3
41	DIAPH1	304	DIAPH1	142	DIAPH2	160	DIAPH3
42	DIAPH1	79	DIAPH2	183	DIAPH2	161	DIAPH3
43	DIAPH1	80	DIAPH2	184	DIAPH2	162	DIAPH3
44	DIAPH1	81	DIAPH2	225	DIAPH2	226	DIAPH3
45	DIAPH1	82	DIAPH2	121	DIAPH3	247	DIAPH3
46	DIAPH1	83	DIAPH2	122	DIAPH3	248	DIAPH3
47	DIAPH1	84	DIAPH2	123	DIAPH3	249	DIAPH3
48	DIAPH1	85	DIAPH2	124	DIAPH3	163	DIAPH4
49	DIAPH1	86	DIAPH3	125	DIAPH3	164	DIAPH4
50	DIAPH1	87	DIAPH2	126	DIAPH3	165	DIAPH4
51	DIAPH1	88	DIAPH2	127	DIAPH3	166	DIAPH4
52	DIAPH1	89	DIAPH2	128	DIAPH3	167	DIAPH4
53	DIAPH1	90	DIAPH2	129	DIAPH3	168	DIAPH4
54	DIAPH1	91	DIAPH2	130	DIAPH3	169	DIAPH4
55	DIAPH1	92	DIAPH2	131	DIAPH3	170	DIAPH4
56	DIAPH1	93	DIAPH2	132	DIAPH3	171	DIAPH4
57	DIAPH1	94	DIAPH2	133	DIAPH3	172	DIAPH4
58	DIAPH1	95	DIAPH2	134	DIAPH3	173	DIAPH4
59	DIAPH1	96	DIAPH2	135	DIAPH3	174	DIAPH4
60	DIAPH1	97	DIAPH2	136	DIAPH3	175	DIAPH4
61	DIAPH1	98	DIAPH2	137	DIAPH3	176	DIAPH4
62	DIAPH1	101	DIAPH2	138	DIAPH3	177	DIAPH4
63	DIAPH1	102	DIAPH2	139	DIAPH3	178	DIAPH4
64	DIAPH1	103	DIAPH2	140	DIAPH3	179	DIAPH4
65	DIAPH1	104	DIAPH2	143	DIAPH3	180	DIAPH4
66	DIAPH1	105	DIAPH2	144	DIAPH3	181	DIAPH4
67	DIAPH1	106	DIAPH2	145	DIAPH3	182	DIAPH4
68	DIAPH1	107	DIAPH2	146	DIAPH3	185	DIAPH4
69	DIAPH1	108	DIAPH2	147	DIAPH3	186	DIAPH4
70	DIAPH1	109	DIAPH2	148	DIAPH3	187	DIAPH4
71	DIAPH1	110	DIAPH2	149	DIAPH3	188	DIAPH4
72	DIAPH1	111	DIAPH2	150	DIAPH3	189	DIAPH4
73	DIAPH1	112	DIAPH2	151	DIAPH3	190	DIAPH4
74	DIAPH1	113	DIAPH2	152	DIAPH3	191	DIAPH4
75	DIAPH1	114	DIAPH2	153	DIAPH3	192	DIAPH4

193	DIAPH4	253	DIAPH4		219	DIAPHS	236	DIAPHS
194	DIAPH4	205	DIAPHS		220	DIAPHS	237	DIAPHS
195	DIAPH4	206	DIAPHS		221	DIAPHS	238	DIAPHS
196	DIAPH4	207	DIAPHS		222	DIAPHS	239	DIAPHS
197	DIAPH4	208	DIAPHS		223	DIAPHS	240	DIAPHS
198	DIAPH4	209	DIAPHS		224	DIAPHS	241	DIAPHS
199	DIAPH4	210	DIAPHS		227	DIAPHS	242	DIAPHS
200	DIAPH4	211	DIAPHS		228	DIAPHS	243	DIAPHS
201	DIAPH4	212	DIAPHS		229	DIAPHS	244	DIAPHS
202	DIAPH4	213	DIAPHS		230	DIAPHS	245	DIAPHS
203	DIAPHS	214	DIAPHS		231	DIAPHS	246	DIAPHS
204	DIAPHS	215	DIAPHS		232	DIAPHS	254	DIAPHS
205	DIAPHS	216	DIAPHS		233	DIAPHS	255	DIAPHS
206	DIAPHS	217	DIAPHS		234	DIAPHS	256	DIAPHS
207	DIAPHS	218	DIAPHS		235	DIAPHS	257	DIAPHS

S H E L L E L E M E N T D A T A

SHELL	JNT-1	JNT-2	JNT-3	JNT-4	SECTION	ANGLE	AREA
10	43	48	73	78	LT1	0.000	990.000
11	37	302	304	44	LT1	0.000	12.500
12	301	42	47	299	LT1	0.000	12.500
15	38	41	44	47	LT1	0.000	65.000
16	80	83	92	95	LT2	0.000	130.000
17	184	84	89	225	LT2	0.000	12.500
18	79	183	142	86	LT2	0.000	12.500
19	89	90	119	120	LT2	0.000	300.000
20	85	86	115	116	LT2	0.000	300.000
21	104	107	116	119	LT2	0.000	130.000
22	127	128	157	158	LT3	0.000	300.000
23	131	132	161	162	LT3	0.000	300.000
24	122	125	134	137	LT3	0.000	130.000
25	121	247	226	128	LT3	0.000	12.500
26	248	126	131	249	LT3	0.000	12.500
27	146	149	158	161	LT3	0.000	130.000
28	169	170	199	200	LT4	0.000	300.000
29	173	174	203	204	LT4	0.000	300.000
30	188	191	200	203	LT4	0.000	130.000
31	164	167	176	179	LT4	0.000	130.000
32	163	251	250	170	LT4	0.000	12.500
33	252	168	173	253	LT4	0.000	12.500
34	211	212	241	242	ATAP	0.000	300.000
35	215	216	245	246	ATAP	0.000	300.000
36	206	209	218	221	ATAP	0.000	130.000
37	230	233	242	245	ATAP	0.000	130.000
38	205	255	254	212	ATAP	0.000	12.500
39	256	210	215	257	ATAP	0.000	12.500

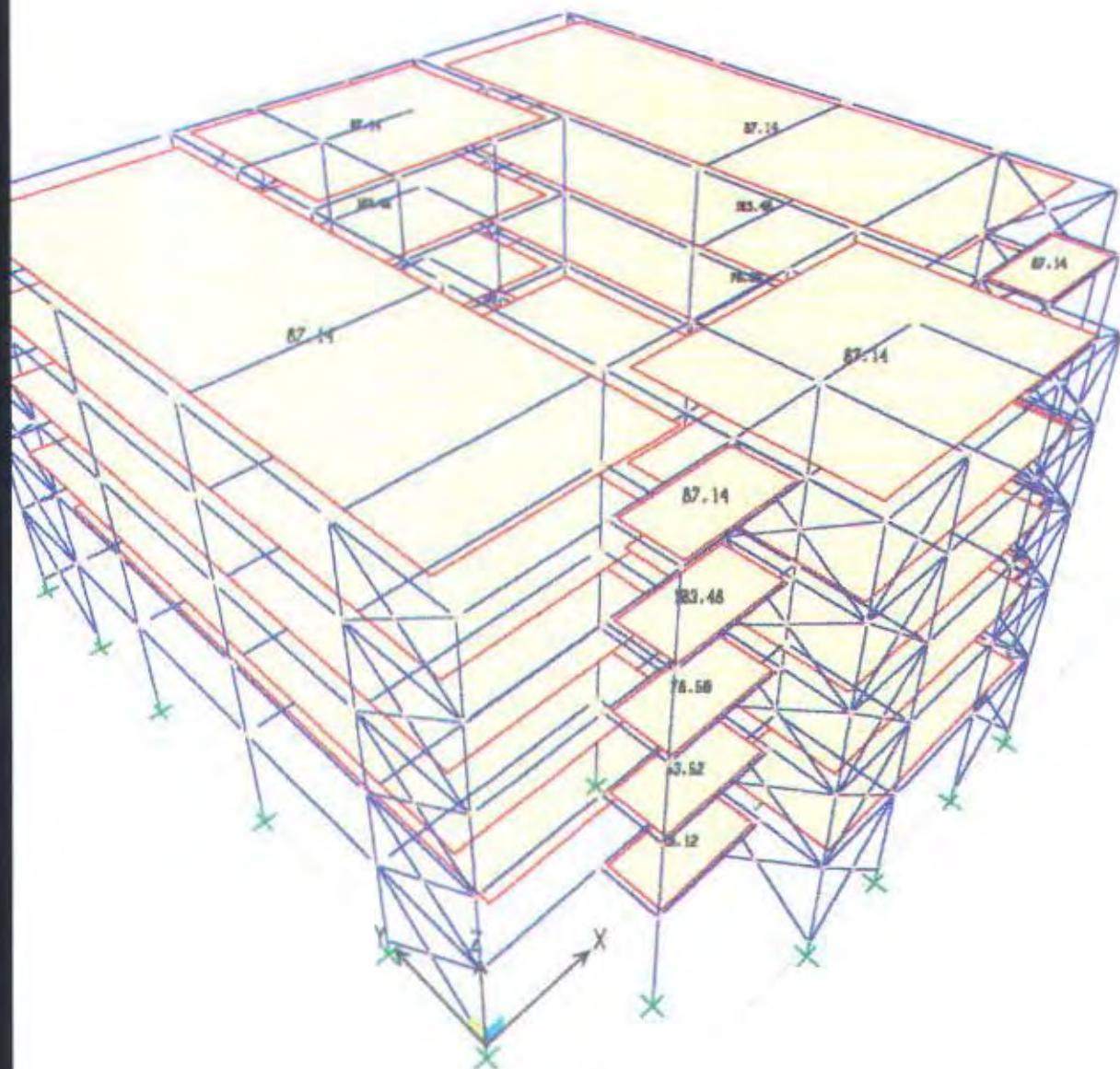
H E L L U N I F O R M L O A D S Load Case EX1

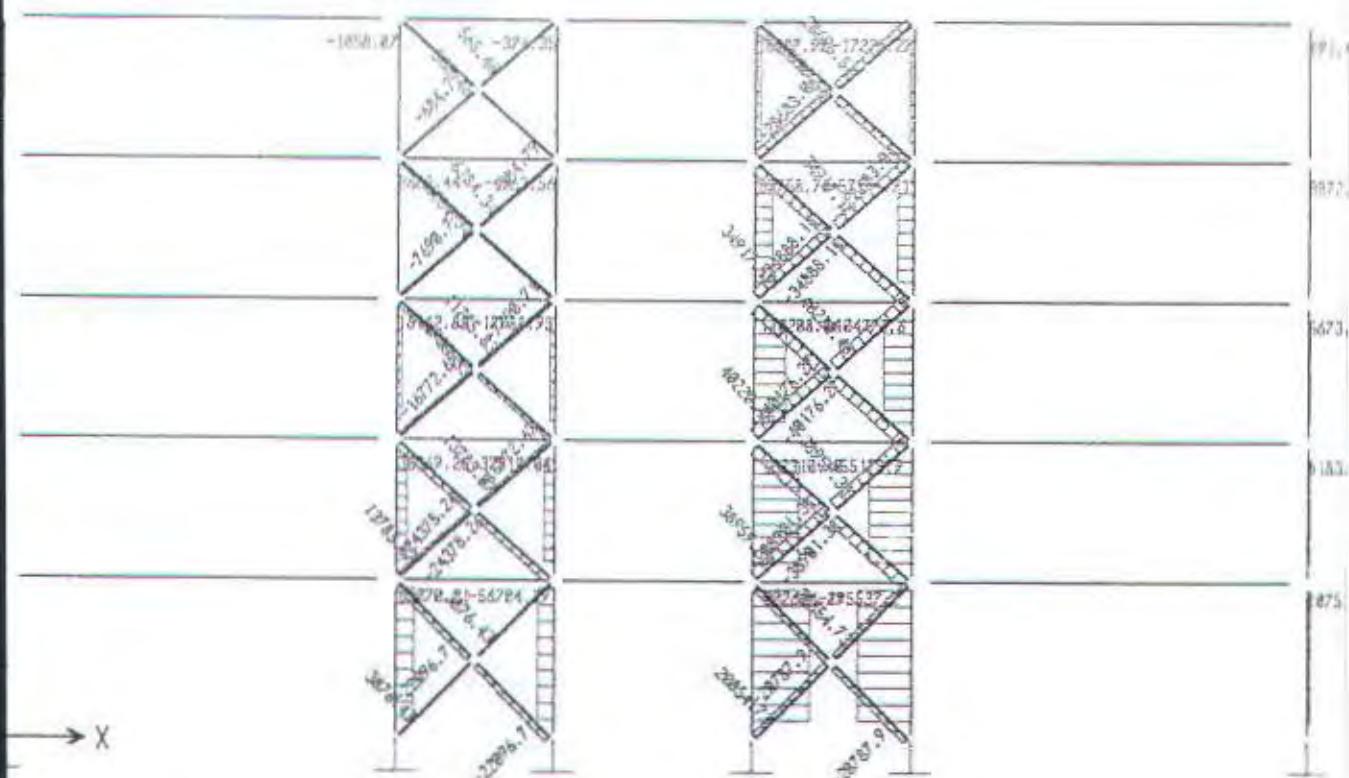
SHELL	DIRECTION	VALUE			
10	GLOBAL-X	26.1200		18	GLOBAL-X
11	GLOBAL-X	26.1200		19	GLOBAL-X
12	GLOBAL-X	26.1200		20	GLOBAL-X
15	GLOBAL-X	26.1200		21	GLOBAL-X
16	GLOBAL-X	53.5200		22	GLOBAL-X
17	GLOBAL-X	53.5200		23	GLOBAL-X

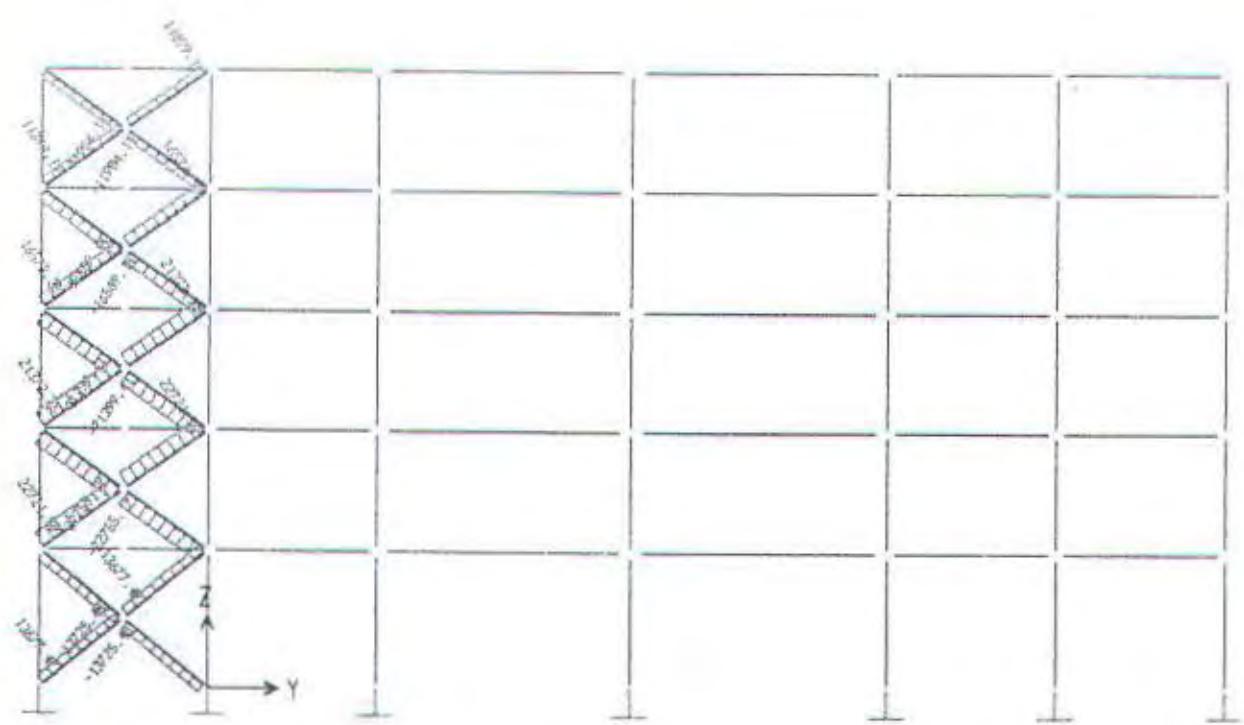
24	GLOBAL-X	78.5000	33	GLOBAL-X	103.4800
25	GLOBAL-X	78.5000	34	GLOBAL-X	87.1400
26	GLOBAL-X	78.5000	35	GLOBAL-X	87.1400
27	GLOBAL-X	78.5000	36	GLOBAL-X	87.1400
28	GLOBAL-X	103.4800	37	GLOBAL-X	87.1400
29	GLOBAL-X	103.4800	38	GLOBAL-X	87.1400
30	GLOBAL-X	103.4800	39	GLOBAL-X	87.1400
31	GLOBAL-X	103.4800			
32	GLOBAL-X	103.4800			

H E L L U N I F O R M L O A D S Load Case EY1

SHELL	DIRECTION	VALUE
10	GLOBAL-Y	26.1200
11	GLOBAL-Y	26.1200
12	GLOBAL-Y	26.1200
15	GLOBAL-Y	26.1200
16	GLOBAL-Y	53.5200
17	GLOBAL-Y	53.5200
18	GLOBAL-Y	53.5200
19	GLOBAL-Y	53.5200
20	GLOBAL-Y	53.5200
21	GLOBAL-Y	53.5200
22	GLOBAL-Y	78.5000
23	GLOBAL-Y	78.5000
24	GLOBAL-Y	78.5000
25	GLOBAL-Y	78.5000
26	GLOBAL-Y	78.5000
27	GLOBAL-Y	78.5000
28	GLOBAL-Y	103.4800
29	GLOBAL-Y	103.4800
30	GLOBAL-Y	103.4800
31	GLOBAL-Y	103.4800
32	GLOBAL-Y	103.4800
33	GLOBAL-Y	103.4800
34	GLOBAL-Y	87.1400
35	GLOBAL-Y	87.1400
36	GLOBAL-Y	87.1400
37	GLOBAL-Y	87.1400
38	GLOBAL-Y	87.1400
39	GLOBAL-Y	87.1400







TABEL PERHITUNGAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI

No. Join	Lantai	Displacement (m)		$\Delta_{S\text{el}}^X$	$\Delta_{S\text{el}}^Y$	$\Delta_{m\text{ax}} = 0.7 R \Delta_{S\text{el}}^Y$	$\Delta_{n\text{et}} = 0.7 R \Delta_{S\text{el}}^Y$	H (m)	$I\text{jin} = 2.5\% H$	Cek arah >
		Arah X	Arah Y							
38	1	0.000796	0.001836							
80	2	0.001801	0.004291	0.001005	0.002455	0.003940	0.009624	4.00	0.100000	OK
122	3	0.002712	0.006671	0.000911	0.002380	0.003571	0.009331	3.50	0.087500	OK
164	4	0.003437	0.008678	0.000725	0.002007	0.002842	0.007886	3.50	0.087500	OK
206	atap	0.003930	0.010100	0.000493	0.001422	0.001933	0.005574	3.50	0.087500	OK
39	1	0.000757	0.004952							
81	2	0.001744	0.016000	0.000977	0.011048	0.003829	0.043308	4.00	0.100000	OK
123	3	0.002627	0.031300	0.000883	0.015300	0.003461	0.059976	3.50	0.087500	OK
165	4	0.003324	0.048500	0.000697	0.017200	0.002732	0.067424	3.50	0.087500	OK
207	atap	0.003809	0.066300	0.000485	0.017800	0.001901	0.069776	3.50	0.087500	OK
61	1	0.005596	0.000559							
103	2	0.017500	0.001510	0.011904	0.000951	0.046664	0.003727	4.00	0.100000	OK
145	3	0.033300	0.002233	0.015800	0.000723	0.061936	0.002836	3.50	0.087500	OK
187	4	0.051100	0.002962	0.017800	0.000729	0.069776	0.002856	3.50	0.087500	OK
229	atap	0.069600	0.003445	0.018500	0.000483	0.072520	0.001893	3.50	0.087500	OK
49	1	0.005300	0.001488							
91	2	0.016500	0.001950	0.011200	0.000462	0.043904	0.001811	4.00	0.100000	OK
133	3	0.031500	0.002930	0.015000	0.000980	0.058800	0.003842	3.50	0.087500	OK
175	4	0.048300	0.003671	0.016800	0.000741	0.065856	0.002905	3.50	0.087500	OK
217	atap	0.065700	0.004150	0.017400	0.000479	0.068208	0.001878	3.50	0.087500	OK
75	1	0.001214	0.005581							
117	2	0.002833	0.018800	0.001619	0.013219	0.006346	0.051818	4.00	0.100000	OK
159	3	0.004571	0.037200	0.001738	0.018400	0.006813	0.072128	3.50	0.087500	OK
201	4	0.006710	0.056100	0.002139	0.020900	0.008385	0.081928	3.50	0.087500	OK
243	atap	0.007550	0.079200	0.000840	0.021100	0.003293	0.082712	3.50	0.087500	OK

dan $\Delta_{S\text{el}}$ didapat dari selisih displacement antar lantai (m)

ambil sebesar 5.6 untuk sistem rangka bresling konsentrik biasa

anginan ijin diambil 2.5 % dari tinggi lantai (H) untuk struktur dengan waktu getar dasar lebih kecil atau sama dengan 0.07

Lampiran III :

Tabel Perhitungan Tulangan Plat Lantai

PERHITUNGAN MOMEN PLAT

TYPE PLAT	DIMENSI			BEBAN PLAT								MOMEN I	
	Lx m	Ly m	Ly Lx	X				qD (kg/m ²)	qL (kg/m ²)	1,2qD + 1,6qL (kg/m ²)	Mbx kgm	Mty kgm	
	Mtx	Mty	Mlx	Mly									
PLAT LANTAI													
Plat type A	5.0 x 5.0 m	5.00	5.00	1.00	36	36	36	36	216.00	250.00	659.20	593.28	593.28
Plat type B	4.0 x 5.0 m	4.00	5.00	1.25	46	38	46	38	216.00	250.00	659.20	485.17	400.79
Plat type C	3.75 x 5.0 m	3.75	5.00	1.33	50	38	50	38	216.00	250.00	659.20	463.50	352.26

PERHITUNGAN TULANGAN PLAT

TYPE PLAT	DATA PERHITUNGAN				LANGKAH PERHITUNGAN								TULANG	
	fc'	fy	t	Mu	Mn	Rn	m	ρ	ρ_{min}	ρ_{max}	ρ_{partu}	$A_s = \rho b d$		
	Mpa	Mpa	mm	Nmm	$\frac{Mu}{t}$	$\frac{Mn}{b \times d^2}$	$\frac{fy}{0.85 fc'}$	$\frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right]$	$\frac{1.4}{Ty}$	$\frac{0.85c\beta}{0.75} - 60$	$\frac{fy}{(80-\beta)}$			
AT LANTAI														
PLAT TYPE A	-	Mt _x	22.5	240	120	5,932,800	7,416,000	0.74	12.55	0.00315	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	Mt _y	22.5	240	120	5,932,800	7,416,000	0.74	12.55	0.00315	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	ML _x	22.5	240	120	5,932,800	7,416,000	0.74	12.55	0.00315	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	ML _y	22.5	240	120	5,932,800	7,416,000	0.74	12.55	0.00315	0.006	0.036	0.006	583.33
PLAT TYPE B	-	Mt _x	22.5	240	120	4,851,712	6,064,640	0.61	12.55	0.00257	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	Mt _y	22.5	240	120	4,007,936	5,009,920	0.50	12.55	0.00212	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	ML _x	22.5	240	120	4,851,712	6,064,640	0.61	12.55	0.00257	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	ML _y	22.5	240	120	4,007,936	5,009,920	0.50	12.55	0.00212	0.006	0.036	0.006	583.33
PLAT TYPE C	-	Mt _x	22.5	240	120	4,635,000	5,793,750	0.58	12.55	0.00245	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	Mt _y	22.5	240	120	3,522,600	4,403,250	0.44	12.55	0.00186	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	ML _x	22.5	240	120	4,635,000	5,793,750	0.58	12.55	0.00245	0.006	0.036	0.006	583.33
	-	ML _y	22.5	240	120	3,522,600	4,403,250	0.44	12.55	0.00186	0.006	0.036	0.006	583.33

gkah - langkah perhitungan :

an-beban yang diperhitungkan adalah kombinasi beban mati berfaktor dan beban hidup berfaktor 1,2 D + 1,6 L(SK SNI 1991 3.2.1)

nen yang didapat dari analisa dibagi dengan faktor reduksi momen sebesar 0.8

= Mn/φ , dimana φ = 0.8... (SK. SNI 1991 3.2.3 (2))

ghitung Rn

$$= \frac{Mn}{b \times d^2} , \text{ dimana } b \text{ diambil satu satuan meter panjang}$$

dan d adalah tebal plat dikurangi deking

ghitung m,

$$\frac{fy}{0.85 fc'}$$

$$\text{ghitung } \rho_{partu}, \rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right]$$

$$\text{ghitung } \rho_{min}, \rho_{max} = \frac{1.4}{Ty} , \text{ sesuai dengan pasal 3.3.5 (1) SK SNI 1991}$$

bila $\rho_{partu} < \rho_{min}$, maka ambil ρ_{min} untuk menghitung tulangan.

s dipakai untuk mengontrol dimensi pliat, jika $\rho_{partu} > \rho_{max}$, maka dimensi tidak mencukupi

Lampiran IV :

Tabel Data Tanah dan Pondasi Tiang Pancang



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (I.T.S) SURABAYA

Kampus I.T.S Keputih, Sukolilo Telp.: (031) - 5847274, 5884251-55 Pex. 1140 Faks. (031) - 5847274 Surabaya 60111

TEST VOLUMETRI - GRAVIMETRI

PROYEK : RENCANA GEDUNG PERGURUAN MUHAMMADYAH

LOKASI : JL. PUCANG ANOM SURABAYA.

Titik Bor : A

Kedalaman (m)	-1,00	-2,00	-3,00	-4,00	-5,00
Angka pori, e	1,456	1,354	1,327	1,316	1,218
Specific gravity, Gs	2,674	2,677	2,657	2,598	2,705
Derajat kejenuhan, Sr (%)	95,67	100,00	100,00	100,00	100,00
Kadar pori, n (%)	59,283	57,519	57,026	56,822	54,914
Kadar air, Wc (%)	52,093	50,579	49,944	50,654	45,028
Berat/volume, Yt (gr/cc)	1,656	1,712	1,712	1,690	1,769
Ysat (gr/cc)	1,682	1,712	1,712	1,690	1,769
Berat/volume kering, Yd (gr/cc)	1,089	1,137	1,142	1,122	1,220
Sudut Geser dalam, Q (derajad)	4	4	6	4	10
Kohesi, c (kg/cm ²)	0,090	0,090	0,123	0,118	0,100

Titik Bor : B

Kedalaman (m)	-1,00	-2,00	-3,00	-4,00	-5,00
Angka pori, e	1,536	1,509	1,472	1,387	1,301
Specific gravity, Gs	2,701	2,645	2,675	2,638	2,645
Derajat kejenuhan, Sr (%)	93,45	100,00	100,00	100,00	100,00
Kadar pori, n (%)	60,568	60,143	59,547	58,106	56,541
Kadar air, Wc (%)	53,143	57,051	55,028	52,578	49,187
Berat/volume, Yt (gr/cc)	1,631	1,656	1,678	1,686	1,715
Ysat (gr/cc)	1,671	1,656	1,678	1,686	1,715
Berat/volume kering, Yd (gr/cc)	1,065	1,054	1,082	1,105	1,150
Sudut Geser dalam, Q (derajad)	4	5	6	6	8
Kohesi, c (kg/cm ²)	0,120	0,132	0,136	0,110	0,132



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (I.T.S) SURABAYA
 Kampus I.T.S Keputih, Sukolilo Telp. : (031) - 5847274, 5884251-55 Pos. 1140 Faks. (031) - 5847274 Surabaya 60111

bel 2 :

RHITUNG DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL

DYEK : RENCANA GEDUNG PERGURUAN MUHAMMADYAH
 KASI : JL. PUCANG ANOM SURABAYA.

e pondasi pelat menerus (strip footing).
 ar dasar pondasi 1,00 meter

o./ bor.	Keda- lamam (meter)	ϕ (derajad)	C (kg/cm ²)	Ysat (gr/cc)	Nc'	Nq'	Ny'	Angka ke- amanan (SF)	Tegangan tanah ijin (ton/m ²)
A	1,00	4,00	0,090	1,682	6,50	1,32	0,16	3	1,618
	2,00	4,00	0,090	1,712	6,50	1,32	0,16	3	1,932
	3,00	6,00	0,123	1,712	6,96	1,50	0,26	3	2,986
B	1,00	4,00	0,120	1,671	6,50	1,32	0,16	3	2,046
	2,00	5,00	0,132	1,656	6,70	1,40	0,20	3	2,293
	3,00	6,00	0,136	1,678	6,96	1,50	0,26	3	2,807

$$= c' \cdot Nc' + Y' \cdot Df \cdot Nq' + 0,5 B \cdot Y' \cdot Ny'$$

$$= qu'/SF$$

c' = $2/3 c$

Df = Kedalaman pondasi

Y' = Berat volume efektif tanah

Nc'; Nq' dan Ny' = Faktor daya dukung

SF = angka keamanan.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (I.T.S) SURABAYA

Kampus ITS Kaputih, Sukolilo Telp. : (031) - 5847274, 5894251-55 Pos. 1140 Faks. (031) - 5847274 Surabaya 60111

ABEL 3 : PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG

ROYEK : GEDUNG MUHAMMADYAH

OKASI :JL. PUCANG ANOM SURABAYA

erdaku untuk titik Sondir S-1& S-2

Type Pondasi	Kedalaman (meter)	Diameter tiang (cm)	JHP (kg/cm)	Cn (kg/cm ²)	P tanah (ton)	P bahan (K.225) (ton)	P (ton)
Tiang pancang	24	35	1.700	100	69,48	54,14	54,14
		40	1.700	100	84,65	70,71	70,71
		45	1.700	100	101,12	89,50	89,50

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini berdasarkan data sondir.

rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\bar{P} = (A \times Cn/3) + (K \times JHP/5)$$

\bar{P} = Daya dukung ijin pondasi tiang pancang

A = Luas penampang tiang pancang

Cn = Tekanan konus rata-rata pada ujung tiang pancang

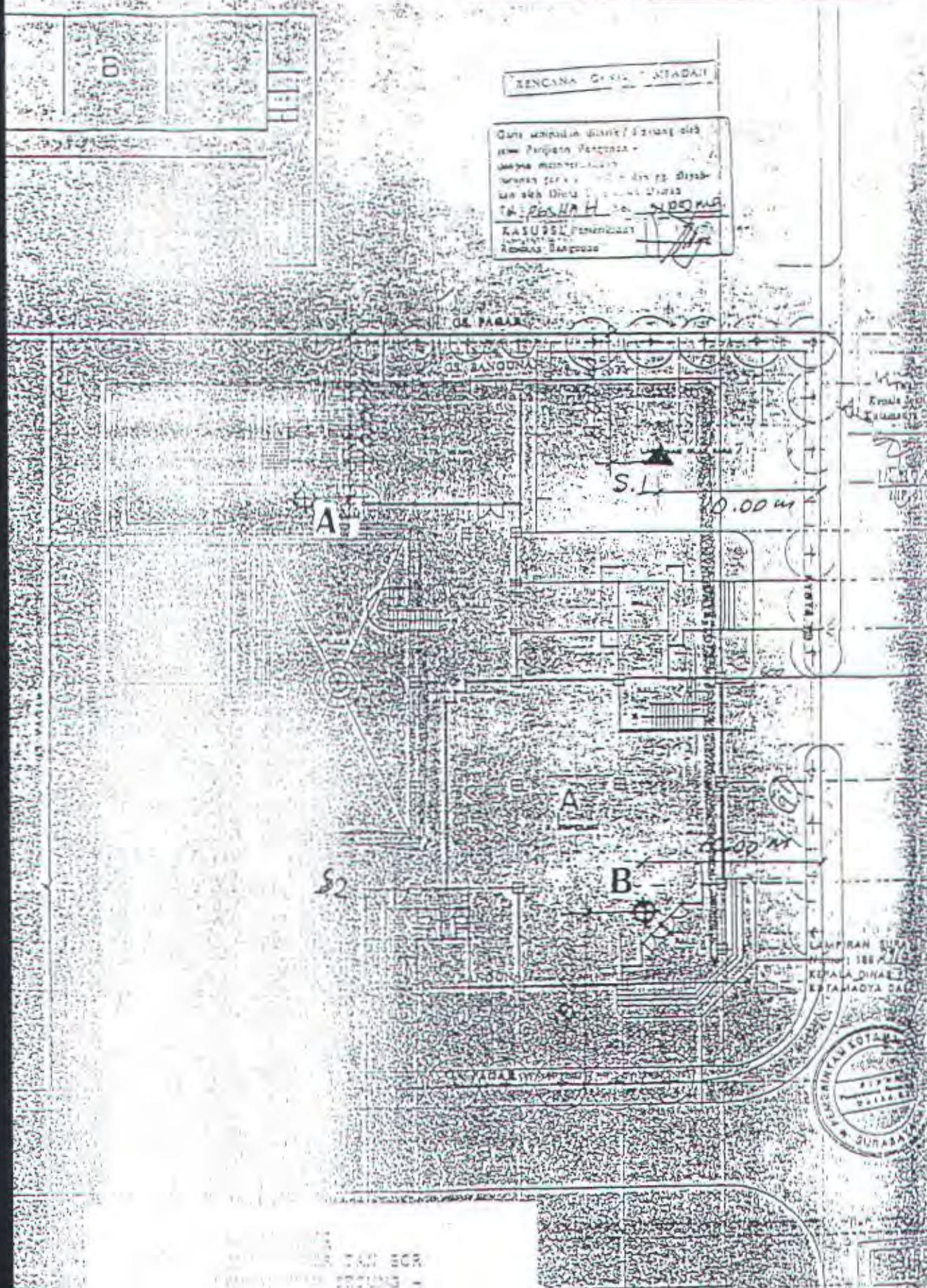
K = Keliling penampang tiang pancang

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat

3 & 5 = Angka keamanan

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (I.T.S) SURABAYA
Kampus I.T.S Kepatihan, Sukolilo Telp.: (031)-5847274, 5884251-55 Pos. 1140 Faks. (031)-5847274 Surabaya 60111

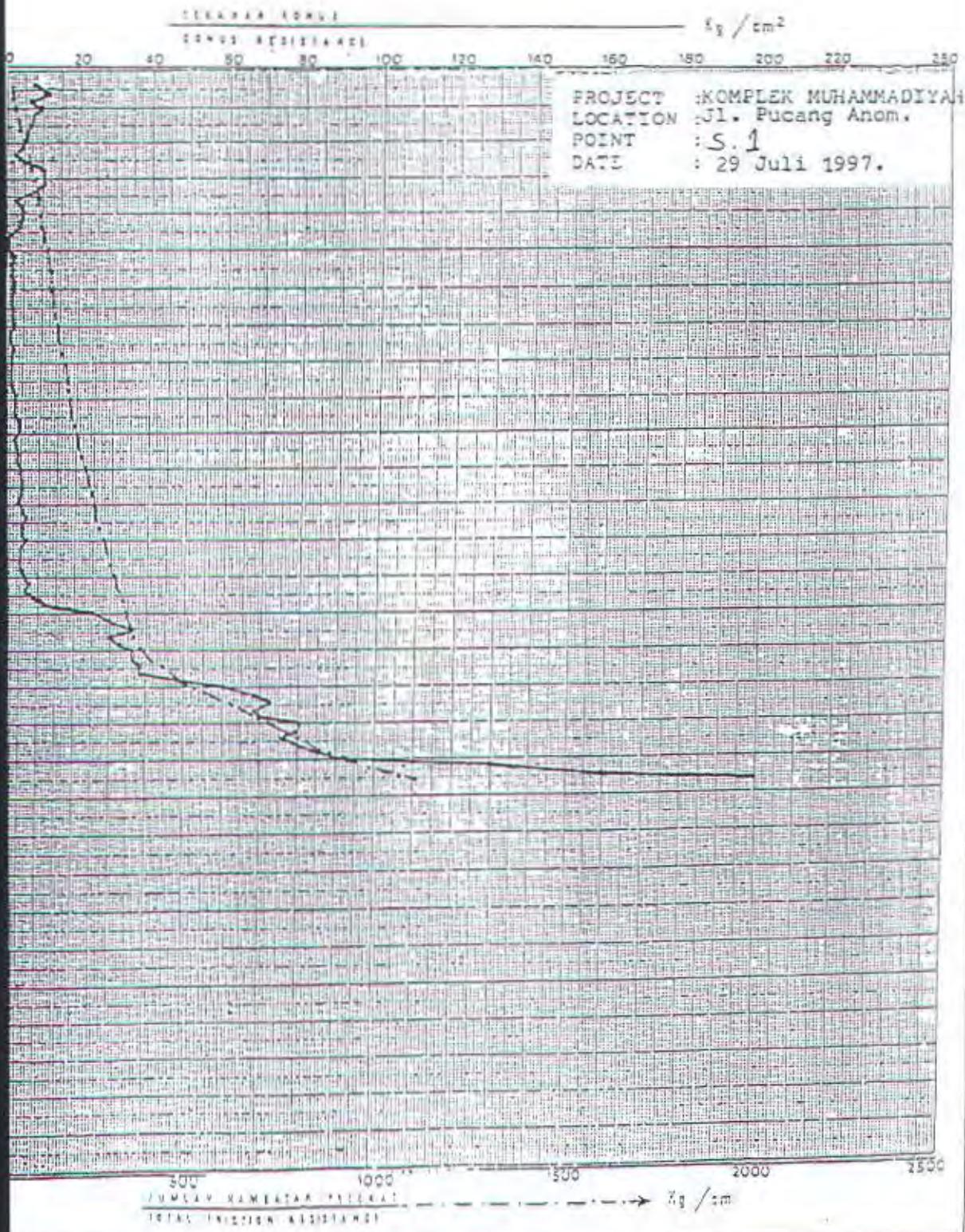




INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

KANGGOS ITS KEPATIH PUKOLILLO TELP. (031) 5946094-Fax. (031) 5947234 SURABAYA (60111)

DUTCH CONE PENETROMETER TEST
(SONDIR)

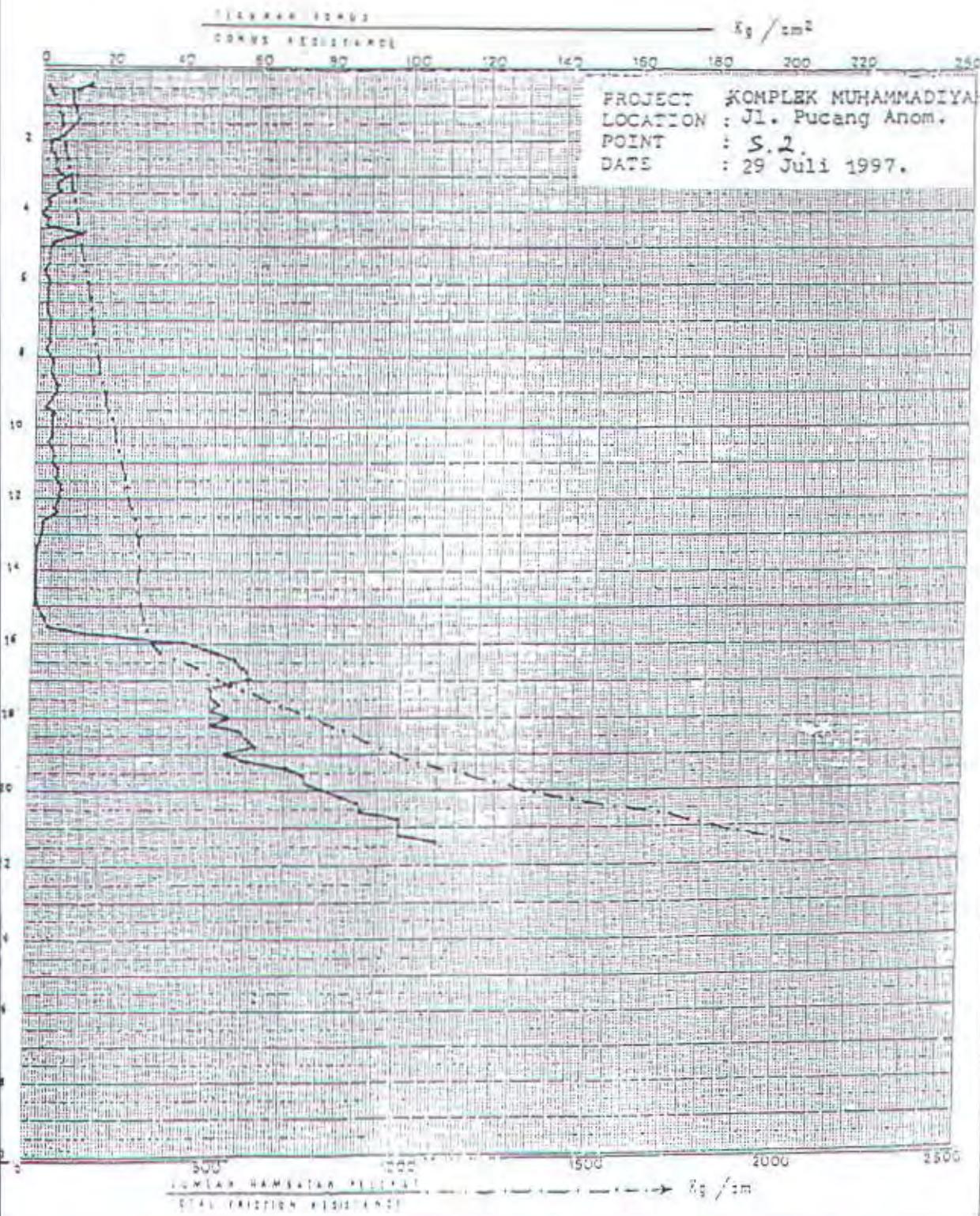




INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

KAMPUS ITS KIPUTIH SUKOLIRO TELP. 031-594629-FAX (031) 5947254 SURABAYA (60111)

DUTCH CONE PENETROMETER TEST
(SONDIR)





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (I.T.S) SURABAYA

Kampus I.T.S Kepulauan, Sukolilo Telp. : (031) - 5847274, 5884251-55 Pex. 1140 Faks. (031) - 5847274 Surabaya 60111

PROFIL BOR

KLIEN	:	PERGURUAN MUHAMMADYAH	TANGGAL	:
PROYEK	:	GEDUNG	MASTER BOR	:
LOKASI	:	JL. PUCANG ANOM SURABAYA		

KETERANGAN :	Lempung	Lauw	Pasir	Padas	Baluan Keras
	Kerikil	Kulit kerang	Humus	Kapur	Top soil

TITIK : A Tanggal :

DEPAN MULAI [m]	MAT [m]	BOR LOG	Deskripsi Tanah		KETERANGAN
			CONTOH ASI		
1,0	-			+ Lempung berlauw berpasir abu-abu.	
2,0	-				
3,0	-			+ Lempung lauw berpasir abu-abu.	
4,0	-			- Pasir lauw berlempung abu-abu.	
5,0	-			akhir pemboran	FILE : BORDKL

TITIK : B Tanggal :

DEPAN MULAI [m]	MAT [m]	BOR LOG	Deskripsi Tanah		KETERANGAN
			CONTOH ASI		
1,0	-			+ Lempung berlauw berpasir hitam	
2,0	-				
3,0	-			+ Lempung berlauw berpasir abu-abu.	
4,0	-				
5,0	-			akhir pemboran	FILE : BORDKL

Lampiran V :

Gambar