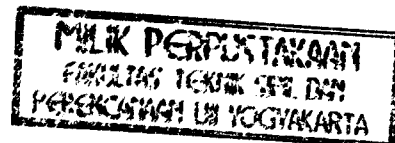


TUGAS AKHIR
ANALISIS DAN DESAIN PLASTIS BRACING TIPE
“K” EKSENTRIS PADA PORTAL BAJA ASIMETRIS



Disusun oleh :



Alifianto

No. Mhs : 97 511 081

NIRM : 970051013114120068

R Panji Satrio

No. Mhs : 97 511 403

NIRM : 970051013114120327

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2002

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAN DESAIN PLASTIS BRACING TIPE “K”
EKSENTRIS PADA PORTAL BAJA ASIMETRIS**

*Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana SI Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta*

Disusun oleh :

Alifianto

No. Mhs : 97 511 081

NIRM : 970051013114120068

R Panji Satrio

No. Mhs : 97 511 403

NIRM : 970051013114120327

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2002**

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
ANALISIS DAN DESAIN PLASTIS BRACING TIPE “K”
EKSENTRIS PADA PORTAL BAJA ASIMETRIS

Alifianto
No. Mhs : 97 511 081
NIRM : 970051013114120068

R Panji Satrio
No. Mhs : 97 511 403
NIRM : 970051013114120327

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir . H . Susastrawan, MS.

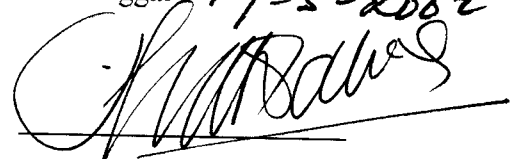
Dosen Pembimbing I

Ir . H . Suharyatmo, MT.

Dosen Pembimbing I



Tanggal : 17-5-2002



Tanggal : 17-05-2002

Panji ingin mengucapkan terimakasih secara pribadi kepada :

Allah SWT atas karunia-Nya

Muhammad SAW atas tauladanya

Mama dan Papa atas segalanya (Perhatian, kasih sayang end dananya)

Mas Pandu (Yang memberikan bimbingannya untuk memilih T.Sipil)

Alif (Temen TA-ku)

Rima (Yang ikut membentuk keperibadian panji)

Fajar kecret , Sigit tole, Nur budi gembuk,

Aimun noen (Thanks atas semangatnya)

Temen-temen kos Abenk Adit, Tommy, Dody,

Pracas, Dwi, Tony, Didit, Tatit, Revi, Yusup, dll (Buat keceriaannya)

Temen-temen klas-D '97 buat masa-masa indah perkuliahan kita.

Aini (yang memberikan perhatiannya pada saat-saat akhir)

Dan semuanya yang tidak dapat disebutkan satu persatu tetapi memberikan arti yang mendalam dalam tugas akhir ini, thanks banget...

KATA PENGANTAR



Assalamu' alaikum Wr.Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya, yang telah diberikan sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Salam serta sholawat tak lupa penulis sampaikan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir ini sesuai dengan kurikulum yang ada di lingkungan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta yang merupakan salah satu syarat dalam menempuh jenjang kesarjanaan Strata I.

Tujuan tugas akhir ini adalah untuk menambah pengetahuan tentang analisa struktur asimetris dan desainnya secara plastis pada tipe bracing "K" eksentris.

Selama menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MT, selaku Dosen pembimbing I.
2. Bapak Ir. Suharyatmo, MS, selaku Dosen pembimbing II
3. Bapak dan Ibu serta keluarga besar tercinta, atas Do'a, kesabaran serta dorongan yang telah diberikan kepada ananda selama ini.

4. Rekan-rekan tugas akhir yang banyak membantu dan memberi dukungan, agar dapat cepat menyelesaikan tugas akhir ini.

Pada akhirnya segala daya upaya serta kemampuan telah penyusun curahkan sepenuhnya demi terselesaikannya laporan tugas akhir ini, namun semua ini tidak terlepas dari segala kekurangan yang ada. Oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kebaikan laporan ini. Semoga semua amal sholeh diterima oleh Allah SWT dan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wabillahittaufiq wal hidayah

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb

Jogjakarta, April 2002

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAKSI	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Tujuan dan Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Perilaku Struktur	8
2.3 Karakteristik Bracing	9
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Umum	12
3.2 Tegangan-regangan pada bahan	14

3.3 Simpangan lateral	17
3.4 Analisa Beban respon spectrum	18
3.5 Teorema Plastis	20
3.5.1. Kondisi mekanisme	20
3.5.2. Kondisi keseimbangan	20
3.5.3. Kondisi momen plastis	21
3.5.4 Teorema batas bawah	21
3.5.5. Teorema batas atas	21
3.5.6. Teorema unik	22
3.6 Jumlah Sendi pada Mekanisme Keruntuhan	22
3.7 Pengaku eksentris	23
3.8 Pendimensian profil	24
BAB IV DESIGN PORTAL ASIMETRIS	25
4.1 Pendahuluan	25
4.2 Model Pergerakan dan Panjang Link	27
4.3 Link detail	28
4.4 Frame Design	30
4.4.1 Bracing	30
4.4.2 Balok di luar link	30
4.4.3 Sambungan balok-kolom diluar link	30
4.4.4 Kolom	30
4.4.5 Link	30

5.3.2 Sambungan Balok-Kolom	82
5.3.3 Sambungan Balok – Brace	89
5.3.4 Sambungan Pertemuan Balok-Kolom-Brace	92
5.3.5 Sambungan Sudut (lurus)	104
5.3.6 Sambungan Perpanjangan Kolom.	106
BAB VI PEMBAHASAN	108
6.1 Umum	108
6.2 Desain	109
6.3 Analisa struktur	112
6.3.1 Simpangan struktur	112
6.3.2 Link	113
6.3.3 Balok	115
6.3.4 Bracing	117
6.3.5 Kolom	118
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	122
7.1 Kesimpulan	122
7.2 Saran	125
LAMPIRAN	
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

1.1	Skema pemilihan model	3
1.2	Bracing kosentris	4
1.3	Bracing eksentris	4
1.4	Transfer gaya pada bracing eksentris	5
1.5	Denah portal	5
3.1.	Daktilitas struktur	13
3.2.	Grafik hubungan tegangan- regangan bahan	14
3.3	Distribusi tegangan- regangan	16
3.4	Momen lentur sekunder akibat $P-\Delta$ pada portal	18
3.5.	Koefisien gempa dasar wilayah 3	20
4.1.	Geser lapangan	25
4.2	Pergerakan antar tingkat	26
4.3	Skema pemilihan model	27
4.4	Tabel untuk menentukan faktor nilai K	34
4.5	Tegangan pada penampang plastis	35
4.6 .	Coefficient C_m	37
4.7	Moment rasio q	38
5.1	Letak pust <i>mass</i>	49
5.2	Mekanisme keruntuhan pada balok	50
5.3	Balok dukungan jepit-jepit dengan $M_p=1/16 w l^2$	52
5.4	Distribusi gaya balok pada kolom I	55

5.28	Sambungan pertemuan balok-kolom-brace	104
5.29	Distribusi gaya pada joint 11	104
5.30	Sambungan perpanjangan kolom I	107
6.1	Grafik simpangan horizontal struktur	113
6.2	Grafik momen pada link	114
6.3	Grafik geser pada link	115
6.4	Grafik momen balok sekitar link	116
6.5	Grafik geser balok sekitar link	116
6.6	Grafik aksial-tarik pada bracing	117
6.7	Grafik aksial-desak pada bracing	118
6.8	Grafik momen kolom 2	119
6.9	Grafik geser kolom 2	119
6.10	Grafik aksial-desak kolom 2	120
6.11	Grafik momen kolom 3	120
6.12	Grafik geser kolom 3	121
6.13	Grafik aksial-desak kolom 3	121
7.1	Grafik gaya-kekakuan-daktilitas struktur	123

SIMBOL DAN NOTASI

A_f	Luas sayap $A_f = b_f t_f$
A_w	Luas badan kolom atau balok $A_w = t_w d$
a	Panjang balok antara kolom dan link
b	Lebar plat pengaku
b_f	Lebar sayap
C	Koef. gempa dasar dalam spectrum respon percepatan
C_f	Koef. Lateral force $C_f = V W$
C_m	Koef. Bending
C_i	Konstanta periode mode shape
d	Tinggi balok
E	Eccentricity antara pusat mass dan pusat kekakuan
e	Panjang link
E'	Rekomendasi panjang shear link, $e = 1.6 M_s V_s$
F_a	Kuai desak baja
F_e'	Tegangan <i>Euler</i> pada elemen prismatic dibagi faktor keamanan
F_i	Gaya lateral pada tingkat i
F_t	Gaya lateral pada puncak
F_x	Gaya lateral pada tingkat x , dari dasar
F_y	Tegangan leleh baja
F_w	Tegangan geser pada sambungan las
f_a	Tegangan desak baja

f_i	Gaya lateral pada tingkat i
g	Percepatan gravitasi, $9.81\text{m/dt}^2 \approx 386\text{ in/sec}^2$
h	Tinggi gedung
h	Tinggi frame
h_c	Tinggi bersih kolom
h_i	Tinggi gedung hingga tingkat i
h_n	Tinggi gedung tingkat n , dari dasar
I	Faktor keutamaan struktur
I_x	Inersia sumbu kuat
I_y	Inersia sumbu lemah
L	Panjang balok
L_c	Panjang bersih balok
LF	Load factor Plastic design
L_r	Reduksi beban hidup, $L_r = 30\%$
l	Panjang las
M_{be}	Momen pada balok akibat analisis elastis
M_{bu}	Faktor desain momen pada balok di luar wilayah <i>Link</i>
M_{ce}	Momen pada kolom akibat analisis elastis
M_{cu}	Factor desain momen pada kolom
M_{lu}	Factor desain momen pada <i>link</i>
M_m	Moment max yang masih dapat ditahan selain axial load yang bekerja
M_p	Momen plastis

M_{rs}	Kapasitas reduksi lentur pada link akibat axial force $M_{rs} = Z_x (F_y - fa)$ atau $M_{rs} = Z_f (F_y - fa)$
M_s	Kuat lentur, $M_s = Z_x F_y$
M_{ver}	Momen pada <i>link</i> akibat beban gravitasi
P	Beban vertikal pada kolom
P_{br}	Factor tekan design pada brace
P_{cr}	Kuat tekan element
P_{cu}	Factotekan design pada kolom
P_E	Besar beban aksial gempa
P_e	<i>Euler buckling load</i>
P_l	<i>Unfactored link axial load</i>
P_{lu}	Factored link axial load
P_{sc}	Kuat tekan element, $P_{sc} = 1.7 F_a A$
P_y	<i>Plastic axial load</i> , $P_y = F_y A$
R_w	Koef. Dasar pada struktur <i>lateral load-resisting system</i>
R_x	Jari-jari girasi pada arah x-x
R_y	Jari-jari girasi pada arah y-y
S	Koef. Struktur
S_x	<i>Strong axis section modulus</i>
T	Periode getaran
T_x	Periode awal struktur
t	Tebal plat pengaku
t_f	Tebal sayap profil

t_w	Tebal badan profil
V	Gaya lateral atau geser pada dasar struktur
V_b	Reaksi geser pada balok akibat V_s
V_{br}	Geser yang dapat ditahan brace
V_g	Geser akibat beban gravitasi
V_l	<i>Unfactored design</i> geser pada link
V_{rs}	Kapasitas geser yang di rekomendasikan untuk M_{rs}
V_s	Kuat geser pada <i>link</i> , $V_s = 0.55 F_y d t_w$
V_{vert}	Gaya geser pada <i>link</i> akibat beban gravitasi
V_x	Gaya lateral pada tingkat x
W	Total berat struktur untuk beban gempa
W_i	Berat struktur pada tingkat i
W_d	Beban mati merata pada balok
W_l	Beban hidup merata pada balok
Z_j	Modulus plastis pada sayap
Z_x	Sumbu kuat modulus plastis
Δ	Lateral displacEment
δ_i	<i>Horizontal displacement</i> pada tingkat i
δ_x	<i>Horizontal displacement</i> pada tingkat x, relative
ϕ	Factor kapasitas link
θ	<i>Rotasi link</i> terhadap brace, <i>radian</i>

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A TABEL SIMPANGAN STRUKTUR ASIMETRIS
- Lampiran B HASIL PERHITUNGAN KOLOM
- Lampiran C GAYA-GAYA PADA BALOK
- Lampiran D GAYA-GAYA PADA KOLOM
- Lampiran E GRAFIK END MOMENT

ABSTRAKSI

Wilayah Indonesia merupakan suatu wilayah yang mempunyai tingkat resiko gempa yang tinggi diantara beberapa daerah di dunia, karena Indonesia dilewati oleh tiga jalur gempa bumi di dunia yaitu sirkum Pasifik, Asiatik, Atlantik tengah.

Dalam perencanaan suatu struktur tingkat tinggi, diperlukan suatu sistem yang dapat memperkaku sekaligus mempunyai daktilitas yang baik dalam menyerap dan memencarkan energi gempa, sehingga keamanan dan kenyamanan struktur dapat terjamin. Untuk itu diperlukan analisis dan desain dari sebuah struktur dengan suatu sistem yang dapat mereduksi beban lateral akibat gempa angin.

Dalam tugas akhir ini didesain suatu sistem pengaku bracing tipe "K" dengan suatu eksentrisitas tertentu yang dapat menjamin keamanan serta kenyamanan struktur tersebut. Dalam perencanaan dipergunakan analisis elastis serta desain plastis dengan faktor beban tertentu, yang kemudian dilanjutkan dengan suatu desain sambungan guna menjamin sistem EBF tersebut dapat bekerja dengan baik.

Hasil dari desain bracing tipe "K" eksentris (EBF) adalah didapat suatu kontrol yang menjamin terjadinya suatu sendi-sendi plastis pada daerah yang diinginkan yaitu pada link sistem bracing tersebut. Link dikontrol melalui kelakuannya dalam menerima beban lateral gempa. Pada beban normal mengalami deformasi elastis dan pada beban besar berdeformasi inelastik. Pada tugas akhir ini didapatkan suatu sistem yang menjamin kekakuan dan daktilitas struktur dengan besar eksentrisita ($e < 1.6Ms/Vs$) terkontrol terhadap mekanisme geser link.

BAB I

PENDAHULUAN

Banyaknya permasalahan dinamika pada struktur yang diakibatkan oleh gempa, melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian. Latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan masalah tugas akhir diuraikan pada bab ini.

1.1 Latar Belakang

Bangunan struktur baja mempunyai keunggulan dalam hal rasio antara berat sendiri dan daya dukung beban yang dapat dipikulnya, yaitu cukup kecil jika dibandingkan dengan struktur beton.

Hal ini membawa dampak kerugian di aspek lainnya, yaitu struktur menjadi langsing, sehingga menjadi kurang menguntungkan pada perilaku respon strukturnya ketika menerima beban-beban dinamik yang umumnya bekerja secara horizontal.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka dikembangkan metode untuk memperkaku struktur dalam arah horizontal maupun arah vertikal. Sistem struktur baja yang dikembangkan (*Gambar 1.1*) untuk keperluan tersebut antara lain :

1. Rangka penahan momen (*momen resisting frame*)
2. Rangka diperkaku (*braced frame*)

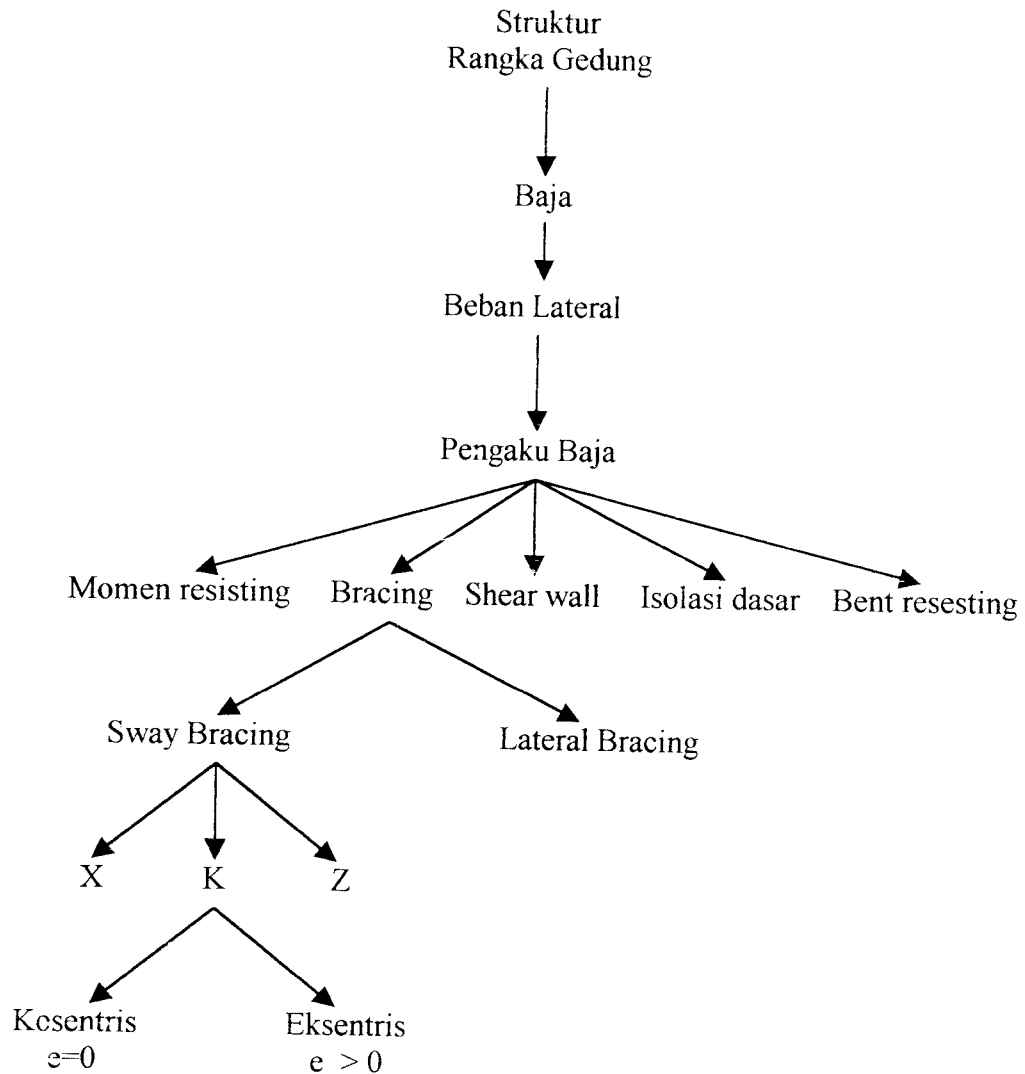
3. Dinding geser baja (*steel shear wall*)
4. Rangka dengan pengaku lengkung (*bent bracing frame*)
5. Isolasi dasar (*base isolation*).

Dari ke-5 sistem diatas, maka yang akan dibahas adalah metode *bracing frame* rangka diperkaku dengan model knee “K” system dengan eksentrisitas yang terkontrol ($e \leq 1.6 \cdot Ms/Vs$). Bracing frame haruslah kuat dan stabil selama umur layannya. Untuk memenuhi syarat tersebut, maka perlu iterasi dalam perancangan yang baik dan benar agar fungsi dan kegunaan bracing tersebut dapat efektif dan efisien.

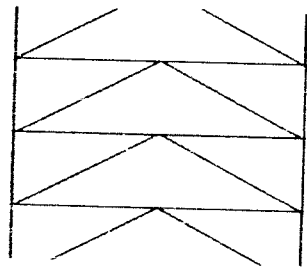
Rangka diperkaku tipe “*Knee*” secara garis besar dapat dibagi menjadi dua model :

1. rangka diperkaku kosentris, yaitu rangka struktur yang mempunyai sistem pengaku yang terletak pada setiap diagonal frame (*Gambar 1.2*). Bentuk diagonal (segitiga) ini secara mekanika akan memiliki sifat yang lebih kaku dibanding openframe, dan menjadikan struktur kurang daktail (*Gambar 6.1*). Dengan sistem ini dapat diharapkan kekakuan yang dapat mereduksi beban horizontal yang diterima struktur .
2. rangka diperkaku eksentris, adalah sistem pengaku yang diletakkan diagonal, akan tetapi salah satu atau kedua ujung pengaku akan terletak pada suatu jarak yang cukup pendek dari pertemuan balok atau kolom (*Gambar 1.3*), jadi batang-batang pengaku ini tidak menghubungkan sudut-sudut openframe struktur yang menyebabkan axial akibat gaya lateral di transferkan kepada kolom, sedangkan lentur dan geser ditransfer pada balok (*Gambar 1.4*). Kunci

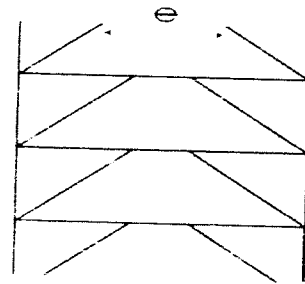
keberhasilan sistem *bracing* dengan eksentrisitas adalah pada kemampuannya dalam menyerap energi yang sangat besar dan konsisten dengan deformasi inelastik yang terjadi pada *link (e)*.



Gambar 1.1 Skema pemilihan model



Gambar 1.2 Bracing kosentris

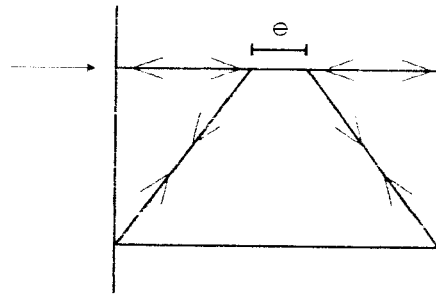


Gambar 1.3 Bracing eksentris

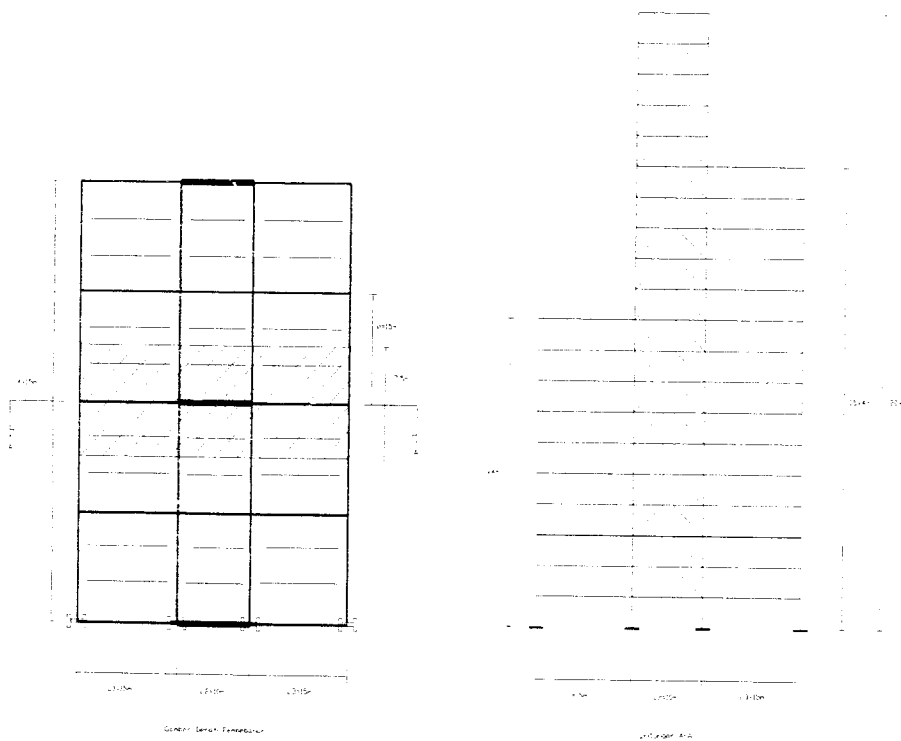
1.2 Batasan masalah

Agar tidak menyimpang dari tujuan, maka diberikan batasan-batasan berikut ini :

1. Struktur asimetris (*Gambar 1.5*)
2. Bracing dipilih tipe "K" dengan nilai $e \leq 1.6 Ms/Vs$
3. Beban yang dipakai adalah beban tetap dan beban lateral yang berupa beban respon spectrum gempa wilayah 3 Indonesia (tanah keras)
4. Profil struktur yang digunakan adalah tipe "I" dan bracing yang digunakan adalah double L
5. Pedoman perencanaan AISC-Plastis dan UBC 1997
6. Analisis struktur portal menggunakan program SAP2000
7. Portal dianggap baja murni dengan tegangan leleh 50 ksi, dan modulus elastis 29000 ksi
8. Balok dianggap sangat kaku dalam menerima beban lateral
9. Sistem pengaku terdapat pada setiap tingkat pada tengah portal



Gambar 1.4 Transfer gaya pada bracing eksentris



Gambar 1.5 Portal asimetris

1.3 Rumusan masalah

Sway bracing baik untuk *low-rise* dan *moderate building*, terutama *Knee (K) bracing* yang memberikan kekakuan lebih pada kolom dibandingkan pemodelan bracing yang lain, sehingga memberikan stabilitas keseluruhan pada struktur dalam menahan gaya lateral (angin dan gempa).

Pada design bracing secara kosentris struktur akan menjadi sangat kaku, sedangkan pada desain bracing eksentris struktur akan lebih daktail dan efisien dalam simpangan antar tingkatnya (*Gambar 6.1*).

1.4 Tujuan dan manfaat analisis – desain

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah menganalisis serta mendesain bracing tipe “K” eksentris pada bangunan asimetris terhadap beban lateral, sehingga didapat suatu pemodelan struktur dengan eksentrisitas yang terkontrol pada bagian link (e), sehingga dapat menciptakan suatu sistem struktur yang daktail.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka merupakan kerangka teoritik yang dijadikan landasan pemikiran. Berisi uraian keterangan yang akan mempertajam konsep yang akan digunakan, dan memuat penelitian sebelumnya, untuk menghindari duplikasi dari penelitian sebelumnya. Bab ini berisi tentang tinjauan umum, perilaku struktur, dan karakteristik bracing.

2.1 Tinjauan Umum

Struktur baja (*Steel Structural*) merupakan material daktil yang mampu mengalami deformasi plastis yang besar setelah batas elastis terlampaui, sehingga bangunan struktur baja mampu menyerap energi besar tanpa runtuh atau mengalami lendutan besar di luar batas elastis (*Widodo, 1996*).

Analisis pada struktur dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu elastis dan plastis. Struktur yang diasumsikan mengalami tegangan yang masih terletak dalam batasan elastis, mempunyai defleksi kecil, dan sebagian struktur bertegangan rendah, sehingga mengakibatkan pemborosan dalam penggunaan baja. Untuk itu dikembangkan sebuah metode analisis dan desain plastis.

2.2 Perilaku Struktur

Struktur umumnya mampu bertahan terhadap deformasi yang besar dengan menyerap energi melalui deformasi inelastik, jika memiliki kemampuan berubah bentuk (deformasi) hingga batas tertentu. Sehingga dapat dikatakan bahwa hal utama dalam perencanaan struktur tahan gempa adalah struktur harus kuat dan mampu berubah bentuk hingga batasan tertentu sebelum struktur tersebut mengalami kerusakan.

Kenyataan yang terjadi di lapangan menunjukkan, sebagian struktur masih kuat menahan gempa, walaupun percepatan respon gempa yang terjadi lebih besar dari yang sudah direncanakan, hal ini disebabkan karena :

- a. kekuatan dari elemen penahan bracing.
- b. kekuatan yang merupakan sifat bawaan pada daya tahan portal (*frame resistance*) terhadap deformasi inelastik.

Dan faktor kedua ini merupakan kemampuan berubah bentuk/*deformability* dari struktur dan merupakan faktor daktilitas. (*Kiyoshi Muto, 1974*).

Pada struktur yang mengalami pembebanan meningkat, bagian tertentu dari penampang struktur tersebut akan mengalami tegangan leleh, sehingga struktur akan mengalami deformasi elastis-plastis.

Struktur yang mengalami deformasi di daerah elastis tidak mempunyai deformasi permanen pada elemen struktur. Deformasi yang tetap akan terjadi apabila batas elastis sudah dilewati. (*Horne and Morris, 1981*).

Penambahan beban yang berlebih pada elemen dapat mengakibatkan seluruh serat penampang akan mengalami tegangan leleh, sehingga pada penampang ini

terjadi rotasi yang terus menerus dengan momen yang tetap besar pada penampang tersebut (*Gambar 3.3*). Hal ini berarti pada penampang tersebut telah terbentuk suatu sendi plastis. (*Wahyudi dan Sjahril, 1992*).

Bila suatu struktur diberi beban yang besar, sehingga menimbulkan tegangan yang sama besar dengan tegangan leleh bahan struktur baja, maka di tempat-tempat yang mengalami tegangan paling besar akan segera terbentuk sendi plastis. (*Wangsadinata, 1968*).

Sendi plastis terjadi pada lokasi momen maksimum, jadi kemungkinan besar sendi plastis pada beban terpusat adalah pada lokasi gaya geser sama dengan nol (momen maksimum terjadi), dan pertemuan balok kolom.

2.3 Karakteristik Bracing

Semakin tinggi suatu portal, pentingnya aksi gaya lateral menjadi semakin berarti. Pada ketinggian tertentu ayunan lateral menjadi sedemikian besar sehingga pertimbangan kekakuan, kekuatan, dan stabilitas struktur harus diperhitungkan dalam perancangan dan perencanaan bangunan tinggi. Salah satu cara untuk mereduksi beban lateral adalah melengkapi portal dengan suatu pengaku sehingga dapat mengurangi perpindahan lateral atau memperoleh kestabilan lateral struktur. (*Wahyudi dan Sjahril, 1992*).

Perencanaan sistem pengaku mendapatkan perhatian dan ketelitian yang tinggi khususnya dalam perencanaan gedung bertingkat banyak, karena sistem pengaku memerlukan 1/3 dari biaya struktur, bahkan akan lebih jika sistem pengaku tidak direncanakan dengan baik (*Englekirk, 1990*).

Dari berbagai tipe pengaku (bracing) yang ditempatkan pada suatu portal, tipe “K” mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya :

- a. balok portal memiliki tumpuan di tengah-tengah bentang sehingga dimensi balok menjadi lebih kecil
- b. panjang pengaku menjadi lebih pendek bila dibandingkan dengan pengaku lainnya (tipe Z atau X)
- c. dari segi arsitektur, bentuknya menguntungkan karena tidak begitu menyulitkan dalam penempatan pintu dan jendela

Letak pengaku dapat juga diletakkan dengan titik simpul tertentu, yaitu dengan menggeser pengaku ke arah horizontal. Hal ini dilakukan apabila diperlukan peredaman atau penyerapan energi yang lebih besar dan kontrol terhadap daktilitas.

Dengan menggeser pengaku dari titik simpul, gaya aksial pengaku ditransfer ke kolom atau pengaku yang lain melalui geser dan lentur pada bagian balok yang pendek (*link*). Pada pembebanan yang kecil, *link* ini bersifat elastis dan dapat mengalami deformasi inelastik pada beban yang lebih kuat, dan dapat memancarkan energi melalui pelelehan material. Kemampuan *link* untuk memancarkan energi sangat tergantung dari materialnya, yaitu apakah material tersebut mempunyai daktilitas yang tinggi. (*Wahyudi dan Sjahril, 1992*).

Kebanyakan perencanaan bracing didasarkan pada konfigurasi panjang dan luasan link terhadap desain geser dengan maksud memudahkan peninjauan analisis elastik pada desain balok dan kolomnya dan efek lainnya (periode, *base*

shear, distribusi geser, dan *elastik deflection* pada struktur serta distribusi gaya pada frame). (Roy becker dan Michael Ishler)

BAB III

LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan diuraikan beberapa teori yang dijadikan landasan dalam memecahkan permasalahan- permasalahan tugas akhir, yaitu tentang tegangan-regangan pada bahan, simpangan lateral, analisa beban respon spectrum, teorema plastis, jumlah sendi pada mekanisme keruntuhan, pengaku eksentris, dan pendimensionan profil dengan bantuan program SAP 2000

3.1 Umum

Portal dengan sistem pengaku di pergunakan untuk mengurangi perpindahan lateral dan untuk memperoleh stabilitas struktur. Dengan menggunakan sistem pengaku diharapkan dapat meningkatkan kekakuan portal secara keseluruhan sehingga lendutan yang disebabkan oleh beban gempa maupun angin dapat diatasi.

$$[F] = [K][D]$$

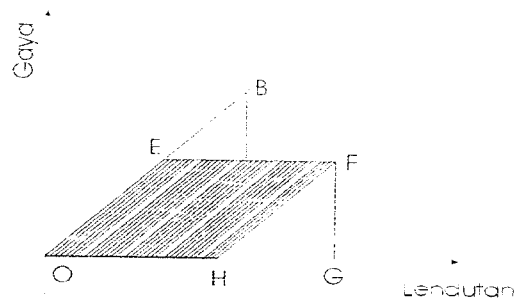
$[F]$ = matrix gaya

$[K]$ = matrix kekakuan

$[D]$ = matrix displacement

Sistem pengaku yang direncanakan hendaknya dapat menyerap energi akibat beban lateral yang terjadi, dengan demikian sistem pengaku ini mengalami luluh terlebih dahulu sebelum portal mengalami kerusakan (daktilitas struktur).

Dalam merencanakan struktur tahan gempa ada beberapa hal yang perlu dipelajari secara teliti dan seksama, yaitu pengetahuan tentang perilaku sistem pengaku. Selain itu pengetahuan tentang karakteristik dari angin dan gerakan tanah saat terjadi gempa perlu dipelajari untuk mendesain suatu struktur baja.



Gambar 3.1 Daktilitas struktur

Dari grafik daktilitas (*Gambar 3.1*) struktur diatas dapat dilihat bahwa pembentukan sendi plastis dari kapasitas momen, dibatasi oleh gaya struktur (*titik E*). Struktur tersebut tidak memberikan respon dengan menyimpang sampai mencapai simpangan elastik penuh yang ditunjukkan oleh titik *B*, tetapi akan mengikuti garis *E-F* sampai struktur tersebut berhenti pada kedudukan *F*.

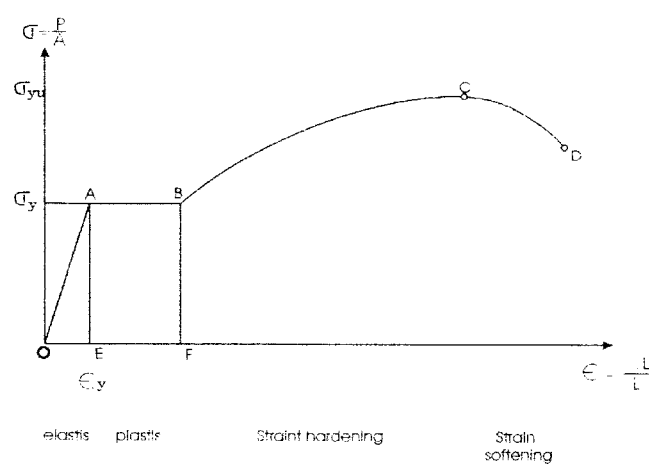
Daktilitas struktur ditunjukkan melalui perbandingan antara simpangan maksimum dititik *F* dengan simpangan pada leleh pertama (*titik E*), melalui kemampuan struktur untuk menyimpan dan memancarkan energi akibat gaya luar.

Energi total yang disimpan pada kedudukan maksimum adalah $O E F G$, tetapi bila struktur kembali pada kedudukan “tanpa gaya” hanya bagian $H F G$ dari energi yang dikembalikan sebagai energi kinetik, sehingga dapat disimpulkan bahwa daktilitas adalah kemampuan material atau struktur untuk mengalami deformasi inelastik yang besar tanpa mengalami keruntuhan dan penurunan kekuatan.

3.2. Tegangan-regangan pada bahan

Bila suatu baja menerima gaya aksial-tarik pada temperatur ruang, hubungan antara tegangan – regangan dapat di gambarkan pada suatu grafik seperti dibawah ini (*Gambar 3.2*).

Regangan (*strain*) yang menyatakan besarnya perubahan panjang dilambangkan oleh ϵ , dan tegangan (*stress*) σ , yang menyatakan gaya per luas satuan yang bekerja pada penampang tersebut.



Gambar 3.2 Grafik hubungan tegangan- regangan bahan

Garis OA merupakan daerah elastis-linier dan menyatakan besarnya modulus elastis baja. OAE merupakan daerah elastis, dan ABFE daerah plastis baja.

A = titik terjadinya tegangan leleh σ_y dan regangan leleh ϵ_y sebesar 0.0012

B = titik plastis baja

C = titik patah baja, dengan regangan berkisar 20% dari panjang bahan, dan tegangan mencapai nilai maksimum yang disebut tegangan tarik ultimit

BD= *strain hardening*, yang mana pertambahan regangan akan diikuti oleh sedikit pertambahan tegangan

CD= *strain softening*, daerah dimana material mulai mengalami penyempitan (*necking*) dan tegangan turun, kemudian putus.

Suatu balok dengan tumpuan sederhana, ketika menerima beban akan mengalami tegangan dan regangan. Pada kondisi pembebanan normal dan baja telah mencapai leleh, maka besarnya momen yang terjadi disebut dengan momen leleh M_y . (Gambar 3.3 b).

$$M_y = F_y \cdot S$$

M_y = momen leleh

F_y = tegangan leleh

S = modulus penampang

Pada tingkat beban yang lebih besar, tidak akan terjadi tegangan yang melampaui tegangan leleh baja, akan tetapi momen dalam akan mengalami peningkatan, sehingga momen yang terjadi lebih besar dari momen lelehnya, $M > M_y$ (Gambar 3.3.c).

Dengan sedikit penambahan beban, maka akan tercapai keadaan dimana penampang mengalami tegangan leleh (Gambar 3.3.d) dan momen yang terjadi adalah momen plastis M_p , yang besarnya :

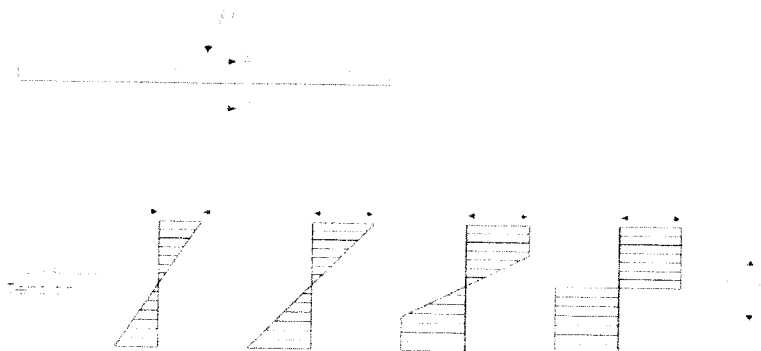
$$M_p = F_y \cdot Z$$

M_p = momen plastis

F_y = tegangan leleh

Z = modulus plastis

Pada kondisi ini, penampang akan mengalami rotasi yang cukup besar tanpa terjadi perubahan momen atau dikenal dengan istilah terjadinya sendi plastis pada balok.



Gambar 3.3 Distribusi tegangan-regangan

3.3 Simpangan Lateral

Suatu portal diasumsikan sebagai suatu kolom, akan mengalami lendutan bila menerima beban lateral. Besarnya lendutan itu tergantung dari beban vertikal dan besarnya beban lateral yang terjadi.

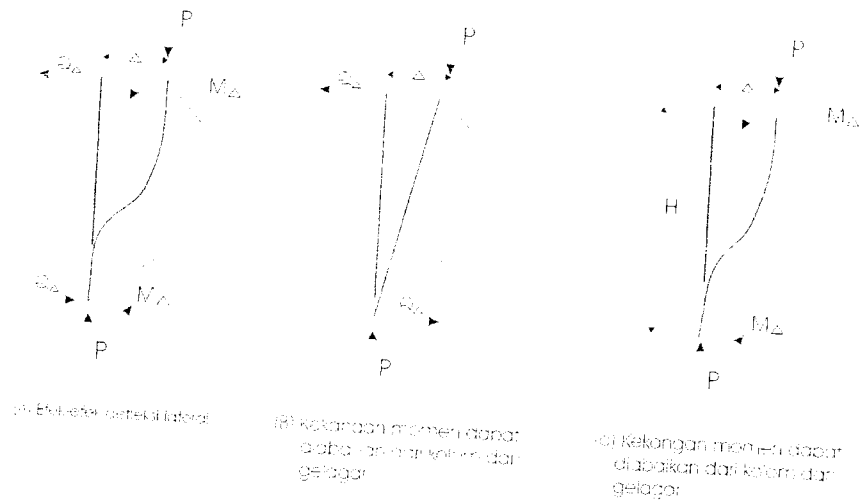
Dalam analisa struktur, pengaruh momen sekunder dikenal dengan istilah efek $P\Delta$, yang merupakan pembesaran pengaruh gaya aksial yang bekerja pada kolom-kolom akibat membesarnya eksentrisitas gaya aksial tersebut, karena adanya simpangan (δ) pada struktur.

Pada *gambar 3.4* memperlihatkan gaya-gaya yang timbul pada batang kolom portal akibat lendutan lateral (kearah samping) yang disebabkan oleh gaya horizontal Momen ($M\Delta$) dan gaya geser ($Q\Delta$) adalah bagian dari momen dan gaya geser yang diperlukan untuk mengimbangi momen $P\Delta$. Syarat keseimbangan untuk keadaan pada *Gambar 3.4.a* adalah :

$$P\Delta = Q\Delta \cdot h + 2 \cdot M\Delta$$

Pada portal akan terjadi simpangan akibat dari beban lateral tanpa memandang komponen-komponen batangnya. Namun cara mempertahankan keseimbangan terhadap momen $P\Delta$ adalah berlainan, tergantung pada kondisi pengekangan (*restraint*). Gedung dengan rangka batang vertikal yang bertitik tumpu sendi, pada pembebanan lateral gedung tersebut tidak memiliki kontinuitas ditumpuannya sehingga momen tidak terjadi, lihat *Gambar 3.4.b*, sedangkan batang diagonal dan horizontal harus memikul semua gaya geser $Q\Delta$.

Keseimbangan itu adalah : $Q\Delta = \frac{P\Delta}{h}$



Gambar. 3.4 Momen lentur sekunder akibat $P \Delta$ pada portal

Sebaliknya, jika batang-batang disambung secara kaku tanpa batang diagonal, daya tahan terhadap geser akan sangat kecil, Dengan mengabaikan daya tahan geser (*shear resistance*).

$$M_{\Delta} = \frac{P\Delta}{2}$$

Lihat *Gambar 3.4.c* dalam hal ini gelagar dan kolom harus memikul momen M_{Δ}

3.4 Analisa ragam spectrum respons

Mengacu pada buku *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1981*, analisa respons spectrum merupakan suatu cara *analisa dinamik struktur* yang digunakan pada gedung dengan bentuk tidak beraturan/asimetris dan mempunyai ketinggian lebih dari 40 meter, di mana pada suatu model matematika struktur diberlakukan suatu spectrum respons gempa rencana,

dan berdasarkan itu ditentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui superposisi dari masing-masing ragamnya.

Dalam analisa beban akibat respons spectrum, beban gempa yang didistribusikan pada tiap lantai sangat dipengaruhi oleh massa gedung. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah berdasarkan akibat gerakan tanah oleh gempa.

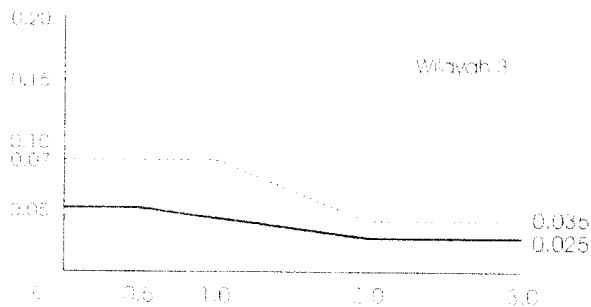
Penentuan spectrum percepatan respons gempa rencana dipakai diagram koefisien gempa dasar C menurut pembagian wilayah yang ditentukan (wilayah 3), dengan periode awal $T = \frac{0.09 \cdot H}{\sqrt{B}}$.

Penambahan massa akan memperbesar beban gempa, sehingga penggunaan struktur yang ringan merupakan penyelesaian yang disarankan pada bangunan yang sering dilanda gempa.

Batasan minimum gaya geser di tingkat dasar pada analisis respon spectrum berdasarkan (PPTGUG, 1981) adalah :

$$V = 0,9 \times C \times I \times K \times W_t$$

Dalam perhitungan beban gempa horizontal atau analisa beban dinamik pada tugas akhir ini, wilayah gempa ditetapkan pada wilayah 3, seperti *Gambar 3.5* dengan jenis tanah keras. Sementara berat total struktur portal disesuaikan dengan setiap jenis portal yang ditinjau, dimana berat pengaku diperhitungkan.



Gambar 3.5 Koefisien gempa dasar wilayah 3

3.5 Teorema plastis

Pada analisa struktur secara plastis terdapat 3 kondisi yang harus dipenuhi untuk perhitungan beban ultimit, yaitu: (*Beedle, 1958*)

a. Kondisi Mekanisme (mechanism condition),

Beban ultimit tercapai apabila terbentuk suatu mekanisme keruntuhan. Kondisi ini akan terjadi pada saat jumlah sendi plastis dalam struktur telah cukup untuk mengubah sebagian/seluruh struktur kedalam kondisi keruntuhan.

b. Kondisi Keseimbangan (equilibrium condition),

Beban ultimit tercapai jika resultan gaya dan momen yang bekerja pada suatu struktur sama dengan nol/bahwa momen lentur dalam harus seimbang dengan momen dalam yang bekerja.

Momen lentur yang bekerja identik dengan momen elastis, sebab pada keadaan ini momen pada keadaan penampang masih terletak dalam keadaan plastis.

c. Kondisi Momen Plastis (*plastic moment condition*),

Beban ultimit tercapai, momen yang terjadi pada setiap penampang tidak boleh melebihi momen plastis penampang. Kondisi ini merupakan pernyataan dari sifat deformasi plastis.

Tiga kondisi diatas merupakan syarat dasar dari beberapa teorema berikut ini (*Beedle, 1958*) :

a. Teorema batas bawah,

Teorema batas bawah (*lower bound theorem*) menetapkan atau menghitung distribusi momen dalam struktur berdasarkan kondisi keseimbangan dan leleh. Beban (faktor beban λ) yang dihasilkan-nya akan lebih kecil atau sama dengan harga yang sebenarnya λ_c .

$$\lambda \leq \lambda_c$$

sehingga penyelesaian yang diperoleh dengan cara ini mungkin benar atau akan aman.

b. Teorema batas atas

Kalau distribusi momen yang diperoleh dihitung berdasarkan syarat yang memenuhi kondisi keseimbangan dan mekanisme, dapat kita pastikan bahwa harga faktor bebannya akan lebih besar atau sama dengan harga sebenarnya, maka :

$$\lambda \geq \lambda_c$$

Dengan demikian, hasil dari teorema batas atas (*upper bound theorem*) ini mungkin benar atau mungkin pula tidak aman.

c. Teorema unik

Distribusi momen untuk teorema ini akan memenuhi ketiga kondisi tersebut, sehingga akan diperoleh nilai beban atau faktor beban eksak dari mekanisme struktur yang ditinjau :

$$\lambda = \lambda_c$$

3.6 Jumlah sendi pada mekanisme keruntuhan

Jumlah sendi plastis yang diperlukan untuk mengubah suatu struktur ke dalam kondisi mekanisme runtuhnya, sangat berkaitan dengan derajat statis tak-tentu yang ada dalam struktur tersebut. Dalam hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n = r + 1$$

dengan: n = jumlah sendi plastis untuk runtuh,

r = derajat statis tak-tentu atau redundan

Ketika sendi plastis terbentuk, besarnya momen di ujung elemen tersebut akan sama dengan kapasitas momen plastisnya. Penambahan beban berikutnya tidak akan mempengaruhi harga momen ini, yaitu tidak terjadi perubahan momen pada titik ujung yang bersangkutan. Ini menyebabkan derajat statis tak-tentunya berkurang satu dan pada saat yang sama satu buah syarat kompatibilitas akan terhapus.

Bila telah terbentuk sejumlah r sendi plastis, struktur yang ditinjau akan menjadi struktur statis tertentu, dan hanya diperlukan satu buah sendi lagi untuk mencapai keruntuhannya.

3.7 Pengaku Eksentris

Bracing eksentris digunakan pada portal, yang bertujuan sebagai sistem pengaku rangka lateral dengan kemampuan meredam energi yang sangat baik. Keistimewaan dari *bracing eksentris*, terdiri dari sebuah balok, satu atau dua pengaku, dan kolom. Susunan tersebut adalah sama dengan pengaku biasa dengan pengecualian bahwa sekurangnya satu dari pengaku harus diletakkan eksentris pada rangka (balok).

Dasar dari konsep eksentrisitas *bracing frame* (EBF) adalah dengan membatasi pergerakan inelastik pada *link* dan mendesain daerah sekitar *link* sehingga mencapai batas maximum gaya-gaya yang dapat di transfer pada link sehingga *link* harus dirancang menjadi *plastic deformation*.

Perencanaan *bracing eksentris* merupakan fungsi dari ratio panjang *link* (e) dengan panjang balok (*Gambar 4.3*) :

- a. semakin kecil *link* (e) maka struktur frame semakin kaku mendekati kekakuan konsentris.
- b. semakin besar *link* (e) maka struktur frame tersebut akan semakin flexible mendekati kekakuan momen resisting.

Hubungan eksentris menunjukkan lentur dan geser pada balok yang berdekatan dengan pengaku, bagian pendek dari rangka di mana gayanya adalah terpusat pada hubungan tersebut dan selama pembebanan ekstrim, perlu diantisipasi bahwa *link* (hubungan antara balok dengan bracing) akan berubah tidak elastis dengan *ductilitas* dan penyebaran energi.

Ada 3 variabel besar dalam mendesain *bracing eksentris*, yaitu : susunan *bracing*, panjang *link*, dan propertis dari *link*. Sedangkan porsi *link* tersebut terhadap balok itu sendiri haruslah optimal, sehingga *link* haruslah dapat memenuhi syarat: kompak pada sayap dan badan, mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan geser, gaya-gaya aksial, lentur, mempunyai batasan yang memadai terhadap rotasi yang terjadi pada *link* dan simpangan tiap tingkatnya.

Desain *bracing eksentris*, seperti kebanyakan masalah desain, adalah sebuah proses iterasi. Tahap desain dimulai dari konfigurasi pendahuluan panjang bentang dan ukuran *link* dipilih berdasarkan pendekatan kuat geser dengan menggunakan analisis elastis program komputer untuk memperbaiki analisis dari periode gedung, geser dasar, distribusi geser antar gedung, defleksi elastik dari struktur dan distribusi gaya yang terjadi pada portal.

3.8 Pendimensian profil

Pendimensian profil dari struktur portal yang hendak ditinjau dalam tugas akhir ini, dilakukan dengan cara coba-coba (“Trial and Error”), yaitu dengan mencoba dimensi profil dari masing-masing elemen struktur seperti elemen balok, kolom, dan pengaku.

Analisa dan perhitungan gaya-gaya yang bekerja menggunakan program SAP 2000, yang nantinya akan didesain dengan metode plastis berdasarkan peraturan UBC 1997, sehingga mencapai desain yang optimal .

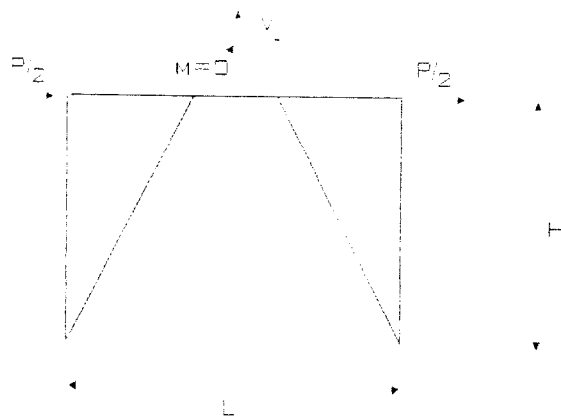
BAB IV

DESAIN PORTAL ASIMETRIS

Pada desain portal asimetris dijelaskan tata cara pelaksanaan penelitian, meliputi model pergerakan struktur, *link* detail, frame desain, dan desain elemen.

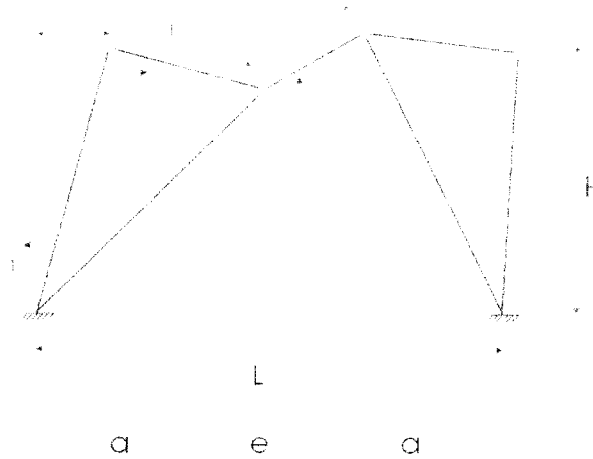
4.1 Pendahuluan

Prinsip dasar dari konsep eksentrisitas bracing frame (EBF) adalah dengan membatasi pergerakan inelastik ada *link* dan mendesain daerah sekitar *link* agar mencapai batas maximum gaya-gaya yang dapat di transfer melalui deformasi inelastik yang terjadi, sehingga link harus dirancang menjadi *plastic deformation* (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Geser lapangan

Sudut bracing (γ) yang disyaratkan agar diambil sekitar $35^\circ - 60^\circ$ agar dapat tercipta geser lapangan pada *link* yang menyebabkan daktilitas struktur dengan inelastik yang besar, dengan panjang *link* yang optimal (Gambar 4.2)



Gambar.4.2 Pergerakan antar tingkat

Δ = Simpangan antar tingkat

$$= \frac{\theta \cdot e \cdot h}{L}$$

e = Panjang *Link*

θ_1 = Sudut *plastis drift*, rad = $\frac{\Delta}{h}$

θ = Sudut rotasi *link* = $\frac{\Delta}{h} \cdot \left[1 + \frac{2a}{e} \right]$

Dengan pembatasan UBC 1997 terhadap sudut rotasi (θ) :

1. $0.09 \text{ rad} \rightarrow e \leq 1.6 M_s / V_s$

2. $0.03 \text{ rad} \rightarrow e \geq 2.6 M_s / V_s$

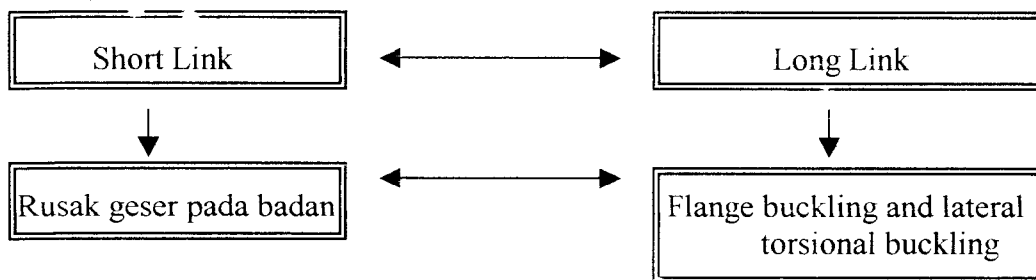
3. Diantaranya dapat diinterpolasi

4.2 Model pergerakan dan panjang Link

Panjang pendek dari *link* sangat mempengaruhi sifat dan model pergerakan dari EBF dan mekanisme keruntuhan dapat dikontrol (Gambar 4.3) :

1. Link pendek : Dominant akan mengalami rusak geser
2. Link panjang : Dominant akan mengalami rusak lentur (Flexural)

Kerusakan yang terjadi :



Gambar 4.3 Skema kerusakan link

Karakteristik *link* terhadap keruntuhan (*Stell structur controlling behavior Through Design-Robert Englekirk*) :

1. $e < 1.6 M_s / V_s$: Murni shear Link
2. $1.6 M_s / V_s < e < 2.6 M_s / V_s$: Dominant shear link
3. $2.6 M_s / V_s < e < 5 M_s / V_s$: Dominant flexural link
4. $e > 5 M_s / V_s$: Murni flexural link

dengan: M_s = Kuat lentur link

$$= F_y \cdot Z_x$$

V_s = Kuat geser link

$$= 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w$$

Pada *Link* yang pendek akan tercapai $V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w$ terlebih dahulu sebelum mencapai $M_s = F_y \cdot Z_x$ sehingga tercapai rusak geser terlebih dahulu sebelum tercapai rusak lentur (flexural).

Pada penelitian *Engalhard dan Popov (1989)* dapat disimpulkan dalam perencanaan EBF lebih baik dipakai *short link* karena kapasitas rotasi untuk *long link* akan lebih kecil dibandingkan pada *short link* sehingga dapat terjadi kegagalan (kerusakan) pada *long link* terjadi pada sayap atau sekitar sambungan sayap dan kolom kegagalan tersebut dapat berupa *flange buckling* atau *lateral-torsional buckling* pada sayap link. Sebenarnya kerusakan tersebut dapat diatasi dengan penambahan pengaku pada *link*, sehingga konsentrasi regangan lentur pada *link* dapat diatasi terhadap kerusakan "*flange fracture*" pada rotasi yang relative kecil, tetapi lebih lanjut perhitungan maximum kapasitas rotasi inelastik pada *long link* menjadi tidak akurat. sehingga penggunaan *short link* dalam perencanaan lebih banyak dipergunakan karena lebih mudah dikontrol, dengan pembatasan *link* maksimum yang dipakai

$$e \leq 1.6M_p/V_p$$

4.3 Link Detail (UBC 1997)

Pemberian pengaku pada *link* sangatlah diperlukan untuk meningkatkan kapasitas dari *link* tersebut dalam menyerap dan memencarkan energi yang diterimanya. Berdasarkan UBC 1997 disyaratkan detail pengaku pada *link* sebagai berikut :

1. Pengaku penuh pada kedua sisi ujung link

lebar minimum $> b_f - 2t_w$

tebal minimum $> 0.75 t_w$ atau $\frac{3}{8}$ "

2. Intermediate link dengan panjang link $e \leq 1.6M_p V_p$

a. $\gamma_p \geq 0.09$ rad : $L_p \geq 30t_w - 0.2d$

b. $\gamma_p \leq 0.03$ rad : $L_p \geq 52 t_w - 0.2d$

c. Diantaranya dapat diinterpolasi

3. Intermediate link dengan panjang link $1.6M_p V_p \leq e \leq 5M_p V_p$

i. $L_p \pm 1.5 b_f$ dari ujung link

4. Link dengan panjang antara $1.6M_p V_p$ dan $2.6M_p V_p$ diberi pengaku dengan batasan 2. dan 3.

5. Intermediate link tidak diperlukan lagi untuk link dengan panjang $e \geq 5M_p V_p$ dikarenakan sudah akan terjadi efek *long link*.

Untuk pendetailan pengaku :

1. untuk link dengan $d \geq 25$ " \rightarrow harus diberi pengaku pada kedua belah sisi
 untuk link dengan $d < 25$ " \rightarrow Cukup diberi pengaku pada salah satu sisinya
2. Sambungan las pada pengaku harus didesign agar mampu 125 % lebih kuat dari pada kuat tarik pengaku
3. Pada ujung-ujung link harus diberi pengaku agar sambungan link dengan EBF dapat stabil dalam menahan lateral torsional buckling dan menahan gaya vertical pada frame

4. Kekuatan lateral pengaku harus dirancang berdasarkan $0.06 b_f t_f F_y$ balok
5. Pada link harus merupakan *compact section*
6. Badan pada link harus merupakan *single thickness* (tanpa double plate) dan tanpa ada lubang

4.4 Frame Design

dalam mendesain struktur yang daktail dengan menggunakan bracing eksentris diperlukan beberapa persyaratan, antara lain :

4.4.1 Bracing

Aksial dan momen (kombinasi) dari bracing harus di desain minimal 1.25 kali dari kuat geser link atau aksial dan momen yang terjadi.

4.4.2 Balok di luar link

Kekuatan dari balok harus minimal 1.25 kali kuat geser pada link dan harus diberi lateral support untuk stabilitas balok.

4.4.3 Sambungan balok-kolom

Sambungan balok-kolom harus di desain berdasarkan pada badan balok, dan harus kuat 1.5% dari kuat sayap kolom $F_y \cdot b_f \cdot t_f$.

4.4.4 Kolom

Kekuatan dari kolom harus di desain 1.25 kali kuat geser link atau kombinasi aksial dan momen yang terjadi.

4.4.5 Link

Dalam mendesain agar mencapai kapasitas dan daktilitas yang diinginkan, maka diperlukan beberapa syarat, antara lain:

1. Batasan max geser pada badan = $0.8 V_s$

2. Batasan $b_f \geq 2t_f$ (Tabel 4.1)

Batasan $d \geq t_w$ (Tabel 4.2)

3. Reduksi kuat flexural

$M_{rs} = Z \cdot (F_y - f_a) \rightarrow$ jika $f_a < 0.15 F_y$: maka f_a dapat diabaikan

$M_{rs} < 0.45 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w$

4. Bila terdapat gaya aksial pada link, maka :

a. $P_U < 0.15 P_Y$ $\rightarrow P_U$ dapat diabaikan

b. $P_U > 0.15 P_Y$ $\rightarrow P_U$ harus diperhitungkan dalam :

1). Desain geser

$$\phi V_{pa} \geq V_{luar} \quad ; \quad V_{pa} = V_p \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{P_U}{P_Y}\right)^2}$$

$$2\phi \frac{M_{pa}}{e} \geq V_{luar} \quad ; \quad M_{pa} = 1.18 M_p \cdot \left[1 - \left(\frac{P_U}{P_Y}\right)\right]$$

ϕ = koefisien reduksi geser = 0.9

2). Panjang link

$$a). \quad \rho \left(\frac{A_w}{A_g}\right) \geq 0.3$$

$$e_{max} = \left[1.15 - 0.5 \rho \left(\frac{A_w}{A_g}\right)\right] 1.6 \frac{M_p}{V_p}$$

$$b). \quad \rho \left(\frac{A_w}{A_g}\right) < 0.3$$

$$e_{max} = 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad ; \text{ dengan } A_w = (d-2t_f) \cdot t_w$$

$$\rho = \frac{P_u}{V_u}$$

4.5 Design element (AISC-Plastis)

Dalam mendesain elemen portal, digunakan metode plastis berdasarkan *AISC ninth edition* :

4.5.1 Kuat tarik baja Plastis

$$P_y = F_y \cdot A_n$$

P_y = kuat batas tarik baja

F_y = Teg leleh baja

A_n = luas bersih daerah tarik

4.5.2 Kuat Tekan Baja Plastis

$$P_{cr} = F \cdot A_b \cdot F_a$$

P_{cr} = Kuat batas tekan baja plastis

F = koef. Bahan AISC (batang kompak) ≈ 1.7

$$= \frac{F_y}{0.66F_y} (f)$$

f = Faktor tampang bahan

A_b = luas total daerah tekan

F_a = Tegangan aksial baja

E = elastisitas bahan

K = Faktor panjang efektif, (Gambar 4.4)

FS = faktor keamanan

1. $Kl \leq Cc$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2Cc^2} \right]}{F.S} F_y \quad \text{dengan} \quad F_s = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{kl}{Cc} - \frac{1}{8} \left(\frac{kl}{Cc} \right)^3 \quad \text{dan}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

2. $Kl > Cc$

$$F_a = \frac{\pi^2 E}{F.S \left(\frac{Kl}{r} \right)^2} \quad F.S = 1.92$$

Dipakai $\frac{Kl}{r}$ yang terbesar dalam desain dengan faktor koefisien K

berdasarkan Gambar 4.4

Dukungan kolom	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Nilai K teori	0.50	0.70	1.0	1.0	2.0	2.0	
Rekomendasi Design Nilai K	0.65	0.80	1.20	1.0	2.10	2.0	

Gambar 4.4 Tabel untuk menentukan faktor nilai K

4.5.3 Kuat lentur batang plastis

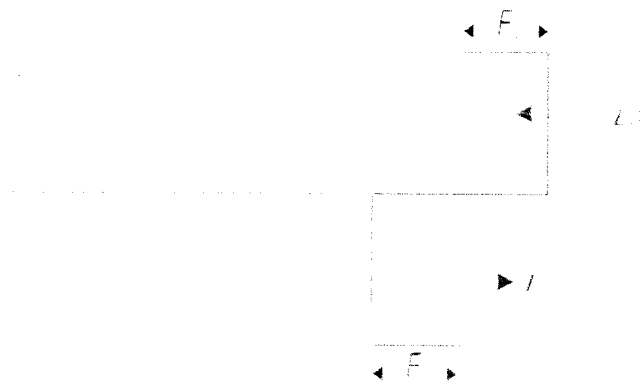
Besarnya momen plastis pada penampang yang telah luluh, dapat dilihat pada *gambar 4.5*

$$M_p = F_y \cdot Z$$

M_p = Momen plastis

F_y = Tegangan leleh baja

Z = Modulus plastis



Gambar 4.5 Tegangan pada penampang plastis

4.5.4 Kuat geser batang Plastis

$$V_s = 0.55 \cdot I_y \cdot d \cdot t_w$$

V_s = Geser Plastis

d = Tinggi profil

t_w = Tebal badan profil

4.5.5 kombinasi axial dan lentur

$$1. \frac{P}{P_{cr}} + \left(1 - \frac{P}{P_e}\right) \cdot \frac{M}{M_m} \leq 1.0$$

$$2. \frac{M}{M_p} = 1.18 \cdot \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \quad \text{atau} \quad \frac{P}{P_y} + \frac{M}{1.18 \cdot M_p} \leq 1.0$$

Keterangan :

P = Axial Load

$$P_{cr} = 1.7 \cdot A_b \cdot F_a$$

M = Momen akibat beban luar

$$P_e = 1.92 A_b F_e'$$

$$F_e' = \frac{\pi^2 E}{1.92 \cdot \left(\frac{K L_b}{r_b} \right)^2}$$

F_e' = Tegangan leleh euler

L_b = Panjang aktual unbraced

r_b = Radius gyration

M_m = momen maksimum yang dapat ditahan element, Kips-ft

a. Untuk kolom yang dikekang pada sumbu lemah

$$M_m = M_p$$

b. Untuk kolom yang tidak dikekang pada sumbu lemah

$$M_m = \left[1.07 - \frac{l/r_y}{3160} \cdot \sqrt{F_y} \right] \cdot M_p \leq M_p$$

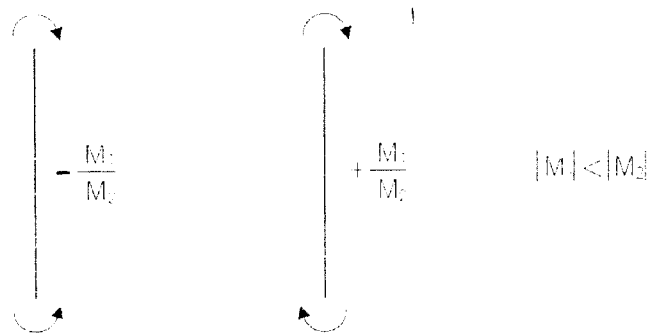
C_m = Koef. Moment

a. Untuk element frame yang tidak dikekang dan kemungkinan bergoyang

$$C_m = 0.85$$

b. Kolom di kekang pada ujung-ujung tumpuan, serta tidak ada gaya tegak lurus pada element

$$C_m = 0.6 - 0.4 (M_1/M_2) \geq 0.4 \quad \dots\dots\dots (\text{Gambar 4.6})$$



Gambar 4.6 Coefficient C_m

c. Batang dianggap jepit serta ada gaya tegak lurus element

1). batang dengan pengekang ujung : $C_m = 0.85$

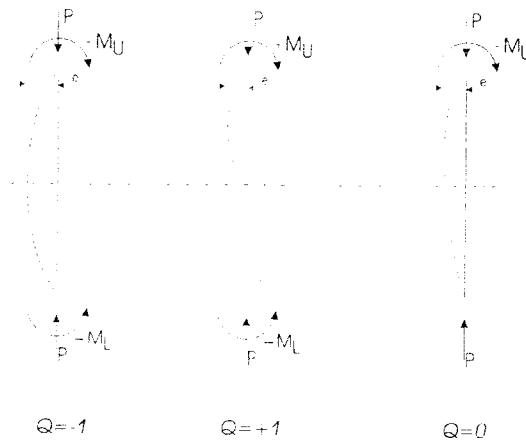
2). Batang tanpa pengekang ujung : $C_m = 1.0$

4.5.6 End moment ratio (q)

Dalam mendesain kolom berdasarkan momen-momen ujungnya dapat dipergunakan grafik *koefisien end moment* (lihat **Lampiran E**)

Dengan memperhatikan panjang batang equivalent (*Gambar 4.7*) :

$$(l/r)_{\text{equivalent}} = (l/r)_{\text{aktual}} \cdot \sqrt{F_y/36}$$



Gambar 4.7 Moment rasio q

4.5.7 Pembatasan dimensi maksimum profil

1. Pencegahan terhadap *lokal buckling*

a. Rasio maksimum sayap b_f/t_f (Table 4.1)

Table 4.1. Rasio maksimum sayap

F_y	b_f/t_f
36	8.5
42	8.0
45	7.4
50	7.0
55	6.6
60	6.3
65	6.0

b. Rasio maksimum tinggi balok (d) dan tebal badan balok (t_w),

1). Bila diasumsikan tidak terdapat beban aksial pada balok (Tabel 4.2) :

Tabel 4.2 Rasio maksimum d/t_w

F_y	d/t_w
36	68.7
42	62.9
45	61.4
50	58.3
55	55.6
60	53.2
65	51.1

2). Bila *axial load* pada balok diperhitungkan, maka :

$$\text{i. } \frac{d}{t_w} = \frac{412}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - 1.4 \cdot \frac{P}{P_y} \right) \quad \text{Ketika : } \frac{P}{P_y} \leq 0.27$$

$$\text{ii. } \frac{d}{t_w} = \frac{257}{\sqrt{F_y}} \quad \text{Ketika : } \frac{P}{P_y} > 0.27$$

2. Pencegahan terhadap *Torsional Buckling*

Memberikan pengaku –pengaku lateral pada jarak maksimum (l_{cr}) dari sendi plastis pertama.

Dengan pembatasan (l_{cr}) :

a. Moment gradient $M/M_p < 0.5$ atau $1 > M/M_p > -0.5$

$$l_{cr} = r_y \cdot \left[\frac{1375}{F_y} + 25 \right] \quad \dots\dots\dots \text{in}$$

b. Uniform Momen $M/M_p > 0.5$ atau $-0.5 > M/M_p > -1$

$$l_{cr} = r_y \cdot \left[\frac{1375}{F_y} \right] \quad \dots\dots\dots \text{in}$$

4.5.8 Faktor beban

Faktor beban = 1.7 → B.mati + B. hidup

Faktor beban = 1.3 → B.mati + B. hidup + B.sementara (angin atau gempa)

BAB V

PERHITUNGAN DESIGN

Pada bab ini akan diuraikan perhitungan desain, yang dasar perhitungannya telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Bab ini meliputi desain awal, akhir, dan perhitungan sambungan.

5.1. Desain awal

5.1.1. Data struktur

1. Data umum

- Gedung untuk Perkantoran
- Wilayah gempa 3 (Indonesia)

2. Data Bahan

- F_y baja = 50 Ksi
- F'_c beton = 35 ksi
- Profil frame (*W/I*)
- Profil brace *2L*
- *High-strength bolt: ASTM A325*
- *Welding electrodes: SMAW E70XX*

5.1.2 Pembebanan

Denah pembebanan dapat dilihat pada *gambar1.5*

1. Atap

a. beban mati

- pelat (12 cm)	= $0.12 \cdot 2.4$: 0.288 T/m ²
- plafon	=0.011	: 0.011 T/m ²
- finishing	=0.017	: <u>0.017 T/m²</u>
		$Q_1 : 0.316 \text{ T/m}^2$

b. beban hidup

- beban hidup atap	=0.1	
		$Q_2 : 0.1 \text{ T/m}^2$
total beban atap		$Q_3 : 0.416 \text{ T/m}^2$

2. Lantai

a. Beban mati

- pelat (12 cm)	= $0.12 \cdot 2.4$: 0.288 T/m ²
- spesi (2 cm)	= $0.02 \cdot 2.1$: 0.042 T/m ²
- berat ubin (2 cm)	= $0.02 \cdot 2.4$: 0.048 T/m ²
- berat pasir (1cm)	= $0.01 \cdot 1.6$: 0.016 T/m ²
- berat plafond	=0.011	: 0.011 T/m ²
		<u>$Q_4 : 0.405 \text{ T/m}^2$</u>

b. Beban Hidup = 0.25

$$Q_5 : 0.25 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Beban total lantai} \quad Q_6 : 0.655 \text{ T/m}^2$$

3. Frame

Asumsi awal:

Profil : - Balok : - Bentang 15 m $\rightarrow W_{24 \times 162} = 162 \text{ lb/ft} = 0.241 \text{ T/m}^2$

- Bentang 10 m $\rightarrow W_{24 \times 94} = 94 \text{ lb/ft} = 0.140 \text{ T/m}^2$

(Lihat sub.bab 5.1.7)

- Kolom I : $W_{24 \times 192}$

- Kolom II : $W_{24 \times 370}$

- Kolom III : $W_{24 \times 450}$

- Kolom IV : $W_{24 \times 279}$ (Lihat sub.bab 5.1.8)

- Bracing : $2L4 \times 4 \times 3/4 - 3/4$ (Lihat sub.bab 5.1.9)

- Balok bagi :Atap : -Bentang 15m $\rightarrow W_{18 \times 50}$

- Bentang 10m $\rightarrow W_{16 \times 36}$

Lantai : - Bentang 15m $\rightarrow W_{18 \times 71}$

- Bentang 10m $\rightarrow W_{16 \times 36}$

(Lihat sub.bab 5.1.6)

5.1.3 Perhitungan berat struktur

* Berat tingkat 1 s/d 9

$$\begin{aligned} \text{- B. mati} &= Q_4 \cdot (2b) \cdot L \\ &= 0.405 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 40 &= 243 & \text{T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B. hidup reduksi} &= R \cdot Q_5 \cdot (2b) \cdot L \\ &= 0.3 \cdot 0.25 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 40 &= 45 & \text{T} \end{aligned}$$

$$\text{- Balok lintang} = n \cdot b \cdot W_{24 \times 162}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8 \cdot 7.5 \cdot 0.241 && = 14.460 \text{ T} \\
 \text{- Balok bagi} &= Q_{W18 \times 71} \cdot n \cdot 15 + Q_{W16 \times 36} \cdot n \cdot 10 \\
 &= 0.106 \cdot 4 \cdot 15 + 0.054 \cdot 2 \cdot 10 && = 7.44 \text{ T} \\
 &&& \underline{\hspace{1.5cm}} \\
 W_1 &= 309.90 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Tingkat 1 s/d 9 identik

* Berat tingkat 10

$$\begin{aligned}
 \text{- B. mati} &= Q_4 \cdot (2b) \cdot (L_2 + L_3) + Q_1 \cdot (2b) \cdot (L_2) \\
 &= 0.405 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot (10 + 15) + 0.316 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 15 = 222.975 \text{ T} \\
 \text{- B. hidup reduksi} &= R \cdot [Q_5 \cdot (2b) \cdot (L_2 + L_3) + Q_2 \cdot (2b) \cdot (L_2)] \\
 &= 0.3 \cdot [0.25 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot (10 + 15) + 0.1 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 15] = 34.875 \text{ T} \\
 \text{- Balok lintang} &= n \cdot b \cdot W_{24 \times 162} = 8 \cdot 7.5 \cdot 0.241 && = 14.46 \text{ T} \\
 \text{- Balok bagi} &= Q_{W18 \times 71} \cdot n \cdot 15 + Q_{W16 \times 36} \cdot n \cdot 10 \\
 &= 0.106 \cdot 4 \cdot 15 + 0.054 \cdot 2 \cdot 10 && = 7.44 \\
 &&& \underline{\hspace{1.5cm}} \\
 W_2 &= 279.75 \text{ T}
 \end{aligned}$$

* Berat tingkat 11s/d14

$$\begin{aligned}
 \text{- B. mati} &= Q_4 \cdot (2b) \cdot (L_2 + L_3) \\
 &= 0.405 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 25 && = 151.875 \text{ T} \\
 \text{- B. hidup reduksi} &= R \cdot Q_5 \cdot (2b) \cdot (L_2 + L_3) \\
 &= 0.3 \cdot 0.25 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 25 && = 28.125 \text{ T} \\
 \text{- Balok lintang} &= n \cdot b \cdot W_{24 \times 162} \\
 &= 6 \cdot 7.5 \cdot 0.241 && = 10.845 \text{ T} \\
 \text{- Balok bagi} &= Q_{W18 \times 71} \cdot n \cdot 15 + Q_{W16 \times 36} \cdot n \cdot 10
 \end{aligned}$$

$$= 0.106 \cdot 2 \cdot 15 + 0.054 \cdot 2 \cdot 10 = 4.260 \text{ T}$$

$$W_3 = 195.105 \text{ T}$$

Tingkat 11 s/d 14 identik

* Berat tingkat 15

$$\begin{aligned} \text{- B. mati} &= Q_4 \cdot (2b) \cdot L_2 + Q_1 \cdot (2b) \cdot L_3 \\ &= 0.405 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 10 + 0.316 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 15 = 131.85 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B. hidup reduksi} &= R \cdot [Q_5 \cdot (2b) \cdot (L_2 + L_3) + Q_2 \cdot (2b) \cdot (L_2)] \\ &= 0.3 \cdot [0.25 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 10 + 0.1 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 15] = 18 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Balok lintang} &= n \cdot b \cdot W_{24 \times 162} \\ &= 6 \cdot 7.5 \cdot 0.241 = 10.845 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Balok bagi} &= W_{18 \times 50} \cdot n \cdot 15 + Q_{W16 \times 36} \cdot n \cdot 10 \\ &= 0.074 \cdot 2 \cdot 15 + 0.054 \cdot 2 \cdot 10 = 3.30 \text{ T} \\ W_4 &= 163.995 \text{ T} \end{aligned}$$

* berat tingkat 16

$$\begin{aligned} \text{- B. mati} &= Q_4 \cdot (2b) \cdot L_2 \\ &= 0.405 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 10 = 60.75 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B. hidup reduksi} &= R \cdot Q_5 \cdot (2b) \cdot L_2 \\ &= 0.3 \cdot 0.25 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 10 = 11.25 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Balok lintang} &= n \cdot b \cdot W_{24 \times 162} \\ &= 4 \cdot 7.5 \cdot 0.241 = 10.845 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{- Balok bagi} = Q_{W16 \times 36} \cdot n \cdot 10$$



$$= 0.054 \cdot 2 \cdot 10 \qquad \qquad \qquad = 1.080 \text{ T}$$

$$\underline{\underline{W_5 = 80.30 \text{ T}}}$$

Tingkat 16 s/d 19 identik

* Berat tingkat 20

$$\begin{aligned} \text{- B. mati} &= Q_1 \cdot (2b) \cdot L_2 \\ &= 0.316 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 10 &= 47.4 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B. hidup reduksi} &= R \cdot Q_2 \cdot (2b) \cdot L_2 \\ &= 0.3 \cdot 0.1 \cdot (2 \cdot 7.5) \cdot 10 &= 4.5 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Balok lintang} &= n \cdot b \cdot W_{24 \times 162} \\ &= 4 \cdot 7.5 \cdot 0.241 &= 7.23 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Balok bagi} &= W_{16 \times 36} \cdot n \cdot 10 \\ &= 0.054 \cdot 2 \cdot 10 &= 1.04 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{W_6 = 60.17 \text{ T}}}$$

5.1.4 Perhitungan letak pusat *mass*

Hasil perhitungan *mass* dapat dilihat pada *tabel 5.1*, dan letak pusat *mass* pada *gambar 5.1*

Table 5.1 Mass struktur

lantai	Berat (ton)	Mass (ton/dt ²)	\sum berat (ton)
20	60.17	6.134	60.17
19	80.3	8.186	140.47
18	80.3	8.186	220.77
17	80.3	8.186	301.07
16	80.3	8.186	381.37
15	163.995	16.717	545.365
14	195.105	19.888	740.47
13	195.105	19.888	935.575
12	195.105	19.888	1130.68
11	195.105	19.888	1325.785

10	279.75	28.517	1605.535
9	309.9	31.590	1915.435
8	309.9	31.590	2225.335
7	309.9	31.590	2535.235
6	309.9	31.590	2845.135
5	309.9	31.590	3155.035
4	309.9	31.590	3464.935
3	309.9	31.590	3774.835
2	309.9	31.590	4084.735
1	309.9	31.590	4394.635
jumlah	4394.635		

- *Mass* (translasi) = W/g

- Perhitungan diatas tidak termasuk berat dan mass struktur Frame

(Berat dan *Mass Frame* masuk dalam pemrograman)

* Lantai 1

$$X_1 = \frac{2b \cdot [Q_6 \cdot L_1 \cdot (1/2 L_1) + Q_6 \cdot L_2 \cdot (L_1 + 1/2 L_2) + Q_6 \cdot L_3 \cdot (L_1 + L_2 + 1/2 L_3)]}{2b \cdot Q_6 \cdot [L_1 + L_2 + L_3]}$$

$$= \frac{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.655 \cdot 15 \cdot 7.5) + (0.655 \cdot 10 \cdot (15 + 5)) + (0.655 \cdot 15 \cdot (15 + 10 + 7.5))]}{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.655 \cdot 15) + (0.655 \cdot 10) + (0.655 \cdot 15)]}$$

$$= 20 \text{ m} \dots\dots\dots \text{lihat gambar 5.1}$$

Lantai 1s/d 9 identik

* Lantai 10

$$X_2 = \frac{2b \cdot [Q_3 \cdot L_1 \cdot (1/2 L_1) + Q_6 \cdot L_2 \cdot (L_1 + 1/2 L_2) + Q_6 \cdot L_3 \cdot (L_1 + L_2 + 1/2 L_3)]}{2b \cdot [Q_3 \cdot L_1 + Q_6 \cdot (L_2 + L_3)]}$$

$$= \frac{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.655 \cdot 15 \cdot 7.5) + (0.655 \cdot 10 \cdot (15 + 5)) + (0.655 \cdot 15 \cdot (15 + 10 + 7.5))]}{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.416 \cdot 15) + (0.655 \cdot (10 + 15))]}$$

$$= 21.9 \text{ m} \dots\dots\dots \text{lihat gambar 5.1}$$

* Lantai 11

$$X_3 = \frac{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2 \cdot (1/2 L_2) + Q_6 \cdot L_3 \cdot (L_2 + 1/2 L_3)]}{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2 + Q_6 \cdot L_3]}$$

$$= \frac{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.655 \cdot 10 \cdot 5) + (0.655 \cdot 15 \cdot 7.5)]}{(2 \cdot 7.5) [(0.655 \cdot 10) + (0.655 \cdot 15)]}$$

$$= 12.5 \text{ m} \dots\dots\dots \text{lihat gambar 5.1}$$

Lantai 11 s/d 14 identik

* Lantai 15

$$X_4 = \frac{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2 \cdot (1/2 L_2) + Q_3 \cdot L_3 \cdot (L_2 + 1/2 L_3)]}{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2 + Q_3 \cdot L_3]}$$

$$= \frac{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.655 \cdot 10 \cdot 5) + (0.416 \cdot 15 \cdot 7.5)]}{(2 \cdot 7.5) [(0.655 \cdot 10) + (0.416 \cdot 15)]}$$

$$= 11.09 \text{ m} \dots\dots\dots \text{lihat gambar 5.1}$$

* Lantai 16

$$X_4 = \frac{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2 \cdot (1/2 L_2)]}{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2]}$$

$$= \frac{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.655 \cdot 10 \cdot 5)]}{(2 \cdot 7.5) [(0.655 \cdot 10)]}$$

$$= 5 \text{ m} \dots\dots\dots \text{lihat gambar 5.1}$$

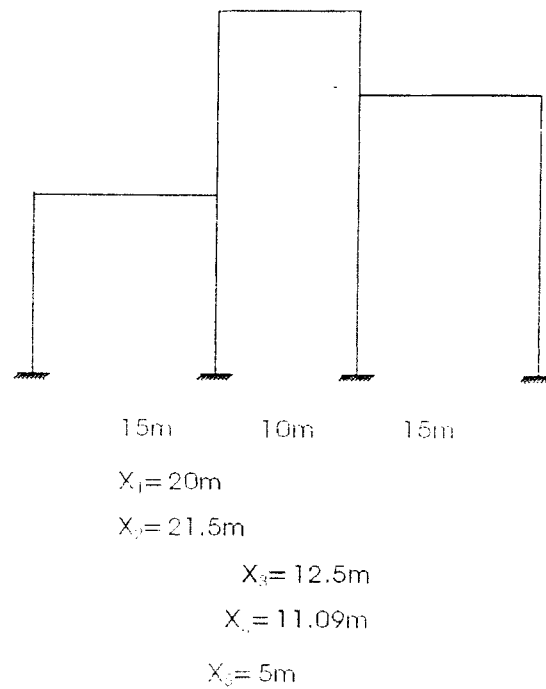
Lantai 16 s/d 19 identik

* Lantai 20..

$$X_4 = \frac{2b \cdot [Q_3 \cdot L_2 \cdot (1/2 L_2)]}{2b \cdot [Q_6 \cdot L_2]}$$

$$= \frac{(2 \cdot 7.5) \cdot [(0.416 \cdot 10 \cdot 5)]}{(2 \cdot 7.5) [(0.416 \cdot 10)]}$$

$$= 5 \text{ m} \dots\dots\dots \text{lihat gambar 5.1}$$



Gambar 5.1 Letak pusat *mass*

5.1.5 Pembebanan (gravitasi)

* Beban merata balok lantai bentang 15m

$$q_1 = 2 [Q_4 \cdot 1/2 b + R_h \cdot Q_5 \cdot 1/2 b + q_{w18x71}]$$

$$= 2 [0.405 \cdot 7.5 + 0.75 \cdot 0.25 \cdot 7.5 + 0.106] = 9.10 \text{ T/m'}$$

* Beban merata balok lantai bentang 10m

$$q_2 = 2 [Q_4 \cdot 1/2 b + R_h \cdot Q_5 \cdot 1/2 b + q_{w16x36}]$$

$$= 2 [0.405 \cdot 7.5 + 0.75 \cdot 0.25 \cdot 7.5 + 0.054] = 8.996 \text{ T/m'}$$

* Beban merata balok atap bentang 15m

$$q_3 = 2 [Q_1 \cdot 1/2 b + R_h \cdot Q_2 \cdot 1/2 b + q_{w18x50}]$$

$$= 2 [0.316 \cdot 7.5 + 0.75 \cdot 0.1 \cdot 7.5 + 0.074] = 6.013 \text{ T/m'}$$

* Beban merata balok atap bentang 10 m

$$q_t = 2 [Q_1 \cdot 1/2 b + R_h \cdot Q_2 \cdot 1/2 b + q_{w16x36}]$$

$$= 2 [0.316 \cdot 7.5 + 0.75 \cdot 0.1 \cdot 7.5 + 0.054] = 5.973 \text{ T/m'}$$

Beban Titik

$$P_i = q_{w24x261} \cdot 2 \cdot 1/2 b$$

$$= 0.241 \cdot 2 \cdot 1/2 \cdot 15 = 3.615 \text{ T}$$

5.1.6 Perhitungan awal balok bagi

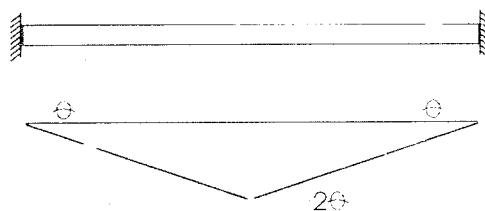
1. Balok bagi lantai

* Bentang 15 m

Dicoba Profil $W_{18x71} \rightarrow Z_x = 145 \text{ in}^3$

$$W = (Q_6 \cdot 2 \cdot 1/2 b') + Q_{W18x71}$$

$$= (0.655 \cdot 2 \cdot 1/2 \cdot 5) + 0.106 = 3.381 \text{ T/m'}$$



Gambar 5.2 Mekanisme keruntuhan pada balok

Mekanisme keseimbangan (Gambar 5.2) :

$$I_w = M_p \cdot \theta$$

$$E_w = F \cdot \Delta$$

$$I_e = M_p \cdot \theta + M_p \cdot 2 \cdot \theta + M_p \cdot \theta$$

$$E_e = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \cdot 2\theta$$

$$I_w = E_w$$

$$M_p \cdot 4\theta = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \cdot 2\theta$$

$$M_p = \frac{1}{16} \cdot q \cdot L^2$$

$$Mp = 1/16 (1.7 W) L^2$$

$$= 1/16 (1.7 \cdot 3.381) 15^2 = 80.819 \text{ t/m}^2 = 7014.733 \text{ kips-in}$$

$$Z_x = \frac{Mp}{F_y} = \frac{7014.733}{50} = 140.295 \text{ in}^3 < Z_x = 145 \text{ in}^3 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

➔ Profil $W_{18 \times 71}$ dapat dipakai sebagai balok bagi pada lantai bentang 15m

* Bentang 10 m

Dicoba Profil $W_{16 \times 36}$ ➔ $Z_x = 64 \text{ in}^3$

$$W = (Q_6 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} b^2) + Q_{W16 \times 36}$$

$$= (0.655 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5) + 0.054 = 3.329 \text{ T/m}^2$$

$$Mp = 1/16 (1.7 W) L^2$$

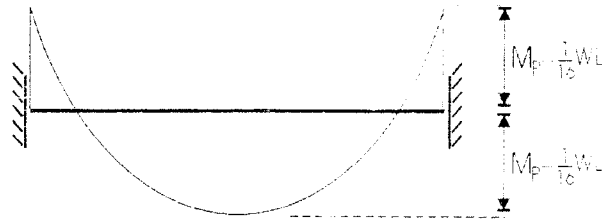
$$= 1/16 (1.7 \cdot 3.329) 10^2 = 35.366 \text{ T/m}^2 = 3069.630 \text{ kips-in}$$

$$Z_x = \frac{Mp}{F_y} = \frac{3039.630}{50} = 61.393 \text{ in}^3 < Z_x = 64 \text{ in}^3 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

➔ Profil $W_{16 \times 36}$ dapat dipakai sebagai balok bagi pada lantai bentang 10m

2. Balok bagi atap

* Bentang 15 m



Gambar 5.3 Balok dukungan jepit-jepit dengan $M_p = 1/16 w l^2$

Dicoba Profil $W_{18 \times 50} \rightarrow Z_x = 101 \text{ in}^3$

$$W = (Q_3 2 \frac{1}{2} b') + Q_{W18 \times 50}$$

$$= (0.416 2 \frac{1}{2} 5) + 0.074 = 2.154 \text{ T/m}^2$$

$$M_p = 1/16 (1.7 W) L^2$$

$$= 1/16 (1.7 2.154) 15^2 = 51.504 \text{ T/m}^2 = 4470.309 \text{ kips-in}$$

$$Z_x = \frac{M_p}{F_y} = \frac{4470.309}{50} = 99.406 \text{ in}^3 > Z_x = 101 \text{ in}^3 \dots\dots\dots \text{ok}$$

→ Profil $W_{18 \times 50}$ dapat dipakai sebagai balok bagi pada atap bentang 15m

* Bentang 10 m

Dicoba Profil $W_{16 \times 36} \rightarrow Z_x = 64 \text{ in}^3$

$$W = (Q_3 2 \frac{1}{2} b') + Q_{W16 \times 36}$$

$$= (0.416 2 \frac{1}{2} 5) + 0.054 = 2.134 \text{ T/m}^2$$

$$M_p = 1/16 (1.7 W) L^2$$

$$= 1/16 (1.7 2.134) 10^2 = 22.669 \text{ T/m}^2 = 1967.592 \text{ kips-in}$$

$$Z_x = \frac{Mp}{F_y} = \frac{1967.592}{50} = 39.352 \text{ in}^3 < Z_x = 64 \text{ in}^3 \dots\dots\dots\text{Ok}$$

5.1.7. Perhitungan Awal Balok Induk (gravitasi)

1. Balok Bentang 15m

Dicoba Profil $W_{18 \times 192}$ $\rightarrow Z_x = 442 \text{ in}^3$

$$\begin{aligned} W &= (Q_6 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} b) + 2 Q_{W18 \times 71} + Q_{W18 \times 192} \\ &= (0.655 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15) + 2 \cdot 0.106 + 0.286 = 10.323 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mp &= 1/16 (1.7 W) L^2 \\ &= 1/16 (1.7 \cdot 10.323) 15^2 = 246.777 \text{ T/m}^2 = 21419.252 \text{ kips-in} \end{aligned}$$

$$Z_x = \frac{Mp}{F_y} = \frac{21419.252}{50} = 428.385 \text{ in}^3 < Z_x = 442 \text{ in}^3 \dots\dots\dots\text{Ok}$$

\rightarrow Profil $W_{18 \times 192}$ dapat dipakai sebagai asumsi awal balok bentang 15m

2. Balok Bentang 10m

Dicoba Profil $W_{18 \times 130}$ $\rightarrow Z_x = 291 \text{ in}^3$

$$\begin{aligned} W &= (Q_3 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} b) + 2 Q_{W16 \times 36} + Q_{W18 \times 130} \\ &= (0.655 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15) + 2 \cdot 0.054 + 0.193 = 6.541 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mp &= 1/16 (1.7 W) L^2 \\ &= 1/16 (1.7 \cdot 6.541) 10^2 = 69.503 \text{ T/m}^2 = 6032.565 \text{ kips-in} \end{aligned}$$

$$Z_x = \frac{Mp}{F_y} = \frac{6032.565}{50} = 120.631 \text{ in}^3 < Z_x = 291 \text{ in}^3 \dots\dots\dots\text{Ok}$$

\rightarrow Profil $W_{18 \times 130}$ dapat dipakai sebagai asumsi awal balok bentang 10 m

5.1.8 Perhitungan dimensi kolom (gravitasi).

1. Kolom I

Trial profil $W_{24 \times 192}$ (tinjauan kolom dasar)

Gaya aksial yang diterima kolom 1

$$\begin{aligned}
 P_1 : \text{-B.Plat} &= Q_6 \cdot \frac{1}{2} L_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b \\
 &= 0.655 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15 &= 73.6875 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- B.bagi} &= q w_{18 \times 71} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_1 \\
 &= 0.106 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 &= 1.59 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- B.induk} &= q w_{18 \times 192} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2b + L_1) \\
 &= 0.286 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 15 + 15) &= \frac{6.435}{81.7125} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 : \text{-B.Plat} &= Q_3 \cdot \frac{1}{2} L_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b \\
 &= 0.416 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15 &= 46.8 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- B.bagi} &= q w_{18 \times 50} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_1 \\
 &= 0.074 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 &= 1.11 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- b.induk} &= q w_{18 \times 192} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2b + L_1) \\
 &= 0.286 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 15 + 15) &= \frac{6.435}{54.345} +
 \end{aligned}$$

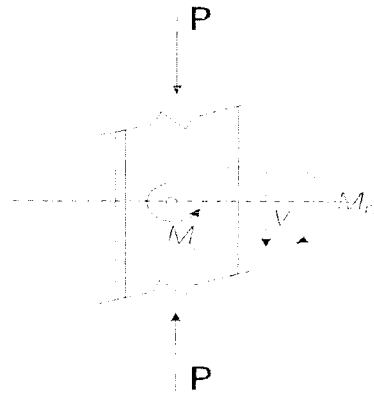
Trial kolom $W_{24 \times 192}$ $q = 0.286 \text{ T/m}^2$

$d = 25.47''$ $r_x = 10.5''$ $r_y = 3.07''$ $M_p = 2330 \text{ Kip-ft} = 321.540 \text{ T-m}$

$P_y = 2820 \text{ Kip} = 1279.131 \text{ T}$

$H_{\text{kolom}} = 4\text{m} = 157.48''$

$$\begin{aligned}\Sigma P &= 9 \cdot P_1 + P_2 + (q_{w24 \times 192} \cdot 4) \cdot 10 \\ &= 9 \cdot 81.7125 + 54.345 + 0.286 \cdot 4 \cdot 10 &= 801.185 \text{ t-m}\end{aligned}$$



Gambar 5.4. Distribusi kapasitas balok pada kolom I

Distribusi kapasitas balok pada kolom I (*Gambar 5.4*) :

$$\begin{aligned}M_j &= Mp_{balok} + 1/2 \cdot d \cdot Vp \\ &= 246.777 + 1/2 \cdot (20.35.0254) \cdot (1.7 \cdot 1/2 \cdot 15 \cdot (1/2 \cdot 2 \cdot 15) \cdot 0.655) = 279.152 \text{ T-m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_c &= 1/2 \cdot M_j \\ &= 1/2 \cdot 279.152 &= 139.576 \text{ T-m}\end{aligned}$$

$$\left(\frac{h}{r_y}\right)_{aktual} = \left(\frac{h}{r_y}\right)_{equivalent} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{36}}$$

$$\left(\frac{h}{r_y}\right)_{aktual} = \left(\frac{157.48}{3.07}\right)_{equivalent} \cdot \sqrt{\frac{50}{36}} = 60.453$$

$$\frac{\Sigma P}{P_y} = \frac{801.185}{1279.131} = 0.626$$

$$M_{pc} = 1.18 \cdot \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_y}\right) \cdot Mp$$

$$= 1.18 \cdot (1 - 0.626) \cdot 321.540 = 141.769 \text{ T-m}$$

→ Lampiran E, dengan $q=+1$ didapat

$$\frac{M}{M_{pc}} = 1.0$$

$$M = 1.0 \cdot 141.769 = 141.759 \text{ T-m} > M_c = 139.576 \text{ T-m} \dots \dots \text{Ok}$$

→ Profil W_{24x192} dapat dipakai sebagai asumsi kolom **I**

2. Kolom **II**

Trial profil W_{24x370} (tinjauan kolom dasar)

Gaya axial Yang diterima kolom

$$\begin{aligned} P_3 : \text{-B.Plat} &= (Q_6 \cdot \frac{1}{2} L_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b) + (Q_6 \cdot \frac{1}{2} L_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b) \\ &= (0.655 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15) + (0.655 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15) \\ &= 122.8125 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B.bagi} &= (q w_{18x71} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_1) + (q w_{16x36} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2) \\ &= (0.106 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15) + (0.054 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10) = 2.130 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B.induk} &= (q w_{18x192} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2b + L_1)) + (q w_{18x130} \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2) \\ &= (0.286 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 15 + 15)) + 0.193 \cdot \frac{1}{2} \cdot (10) = \frac{7.40}{132.3425} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4 : \text{-B.Plat} &= (Q_3 \cdot \frac{1}{2} L_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b) + (Q_6 \cdot \frac{1}{2} L_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b) \\ &= (0.416 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15) + (0.655 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15) \\ &= 122.455 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- B.bagi} &= (q w_{18x50} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_1) + (q w_{16x36} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2) \\ &= 0.074 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 + 0.054 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 = 1.650 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -B.\text{induk} &= (q w_{18 \times 192} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2b + L_1) + (q w_{18 \times 130} \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2) \\
 &= (0.286 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 15 + 15) + 0.193 \cdot \frac{1}{2} \cdot (10)) = \frac{7.40}{131.505} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_5 : -B.\text{Plat} &= Q_6 \cdot \frac{1}{2} L_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b \\
 &= 0.655 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15 = 49.125 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -B.\text{bagi} &= q w_{16 \times 36} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2 \\
 &= 0.054 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 = 0.540 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -b.\text{induk} &= q w_{18 \times 130} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2b + L_2) \\
 &= 0.193 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 15 + 10) = \frac{3.86}{53.525} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_6 : -B.\text{Plat} &= Q_3 \cdot \frac{1}{2} L_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot b \\
 &= 0.416 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15 = 31.2 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -B.\text{bagi} &= q w_{16 \times 36} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2 \\
 &= 0.054 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 = 0.540 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -b.\text{induk} &= q w_{18 \times 130} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2b + L_2) \\
 &= 0.193 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 15 + 10) = \frac{3.86}{35.60} +
 \end{aligned}$$

$$\text{Trial kolom } W_{24 \times 370} \quad q = 0.551 \text{ T/m}^2$$

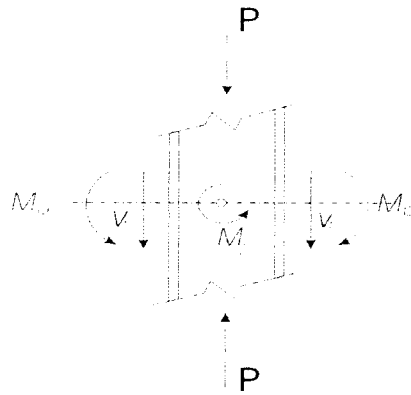
$$d = 27.99'' \quad r_x = 11.1'' \quad r_y = 3.28'' \quad Mp = 4670 \text{ Kip-ft} = 644.460 \text{ T-m}$$

$$P_y = 5400 \text{ Kip} = 2449.399 \text{ T}$$

$$H_{\text{kolom}} = 4 \text{ m} = 157.48''$$

$$\sum P = 9 \cdot P_3 + P_4 + 9 \cdot P_5 + P_6 + (q w_{24 \times 370} \cdot 4) \cdot 20$$

$$= 9 \cdot 132.3425 + 131.505 + 9 \cdot 53.525 + 35.60 + 0.551 \cdot 4 \cdot 20 = 1883.957 \text{ T-m}$$



Gambar.5.5. Distribusi kapasitas balok pada kolom II

Distribusi kapasitas balok pada kolom II (*Gambar 5.5*) :

$$\begin{aligned}
 M_j &= Mp' + \frac{1}{2} \cdot d \cdot V' - Mp'' - \frac{1}{2} \cdot d \cdot V'' \\
 &= 246.777 + \frac{1}{2} \cdot (20.35 \times 0.0254) \cdot (1.7 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot (\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15) \cdot 0.655) - 69.503 - \frac{1}{2} \\
 &\quad \cdot (19.25 \times 0.0254) \cdot 1.7 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15 \\
 &= 196.682 \text{ t-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_c &= \frac{1}{2} \cdot M_j \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 196.682 \\
 &= 98.341 \text{ t-m}
 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{h}{r_y} \right)_{\text{aktual}} = \left(\frac{h}{r_y} \right)_{\text{equivalent}} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{36}}$$

$$\left(\frac{h}{r_y} \right)_{\text{aktual}} = \left(\frac{157.48}{3.28} \right)_{\text{equivalent}} \cdot \sqrt{\frac{50}{36}} = 57.610$$

$$\frac{\Sigma P}{P_y} = \frac{1883.957}{2449.399} = 0.769$$

$$M_{pc} = 1.18 \cdot \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_y}\right) \cdot M_p$$

$$= 1.18 \cdot (1 - 0.769) \cdot 644.460 = 175.552 \text{ T-m}$$

→ Lampiran E, dengan $q=+1$ didapat

$$\frac{M}{M_{pc}} = 0.9$$

$$M = 0.9 \cdot 175.552 = 157.997 \text{ T-m} > M_c = 98.341 \text{ T-m} \dots \dots \text{Ok}$$

→ Profil $W_{24 \times 370}$ dapat dipakai sebagai asumsi awal kolom **II**

3. Kolom **III**

Trial profil $W_{24 \times 450}$ (tinjauan kolom dasar)

Gaya axial Yang diterima kolom

$$P_3 = 132.3425$$

$$P_4 = 131.505$$

$$P_5 = 53.525$$

$$P_6 = 35.600$$

$$\text{Trial kolom } W_{24 \times 450} \quad q = 0.670 \text{ T/m}^2$$

$$d = 29.09'' \quad r_x = 11.4'' \quad r_y = 3.36'' \quad M_p = 5880 \text{ Kip-ft} = 811.44 \text{ T-m}$$

$$P_y = 6600 \text{ Kip} = 2993.710 \text{ T}$$

$$H_{\text{kolom}} = 4 \text{ m} = 157.48''$$

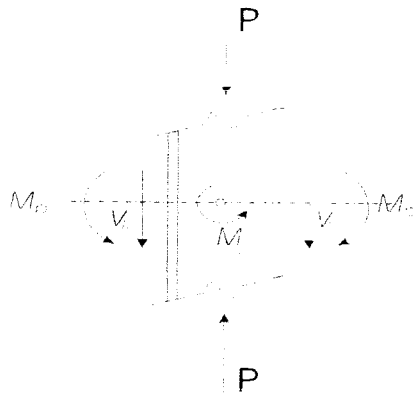
$$\Sigma P = 14 \cdot P_3 + P_4 + 4 \cdot P_5 + P_6 + (q_{w24 \times 450} \cdot 4) \cdot 20$$

$$= 14 \cdot 132.3425 + 131.505 + 4 \cdot 53.525 + 35.60 + 0.670 \cdot 4 \cdot 20 = 2287.568 \text{ t-m}$$

Distribusi kapasitas balok pada kolom **III** (Gambar 5.6) :

$$M_j = M_p' - \frac{l_2}{2} \cdot d \cdot V' - M_p'' - \frac{l_2}{2} \cdot d \cdot V''$$

$$\begin{aligned}
&= 246.777 + 1/2 \cdot (20.35 \times 0.0254) \cdot (1.7 \cdot 1/2 \cdot 15 \cdot (1/2 \cdot 2 \cdot 15) \cdot 0.655) - 69.503 - 1/2 \\
&\quad \cdot (19.25 \times 0.0254) \cdot 1.7 \cdot 1/2 \cdot 10 \cdot 1/2 \cdot 2 \cdot 15 \\
&= 196.682 \text{ t-m}
\end{aligned}$$



Gambar 5.6. Distribusi kapasitas balok pada kolom III

$$M_c = 1/2 \cdot M_j$$

$$= 1/2 \cdot 196.682$$

$$= 98.341 \text{ t-m}$$

$$\left(\frac{h}{r_y}\right)_{\text{aktual}} = \left(\frac{h}{r_y}\right)_{\text{equivalent}} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{36}}$$

$$\left(\frac{h}{r_y}\right)_{\text{aktual}} = \left(\frac{157.48}{3.36}\right)_{\text{equivalent}} \cdot \sqrt{\frac{50}{36}} = 55.937$$

$$\frac{\Sigma P}{P_y} = \frac{2287.568}{2293.710} = 0.764$$

$$M_{pc} = 1.18 \cdot \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_y}\right) \cdot M_p$$

$$= 1.18 \cdot (1 - 0.764) \cdot 811.440 = 225.850 \text{ T-m}$$

→ Lampiran E, dengan $q=+1$ didapat

$$\frac{M}{M_{pc}} = 0.7$$

$$M = 0.7 \cdot 225.850 = 158.095 \text{ T-m} > M_c = 98.341 \text{ T-m} \quad \dots\dots\text{Ok}$$

→ Profil $W_{24 \times 450}$ dapat dipakai sebagai asumsi awal kolom **III**

4. Kolom **IV**

Trial profil $W_{24 \times 279}$ (tinjauan kolom dasar)

Gaya axial Yang diterima kolom

$$P_1 = 81.7125$$

$$P_2 = 54.345$$

Trial kolom $W_{24 \times 279} \quad q = 0.415 \text{ T/m}^2$

$$d = 26.02'' \quad r_x = 10.7'' \quad r_y = 3.11'' \quad M_p = 3480 \text{ Kip-ft} = 480.240 \text{ T-m}$$

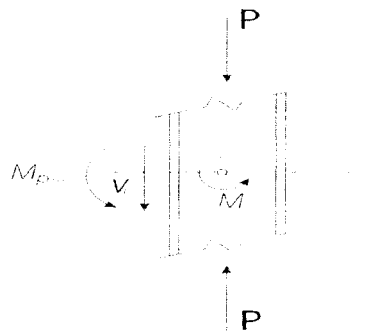
$$P_y = 4100 \text{ Kip} = 1859.729 \text{ T}$$

$$H_{\text{kolom}} = 4 \text{ m} = 157.48''$$

$$\sum P = 14 \cdot P_1 + P_2 + (q_{w24 \times 279} \cdot 4) \cdot 15$$

$$= 14 \cdot 81.7125 + 54.345 + 0.415 \cdot 4 \cdot 15$$

$$= 1223.229 \text{ t-m}$$



Gambar 5. 7. Distribusi kapasitas balok pada kolom IV

Distribusi kapasitas balok pada kolom IV (Gambar 5.7) :

$$\begin{aligned}
 M_j &= M_{p_{balok}} + 1/2 \cdot d \cdot V_p \\
 &= 246.777 + 1/2 \cdot (20.35 \times 0.0254) \cdot (1.7 \cdot 1/2 \cdot 15 \cdot (1/2 \cdot 2 \cdot 15) \cdot 0.655) \\
 &= 279.152 \text{ t-in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_c &= 1/2 \cdot M_j \\
 &= 1/2 \cdot 279.152 &= 139.576 \text{ t-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{h}{r_y} \right)_{aktual} &= \left(\frac{h}{r_y} \right)_{equivalent} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{36}} \\
 \left(\frac{h}{r_y} \right)_{aktual} &= \left(\frac{157.48}{3.11} \right)_{equivalent} \cdot \sqrt{\frac{50}{36}} &= 59.676
 \end{aligned}$$

$$\frac{\Sigma P}{P_y} = \frac{1223.229}{1859.729} = 0.658$$

$$\begin{aligned}
 M_{pc} &= 1.18 \cdot \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_y} \right) \cdot M_p \\
 &= 1.18 \cdot (1 - 0.658) \cdot 480.240 &= 193.950 \text{ T-m}
 \end{aligned}$$

→ Lampiran E, dengan $q = +1$ didapat

$$\frac{M}{M_{pc}} = 1.0$$

$$M = 1.0 \cdot 193.950 = 193.950 \text{ T-m} > M_c = 139.576 \text{ T-m} \dots\dots\text{Ok}$$

→ Profil $W_{24 \times 279}$ dapat dipakai sebagai kolom *IV*

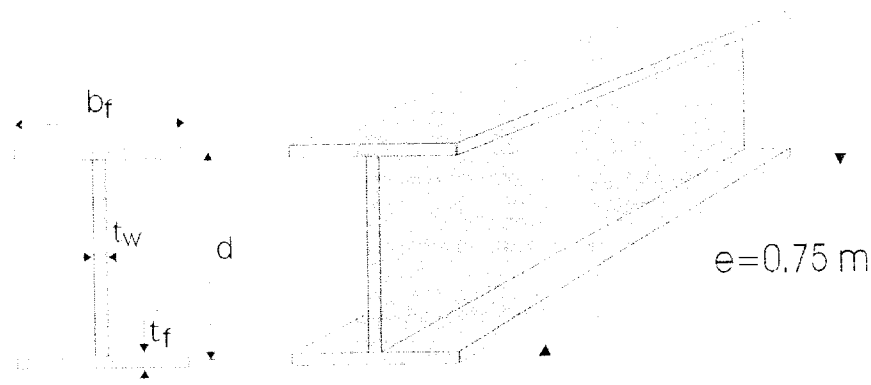
5.1.9 Desain awal bracing

* Dimensi awal bracing

- Balok bentang 10m Profil $W_{18 \times 130}$ (Gambar 5.8) :

$$A = 38.2 \text{ in}^2 \quad d = 19.25 \text{ in} \quad t_w = 0.670 \text{ in}$$

$$b_f = 11.160 \text{ in} \quad t_f = 1.20 \quad Z_x = 291 \text{ in}^3$$



Gambar 5.8 Profil balok pada bentang Link

* Asumsi penentuan awal lebar link

$$e = 1.6 M_s / V_s$$

$$M_s = F_y \cdot Z_x = 50 \times 291 = 14550 \text{ Kip-in}$$

$$V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w = 0.55 \times 50 \times 19.25 \times 0.670 = 354.681 \text{ kips}$$

$$e \leq 1.6 \cdot \frac{14550}{354.681} = 65.636 \text{ in} = 1.667 \text{ m}$$

Dipakai $e = 0.75 \text{ m} = 29.528 \text{ in}$

$$h = 4 \text{ m} = 157.48 \text{ in}$$

$$L_x = \frac{10 - 0.5}{2} = 4.75 \text{ m}$$

$$L_{br} = \sqrt{4.75^2 + 4^2} = 6.2 \text{ m} = 244.09 \text{ in}$$

$$\text{Tg} \alpha = \frac{4}{4.75} \quad \rightarrow \quad \alpha = 40.1^\circ \quad 35^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ \quad \dots\dots\dots \text{oke}$$

$$* V_{br} = 1.25 \cdot (V_b + V_s')$$

$$M_{rs} = Z_x \cdot (F_y - F_a) = 291 \cdot (50 - 0) = 14550 \text{ kips-in}$$

$$V_{rs} = \frac{2 \cdot M_{rs}}{e} = \frac{2 \cdot 14550}{29.528} = 985.505 \text{ kips} \quad \dots\dots\dots 1$$

$$V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w = 0.55 \cdot 50 \cdot 19.25 \cdot 0.670 = 354.681 \text{ Kips} \quad \dots\dots\dots 2$$

$$V_s' = 354.681 \text{ kips}$$

$$M_s = \frac{V_s' \cdot e}{2} = \frac{354.681 \cdot 29.528}{2} = 5236.51 \text{ Kips-in}$$

$$V_b = \frac{M_s}{(L - e) / 2} = \frac{5236.51}{(244.09 - 29.528) / 2} = 22.834 \text{ kips}$$

$$V_{br} = 1.5 \cdot (V_b + V_s') = 1.25 \cdot (22.834 + 354.681) = 471.894 \text{ kips}$$

$$P_{br} = V_{br} \cdot \left(\frac{L_{br}}{h} \right) = 471.894 \cdot \left(\frac{244.09}{157.48} \right) = 731.424 \text{ kips}$$

* Berdasarkan kuat tarik

$$P_y = F_y \cdot A_n$$

$$A_n = \frac{P}{F_y} = \frac{731.424}{50} = 14.628 \text{ in}^2$$

* Berdasarkan kuat tekan

Dicoba Profil 2L8x8x1-3/4 (Gambar 5.9) :

$$R_y = 3.67$$

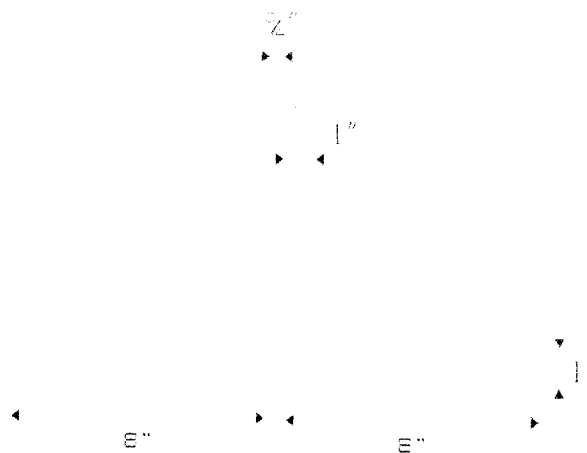
$$\frac{kl}{r_y} = \frac{1 \cdot 244.09}{3.67} = 66.51$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{50}} = 106.94 \quad ; \quad \frac{kl}{r_y} > C_c$$

Dari tabel AISC halaman 3-17 untuk $\frac{kl}{r} = 66.51$ didapat nilai $F_a = 21.578 \text{ ksi}$

$$A_b = \frac{P}{F \cdot F_a} = \frac{731.424}{1.7 \cdot 21.578} = 19.939 \text{ in}^2 < A_b = 2L8x8x1-3/4 = 30 \text{ in}^2 \dots \text{Ok}$$

Profil 2L8x8x1-3/4 Dapat dipakai sebagai asumsi awal bracing



Gambar 5.9 Profil bracing

5.2 Desain akhir

Berdasarkan profil yang di dapat dalam desain awal , maka profil tersebut dipergunakan sebagai asumsi awal dalam analisis elastis struktur dan dari hasil tersebut akan kembali didesain akhir, yang hasilnya sebagai berikut :

1. Cek defleksi struktur dan gaya geser dasar struktur

Hasil output SAP 2000 (*lampiran A*), simpangan relatif tiap tingkat < 2 cm

Gaya geser dasar struktur = 167.039 tm < $V_{ds} = 0.9 \cdot C \cdot I \cdot K \cdot W_t$

$$T = \frac{0.09 \cdot H}{\sqrt{B}} = \frac{0.09 \cdot 80}{\sqrt{40}} = 1.138$$

➔ Dari *Gambar 3.5* didapat nilai $C = 0.065$

$V_{ds} = 0.9 \cdot 0.065 \cdot 1.5 \cdot 2.5 \cdot 5614.21 = 1231.617 \text{ tm} < V_d = 6997.237 \text{ tm} \dots \text{ok}$

2. Hitung ukuran *link* (*link size*)

Web shear tidak melebihi 0.8 kuat geser yang bekerja, guna mendesain *link* terhadap batas stress yang diijinkan

$$V_L \leq 0.8 V_S$$

$$d. t_{w_{\min}} = \frac{V_L}{0.8 \times (0.55) \times F_y} \quad (\text{Hasil perhitungan Tabel 5.2})$$

Trial profil

Untuk semua tingkat dipakai profil *W21x50*, pada bagian *link*

$$d. t_w = 7.915 \text{ in}^2 \quad b_f = 6.53 \text{ in.} \quad t_f = 0.535 \text{ in.}$$

$$d = 20.83 \text{ in.} \quad t_w = 0.380$$

Tabel 5.2 Luas geser min badan link

balok tingkat ke-n	v_l	$d.t_w$
	kips	ln ²
tingkat 1-5	143.102	6.505
tingkat 6-10	120.241	5.465
tingkat 11-15	89.559	4.071
tingkat 16-20	46.328	2.106

3. Cek kekompakan *web* dan *flange* untuk mencegah ketidakstabilan balok yang mungkin terjadi

- a. Mencegah terhadap kerusakan tekuk lokal

$$\frac{b_f}{2.t_f} \max = 7.0 \quad \rightarrow \quad \frac{b_f}{2.t_f} = \frac{6.53}{2 \times 0.535} = 6.103 \leq 7.0 \quad \text{ok}$$

- b. Mencegah terhadap tekuk lateral

$$\frac{d}{t_w} \max = 58.3 \quad \rightarrow \quad \frac{d}{t_w} = \frac{20.83}{0.380} = 7.915 \leq 58.3 \quad \text{ok}$$

pada tahap ini link dirancang agar merupakan bagian terlemah dari frame

4. Pastikan *link* mengalami mekanisme inelastik, dimana seluruh komponen diluar link memiliki kekuatan lebih dari *link*, maka harus ditentukan faktor kuat *link* yang menjamin kekuatan element struktur yang lainnya.

$$V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w$$

$$\phi = \text{link strength factor} \quad ; \text{ (Hasil perhitungan Tabel 5.3)}$$

= kekuatan lebih yang diperlukan diluar elemen EBF

$$\begin{aligned} &= \frac{V_s}{V_L} \\ \phi_{\min} &= \frac{1}{\phi_v} = \frac{1}{0.9} = 1.111 \quad \dots \text{ (UBC 1997)} \end{aligned}$$

Tabel 5.3 Strength factor link

balok tingkat ke-n	V_L	$\phi > \phi_{\min} = \frac{1}{0.9}$
	kips	
tingkat 1-5	143.102	1.521
tingkat 6-10	120.241	1.810
tingkat 11-15	89.559	2.431
tingkat 16-20	46.328	4.699

5. Memastikan panjang *link* agar terjadi *shear ductility*

$$M_s = z_x \cdot F_y = 110 \times 50 = 5500 \text{ kips}$$

$$V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w = 0.55 \times 50 \times 20.83 \times 0.38$$

$$= 217.674 \text{ kips}$$

$$e \leq 1.6 \frac{M_s}{V_s} = 1.6 \frac{5500}{217.674} = 40.427 \text{ in} = 1.0268 \text{ m}$$

$$e_{awal} = 0.75 \text{ meter} \leq 1.6 \frac{M_s}{V_s}, \text{ dipakai } e = 0.75 \text{ m}$$

6. Kontrol kapasitas *link*

Untuk memastikan *link* mengalami kegagalan geser sebelum terjadi kerusakan akibat lentur, maka harus dipastikan kapasitas geser lebih rendah dibandingkan kapasitas lentur dan aksial yang terjadi.

$$P_{LU} = \phi \cdot P_L$$

$$M_{LU} = \frac{\phi \cdot V_L \cdot e}{2}$$

profil pilihan link: $A_f = b_f \cdot t_f$

$$= 6.53 \times 0.535 = 3.494 \text{ in}^2$$

$$Z_f = (d - t_f) b_f \cdot t_f$$

$$= (20.83 - 0.535) 6.53 \times 0.535 = 70.911 \text{ in}^3$$

cek $\frac{P}{2A_f} + \frac{M}{Z_f} = \dots \leq F_y$, kontrol *web* kuat menahan geser dan *flange*
 kuat menahan aksial dan lentur (Tabel 5.4)

Tabel 5.4 Kontrol kapasitas balok link

balok tingkat ke-n	V_L	P_L	ϕ	P_{LU}	M_{LU}	Cek < $F_y=50$ ksi
	kips	kips		kips	ksi	ksi
tingkat 1-5	143.102	0	1.521	0	3213.45	45.31
tingkat 6-10	120.241	0	1.810	0	3213.12	45.312
tingkat 11-15	89.559	0	2.431	0	3214.33	45.329
tingkat 16-20	46.328	0	4.699	0	3213.49	45.324

7. Memastikan besarnya *link strength factor*

$$V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w = 0.55 \times 50 \times 20.83 \times 0.38 = 217.674 \text{ kips}$$

$$M_{rs} = Z_x \cdot (F_y - f_a) = 110 \times (50 - 0) = 5500 \text{ kips-in}$$

$$V_{rs} = \frac{2M_{rs}}{e} = \frac{2 \times 5500}{0.75} = 14666.667, \text{ diambil nilai terkecil dari } V_s \text{ dan } V_{rs}$$

$$V_{\min} = 217.674 \text{ kips-in}$$

$$\phi = \frac{V_{\min}}{V_{\text{link}}} \quad (\text{Tabel 5.5})$$

Tabel 5.5 : Strength factor link

balok tingkat ke-n	V_L	ϕ
	kips	
tingkat 1-5	143.102	1.521
tingkat 6-10	120.241	1.810
tingkat 11-15	89.559	2.431
tingkat 16-20	46.328	4.699

8. Cek rotasi pada link

Guna mendapatkan struktur yang daktail pada EBF, maka diperlukan *inelastik deformation* pada *link*. Deformasi ini diakibatkan oleh rotasi pada *link*, dan UBC1997 memberikan batasan rotasi pada *link* tersebut (lihat sub.bab 4.1)

$$\theta = \frac{\Delta}{h} \left(1 + \frac{2a}{e}\right) < \theta_{\max} = 0.06 \text{ rad} \quad (\text{Tabel 5.6})$$

Tabel 5.6 Rotasi pada link

balok tingkat ke-n	simpangan max tiap 5 tingkat	
	m	$\theta < \theta_{\max} = 0.06 \text{ rad}$
tingkat 1-5	0.0011	0.004
tingkat 6-10	0.0013	0.004
tingkat 11-15	0.0015	0.005
tingkat 16-20	0.0016	0.005

9. cek minimum link

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{\Delta}{h} \left(1 + \frac{2a}{e_{\min}}\right) \\ &= \frac{\Delta}{h} \left(\frac{L}{e_{\min}}\right) \end{aligned}$$

$$e_{\min} = \frac{\Delta}{h} \cdot \frac{L}{\theta_{\max}} < e_{\text{rencana}} = 0.75 \text{ m} \quad (\text{Tabel 5.7})$$

Tabel 5.7 Panjang link minimum

balok tingkat ke-n	simpangan max tiap 5 tingkat	
	m	$e_{\min} < e_{\text{rencana}} = 0.75 \text{ m}$
tingkat 1-5	0.0011	0.046
tingkat 6-10	0.0013	0.054
tingkat 11-15	0.0015	0.063
tingkat 16-20	0.0016	0.067

10. Analisis balok.

profil balok $W_{21 \times 50}$

$$d \cdot tw = 7.915 \text{ in}^2 \quad b_f = 6.53 \text{ in.} \quad t_f = 0.535 \text{ in.} \quad A = 14.7 \text{ in}^2$$

$$d = 20.83 \text{ in.} \quad tw = 0.380 \text{ in.} \quad rx = 8.18 \text{ in} \quad ry = 1.3 \text{ in}$$

cek terhadap momen :

$$M_{bu} < M_p$$

cek terhadap geser :

$$V_{su} = \frac{1}{\phi_v} \cdot V_b < V_s \quad ; \text{ dengan } \phi_v = \text{shear resistance factor} = 0.9$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada *Tabel 5.8*

$$M_p \text{ } W_{21 \times 50} = 458 \text{ kips-ft} = 63.321 \text{ ton-m} = 5495.946 \text{ kips-in}$$

$$V_s = 217.674 \text{ ton}$$

Tabel 5.8 Cek kapasitas balok

balok tingkat ke-n	V_b	M_{be}	Cek $V_{su} < V_s$	$M_{be} < M_p$
	kips	t-m	kips	kips-in
tingkat 1-5	33.3148	40.3186	37.0164	3492.1552
tingkat 6-10	35.1649	36.483	39.0721	3159.9386
tingkat 11-15	36.2939	31.0478	40.3266	2689.1741
tingkat 16-20	35.1872	26.1955	39.0969	2268.8970

11. Cek pemberian pengaku diluar link pada balok untuk mencegah *lateral*

buckling

$$L_{CR} = r_y \cdot \left(\frac{1375}{F_y} + 25 \right) \quad \rightarrow \quad \frac{M}{M_p} < 0.5$$

$$L_{CR} = r_y \cdot \left(\frac{1375}{F_y} \right) \quad \rightarrow \quad \frac{M}{M_p} > 0.5$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada *Tabel 5.9*

Table 5.9 Jarak pengaku badan balok link

balok tingkat ke-n	Mbe	M/Mp	Lcr
	Kips-in		in
tingkat 1-5	3492.1552	0.63494	35.750
tingkat 6-10	3159.9386	0.57453	35.750
tingkat 11-15	2689.1741	0.48894	68.250
tingkat 16-20	2268.897	0.41253	68.250

12. Brace analysis

Bracing mempunyai kuat tekan 1.25 kali dari axial force yang bekerja.

P_{br1} = aksial pada bracing

$P_{br2} = 1.25 \phi \cdot V_L$; diambil yang terbesar sebagai P_{br}

asumsi : bracing $2L \ 8 \times 8 \times 8 \frac{1}{8} - \frac{3}{8}$

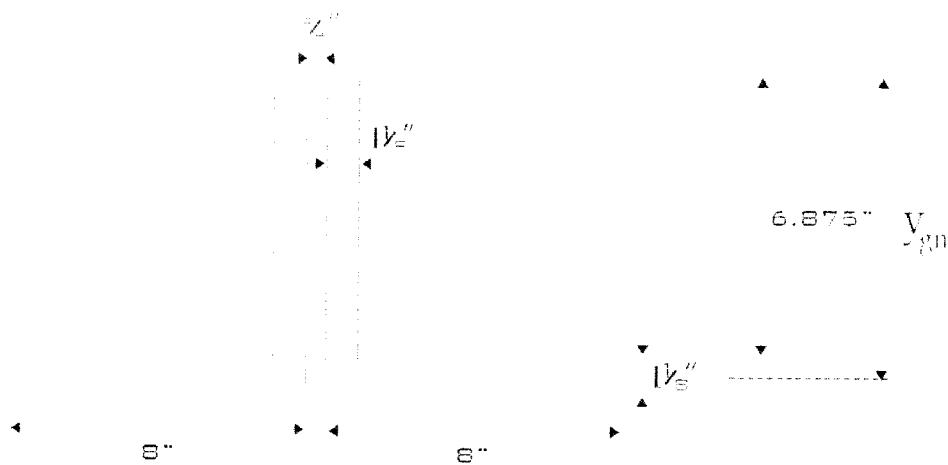
$$\frac{kl}{r} = \frac{1 \times 244.09}{3.67} = 66.51$$

dari tabel AISC halaman 3-17 didapat nilai $F_a = 22.098 \text{ kips}$

$$P_{cr} = 1.7 F_a A = 1.7 \times 22.098 \times 33.5 = 1258.481 \text{ kips}$$

$$P_y = F_y A = 50 \times 33.5 = 1675 \text{ kips}$$

Mencari modulus plastis bracing $2L\ 8 \times 8 \times 8\frac{1}{8} - \frac{3}{8}$ (Gambar 5.10)



Gambar 5.10 Penampang profil bracing

Letak garis netral pada keadaan plastis :

$$2\frac{1}{4} \cdot 6.875 + 16 \cdot Y_{gn} = \frac{1}{2} \cdot 33.5$$

$$2\frac{1}{4} \cdot Y_{gn} = \frac{1}{2} \cdot 33.5 \Rightarrow Y_{gn} = 7.4375 \text{ ''}$$

$$\text{modulus plastis } (Z_x) = \left(2\frac{1}{4} \times 6.875\right) \left(7.4375 - \frac{6.875}{2}\right) + \left(12 \times 1\frac{1}{8} \times 0\right) = 61.875 \text{ in}^3$$

$$M_p = F_y \cdot Z_x = 50 \times 61.875 = 3093.75 \text{ kips-in}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada *Tabel 5.10*

Tabel 5.10 Cek kapasitas bracing

tingkat ke-n	ϕ	Pbr1	Pbr2	Pbr < Pcr
		kips	kips	kips
tingkat 1-5	1.942	330.4954	272.0716	330.4954
tingkat 6-10	2.635	291.5590	272.0448	291.5590
tingkat 11-15	3.529	242.6987	272.1472	272.1472
tingkat 16-20	5.252	182.0276	331.2890	331.2890

13. Analisis kolom

P_{cu1} = aksial pada kolom

$$P_{cu2} = 1.25 \phi V_L \quad ; \text{diambil yang terbesar sebagai } P_{cu}$$

M_{cu1} = momen pada kolom

$$M_{cu2} = \frac{1.25 \phi V_L \cdot e}{2} \quad ; \text{diambil yang terbesar sebagai } M_{cu}$$

$$P_{cr} = 1.7 F_a \cdot A$$

$$P_e = 1.92 F_y \cdot A$$

$$K_y = \frac{\pi^2 E}{1.92 \left(\frac{kl}{r} \right)^2}$$

$$P_y = K_y \cdot A$$

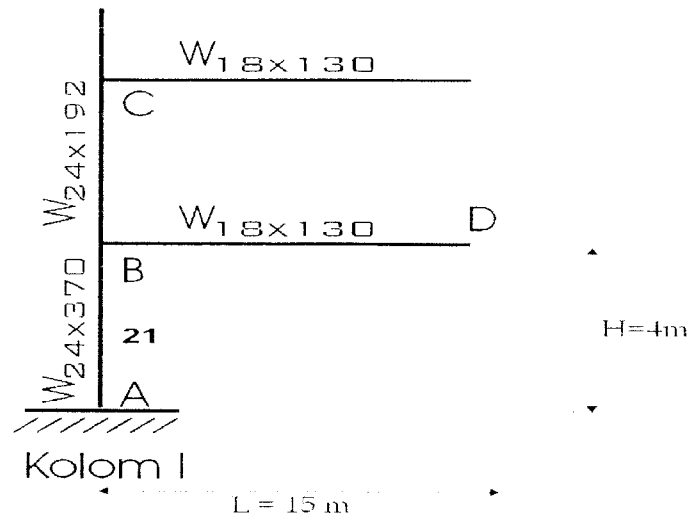
$$M_m = \left[1.07 - \frac{\left(\frac{l}{r_y} \right) \sqrt{F_y}}{3160} \right] M_p \leq M_p = F_y \cdot Z_x$$

Cek aksial lentur :

$$\frac{P_{cu}}{P_{cr}} + \frac{C_m}{\left(1 - \frac{P_{cu}}{P_{cr}} \right)} M_m < 1.0$$

$$\frac{P_{cu}}{P_y} + \frac{M_{cu}}{1.18M_p} < 1.0$$

analisis kekakuan kolom I-frame 1 (Gambar 5.11) :



Gambar 5.11 Profil kolom I dan balok bentang L1

$$I_x W_{24 \times 192} = 6260 \text{ in}^2$$

$$I_x W_{18 \times 130} = 2460 \text{ in}^2$$

$$H = 4 \text{ m} = 157.48 \text{ in}$$

$$L = 15 \text{ m} = 590.551 \text{ in}$$

$$\frac{I}{L_{AB}} = \frac{I}{L_{BC}} = \frac{6260}{157.48} = 39.751$$

$$\frac{I}{L_{BD}} = \frac{2460}{590.551} = 4.166$$

$$G_A = 1.0$$

$$G_E = \frac{2 \times 39.751}{2 \times 4.166} = 9.484$$

Dari grafik pencarian nilai K AISC hal 3-5, didapat $K = 0.85$ untuk portal tak bergoyang.

Profil kolom $W_{24 \times 370}$:

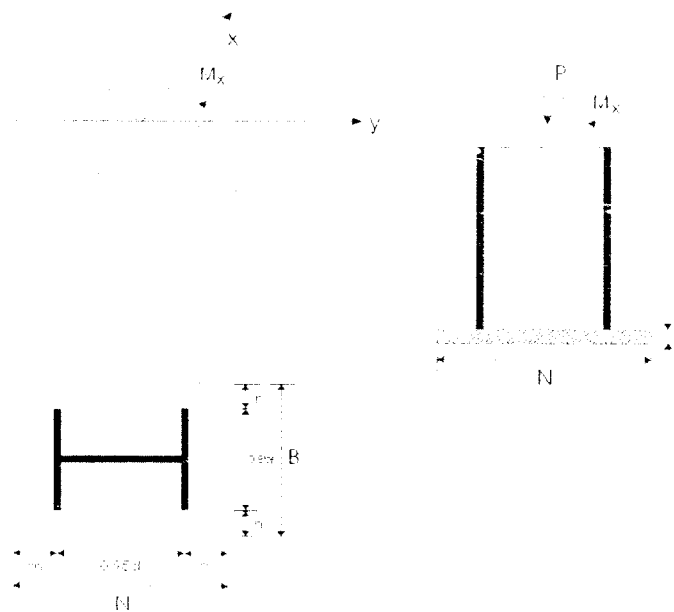
$$A = 108 \text{ in}^2 \quad Z_x = 1120 \text{ in}^3 \quad r_x = 11.1 \text{ in} \quad I_x = 13400 \text{ in}^4$$

$$\frac{kl}{r} = \frac{0.85 \times 157.48}{11.1} = 12.748$$

dari tabel AISC hal 3-17 didapat nilai $F_a = 29.013 \text{ ksi}$

Hasil perhitungan dapat di lihat pada *lampiran B*

14. Desain pelat dasar (Gambar 5.12)



Gambar 5.12 Pelat dasar pondasi

$$f'_c = 35 \text{ ksi}$$

$$F_p = \text{tegangannya ijin pelat} = 0.35 \times f'_c = 0.35 \times 35 = 12.25 \text{ ksi}$$

$$f_p = \text{tegangan beton pada beton} = \frac{P}{BxN} + \frac{M}{\frac{1}{6}xBxN^2} \leq F_p$$

$$m = \frac{N - 0.95d}{2}$$

$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2}$$

tebal pelat :

$$t_m = 2m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad : \quad t_n = 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

Diambil yang terbesar sebagai tebal pelat

Tabel 5.11 kolom tingkat dasar

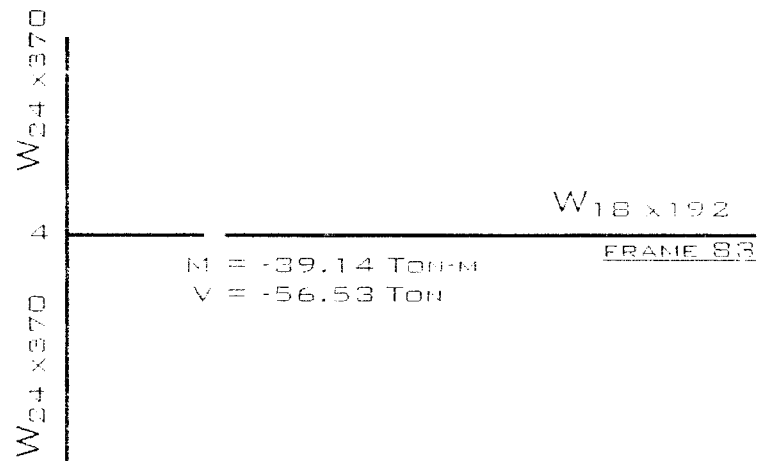
Kolom	profil	d	b _f	M	P
		in	in	kips-in	kips
1	W24x370	27.99	13.66	7007.939	2175.89
2	W30x581	35.39	16.2	11632.260	5921.21
3	W30x581	35.39	16.2	11547.378	6766.39
4	W24x370	27.99	13.66	7047.781	3320.15

Tabel 5.12 Dimensi plat dasar

N	B	N	B	cek < f _p	tebal	Ukuran pelat
cm	cm	in	in		cm	cm
80	60	31.4961	23.6220	4.7189	15.96	80x60x16
100	80	39.3701	31.4961	6.2048	23.30	100x80x24
100	80	39.3701	31.4961	6.8760	23.30	100x80x24
80	60	31.4961	23.6220	6.2671	15.96	80x60x16

5.3 Desain sambungan

5.3.1 Sambungan perpanjangan balok



Gambar 5.13 Sambungan perpanjangan balok

Contoh perhitungan sambungan perpanjangan :

Balok $W_{18 \times 192}$ (Gambar 5.13)

$$A = 56.4 \text{ in}^2 \quad I_x = 3870 \text{ in}^4 \quad r_x = 8.28 \text{ in}$$

$$d = 20.35 \text{ in} \quad I_y = 440 \text{ in}^4 \quad r_y = 2.79 \text{ in}$$

$$tw = 0.96 \text{ in} \quad S_x = 380 \text{ in}^3 \quad Z_x = 442 \text{ in}^3$$

$$bf = 11.455 \text{ in} \quad S_y = 76.8 \text{ in}^3 \quad Z_y = 119 \text{ in}^3$$

$$tf = 1.75 \text{ in} \quad K = 2 \frac{7}{16} \text{ in} \quad K = 15/16 \text{ in}$$

$$T = 15 \frac{1}{2} \text{ in}$$

1. Distribusi Gaya pada Balok

Terjadi momen = 3449.237 k-in

geser = 124.626 kips

Momen yang diterima badan

$$\begin{aligned}
 M_{bdn} &= \frac{I_b}{I_p} \cdot M_a \\
 &= \frac{1/12 \cdot tw \cdot (d - 2tf)^3}{I_x} \cdot M_a \\
 &= \frac{1/12 \cdot 0.96 \cdot (20.35 - 2 \cdot 1.75)^3}{3870} \cdot 3449.237 \\
 &= 341.115 \text{ k-in}
 \end{aligned}$$

momen sayap = $M_a - M_{bdn}$

$$= 3449.237 - 341.115$$

$$= 3108.122 \text{ k-in}$$

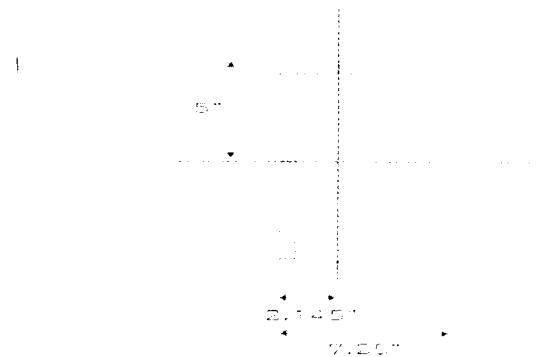
2. Sambungan pada Badan

$$\begin{aligned}
 d \cdot tw = Ap &= \frac{V}{0.55 \cdot F_y} \\
 &= \frac{124.626}{0.55 \cdot 50} \\
 &= 4.53 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

dipakai plat ukuran $P_l = 10 \times \frac{1}{2} \text{ in}^2$

Dipakai asumsi panjang plat = 15 in

Jarak Splice = 0.5 in



Gambar 5.14 Pelat badan dan model las fillet

Sambungan las :

$$X = \frac{b \cdot a \cdot 1/2b + h \cdot a \cdot 0 + b \cdot a \cdot 1/2b}{2 \cdot a \cdot b + a \cdot h}$$

$$= \frac{7.25 \cdot 1 \cdot 3.625 + 10 \cdot 1 \cdot 0 + 7.25 \cdot 1 \cdot 3.625}{2 \cdot 1 \cdot 7.25 + 1 \cdot 10} = 2.145 \text{ in}$$

$$X^1 = b - X = 7.25 - 2.145 = 5.105 \text{ in}$$

$$Y^1 = h - 1/2h = 10 - 5 = 5 \text{ in}$$

$$I_x = 1/12 \cdot a \cdot h^3 + a \cdot h \cdot y_1^2 + 2 \cdot \left[\left(1/12 \cdot a^3 \cdot b + b \cdot (1/2 \cdot b)^2 \right) \right]$$

$$= 1/12 \cdot 1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10 \cdot 0^2 + 2 \cdot \left[\left(1/12 \cdot 1^3 \cdot 7.25 + 7.25 \cdot (3.625)^2 \right) \right]$$

$$= 83.333 + 191.747 = 275.08 \text{ in}^4$$

$$I_y = 1/12 \cdot a^3 \cdot h + a \cdot h \cdot x_1^2 + 2 \cdot \left[\left(1/12 \cdot a \cdot b^3 + b \cdot (1/2b - X)^2 \right) \right]$$

$$= 1/12 \cdot 1^3 \cdot 10 + 1 \cdot 10 \cdot 2.145^2 + 2 \cdot \left[\left(1/12 \cdot 1 \cdot 7.25^3 + 7.25 \cdot (1/2 \cdot 7.25 - 2.145)^2 \right) \right]$$

$$= 46.843 + 95.27 = 43.025 \text{ in}^4$$

$$I_p = I_x + I_y = 275.08 + 43.025 = 417.196 \text{ in}^4$$

Gaya geser yang bekerja :

$$V_1 = \frac{V}{L_{las}} = \frac{124.626}{(10 + 2 \cdot 7.25)} = 5.087 \text{ kips}$$

$$V_2 = \frac{M \cdot X^1}{I_p} = \frac{341.115 \cdot 5.105}{417.196} = 4.174 \text{ ksi/in}$$

$$H_2 = \frac{M \cdot Y^1}{I_p} = \frac{341.115 \cdot 5}{417.196} = 4.088 \text{ ksi/in}$$

$$f_v = \sqrt{((V_1 + V_2)^2 + H^2)} = \sqrt{((5.087 + 4.174)^2 + 4.088^2)} = 10.123 \text{ ksi/in}$$

Kuat geser las ijin plastis :

$$F_v = 1.7 \cdot 0.3 \cdot F_u \cdot 0.707 = 1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707 = 25.24 \text{ ksi}$$

$$a_{las} = \frac{10.123}{25.24} = 0.315 \text{ in}$$

$$\text{tebal plat} = 0.5 \text{ in} \quad \rightarrow a_{min} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

dipakai $a = \frac{1}{2}$ in pada badan (Gambar 5.14)

3. Sambungan Momen pada Sayap

$$M = 3108.122 \text{ k-in}$$

$$T = \frac{M}{d} = \frac{3108.22}{20.35} = 152.733 \text{ kips}$$

Dimensi plat :

$$Ab = \frac{T}{0.6F_y} = \frac{152.733}{0.6 \cdot 50} = 5.091 \text{ in}^2$$

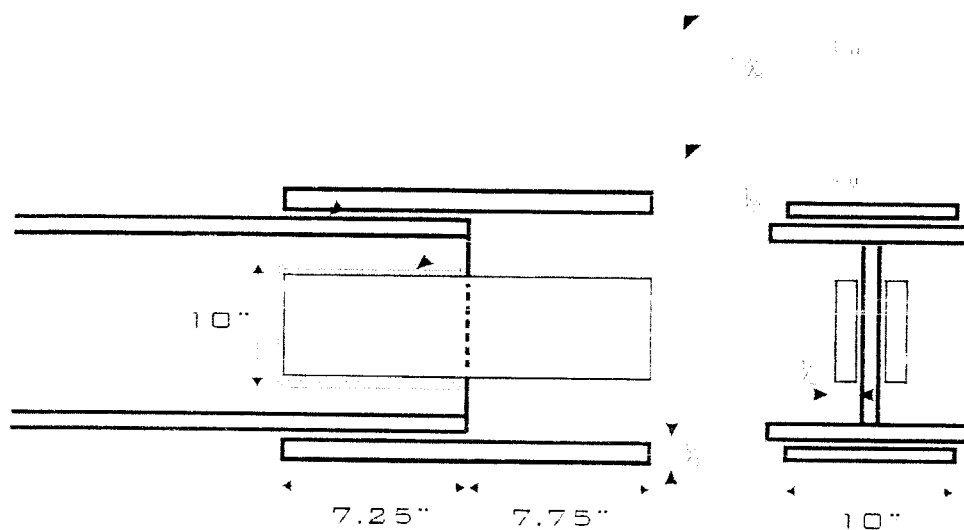
Dipakai ukuran plat $Pl = 10 \times \frac{3}{4} \text{ in}^2$ (Gambar 5.15)

Asumsi panjang plat = 15 in

Menggunakan model las fillet

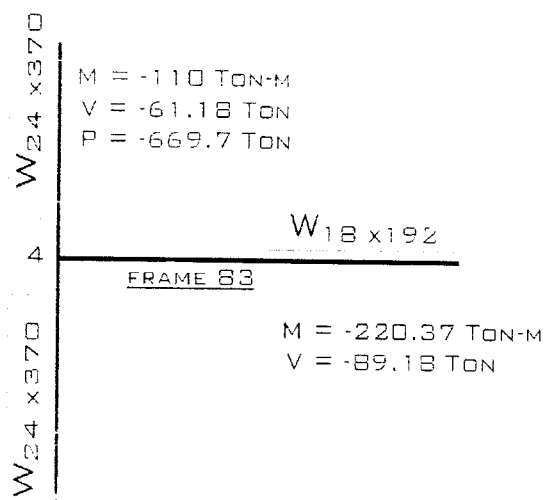
$$\text{Tebal las } a = \frac{T}{F_v} = \frac{152.733}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707 \cdot (10 + 2 \cdot 7.25)}$$

$$a_{\text{las}} = 3/8''$$



Gambar 5.15 Pelat sayap dan model las fillet

5.3.2 Sambungan balok-kolom



Gambar 5.16 Model sambungan dan gaya yang bekerja

Contoh perhitungan sambungan balok-kolom (Gambar 5.16) :

Balok $W_{18 \times 192}$

$$\begin{array}{lll}
 A = 56.4 \text{ in}^2 & I_x = 3870 \text{ in}^4 & r_x = 8.28 \text{ in} \\
 d = 20.35 \text{ in} & I_y = 440 \text{ in}^4 & r_y = 2.79 \text{ in} \\
 tw = 0.96 \text{ in} & S_x = 380 \text{ in}^3 & Z_x = 442 \text{ in}^3 \\
 bf = 11.455 \text{ in} & S_y = 76.8 \text{ in}^3 & Z_y = 119 \text{ in}^3 \\
 tf = 1.75 \text{ in} & K = 2 \frac{7}{16} \text{ in} & K_l = 15/16 \text{ in} \qquad T = 15 \frac{1}{2} \text{ in}
 \end{array}$$

Kolom $W_{24 \times 370}$

$$\begin{array}{lll}
 A = 108 \text{ in}^2 & I_x = 13400 \text{ in}^4 & r_x = 11.1 \text{ in} \\
 d = 27.99 \text{ in} & I_y = 1160 \text{ in}^4 & r_y = 3.28 \text{ in} \\
 tw = 1.52 \text{ in} & S_x = 957 \text{ in}^3 & Z_x = 1120 \text{ in}^3 \\
 bf = 13.66 \text{ in} & S_y = 170 \text{ in}^3 & Z_y = 300 \text{ in}^3 \\
 tf = 2.72 \text{ in} & K = 3 \frac{1}{2} \text{ in} & K_l = 15/16 \text{ in} \qquad T = 21 \text{ in}
 \end{array}$$

1. Kapasitas kolom

* Check distribusi tarik sayap balok terhadap badan kolom

$$a. F_y_b \cdot A_f_b = 50 \times (11.455 \times 1.75) = 1002.312$$

$$b. F_y_k \cdot tw_k \cdot (tf_k + 5k) = 50 \times 1.52 \times (2.72 + 5 \times 3 \frac{1}{2}) = 1536.72$$

chek : bila $a < b$. \rightarrow Tidak perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

$a > b$. \rightarrow perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

\rightarrow Tidak perlu pengaku pada badan kolom

- Check distribusi tekan sayap balok terhadap sayap kolom

$$a. 0.4 \cdot \sqrt{A_f_b \cdot \frac{F_y_b}{F_y_k}} = 0.4 \cdot \sqrt{(11.455 \times 1.75) \cdot \frac{50}{50}} = 1.79$$

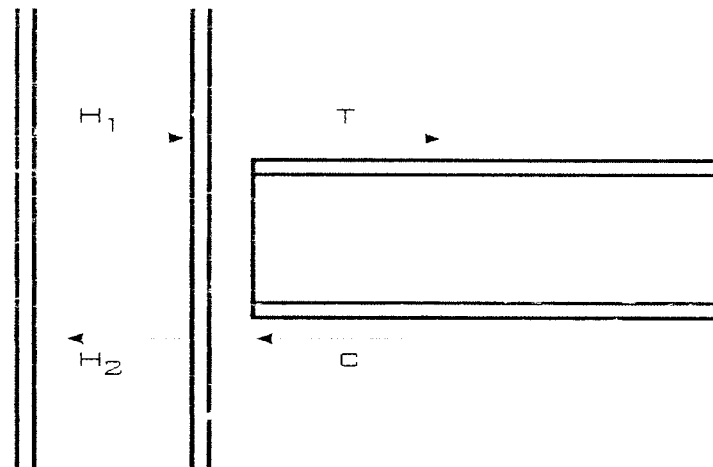
$$b. t_f_k = 2.72 \text{ in}$$

cek : bila $a < b$. → Tidak perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

$a > b$. → perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

→ Tidak perlu pengaku pada sayap kolom

* Check distribusi geser – momen terhadap badan kolom (*Gambar 5.17*)



Gambar 5.17 Distribusi geser dan momen balok terhadap kolom

$$V_b = 196.606 \text{ kips}$$

$$M_b = 19127.036 \text{ k-in}$$

$$H_1 = 134.877 \text{ kips}$$

$$H_2 = 134.877 \text{ kips}$$

momen yang diterima badan balok :

$$M_{bd} = \frac{I_b}{I_x} \cdot M = \frac{1/12 \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^3}{I_x}$$

$$= \frac{1/12 \cdot 0.96 \cdot (20.35 - 2 \cdot 1.75)^3}{3870} \times 19127.036 = 1891.587 \text{ k-in}$$

Momen yang diterima sayap balok :

$$M_{sy} = M - M_{hd} = 19127.036 - 1891.587 = 17235.448 \text{ k-in}$$

axial akibat momen pada sayap balok :

$$T = \frac{M_{sy}}{d} = \frac{17235.448}{20.35} = 846.951 \text{ kips}$$

$$a. H_1 + T_1 = 134.877 + 846.951 = 981.8278 \text{ kips}$$

$$b. V = 0.55 \cdot F_y \cdot t_w \cdot d_k = 0.55 \times 50 \times 1.52 \times 27.99 = 1169.982 \text{ kips}$$

cek : bila $a < b$. → Tidak perlu pengaku vertikal untuk badan kolom

a. > b. → perlu pengaku vertikal untuk badan kolom

→ Tidak perlu pengaku

Bila diperlukan pengaku maka langkah pendimensian pengaku adalah sebagai berikut :

* dimensi pengaku :

a. Pengaku horizontal Terhadap Tekan sayap balok pada badan kolom

$$A_{ph} = \frac{F_y \cdot A_f - F_y \cdot t_w \cdot (t_f + 5k)}{F_y}$$

Sambungan lasnya :

$$C = \frac{F_y \cdot A_f - F_y \cdot t_w \cdot (t_f + 5k)}{2}$$

$$a_{las} = \frac{C}{1.7 \cdot 0.3 \cdot F_u \cdot 0.707 \cdot L_{las}}$$

b. Pengaku horizontal Terhadap tarik sayap balok pada badan kolom

$$T = (H_1 + T_1) - (0.55 \cdot F_y \cdot t_w \cdot d_k)$$

$$A_{ph} = \frac{T}{F_{y_p}}$$

Sambungan lasnya :

$$a_{las} = \frac{T}{1.7 \cdot 0.3 \cdot F_u \cdot 0.707 \cdot L_{las}} \text{ in}^2$$

2. Sambungan sayap balok-sayap kolom

* Dipergunakan las *groove*

Panjang las = min (bf_{balok} ; bf_{kolom})

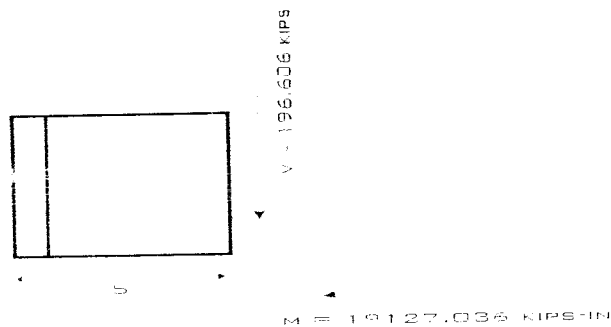
$$T = \frac{M_{sy}}{d} = 846.951 \text{ kips}$$

tebal las *groove* :

$$t_e = a = \frac{T}{bf_{\min} \cdot F_u} = \frac{846.951}{11.455 \cdot 1.7 \cdot 70} = 0.621 \text{ in}$$

dipakai $t_e = \frac{3}{4}$ in

3. Sambungan badan balok-sayap kolom



Gambar 5.18 Distribusi gaya pada sambungan

Gaya yang bekerja pada sambungan (Gambar 5.18) :

* sambungan badan balok - connection

- Dicoba dipakai *angel connection* 2L5x5x1/2

$$\text{panjang} = 15'' < (T) = 15 \frac{1}{2} \text{ in } \dots \text{Ok}$$

- Las fillet E70

Check geser connection

$$V = 0.55 \cdot F_y \cdot A_b = 0.55 \times 50 \times (2 \times 15 \times 0.5) = 412.5 > P_v = 196.606 \text{ kips } \dots \text{Oke}$$

* Sambungan las badan balok – connection

$$I_p = I_x + I_y$$

$$Y = 1/2 \cdot L_2 = 1/2 \cdot 15 = 7.5 \text{ in}$$

$$X = \frac{1 \cdot L_2 \cdot x_1 + 1 \cdot L_1 \cdot x_2 + 1 \cdot L_3 \cdot x_2}{L_1 + L_2 + L_3}$$

$$= \frac{1 \cdot 15 \cdot 5 + 1 \cdot 5 \cdot 2.5 + 1 \cdot 5 \cdot 2.5}{1 \cdot (15 + 5 + 5)} = 4 \text{ in}$$

$$I_x = 1/12 \cdot 1 \cdot L_2^3 + 1 \cdot L_2 \cdot y_1^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot L_1 \cdot 1^3 + L_1 \cdot 1 \cdot y_2^2)$$

$$= 1/12 \cdot 1 \cdot 15^3 + 1 \cdot 15 \cdot 0^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot 5 \cdot 1^3 + 5 \cdot 1 \cdot 7.5^2) = 844.583 \text{ in}^4$$

$$I_y = 1/12 \cdot L_2 \cdot 1^3 + 1 \cdot L_2 \cdot x_1^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot 1 \cdot L_1^3 + L_1 \cdot 1 \cdot x_2^2)$$

$$= 1/12 \cdot 15 \cdot 1^3 + 1 \cdot 15 \cdot (5 - 4)^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot 1 \cdot 5^3 + 5 \cdot 1 \cdot (4 - 0.5 \cdot 5)^2) = 59.583 \text{ in}^4$$

$$I_p = 2 \times (844.583 + 59.583) = 1808.326 \text{ in}^4$$

* Gaya geser yang bekerja :

$$V_1 = \frac{V}{L_{las}} = \frac{196.606}{2 \cdot (15 + 5 + 5)} = 3.932 \text{ kips}$$

$$V_2 = \frac{M_{bd} \cdot X}{I_p} = \frac{1891.587 \cdot 4}{1808.326} = 4.184 \text{ kips}$$

$$H_1 = \frac{M_{bd} \cdot Y}{I_p} = \frac{1891.587 \cdot 7.5}{1808.326} = 7.845 \text{ kips}$$

Kombinasi geser :

$$f_v = \sqrt{(V^2 + H^2)} = \sqrt{((3.932 + 4.184)^2 + 7.845^2)} = 11.287 \text{ kips}$$

tebal las :

$$a = \frac{f_v}{1.7 \cdot 0.3 \cdot F_u \cdot 0.707} = \frac{11.287}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707} = 0.447 \text{ in}$$

dipakai $a_{las} = \frac{1}{2}$ in

* Sambungan baut connection - sayap kolom

- dicoba Baut A_{325x} $\rightarrow \phi - 1''$ $A_{baut} = 0.785 \text{ in}^2$

$$F_t = 44 \text{ ksi} \quad F_v = 21 \text{ ksi}$$

- Baut mengalami geser dan tarik

$$F_t = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot f_v^2)}$$

- jarak : tepi-baut = 1.5ϕ s/d 3ϕ $\rightarrow 1.5''$ s/d $3''$

$$\text{baut - baut} = 2.5\phi \text{ s/d } 7\phi \rightarrow 2.5'' \text{ s/d } 7''$$

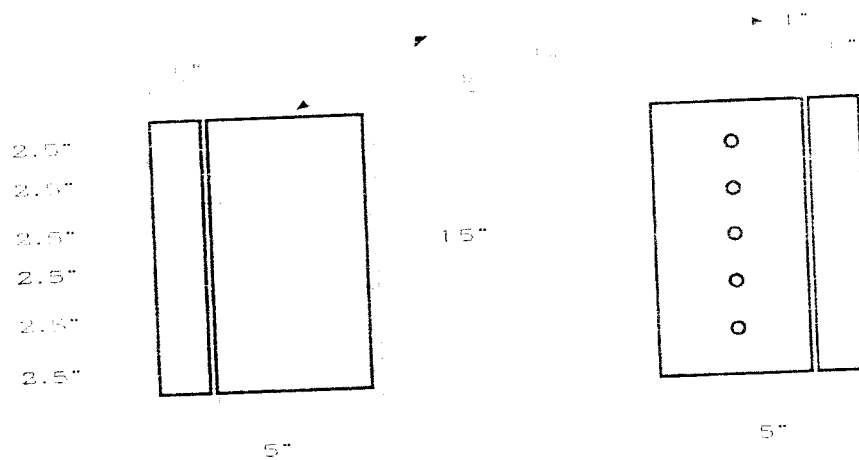
-Dicoba dipakai 5 baut $\phi - 1''$ (Gambar 5.19)

$$f_v = \frac{V}{2 \cdot n \cdot A_{baut}} = \frac{196.606}{2 \cdot 5 \cdot 0.785} = 25.045$$

$$F_t = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot f_v^2)} = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot 25.045^2)} = 41.202 \text{ kips}$$

$$T = \frac{M_{bd}}{L} = \frac{1891.587}{15} = 126.106 \text{ kips}$$

$$f_t = \frac{T}{n \cdot \phi_{baut}} = \frac{126.106}{5 \cdot 0.785} = 32.128 \text{ kips} < Ft = 41.202 \text{ kips} \dots \dots \text{Ok}$$

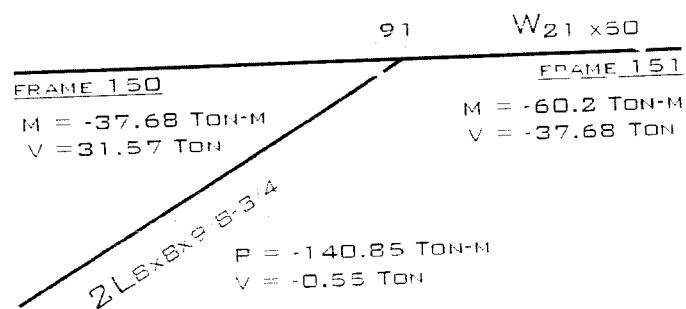


Gambar 5.19 Tampang sambungan dan pembautannya

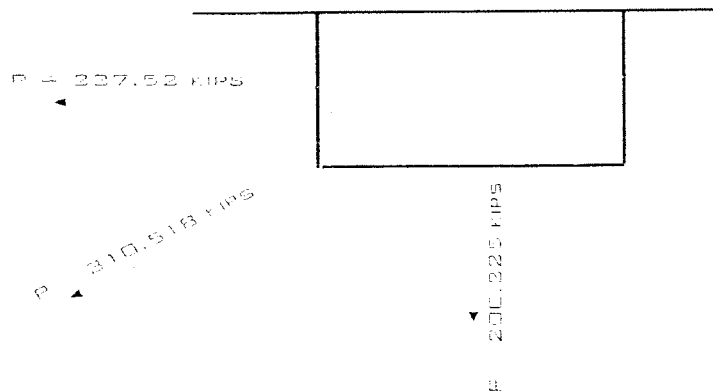
5.3.3 Sambungan balok - brace

Distribusi gaya pada joint 91 dapat di lihat pada gambar 5.20

- dipakai tebal plat = 3/4" → $F_y = 50 \text{ ksi}$



Gambar 5.20 Sambungan balok-brace dan gaya yang bekerja

1. Sambungan plat sayap- balok (*Gambar 5.21*)**Gambar 5.21** Gaya pada joint

Transfer gaya (*Gambar 5.21*) :

$$X = P \cdot \cos \alpha = 310.518 \cdot \cos 40.1 = 237.52 \text{ kips}$$

$$Y = P \cdot \sin \alpha = 310.518 \cdot \sin 40.1 = 200.225 \text{ kips}$$

$$V_1 = \frac{X}{L_{las}} = \frac{237.52}{20} = 11.876 \text{ kips}$$

$$H_1 = \frac{y}{L_{las}} = \frac{200.225}{20} = 10.112 \text{ kips}$$

Kombinasi geser :

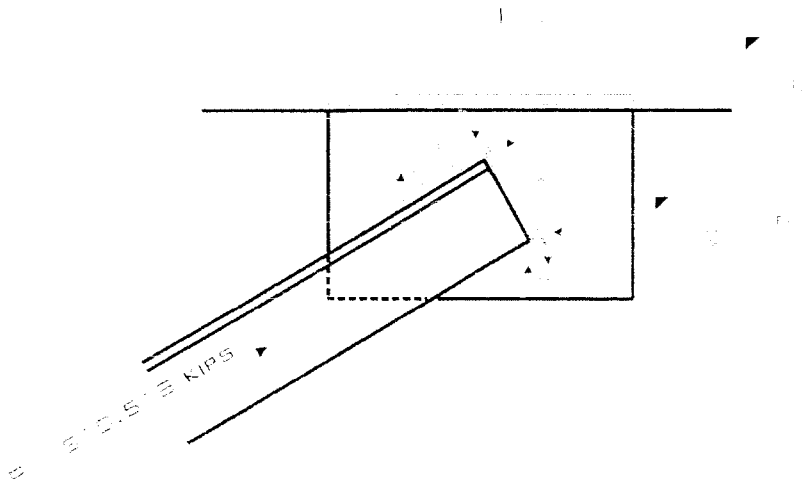
$$fv = \sqrt{(V^2 + H^2)} = \sqrt{(11.876^2 + 10.112^2)} = 15.598 \text{ kips}$$

tebal las *groove* :

$$a = \frac{fv}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu} = \frac{15.598}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70} = 0.437 \text{ in}$$

dipakai $a_{las} = \frac{1}{2}$ in (*Gambar 5.22*)

2. Sambungan plat –Brace (sambungan las sentris)



Gambar 5.22. Model brace dengan las sentris

Dicoba $a_{las} = 3/8''$ las *Fillet*

Panjang kebutuhan las :

$$L_{las} = \frac{P}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu \cdot 0.707 \cdot a_{las}} = \frac{310.518 / 2}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707 \cdot 3/8} = 16.403 \text{ in}$$

$$L_2 = 8 \text{ in}$$

$$L_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot y_2 + L_3 \cdot y_3 = L_{las} \cdot Y$$

$$L_1 \cdot 0 + L_2 \cdot (1/2 \cdot 8) + L_3 \cdot 8 = 16.403 \cdot 2.41$$

$$L_3 = 0.94 \text{ in} \approx 1.5 \text{ in}$$

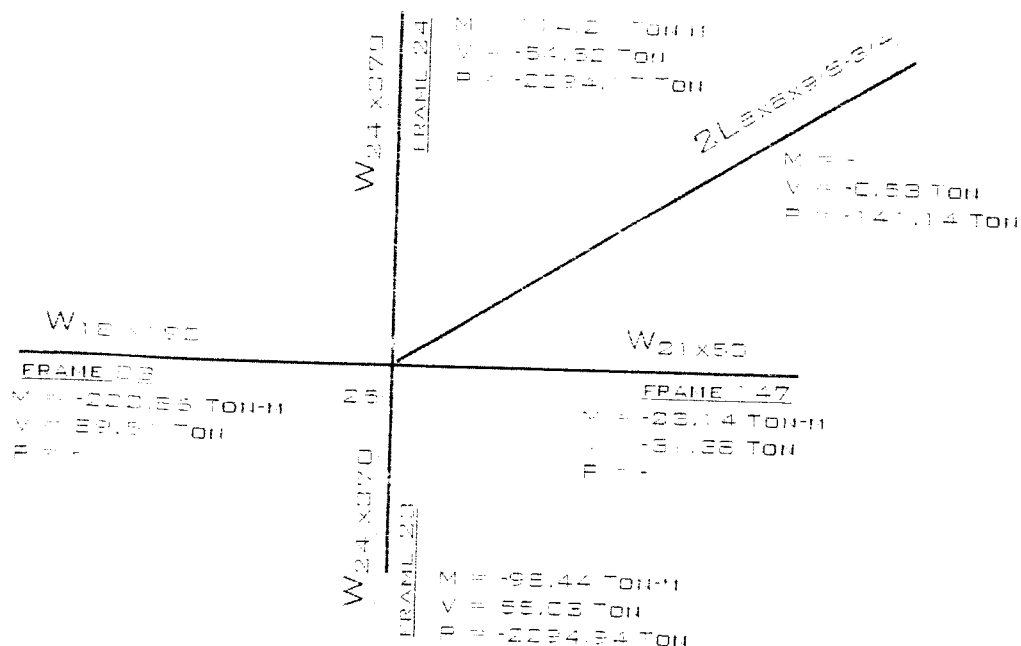
$$L_1 + L_2 + L_3 = L_{las}$$

$$1.5 + 8 + L_3 = 16.403$$

$$\rightarrow L_1 = 6.903 \approx 7.5 \text{ in} \text{ (Gambar 5.22)}$$

5.3.4 Sambungan Pertemuan Balok-Kolom-Brace

Besarnya gaya pada pertemuan balok-kolom-bracing dapat di lihat pada gambar 5.23



Gambar 5.23 Pertemuan sambungan

1. Kapasitas kolom

* Check distribusi tarik sayap balok terhadap badan kolom

a. Balok W_{18x192}

$$F_y b_1 \cdot A f_{b1} = 50 \times (11.455 \times 1.75) = 1002.312 \quad \checkmark$$

Balok W_{21x50}

$$F_y b_2 \cdot A f_{b2} = 50 \times (6.53 \times 0.535) = 174.677$$

Pilih yang terbesar

b. Kolom $W_{30 \times 581}$

$$F_y k \cdot t w_k \cdot (t f_k + 5k) = 50 \cdot 1.97 \cdot (3.54 + 5 \cdot 4 \frac{5}{16}) = 2472.59$$

cek : bila $a < b$. → Tidak perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

$a > b$. → perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

→ Tidak perlu pengaku badan kolom

* Check distribusi tekan sayap balok terhadap sayap kolom

a. Balok $W_{18 \times 192}$

$$0.4 \cdot \sqrt{A f_{b1} \cdot \frac{F y_{b1}}{F y_k}} = 0.4 \cdot \sqrt{20.046 \cdot \frac{50}{50}} = 1.791 \quad \checkmark$$

Balok $W_{21 \times 50}$

$$0.4 \cdot \sqrt{A f_{b2} \cdot \frac{F y_{b2}}{F y_k}} = 0.4 \cdot \sqrt{3.493 \cdot \frac{50}{50}} = 0.747$$

Pilih yang terbesar

b. $t f_k = 3.54$ in

cek : bila $a < b$. → Tidak perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

$a > b$. → perlu pengaku horizontal untuk badan kolom

→ Tidak perlu pengaku sayap kolom

* Check distribusi geser – momen terhadap badan kolom

a. Balok $W_{18 \times 192}$

momen yang diterima badan balok :

$$M_{bd} = \frac{I_b}{I_x} \cdot M = \frac{112 \cdot t w \cdot (d - 2t f)^3}{I_x} \cdot M$$

$$= \frac{1/12 \cdot 0.96 \cdot (20.35 - 2 \cdot 1.75)^3}{3870} \cdot 19343.15 = 1912.96 \text{ k-in}$$

Momen yang diterima sayap balok :

$$M_{sy} = M - M_{bd} = 19343.15 - 1912.96 = 17430.19 \text{ k-in}$$

axial akibat momen pada sayap balok :

$$T_1 = \frac{M_{sy}}{d} = \frac{17430.19}{20.35} = 856.52 \text{ kips}$$

b. Balok $W_{21 \times 59}$

momen yang diterima badan balok :

$$M_{bd} = \frac{I_b}{I_x} \cdot M = \frac{1/12 \cdot tw \cdot (d - 2tf)^3}{I_x} \\ = \frac{1/12 \cdot 0.38 \cdot (20.83 - 20.535)^3}{984} \cdot 2012.778 = 499.763 \text{ k-in}$$

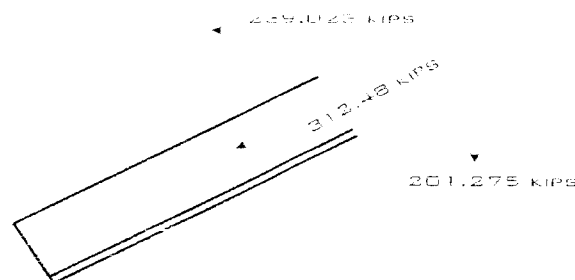
Momen yang diterima sayap balok :

$$M_{sy} = M - M_{bd} = 2012.778 - 499.763 = 1513.015 \text{ k-in}$$

axial akibat momen pada sayap balok :

$$T_2 = \frac{M_{sy}}{d} = \frac{1513.015}{20.83} = 72.63 \text{ kips}$$

c. Brace



Gambar 5.24 Transfer gaya pada bracing

Transfer gaya pada bracing (*Gambar 5.24*) :

$$V = \sin 40.1^\circ \cdot P = \sin 40.1^\circ \cdot 312.48 = 201.275 \text{ kips}$$

$$H = \cos 40.1^\circ \cdot P = \cos 40.1^\circ \cdot 312.48 = 239.022 \text{ kips}$$

* Check badan terhadap geser (*Gambar 5.25*)

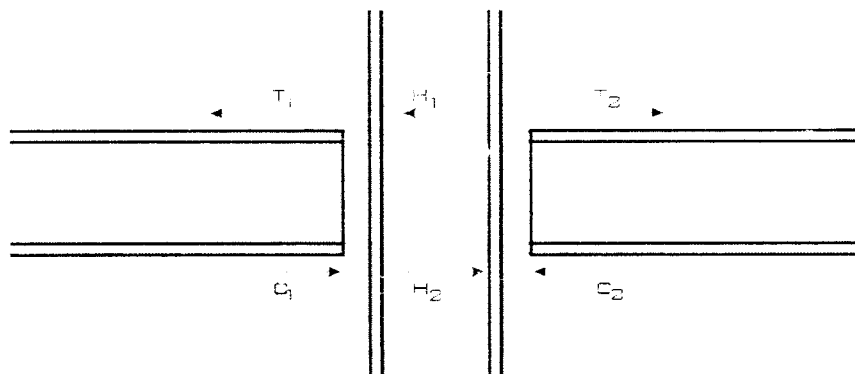
$$a. v = T_1 - T_2 + H_1 = 856.52 - 72.63 + 120.195 = 904.079 \text{ kips}$$

$$b. V = 0.55 \cdot F_y \cdot t_w \cdot d_k = 0.55 \times 50 \times 1.97 \times 35.39 = 1917.23 \text{ kips}$$

cek : bila $a. < b.$ → Tidak perlu pengaku vertikal untuk badan kolom

$a. > b.$ → perlu pengaku vertikal untuk badan kolom

→ Tidak perlu pengaku badan kolom



Gambar 5.25 Distribusi geser pada pertemuan balok-kolom

catatan : bila diperlukan pengaku pada kolom :

* dimensi pengaku

a. Pengaku horizontal Terhadap Tekan sayap balok pada badan kolom

$$A_{ph} = \frac{Fy_b \cdot Af_b - Fy_k \cdot tw_k \cdot (tf_k + 5k)}{Fy_p}$$

Sambungan lasnya :

$$C = \frac{Fy_b \cdot Af_b - Fy_k \cdot tw_k \cdot (tf_k + 5k)}{2}$$

$$a_{las} = \frac{C}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu \cdot 0.707 \cdot L_{las}}$$

b. Pengaku horizontal Terhadap tarik sayap balok pada badan kolom

$$T = (H_1 + T_1) - (0.55 \cdot Fy \cdot tw_k \cdot d_k)$$

$$A_{ph} = \frac{T}{Fy_p}$$

Sambungan lasnya :

$$a_{las} = \frac{T}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu \cdot 0.707 \cdot L_{las}}$$

2. Sambungan 1 :Balok-kolom

* Sambungan sayap balok-sayap kolom

* Dipergunakan las *groove*

Panjang las =min (bf_{balok} ; bf_{kolom})

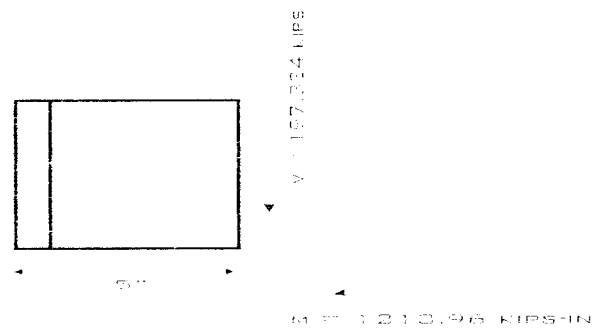
$$T = \frac{M_{sy}}{d} = 856.52 \text{ kips}$$

tebal las *groove* :

$$i_e = a = \frac{T}{bf_{min} \cdot 1.7 \cdot Fv} = \frac{856.52}{11.455 \cdot 1.7 \cdot 0.3 \cdot 70} = 2.093 \text{ in}$$

dipakai $t_e = 2 \frac{1}{4}$ in

* Samb. badan balok-sayap kolom



Gambar 5.26 Distribusi gaya pada sambungan

a. sambungan badan balok - connection

- Dicoba dipakai angel connection $2L5x5x1/2$

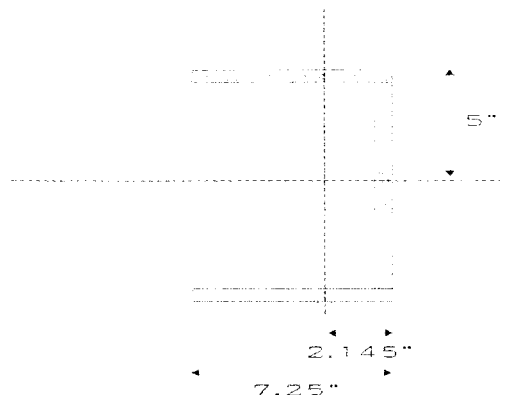
panjang = 15'' < $(T) = 15.5$ Ok

- Las fillet E70

Check sambungan geser (*Gambar 5.26*)

$$V = 0.55 \cdot F_y \cdot A_b = 0.55 \times 50 \times (2 \times 15 \times 0.5) = 412.5 > P_v = 197.334 \text{ kips} \dots \text{Ok}$$

* Sambungan las badan balok – connection (*Gambar 5.27*)



Gambar 5.27 Model las balok-connection

$$I_p = I_x + I_y$$

$$Y = 1/2 \cdot L_2 = 1/2 \cdot 15 = 7.5$$

$$X = \frac{1 \cdot L_2 \cdot x_1 + 1 \cdot L_1 \cdot x_2 + 1 \cdot L_3 \cdot x_2}{L_1 + L_2 + L_3}$$

$$= \frac{1 \cdot 15 \cdot 5 + 1 \cdot 5 \cdot 2.5 + 1 \cdot 5 \cdot 2.5}{1 \cdot (15 + 5 + 5)} = 4 \text{ in}$$

$$I_x = 1/12 \cdot 1 \cdot L_2^3 + 1 \cdot L_2 \cdot y_1^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot L_1 \cdot 1^3 + L_1 \cdot 1 \cdot y_2^2)$$

$$= 1/12 \cdot 1 \cdot 15^3 + 1 \cdot 15 \cdot 0^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot 5 \cdot 1^3 + 5 \cdot 1 \cdot 7.5^2) = 844.583 \text{ in}^4$$

$$I_y = 1/12 \cdot L_2 \cdot 1^3 + 1 \cdot L_2 \cdot x_1^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot 1 \cdot L_1^3 + L_1 \cdot 1 \cdot x_2^2)$$

$$= 1/12 \cdot 15 \cdot 1^3 + 1 \cdot 15 \cdot (5 - 4)^2 + 2 \cdot (1/12 \cdot 1 \cdot 5^3 + 5 \cdot 1 \cdot (4 - 0.5 \cdot 5)^2) = 59.583 \text{ in}^4$$

$$I_p = 2 \times (844.583 + 59.583) = 1808.326 \text{ in}^4$$

* Gaya geser yang bekerja :

$$V_1 = \frac{V}{L_{tas}} = \frac{197.334}{2 \cdot (15 + 5 + 5)} = 3.946 \text{ kips}$$

$$V_2 = \frac{M_{bd} \cdot X}{I_p} = \frac{1912.96 \cdot 4}{1808.326} = 4.184 \text{ kips}$$

$$H_1 = \frac{M_{bd} \cdot Y}{I_p} = \frac{1912.96 \cdot 7.5}{1808.326} = 7.933 \text{ kips}$$

Kombinasi geser :

$$f_v = \sqrt{(V^2 + H^2)} = \sqrt{((3.946 + 4.184)^2 + 7.933^2)} = 11.359 \text{ kips}$$

tebal las :

$$a = \frac{f_v}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu \cdot 0.707} = \frac{11.359}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707} = 0.45 \text{ in}$$

dipakai $a_{las} = \frac{1}{2}$ in

b. Sambungan baut connection - sayap kolom

- dicoba Baut A_{325} $\rightarrow \phi = 1''$ $A_{baut} = 0.785 \text{ in}^2$

$$F_t = 44 \text{ ksi}$$

$$F_v = 21 \text{ ksi}$$

- Baut mengalami geser dan tarik

$$F_t = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot f_v^2)}$$

- jarak : tepi-baut = 1.5ϕ s/d 3ϕ $\rightarrow 1.5''$ s/d $3''$

baut – baut = 2.5ϕ s/d 7ϕ $\rightarrow 2.5''$ s/d $7''$

$$f_v = \frac{V}{2 \cdot n \cdot A_{baut}} = \frac{197.334}{2 \cdot 5 \cdot 0.785} = 25.138 \text{ k/in}^2$$

$$F_t = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot f_v^2)} = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot 25.138^2)} = 40.848 \text{ kips}$$

$$T = \frac{M_{bd}}{L} = \frac{1912.96}{15} = 127.53 \text{ kpis}$$

$$f_t = \frac{T}{n \cdot \phi_{baut}} = \frac{127.53}{5 \cdot 0.785} = 32.492 \text{ kips} < F_t = 41.202 \text{ kips} \dots \dots \text{Ok}$$

3. Sambungan 2 : Balok-kolom

* Sambungan sayap balok-sayap kolom

* Dipergunakan las groove

Panjang las = $\min(bf_{balok}; bf_{kolom})$

$$T = \frac{M_{sy}}{d} = \frac{1513.015}{20.83} = 72.636 \text{ kips}$$

tebal las *groove*

$$t_e = a = \frac{T^1}{bf_{\min} \cdot 1.7F_v} = \frac{72.636}{6.53 \cdot 1.7 \cdot 0.3 \cdot 70} = 0.311 \text{ in}$$

dipakai $t_e = \frac{1}{2}$ in

* Samb. badan balok-sayap kolom

a. samb badan balok - conection

- Dicoba dipakai *angel conection* 2L3x3x1/2

panjang = 10'' < T = 18.25 Ok

- Las *fillet* E70

Check geser conection :

$$V = 0.55 \cdot F_y \cdot Ab = 0.55 \times 50 \times (2 \times 10 \times 0.5) = 275 > P_v = 69 \text{ kips} \quad \text{Ok}$$

* Sambungan las badan balok – conection

$$I_p = I_x + I_y$$

$$Y = \frac{1}{2} \cdot L_2 = \frac{1}{2} \cdot 10 = 5$$

$$X = \frac{1 \cdot L_2 \cdot x_1 + 1 \cdot L_1 \cdot x_2 + 1 \cdot L_3 \cdot x_2}{L_1 + L_2 + L_3}$$

$$= \frac{1 \cdot 10 \cdot 3 + 1 \cdot 3 \cdot 1.5 + 1 \cdot 3 \cdot 1.5}{1 \cdot (10 + 3 + 3)} = 2.437 \text{ in}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot L_2^3 + 1 \cdot L_2 \cdot y_1^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot L_1 \cdot 1^3 + L_1 \cdot 1 \cdot y_2^2 \right)$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10 \cdot 0^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 1^3 + 3 \cdot 1 \cdot 5^2 \right) = 106.33 \text{ in}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot L_2 \cdot 1^3 + 1 \cdot L_2 \cdot x_1^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 1 \cdot L_1^3 + L_1 \cdot 1 \cdot x_2^2 \right)$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 1^3 + 1 \cdot 10 \cdot (3 - 2.437)^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 3^3 + 3 \cdot 1 \cdot (2.437 - 0.5 \cdot 3)^2 \right)$$

$$= 13.77 \text{ in}^4$$

$$I_p = 2 \times (106.33 + 13.77) = 240.2 \text{ in}^4$$

* Gaya geser yang bekerja :

$$V_1 = \frac{V}{L_{las}} = \frac{69.18}{2 \cdot (10 + 3 + 3)} = 2.162 \text{ kips}$$

$$V_2 = \frac{M_{bd} \cdot X}{I_p} = \frac{499.763 \cdot 2.437}{240.2} = 5.07 \text{ kips}$$

$$H_1 = \frac{M_{bd} \cdot Y}{I_p} = \frac{499.763 \cdot 5}{240.2} = 10.403 \text{ kips}$$

Kombinasi geser :

$$f_v = \sqrt{(V^2 + H^2)} = \sqrt{((2.162 + 5.07)^2 + 10.403^2)} = 12.669 \text{ kips}$$

tebal las :

$$a = \frac{f_v}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu \cdot 0.707} = \frac{12.669}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707} = 0.502 \text{ in}$$

dipakai $a_{las} = \frac{3}{4} \text{ in}$

b. Sambungan baut connection - sayap kolom

- dicoba Baut A_{325x} $\rightarrow \phi - 1''$ $A_{baut} = 0.785 \text{ in}^2$

$$F_t = 44 \text{ ksi}$$

$$F_v = 21 \text{ ksi}$$

- Baut mengalami geser dan tarik

$$F_t = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot f_v^2)}$$

- jarak : tepi-baut = 1.5ϕ s/d 3ϕ $\rightarrow 1.5''$ s/d $3''$

$$\text{baut} - \text{baut} = 2.5\phi \text{ s/d } 7\phi \rightarrow 2.5'' \text{ s/d } 7''$$

Dicoba 3 baut

$$fv = \frac{V}{2 \cdot n \cdot A_{baut}} = \frac{69.18}{2 \cdot 3 \cdot 0.785} = 14.687 \text{ k/in}^2$$

$$Ft = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot fv^2)} = 1.7 \cdot \sqrt{(44^2 - 2.15 \cdot 14.687^2)} = 65.228 \text{ kips}$$

$$T = \frac{M_{bd}}{L} = \frac{499.763}{10} = 49.976 \text{ kips}$$

$$ft = \frac{T}{n \cdot \phi_{baut}} = \frac{49.976}{3 \cdot 0.785} = 21.221 \text{ kips} < Ft = 65.228 \text{ kips} \dots \dots \text{Ok}$$

4. Sambungan Plat-Sayap balok/kolom

- dipakai tebal plat = 3/4 '' $\rightarrow Fy=50$ ksi

*. Sambungan plat -sayap balok/kolom

Transfer gaya :

$$X = P \cdot \cos \alpha = 312.48 \cdot \cos 40.1 = 239.022 \text{ kips}$$

$$Y = P \cdot \sin \alpha = 310.518 \cdot \sin 40.1 = 201.275 \text{ kips}$$

$$V_1 = \frac{X}{L_{las}} = \frac{239.022}{20 + 20} = 5.975 \text{ kips}$$

$$H_1 = \frac{y}{L_{las}} = \frac{201.275}{20 + 20} = 5.032 \text{ kips}$$

Kombinasi geser

$$fv = \sqrt{(V^2 + H^2)} = \sqrt{(5.975^2 + 5.032^2)} = 7.811 \text{ kips}$$

tebal las *Fillet* :

$$a = \frac{fv}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu} = \frac{7.811}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707} = 0.309 \text{ in}$$

dipakai $a_{las} = \frac{3}{8}$ in

b. Sambungan plat –Brace (sambungan las sentris)

Dicoba $a_{las} = 3/8$ '' las *Fillet*

Panjang kebutuhan las :

$$L_{las} = \frac{P}{1.7 \cdot 0.3 \cdot Fu \cdot 0.707 \cdot a_{las}} = \frac{312.48 \cdot 2}{1.7 \cdot 0.3 \cdot 70 \cdot 0.707 \cdot 3/8} = 16.507 \text{ in}$$

$$L_2 = 8 \text{ in}$$

$$L_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot y_2 + L_3 \cdot y_3 = L_{las} \cdot Y$$

$$L_1 \cdot 0 + L_2 \cdot (1/2 \cdot 8) + L_3 \cdot 8 = 16.507 \cdot 2.41$$

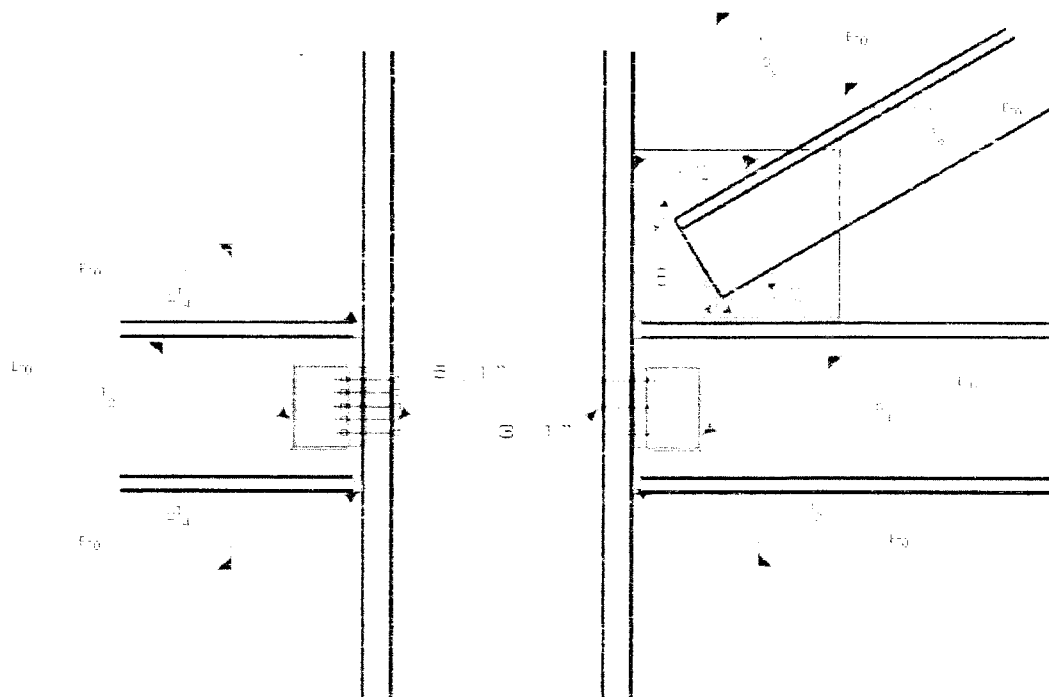
$$L_3 = 0.972 \text{ in} \approx 1.5 \text{ in}$$

$$L_1 + L_2 + L_3 = L_{las}$$

$$1.5 + 8 + L_3 = 16.507$$

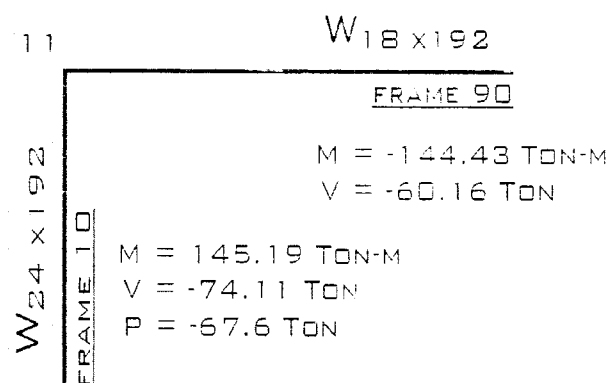
$$\rightarrow L_1 = 7.007 \approx 7.5 \text{ in}$$

Pemakaian las dan baut pada sambungan balok-kolom-bracing dapat dilihat pada gambar 5.28



Gambar 5.28 Sambungan Pertemuan Balok-Kolom-Brace

5.3.5 Sambungan Sudut - lurus (Gambar 5.29)



Gambar 5.29 Distribusi gaya pada joint 11

Balok $W_{18 \times 192}$

$$\begin{aligned}
 A &= 56.4 \text{ in}^2 & I_x &= 3870 \text{ in}^4 & r_x &= 8.28 \text{ in} \\
 d &= 20.35 \text{ in} & I_y &= 440 \text{ in}^4 & r_y &= 2.79 \text{ in} \\
 tw &= 0.96 \text{ in} & S_x &= 380 \text{ in}^3 & Z_x &= 442 \text{ in}^3 \\
 bf &= 11.455 \text{ in} & S_y &= 76.8 \text{ in}^3 & Z_y &= 119 \text{ in}^3 \\
 tf &= 1.75 \text{ in} & K &= 2 \frac{7}{16} \text{ in} & K_t &= 15/16 \text{ in} & T &= 15 \frac{1}{2} \text{ in}
 \end{aligned}$$

Kolom $W_{24 \times 192}$

$$\begin{aligned}
 A &= 56.3 \text{ in}^2 & I_x &= 6260 \text{ in}^4 & r_x &= 10.5 \text{ in} \\
 d &= 25.47 \text{ in} & I_y &= 530 \text{ in}^4 & r_y &= 3.07 \text{ in} \\
 tw &= 0.81 \text{ in} & S_x &= 491 \text{ in}^3 & Z_x &= 559 \text{ in}^3 \\
 bf &= 12.95 \text{ in} & S_y &= 81.8 \text{ in}^3 & Z_y &= 126 \text{ in}^3 \\
 tf &= 1.46 \text{ in} & K &= 2 \frac{1}{4} \text{ in} & K_t &= 1 \text{ in} & T &= 21 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Pada plat terdapat kuat geser sebesar :

$$\begin{aligned}
 Tw &= \tau_y \cdot tw \cdot dk & \tau_y &= \frac{F_y}{\sqrt{3}} = 0.57 F_y \approx 0.55 F_y \\
 &= 0.55 \cdot 50 \cdot 0.81 \cdot 25.47 = 567.344
 \end{aligned}$$

Gaya geser yang bekerja (Gambar 5.28) :

$$T = \frac{M}{d_b} \frac{12535.816}{25.47} = 497.179 \text{ kips}$$

$Tw > T$ Tidak perlu pengaku diagonal

$$tw_{perlu} = \frac{M}{0.55 \cdot F_y \cdot d_b \cdot d_k} = \frac{12535.816}{0.55 \cdot 50 \cdot 20.35 \cdot 25.47} = 0.879 \text{ in} < tw_{kolom}$$

$tw_{perlu} < tw_{kolom}$ Tidak perlu pengaku diagonal

catatan :

Bila $t_w \text{ perlu} > t_w \text{ kolom}$ maka perlu pengaku diagonal badan kolom

$$\theta = \text{tg}^{-1} \cdot \left(\frac{d_b}{d_k} \right)$$

$$A_{s_{plat}} = \frac{1}{\text{Cos} \theta} \cdot \left(\frac{M}{F_y \cdot d_b} - \frac{t_w \cdot d_k}{0.55} \right)$$

5.3.6 Sambungan perpanjangan kolom.

Kolom atas = $W_{24 \times 192}$

Kolom bawah = $W_{24 \times 1370}$

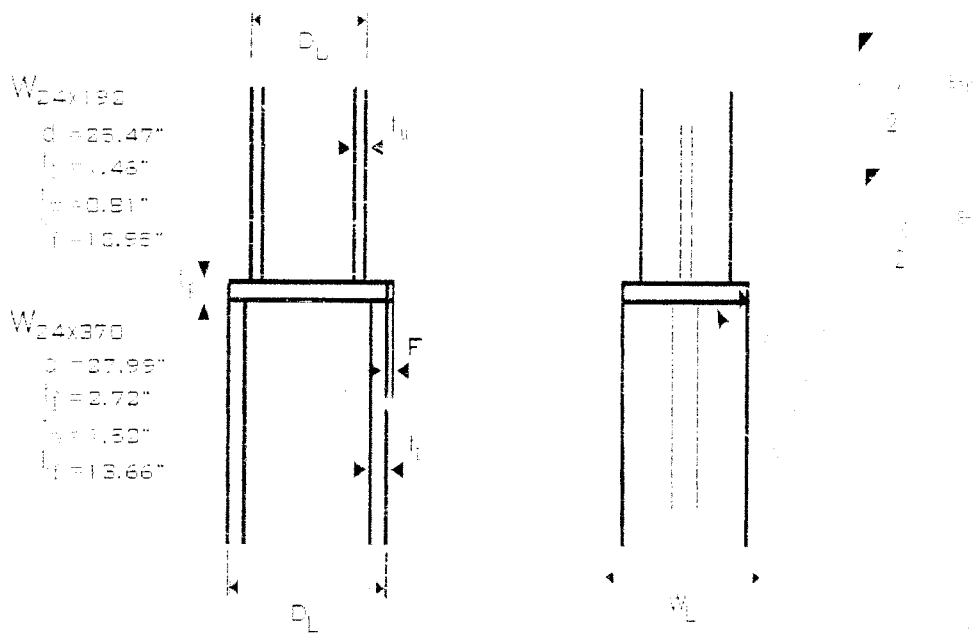
Tebal pelat t_p untuk profil W_8 s/d W_{10} adalah $1\frac{1}{2}$ " dan selain profil tersebut, dipakai tebal pelat 2" dan dimensi pelat $\geq W_L$ dan D_L . Karena menggunakan profil W_{24} , maka dipakai $t_p = 2$ " dan dimensi pelat 27.99" x 13.66" (Gambar 5.30).

Las pelat bagian atas, mengikuti t_f profil $W_{24 \times 192}$ atau tp .

Dipakai tebal las sesuai $tp = 2$ "

Las pelat bagian bawah, mengikuti t_f profil $W_{24 \times 370}$ atau tp . Dan jika plat melebihi D_L , maka tambahkan pelat setebal F (lihat tabel D-7 AISC).

Dipakai tebal las sesuai $tp = 2$ "



Gambar 5.30 Sambungan perpanjangan kolom I

BAB VI

PEMBAHASAN

Pembahasan merupakan ulasan singkat dari penelitian, yang menguraikan hasil desain serta analisa struktur yang meliputi simpangan, gaya-gaya yang bekerja pada *link*, balok, bracing, dan kolom.

6.1 Umum

Perhitungan dan desain suatu struktur dapat dilakukan dengan berbagai macam cara dan metode, dalam laporan tugas akhir ini dipergunakan metode plastis yang mengacu kepada American Institute Of Steel Construction (AISC)-ninth edition dan peraturan Uniform Building Code (UBC) 1997.

Desain dilakukan dalam dua tahap. Tahap awal dilakukan secara manual dengan hanya menggunakan pembebanan gravitasi dengan faktor beban 1.7, kemudian hasil design awal berupa profil dipergunakan sebagai standart awal profil yang akan dipergunakan pada design akhir dengan penggunaan faktor beban 1.7 untuk beban tetap, serta 1.3 untuk kombinasi beban tetap ditambah beban sementara (angin atau gempa).

Dasar penggunaan metode plastis dalam pendesainan ini adalah guna tercapainya keadaan yang seimbang antara daktilitas struktur serta daktilitas dari bahan (baja) yang dipergunakan, kemudian dikontrol agar dapat memenuhi

peraturan yang memenuhi kelakuan elastis pada beban kerja, yang dapat menjamin fungsi dari portal untuk memancarkan energi melalui sifat daktil dari link dan menjamin tidak terjadinya buckling pada kolom.

Sedangkan prinsip dasar dari desain bracing tipe K dengan eksentrisitas (EBF) adalah agar dapat menghasilkan suatu serapan energi akibat gaya-gaya lateral yang terjadi, serta dapat mengurangi dan membatasi simpangan horizontal suatu struktur sehingga menghasilkan kekakuan struktur yang menjamin syarat control terhadap drift.

Desain pada EBF didasarkan pada active shear links, yaitu mendesain link pada balok sehingga mencapai batas kekuatan gesernya, dikarenakan shear link memancarkan energi lebih efektif dari pada active moment link, walaupun dalam portal, shear link dituntut daktilitas yang lebih besar dari pada moment link (percobaan popov 1983).

6.2 Design

Desain awal dilakukan untuk menentukan profil struktur yang akan dipergunakan dan direncanakan .

Tahapan dalam desain awal yaitu menentukan konfigurasi struktur, bahan serta beban-beban yang mungkin bekerja, massa dan pusat massa itu sendiri guna sebagai mass dalam pembebanan gempa (respon spectrum). Kemudian menentukan profil balok anak pada portal, menentukan dimensi balok induk dengan menggunakan analisis dan design plastis.

Guna menjamin keefisienan pendimensian balok, maka diberikan batasan panjang maksimum dari link, yaitu $e = 1.6 M_s / V_s$, dimana $M_s = F_y \cdot Z_x$ dan

$V_s = 0.55 \cdot F_y \cdot d \cdot tw$. Kemudian kolom didesain dengan menggunakan momen kapasitas dari balok link dan desain awal bracing berdasarkan $1.25 \times$ kuat geser dari balok link yang bersangkutan.

Pada tahapan desain akhir dipakai profil yang didapat pada desain awal. Sebagai asumsi awal dalam menentukan besaran gaya serta simpangan yang dihasilkan digunakan program (SAP 2000). Hasil output tersebut digunakan sebagai dasar pendesainan akhir profil dari portal yang ditinjau. Tahapan awal dari design akhir ini adalah meninjau simpangan elastis yang terjadi dengan pembatasan maksimal simpangan antar tingkat 2 cm atau 0.05% dari tinggi total struktur. Kemudian berdasarkan UBC 1997 diberikan batasan untuk geser pada badan link yaitu $0.8 V_s$ guna menjamin kemampuan kuat geser yang mungkin bekerja pada pendesigan link. Tahap selanjutnya dilakukan untuk menentukan profil balok link yang di cek dengan batasan $bf/2tf$ dan d/tw guna mencegah lokal buckling dan torsional lateral bukling yang mungkin terjadi pada balok link.

Demi menjamin kekuatan elemen diluar link, maka perlu diberi batasan dengan faktor strength dari link $\phi = V_s / V_{link} > 1/0.9$, sebagai faktor pengali kekuatan element diluar link terhadap sendi-sendi plastis yang mungkin terbentuk dan mencegah terjadinya keruntuhan total pada struktur secara global.

Setelah ditetapkan panjang link, maka harus di cek terhadap metode desain yang dipakai (shear link atau moment link). Dengan batasan $e = 1.6 M_s / V_s$ (shear link) pada link, maka gaya geser dijadikan batasan duktilitas struktur dengan memperhitungkan juga kemampuan sayap profil dalam menahan lentur (momen)

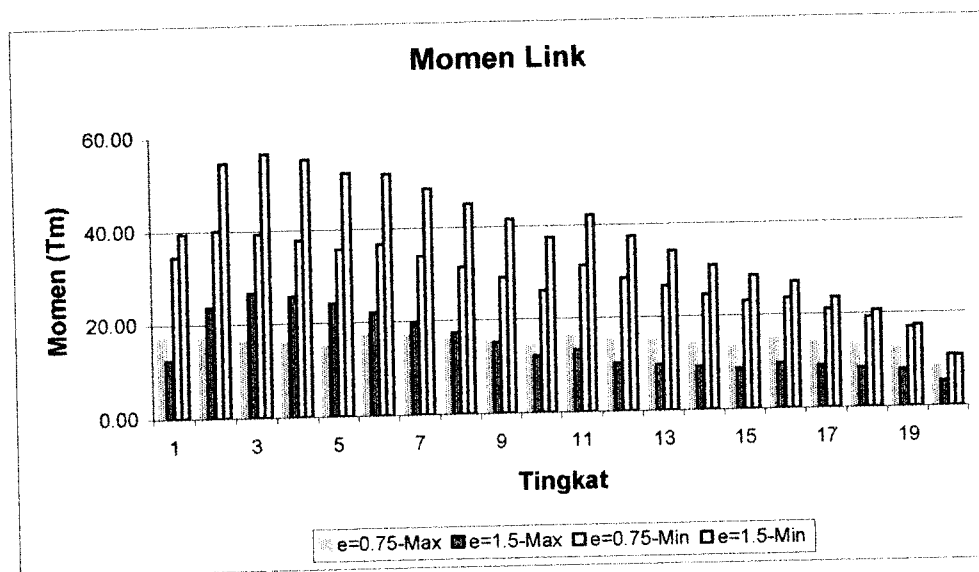
dan axial yang terjadi, dengan persamaan $\frac{P}{2A_f} + \frac{M}{Z_f} \leq F_y$, sehingga dapat dipastikan sayap mampu menahan lentur dan axial sebelum badan mengalami kerusakan akibat geser.

Daktilitas struktur pada EBF memerlukan perilaku inelastis deformation yang menyebabkan rotasi pada link (θ). Rotasi pada link harus dibatasi sesuai persyaratan yang ada (UBC 1997-2211.4) agar tidak menimbulkan kerusakan pada lantai struktur, serta dapat dipergunakan sebagai batasan minimal panjang link yang dibutuhkan ($e_{\min} = \frac{\Delta}{h} \cdot \frac{L}{\theta_{\max}} < e_{rencana}$).

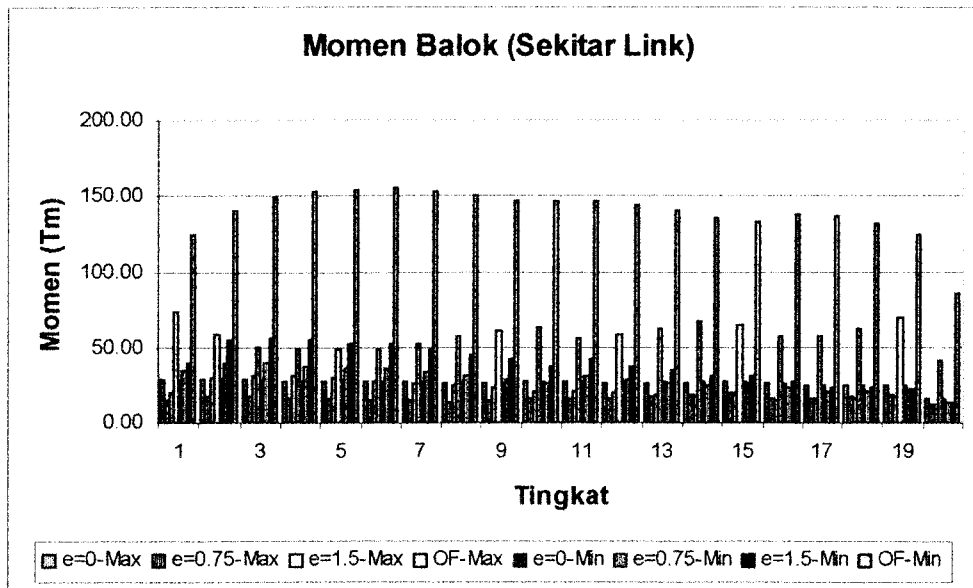
Setelah kapasitas dari link di cek, maka dapat dirancang kekuatan dari balok, dengan kombinasi beban yang bekerja dan berdasarkan faktor dari kuat link yang telah ditetapkan. Pengaku dipasang pada balok sepanjang L_{CR} guna mencegah lokal - torsional buckling pada balok dan menjamin fungsi dari EBF dapat bekerja. Pemasangan pengaku pada link (UBC 1997-2211.4) dilakukan untuk meningkatkan kapasitas geser link dalam mencapai duktilitas struktur yang dikehendaki.

Setelah balok link ditetapkan, maka dilakukan desain bracing dan kolom berdasarkan kombinasi beban yang ada atau berdasarkan $1.25 \times$ kuat geser pada link. Dan guna mencapai kapasitas inelastik dari link, maka dipakai sambungan kaku pada joint, dan dirancang agar kuat sambungan $>$ beban yang bekerja (design kapasitas).

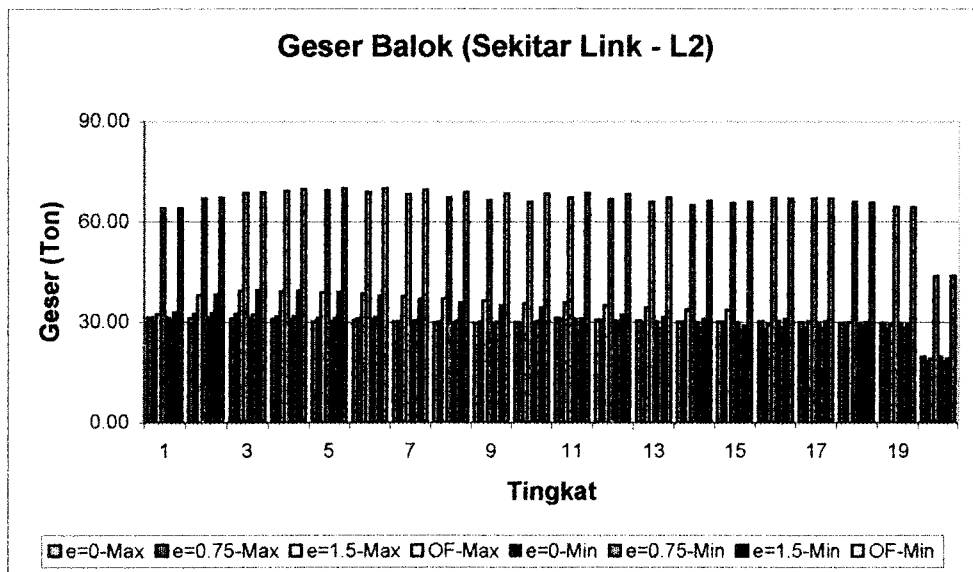
Pada tingkat ke-2 dari portal, terjadi peningkatan momen dan geser pada link, diakibatkan oleh transfer gaya yang dihasilkan bracing pada kolom dan bracing yang lain melalui link, sedangkan pembesaran momen dan geser pada tingkat ke-11 dan 16 kemungkinan dihasilkan akibat adanya ketidak simetrisan struktur, yang menyebabkan terjadinya pembesaran momen dan geser pada transfer gaya pada link (Gambar 6.2 dan 6.3).



Gambar 6.2 Grafik momen pada link



Gambar 6.4 Grafik momen balok sekitar link



Gambar 6.5 Grafik geser balok sekitar link

6.3 Analisis struktur

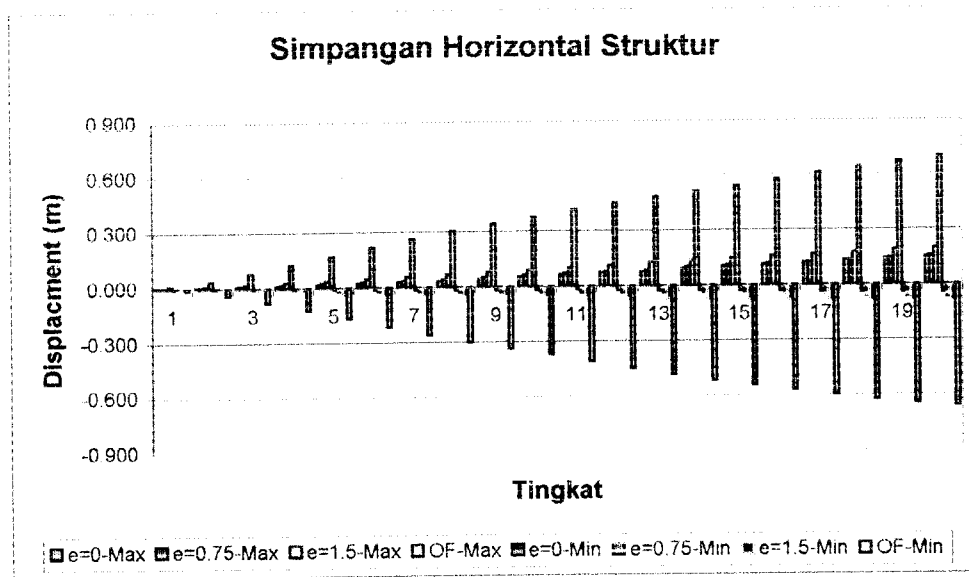
6.3.1. Simpangan struktur

Pada portal tanpa bracing (open frame), terjadi simpangan arah horizontal (drift) yang sangat besar (struktur sangat flexible), sehingga tidak memenuhi syarat drift control ($\Delta L > 0.05\%$ atau 2 cm antar tingkat), dan menuntut kekakuan struktur yang sangat besar pula, ini terjadi dikarenakan kekakuan struktur termasuk portal bergoyang.

Sedangkan pada portal dengan bracing kosentris (CBF $\rightarrow e=0$) struktur sudah sangat kaku dan memiliki simpangan (drift) yang terkecil, tetapi struktur hanya memiliki kemampuan memancarkan energi yang terbatas. (dari tabel gaya balok-kolom portal 1-3 akan tampak gaya-gaya pada $e=0$ lebih besar dari $e=0.75$)

Pada struktur dengan bracing eksentris (EBF $\rightarrow e>0$), struktur memiliki kekakuan yang cukup tinggi dibandingkan dengan portal tanpa bracing. sehingga simpangan horizontal struktur dapat dibatasi pada analisis elastis, memenuhi syarat drift control, dan memiliki daktilitas yang baik, sehingga dapat mengimbangi daktilitas dari bahan yang tersedia

Simpangan relative yang terjadi antara $e=0.75$ dan $e=1.5$ sangatlah kecil perbedaannya dan masih sama-sama memenuhi syarat drift control (*Gambar 6.1*).



Gambar 6.1 Grafik simpangan horizontal struktur

6.3.2 Link

Momen dan geser yang terjadi pada *link* menentukan dalam desain EBF, apakah portal itu dirancang terhadap sendi plastis geser (*Plastic Shear Hinge*) atau sendi plastis moment (*Plastic moment Hinge*).

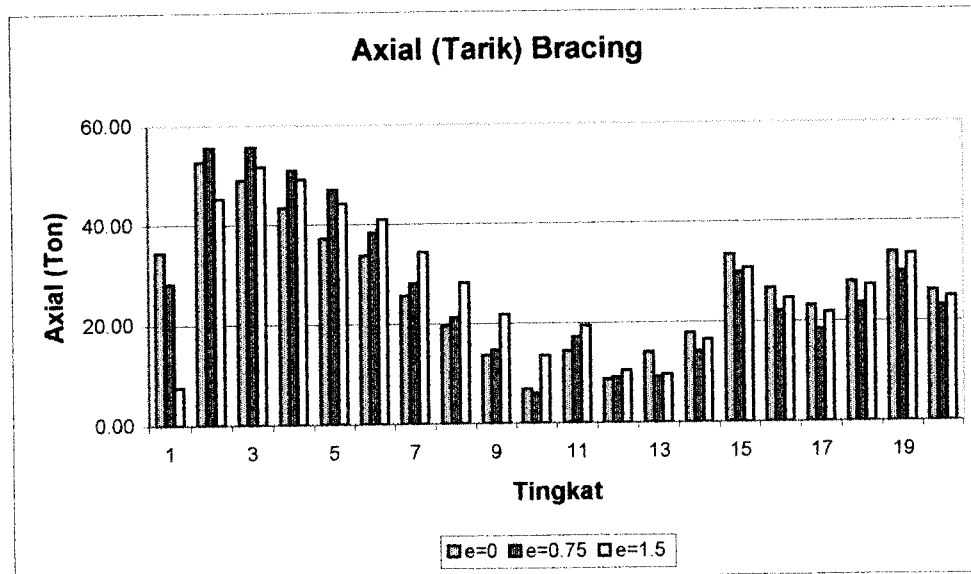
Momen yang terjadi pada *link* $e=0.75$ m ($e < 1.6 M_s / V_s$) lebih kecil dibandingkan dengan momen yang terjadi pada *link* $e=1.5$ m ($1.6 M_s / V_s < e < 2.6 M_s / V_s$), tetapi memiliki gaya geser yang lebih besar dibandingkan dengan $e=1.5$ m, sehingga pada portal dengan $e=0.75$ harus di rencanakan terhadap *link* dengan kerusakan yang dihasilkan oleh geser (*active shear link*), sedangkan pada $e=1.5$ m EBF harus direncanakan dengan kerusakan yang dihasilkan oleh momen (*active moment link*).

6.3.4 Bracing

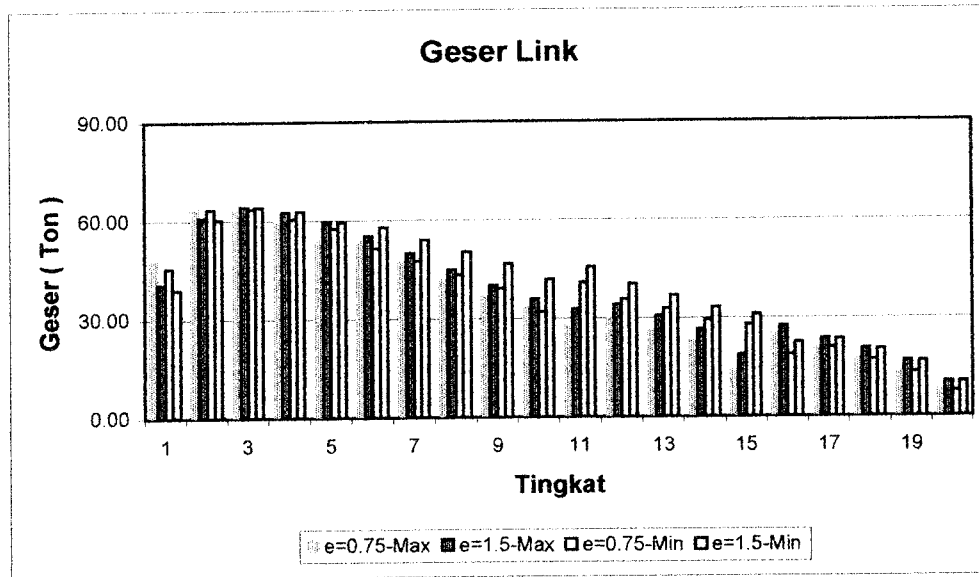
Gaya tarik pada bracing pada tingkat ke-11 dan 16 terjadi sedikit peningkatan diakibatkan oleh ketidak-simetrisan struktur yang menyebabkan loncatan bidang muka pada struktur tingkat tersebut, dan peningkatan distribusi gaya pada bracing (*Gambar 6.6*).

Sedangkan pada tingkat ke-2 terjadi axial yang besar diakibatkan karena pada dukungan struktur diasumsikan jepit sehingga struktur mengalami peningkatan gaya axial yang besar pada tingkat ke-2 dibandingkan pada tingkat ke-1.

Gaya desak yang terjadi sangat dominan pada bracing dibandingkan gaya tarik yang dihasilkan, sehingga pada desain bracing dipakai desain terhadap desak (*Gambar 6.7*).



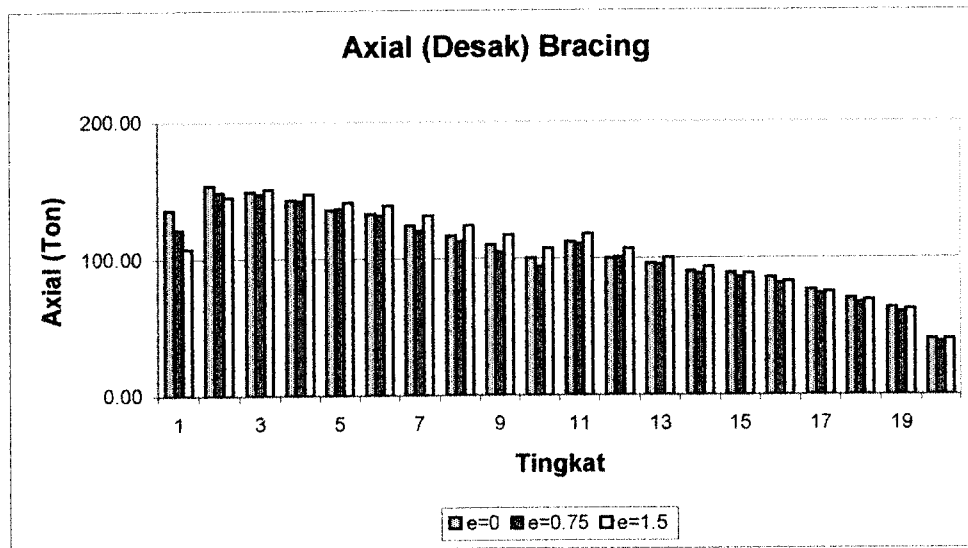
Gambar 6.6 Grafik aksial tarik pada bracing



Gambar 6.3 Grafik geser pada link

6.3.3 Balok (bentang L2)

Momen yang terjadi pada portal open frame relative lebih besar di bandingkan pada portal dengan menggunakan bracing, ini disebabkan pada portal EBF terjadi pemancaran energi pada link, sedangkan pada portal open frame tidak (*Gambar 6.4*). Momen yang dihasilkan pada portal yang menggunakan bracing relative sama besar pada balok link dan geser pada balok diluar link, dan pada $e=1.5$ sedikit terjadi pembesaran moment dan geser dibandingkan dengan portal $e=0.75$ atau $e=0$ (*Gambar 6.5*).

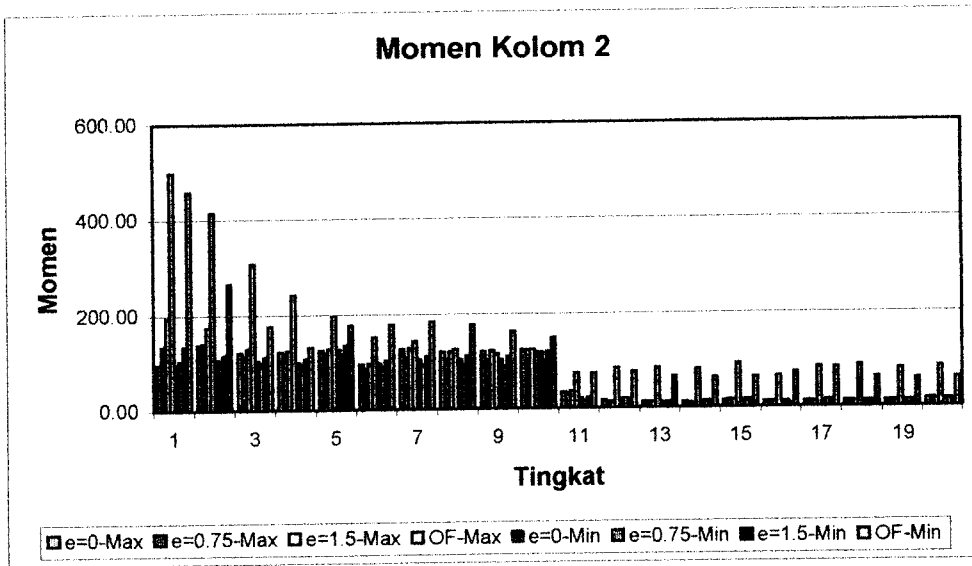


Gambar 6.7 Grafik aksial-desak pada bracing

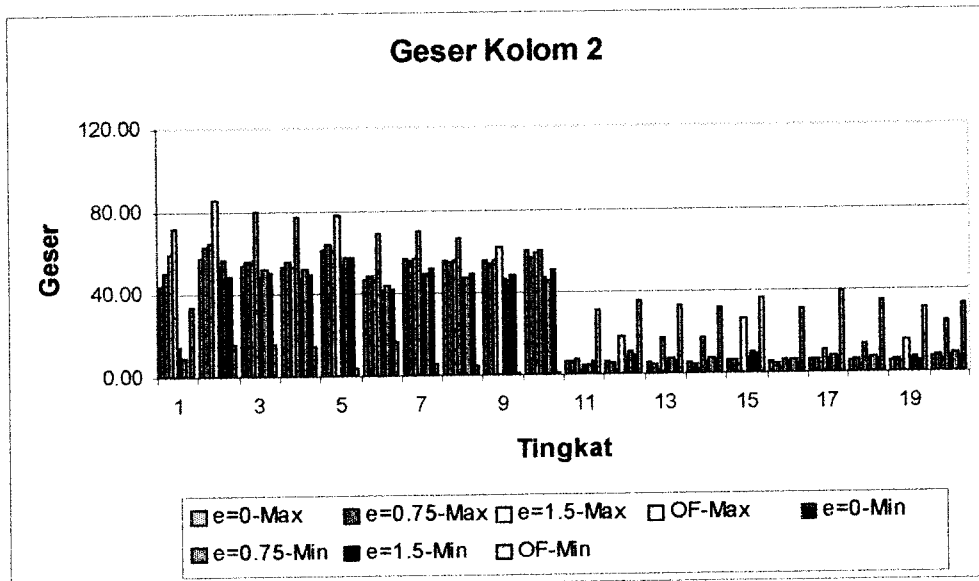
6.3.5 Kolom

Pada struktur open frame, momen dan geser tingkat awal (tingkat 1-2) yang dihasilkan sangat besar, sehingga desain menjadi sangat boros (*Gambar 6.8 ; 6.9 ; 6.11 ; dan 6.12*).

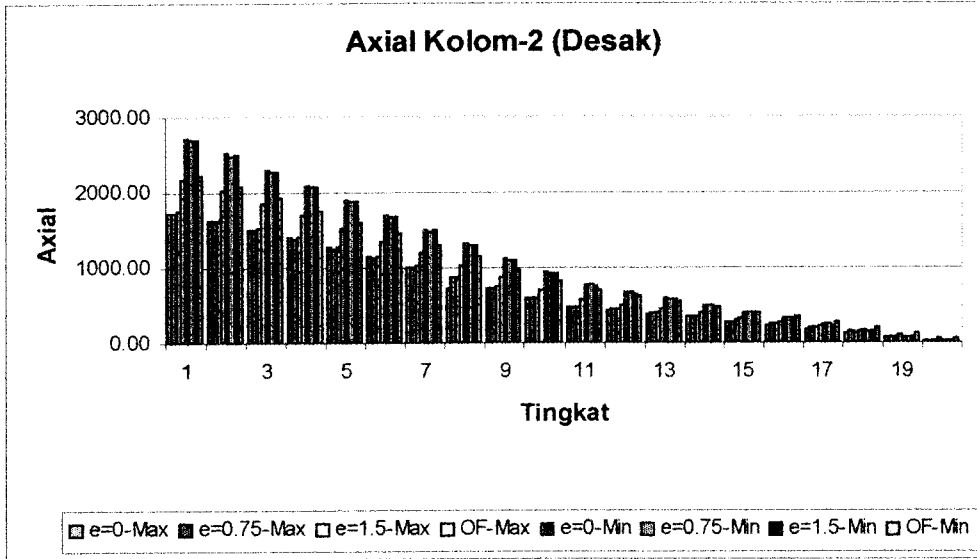
Sedangkan pada struktur EBF dengan eksentrisitas tertentu, dihasilkan gaya aksial yang lebih besar dibandingkan pada portal open frame, ini diakibatkan oleh pelimpahan gaya pada bracing kebagian kolom (*Gambar 6.10 dan 6.13*).



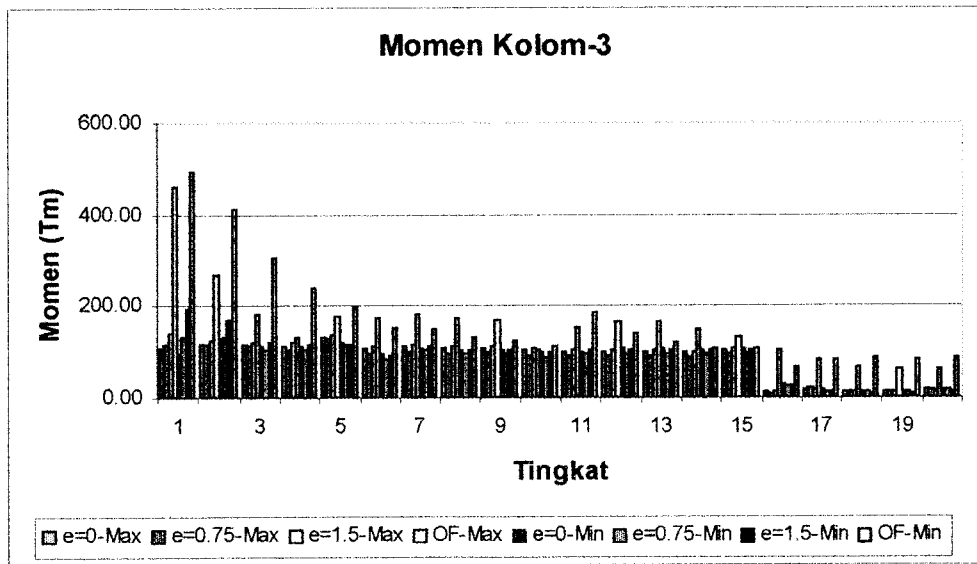
Gambar 6.8 Grafik momen kolom 2



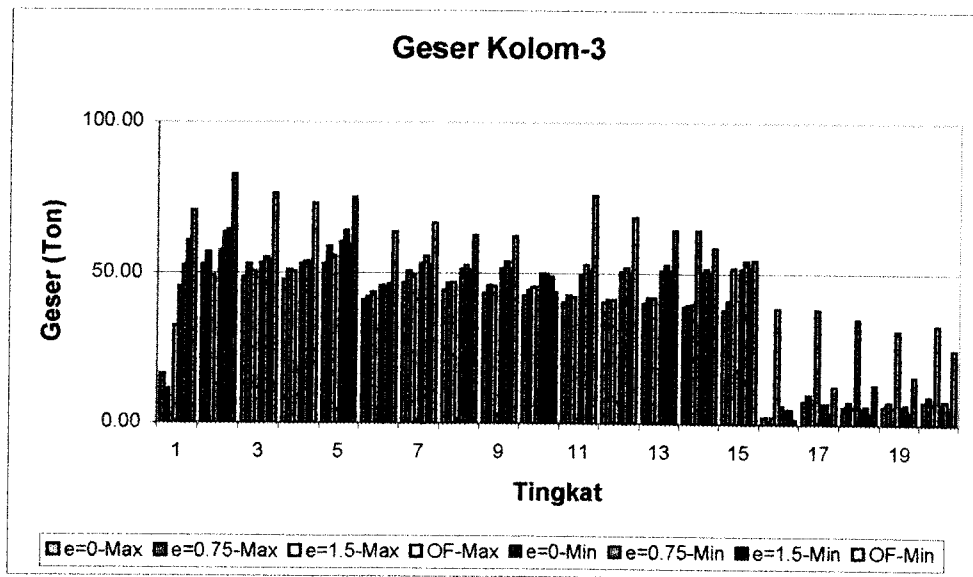
Gambar 6.9 Grafik geser kolom 2



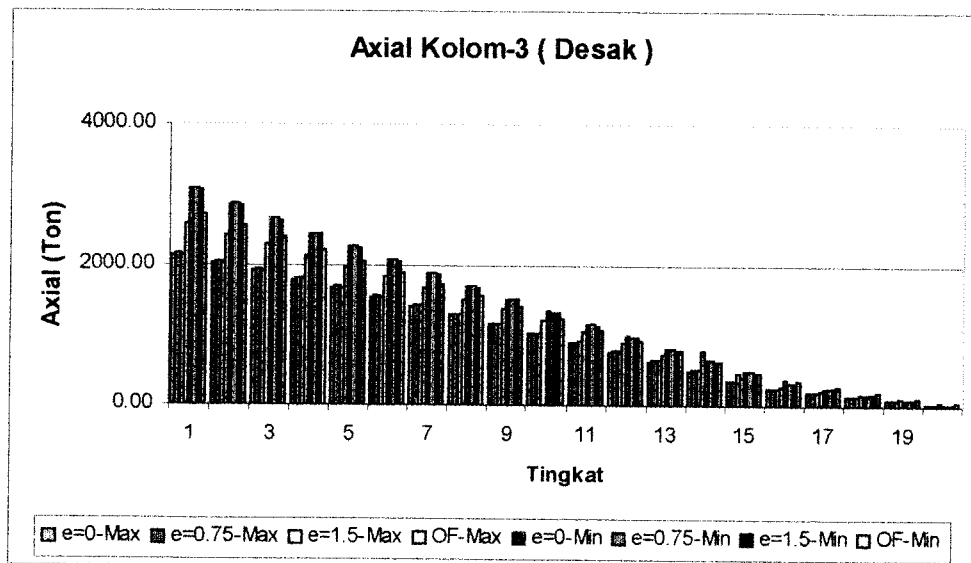
Gambar 6.10 Grafik aksial-desak kolom 2



Gambar 6.11 Grafik momen kolom 3



Gambar 6.12 Grafik geser kolom 3



Gambar 6.13 Grafik aksial-desak kolom 3

Hubungan antara gaya, kekakuan, *displacement*, dan daktilitas struktur dapat dilihat pada *Gambar 7.1*.

$$f = k \cdot \Delta$$

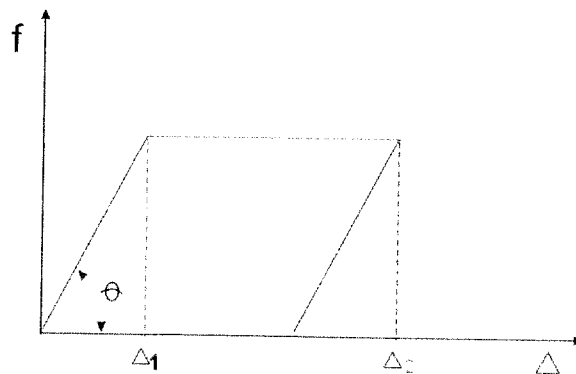
$$v = \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$$

; dengan f = gaya

$\theta = k$ = kekakuan

Δ = *displacement*

v = daktilitas



Gambar 7.1 Grafik gaya-kekakuan-displacement, dan daktilitas struktur

Dan dari hasil analisis dan desain dapat diambil suatu kesimpulan :

- a. Pada pemodelan struktur open frame, struktur sangat daktail (terlalu fleksible), sehingga tidak memenuhi syarat drift kontrol. Sedangkan pada portal dengan bracing konsentris (CBF) struktur sangat kaku, tetapi hanya memiliki kemampuan memancarkan energi yang sangat terbatas, sedangkan pada eksentrisitas brace frame (EBF) persyaratan yang sukar

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat ditarik dari penggunaan EBF sebagai suatu sistem pengaku pada struktur dan saran-saran yang diperlukan untuk lebih meningkatkan bobot dari penelitian dan masukan untuk penelitian yang akan datang

7.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan suatu struktur, beban –beban horizontal (gempa –angin) yang mungkin terjadi tidak dapat diabaikan, oleh sebab itu suatu struktur di desain daktail dengan menjamin kapasitas struktur tersebut. Syarat yang harus dapat dipenuhi dalam perencanaan :

- a. Dalam menerima gempa kecil atau sedang struktur masih harus berkelakuan elastis dan cukup kaku untuk mengurangi kerusakan struktur dan non struktur.
- b. Karena gempa besar , struktur tidak boleh runtuh . Hal ini dapat dijamin dengan merencanakan struktur yang dapat menahan kelebihan beban (*over loading*) melalui keadaan inelastis. Pada beban yang besar , kerusakan kecil dari struktur masih diijinkan.

- dalam perencanaan bangunan tahan gempa, yaitu memiliki kekakuan (*stiffness*) yang tinggi pada beban normal dan memiliki daktilitas yang baik pada beban tinggi dapat terpenuhi.
- b. Desain dilakukan untuk mendapatkan suatu struktur daktail dan memiliki kekakuan yang cukup, dengan menggeser bracing dari joint yang umum ($e=0$) menjadi eksentris ($e>0$) atau eksentrisitas brace frame (EBF) gaya normal dari bracing dipindahkan ke kolom atau bracing lainnya melalui geser dan lentur dari link sehingga energi yang diterima portal dapat dipancarkan melalui pelelehan pada *link*.
 - c. Active link (Links) sangat memegang peranan sangat penting dalam mendesain portal EBF. Link harus direncanakan berkelakuan elastis pada beban kecil dan harus dapat melakukan melakukan deformasi inelastis pada beban yang besar, sehingga dapat memancarkan energi yang besar melalui pelelehan material.
 - d. Dalam merancang portal dengan EBF, sifat inelastik dari *link* lebih baik direncanakan terhadap kerusakan akibat geser.
 - e. Dalam penetapan besaran nilai *link* (e), perlu diperhatikan bahwa jika *link* (e) jauh lebih kecil dibandingkan L , maka perbandingan deformasi batang terhadap deformasi struktur sangat besar. Dan semakin pendek *link*, maka semakin tinggi pula tuntutan daktilitas struktur tersebut.
 - f. Dalam menentukan besaran nilai *link* (e) harus diperhatikan faktor yang sangat menentukan, yaitu kekakuan dan daktilitas struktur.

7.2 Saran

- a. Dalam mendesain sebuah struktur (portal) dengan menggunakan pengaku lateral, maka sebaiknya di pergunakan sistem pengaku tipe K dengan eksentrisitas *link* yang dibatasi hingga $\max 1.6 \cdot M_s/V_s$ (*active shear link*).
- b. Diperlukan trial variasi nilai eksentrisitas yang lebih banyak untuk mendapatkan profil yang paling efisien.
- c. Metode plastis merupakan desain yang baik, dimana kemampuan daktilitas bahan akan dapat mengimbangi daktilitas dari struktur.

LAMPIRAN A
TABEL SIMPANGAN STRUKTUR ASIMETRIS

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	NAMA	NO. MHS.	BID. STUDI
1	Allianto	97 511 081	TSS
2	R. Panji Satrio	97 511 403	TSS

JUDUL TUGAS AKHIR :

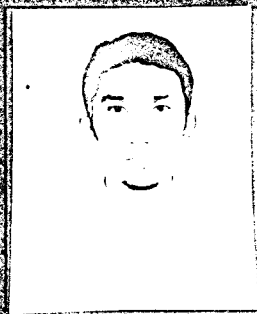
Analisis Dan Desain Bracing Tipe "K" Pada Struktur Asimstis

**PERIODE I : SEPTEMBER - PEBRUARI
TAHUN : 2001/2002**

No.	Kegiatan	Bulan Ke					
		Sep.	Okt.	Nop.	Des.	Jan.	Peb.
1.	Pendaftaran						
2.	Penentuan Dosen Pembimbing						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA.						
6.	Sidang-Sidang						
7.	Pendadaran.						

DOSEN PEMBIMBING I
DOSEN PEMBIMBING II

Ir. H. Susastrawan, MS
Ir. H. Suharyatno, M.T.




Yogyakarta, 28 November 2001
Kepan. Dekan
[Signature]
Ir. N. Mumadhir, MS

Catatan:

- Seminar
- Sidang
- Pendadaran

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
	7/12/01	Perbaiki <u>Sus</u>	
	³¹ / ₁₂ 2001	Ace <u>Sus</u>	
	2/1/02	Perbaiki <u>KS</u>	
	4/1/02	Siapkan Lembaran <u>KS</u>	
	4/2/02	Langitkan <u>KS</u>	
	3/4/02	Ace di Langitkan <u>DP I</u>	
	6/4/02	Perbaiki <u>Sus</u>	
	9/4/02	Perbaiki <u>Sus</u>	
	11/4/02	Ace <u>Jusasi</u>	

6	0.019761	0.0008	0.00003	0.029842	0.0012	0.0001	-0.02154	-0.0009	0.0000
5	0.015813	0.0008	0.00003	0.023249	0.0012	0.0001	-0.01786	-0.0009	0.0000
4	0.011998	0.0007	0.00004	0.017268	0.0011	0.0001	-0.01393	-0.0009	0.0000
3	0.008328	0.0007	0.00006	0.011687	0.0010	0.0001	-0.00997	-0.0008	0.0000
2	0.004886	0.0006	0.00008	0.006671	0.0008	0.0001	-0.00603	-0.0009	-0.0001
1	0.001847	0.0005	0.00015	0.002448	0.0006	0.0002	-0.00235	-0.0006	-0.0002

SIMPANGAN PADA STRUKTUR ASIMETRIS (e = 1.5 m)

tingkat	simpangan horizontal akibat gempa	relatif	Δ (meter)	simpangan horizontal arah kanan akibat beban gempa+tetap	relatif	Δ (meter)	simpangan horizontal arah kiri akibat beban gempa+tetap	relatif	Δ (meter)
20	0.1131	0.0014	-0.00001	0.1979	0.0025	0.0000	-0.096	-0.0012	0.0000
19	0.1082	0.0014	-0.00001	0.1881	0.0025	0.0000	-0.0932	-0.0012	0.0000
18	0.1031	0.0014	-0.00001	0.178	0.0025	0.0000	-0.0901	-0.0013	0.0000
17	0.0978	0.0014	-0.00001	0.1675	0.0025	0.0000	-0.0867	-0.0013	0.0000
16	0.0923	0.0014	0.00000	0.1569	0.0025	0.0000	-0.083	-0.0013	0.0000
15	0.0868	0.0014	0.00000	0.146	0.0024	0.0000	-0.0797	-0.0013	0.0000
14	0.0815	0.0015	-0.00001	0.1359	0.0024	0.0000	-0.076	-0.0014	0.0000
13	0.0758	0.0015	0.00000	0.1248	0.0024	0.0000	-0.0724	-0.0014	0.0000
12	0.07	0.0015	0.00000	0.1132	0.0024	0.0000	-0.0688	-0.0014	0.0000
11	0.0641	0.0015	0.00000	0.1012	0.0023	0.0001	-0.0653	-0.0015	0.0001
10	0.0582	0.0015	0.00000	0.0895	0.0022	0.0001	-0.0617	-0.0015	0.0001
9	0.0524	0.0015	0.00000	0.0785	0.0022	0.0001	-0.0578	-0.0016	0.0001
8	0.0464	0.0015	0.00001	0.0678	0.0021	0.0001	-0.0528	-0.0017	0.0000
7	0.0402	0.0014	0.00001	0.0575	0.0021	0.0001	-0.0471	-0.0017	0.0000

6	0.0339	0.0014	0.00002	0.0477	0.0020	0.0001	-0.0405	-0.0017	0.0000
5	0.0275	0.0014	0.00004	0.0383	0.0019	0.0001	-0.0332	-0.0017	0.0000
4	0.0211	0.0013	0.00006	0.0269	0.0018	0.0001	-0.0259	-0.0016	0.0000
3	0.0146	0.0012	0.00010	0.0198	0.0016	0.0002	-0.0183	-0.0015	-0.0001
2	0.0084	0.0011	0.00016	0.0113	0.0014	0.0002	-0.0107	-0.0013	-0.0002
1	0.003	0.0007	0.00031	0.0039	0.0010	0.0004	-0.0038	-0.0010	-0.0004

SIMPANGAN PADA STRUKTUR OPEN FRAME

tingkat	simpangan horizontal akibat gempa	relatif	Δ (meter)	simpangan horizontal arah kanan akibat beban gempa+tetap	relatif	Δ (meter)	simpangan horizontal arah kiri akibat beban gempa+tetap	relatif	Δ (meter)
20	0.52078	0.0065	-0.00015	0.6945	0.0087	-0.0002	-0.6595	-0.0082	0.0002
19	0.50644	0.0067	-0.00012	0.67171	0.0088	-0.0001	-0.645	-0.0085	0.0002
18	0.48824	0.0068	-0.00007	0.64388	0.0089	0.0000	-0.6255	-0.0087	0.0001
17	0.46594	0.0069	-0.00004	0.61074	0.0090	0.0000	-0.6007	-0.0088	0.0001
16	0.44108	0.0069	-0.00006	0.57439	0.0090	0.0000	-0.5724	-0.0089	0.0001
15	0.41721	0.0070	-0.00012	0.53969	0.0090	-0.0002	-0.545	-0.0091	0.0001
14	0.39626	0.0071	-0.00010	0.51333	0.0092	-0.0001	-0.5169	-0.0092	0.0001
13	0.37294	0.0072	-0.00005	0.48353	0.0093	-0.0001	-0.4857	-0.0093	0.0000
12	0.34659	0.0072	0.00000	0.45056	0.0094	0.0000	-0.4506	-0.0094	0.0000
11	0.31786	0.0072	0.00000	0.41411	0.0094	0.0000	-0.4123	-0.0094	0.0000
10	0.28886	0.0072	-0.00004	0.37753	0.0094	-0.0001	-0.3735	-0.0093	0.0001
9	0.26146	0.0073	0.00001	0.34169	0.0095	0.0000	-0.3381	-0.0094	0.0000
8	0.23208	0.0073	0.00010	0.30334	0.0095	0.0001	-0.3001	-0.0094	-0.0001

7	0.20015	0.0071	0.00024	0.26176	0.0093	0.0003	-0.2586	-0.0092	-0.0003
6	0.16583	0.0053	0.00041	0.21709	0.0090	0.0005	-0.2141	-0.0089	-0.0005
5	0.12989	0.0065	0.00056	0.17033	0.0085	0.0007	-0.1674	-0.0084	-0.0007
4	0.09494	0.0059	0.00081	0.12442	0.0078	0.0011	0.1224	-0.0077	-0.0010
3	0.06143	0.0051	0.00116	0.08045	0.0067	0.0015	-0.0793	-0.0066	-0.0015
2	0.0317	0.0040	0.00162	0.04148	0.0052	0.0021	-0.0409	-0.0051	-0.0021
1	0.00939	0.0023		0.01227	0.0031		-0.0121	-0.0030	

Vcu	Vcu	v	Fw	Mp	Mm	cek <1.0	profil
ton	kips		kips-in	kips-in	kips-in	cek <1.0	
82.974	182.543	3.285	49.784	110520	100190.695	0.759	W30x581
72.425	159.335	3.026	49.817	70560	24407.253	0.620	W24x450
10.157	22.346	1.170	49.973	27960	15162.315	0.643	W24x192
11.157	24.546	1.285	49.967	27960	24288.034	0.294	W24x192

Tabel A-3 Kolom III

Tingkat	Pcu1	VI	Pcu2	Pcu	Mcu1	Mcu2	Mcu
	kips	kips	kips	Kips	kips-in	kips-in	kips-in
1-5	7549.168	143.101	272.072	7549.168	13732.260	102.021	13732.260
6-10	5244.857	120.241	272.045	5244.857	10760.819	102.017	10760.819
11-15	2985.426	89.559	272.147	2985.426	10096.620	102.055	10096.620
16-20	808.529	56.402	331.289	808.529	2297.402	124.233	2297.402

k	kl/r	Fa	Pcr	Fe'	Fe	Py
0.95	9.014	28.352	8193.728	1832.987	598287.119	8500
0.93	13.194	28.972	5319.259	855.467	177389.574	5400
0.93	13.194	28.972	5319.259	855.467	177389.574	5400
0.89	13.348	28.959	2771.666	835.841	90351.068	2815

Vcu	Vcu	v	Fw	Mp	Mm	cek <1.0	profil
ton	kips		kips-in	kips-in	kips-in	cek <1.0	
80.654	177.440	3.194	49.796	110520	85928.782	0.921	W30x581
70.880	155.936	3.665	49.731	56040	51783.728	0.987	W24x370
65.274	143.602	3.375	49.772	56040	53861.209	0.561	W24x370
11.144	24.517	1.283	49.967	27960	26695.260	0.292	W24x192

Tabel A-3 Kolom IV

Tingkat	Pcu1	Vl	Pcu2	Pcu	Mcu1	Mcu2	Mcu
	kips	kips	kips	Kips	kips-in	kips-in	kips-in
1-5	4175.358	143.101	272.072	4175.358	13424.893	102.027	13424.893
6-10	2764.065	120.241	272.045	2764.065	12176.802	102.017	12176.802
11-15	1343.531	89.559	272.147	1343.531	16082.938	102.055	16082.938

k	kl/r	Fa	Pcr	Fe'	Pe	Py
0.86	12.201	29.062	5335.783	1000.380	207438.897	5400
0.96	13.998	28.900	4028.660	760.018	119657.291	4100
0.95	13.982	28.902	3611.305	761.759	107499.399	3675

Vcu	v	Fw	Mp	Mm	cek <1.0	profil
ton			kips-in	kips-in	cek <1.0	
82.753	4.279	49.634	56040	29644.549	0.783	W24x370
79.786	5.267	49.445	41760	32478.200	0.686	W24x279
94.350	7.577	48.852	37200	35483.658	0.372	W24x250

Tabel A-3 Kolom IV

Tingkat	Pcu1	VI	Pcu2	Pcu	Mcu1	Mcu2	Mcu
	kips	kips	kips	Kips	kips-in	kips-in	kips-in
1-5	4175.358	143.101	272.072	4175.358	13424.893	102.027	13424.893
6-10	2764.065	120.241	272.045	2764.065	12176.802	102.017	12176.802
11-15	1343.531	89.559	272.147	1343.531	16082.938	102.055	16082.938

k	kl/r	Fa	Pcr	Fe'	Pe	Py
0.86	12.201	29.062	5335.783	1000.380	207438.897	5400
0.96	13.998	28.900	4028.660	760.018	119657.291	4100
0.95	13.982	28.902	3611.305	761.755	107499.399	3675

Vcu	V	Fw	M _p	M _m	cek < 1.0	profil
ton	kips		kips-in	kips-in		
82.753	4.279	49.634	56040	29644.549	0.618	W24x370
79.786	5.267	49.445	41760	32478.200	0.686	W24x279
94.350	7.577	48.852	37200	35483.658	0.733	W24x250

LAMPIRAN C
GAYA-GAYA PADA BALOK

GAYA-GAYA BALOK PADA $e = 1.5 \text{ m}$

BENTANG L1

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	120.2356	-119.4021	154.5520	-299.0030
tingkat 6-10	0	0	121.0948	-118.5764	157.3653	-302.9492

BRACING PADA BENTANG L2

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	77.4229	-150.7341	0.6309	-0.6196	0.8943	0
tingkat 6-10	67.1761	-138.6525	0.6662	-0.6457	0.8943	0
tingkat 11-15	42.5823	-117.7660	0.6853	-0.6533	0.8943	0
tingkat 16-20	22.6246	-83.2230	0.6608	-0.6571	0.8943	0

BALOK PADA BENTANG L2

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	39.2691	-39.4317	31.9365	-56.5083
tingkat 6-10	0	0	38.3272	-37.8195	27.8852	-51.6478
tingkat 11-15	0	0	38.3963	-33.4156	21.6869	-42.1043
tingkat 16-20	0	0	35.5398	-35.5932	15.3466	-27.0140

BALOK LINK PADA BENTANG L2

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	64.2060	-64.1486	31.9365	-56.5083
tingkat 6-10	0	0	55.5067	-57.9535	27.6738	-51.6478
tingkat 11-15	0	0	34.2341	-45.6654	17.5982	-42.1043
tingkat 16-20	0	0	27.6250	-23.5532	9.3865	-27.0140

BENTANG L3

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	119.9889	-120.2113	154.1897	-298.8053
tingkat 6-10	0	0	122.3960	-118.8627	155.9390	-313.3025
tingkat 11-15	0	0	122.7598	-116.7261	156.2410	-316.1588

GAYA-GAYA BALOK PADA OPEN FRAME

BENTANG L1

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	120.4408	-119.4493	154.0289	-367.5115
tingkat 6-10	0	0	120.4005	-119.5197	156.6130	-364.2352

BALOK PADA BENTANG L2

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	77.0418	-77.4765	63.7421	-154.5544
tingkat 6-10	0	0	76.4257	-78.7159	63.4177	-154.9301
tingkat 11-15	0	0	76.9108	-78.0392	65.0044	-146.8448
tingkat 16-20	0	0	77.155	-77.1295	66.2891	-137.7947

BENTANG L3

balok tingkat ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
tingkat 1-5	0	0	119.5682	-120.3830	153.6351	-366.0131
tingkat 6-10	0	0	120.3751	-119.7909	155.0071	-360.9403
tingkat 11-15	0	0	120.3935	-119.5884	155.3394	-336.9089

LAMPIRAN D
GAYA-GAYA PADA KOLOM

GAYA-GAYA KOLOM PADA $e = 0$ m

KOLOM I

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	15.0164	-1236.6000	5.3760	-83.1106	181.7611	-161.7405
kolom 6-10	9.4081	-591.0917	5.9167	-79.0720	173.0634	-143.6853

KOLOM II

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	384.8564	-2916.4960	75.0199	1.9850	156.6045	-156.5891
kolom 6-10	215.5708	-1860.4070	70.2077	2.2879	149.1930	-138.7154
kolom 11-15	116.7511	-817.9028	7.5231	-9.7839	35.9955	-22.4674
kolom 16-20	34.3348	-368.2335	0.1152	-9.3813	20.4765	-16.9626

KOLOM III

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	374.1528	-3397.8040	11.2185	-74.0500	164.7076	-145.0205
kolom 6-10	203.3858	-2347.2300	3.1269	-65.4168	132.9383	-125.4995
kolom 11-15	106.0622	-1341.0000	5.2111	-59.7624	117.5079	-120.6867
kolom 16-20	34.2880	-367.8927	9.3722	-6.0923	21.8437	-29.0665

KOLOM IV

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	26.6387	-1917.5200	79.6302	1.3308	166.8836	-164.7130
kolom 6-10	21.4864	-1270.0290	80.1100	2.2343	162.3580	-160.3323
kolom 11-15	12.0871	-616.9604	93.2899	3.7057	164.9700	-208.4286

GAYA-GAYA KOLOM PADA $e = 0.75$ m

KOLOM I

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	21.7551	-1256.3710	8.0855	-32.9571	138.2087	-150.8704
kolom 6-10	12.9248	-614.7389	8.5029	-92.0761	184.8010	-136.8371

KOLOM II

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	369.5456	-2891.3780	78.9931	1.1008	151.1189	-143.9556
kolom 6-10	206.8666	-1830.9570	68.4116	1.5896	126.5328	-113.3064
kolom 11-15	110.9238	-818.0194	6.9082	-10.7528	31.2413	-22.1391
kolom 16-20	31.2233	-369.3103	0.6392	-11.1743	21.3414	-17.5874

KOLOM III

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	356.7094	-3415.5690	15.7490	-80.2914	157.0945	-138.9720
kolom 6-10	192.5462	-2359.6280	3.0321	-69.4999	120.5109	-118.6295
kolom 11-15	97.3091	-1340.3970	5.0826	-62.4460	107.5291	-111.5995
kolom 16-20	31.2131	-367.9319	11.1288	-4.6616	21.4916	-24.0718

KOLOM IV

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	35.2369	-1913.6190	83.2345	2.9802	157.2546	-143.9664
kolom 6-10	27.0758	-1270.1030	84.8178	3.2100	149.0676	-148.3116
kolom 11-15	14.8338	-616.9786	98.3882	5.0227	148.8048	-194.0912

GAYA-GAYA KOLOM PADA $e = 1.5 \text{ m}$

KOLOM I

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	26.9916	-1237.6570	11.4678	-82.8238	180.6732	-162.2389
kolom 6-10	14.3665	-591.9962	7.8354	-79.5855	174.3627	-144.4635

KOLOM II

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	370.4612	-2906.1580	77.4486	0.3023	194.0277	-162.9858
kolom 6-10	207.3401	-1851.0480	71.8207	1.5645	151.2895	-141.8581
kolom 11-15	103.2655	-811.3652	8.8082	-8.8099	38.0851	-18.2072
kolom 16-20	26.6988	-364.6290	0.9466	-7.8061	17.0294	-15.5298

KOLOM III

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	356.8414	-3395.1210	22.5062	-75.1547	166.0800	-192.5386
kolom 6-10	192.4379	-2345.5090	2.2655	-66.9777	135.7515	-129.4245
kolom 11-15	89.3336	-1338.2480	3.8602	-61.5590	122.5892	-126.2432
kolom 16-20	26.7150	-363.6167	7.7374	-5.0397	16.2817	-25.6529

KOLOM IV

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	40.6942	-1916.2040	80.0478	4.2303	166.4358	-166.2038
kolom 6-10	28.9256	-1268.7960	79.8673	4.1595	161.7488	-159.7468
kolom 11-15	14.6863	-616.5746	92.5641	5.1648	162.9895	-207.4863

$\frac{p}{P}$,

LAMPIRAN E
GRAFIK END MOMENT
(APPENDIX F, APPLIED PLASTIC DESIGN IN STEEL, Robert O. Disque)

$\frac{p}{P}$,

GAYA-GAYA KOLOM PADA $e = 1.5 \text{ m}$

KOLOM I

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	26.9916	-1237.6570	11.4678	-82.8238	180.6732	-162.2389
kolom 6-10	14.3665	-591.9962	7.8354	-79.5855	174.3627	-144.4635

KOLOM II

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	370.4612	-2906.1580	77.4486	0.3023	194.0277	-162.9858
kolom 6-10	207.3401	-1851.0480	71.8207	1.5645	151.2895	-141.8581
kolom 11-15	103.2655	-811.3652	8.8082	-8.8099	38.0851	-18.2072
kolom 16-20	26.6988	-364.6290	0.9466	-7.8061	17.0294	-15.5298

KOLOM III

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	356.8414	-3395.1210	22.5062	-75.1547	166.0800	-192.5386
kolom 6-10	192.4379	-2345.5090	2.2655	-66.9777	135.7515	-129.4245
kolom 11-15	89.3336	-1338.2480	3.8602	-61.5590	122.5892	-126.2432
kolom 16-20	26.7150	-363.6167	7.7374	-5.0397	16.2817	-25.6529

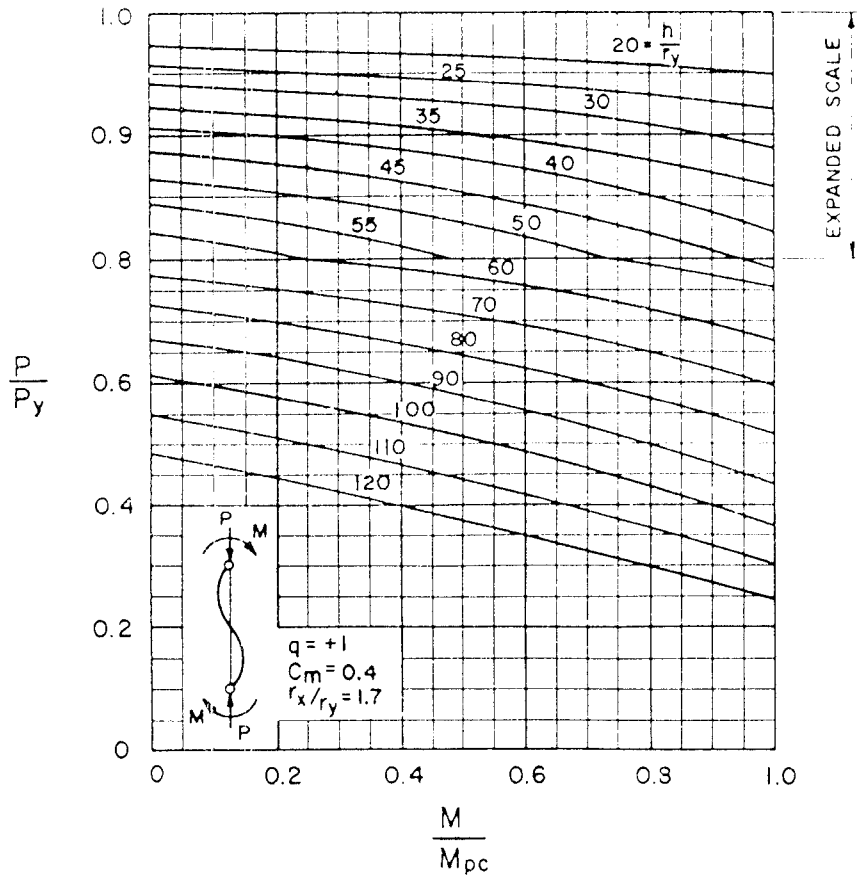
KOLOM IV

kolom ke-n	P		V		M	
	max	min	max	min	max	min
kolom 1-5	40.6942	-1916.2040	80.0478	4.2303	166.4358	-166.2038
kolom 6-10	28.9256	-1268.7960	79.8673	4.1595	161.7488	-159.7468
kolom 11-15	14.6863	-616.5746	92.5641	5.1648	162.9895	-207.4863

LAMPIRAN E
GRAFIK END MOMENT
(APPENDIX F, APPLIED PLASTIC DESIGN IN STEEL, Robert O. Disque)

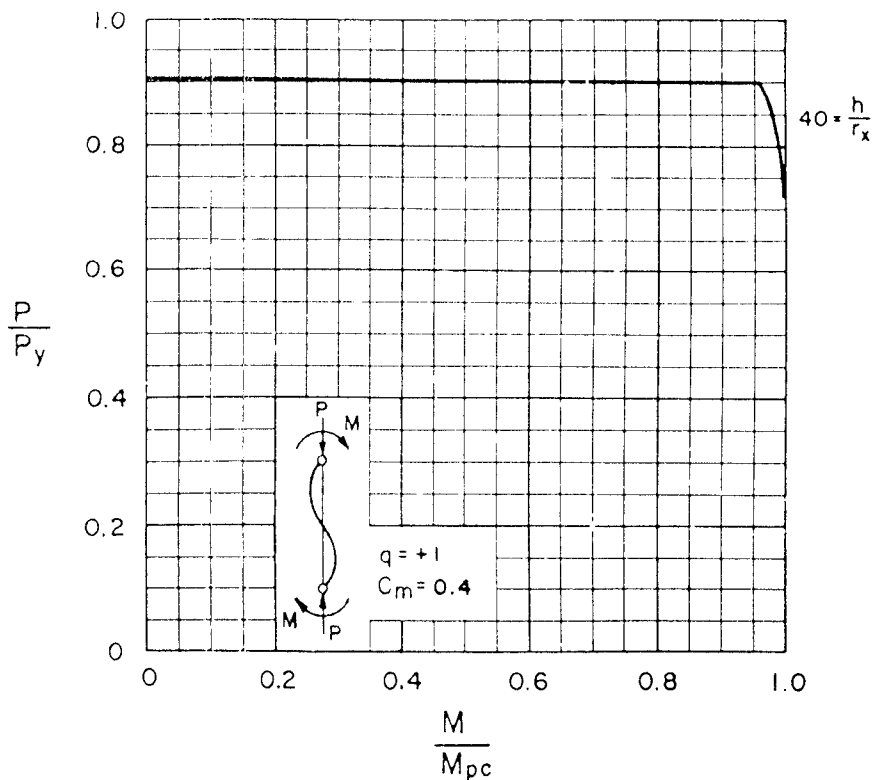
LATERAL TORSIONAL BUCKLING

WF COLUMNS, A36 STEEL
MAJOR AXIS BENDING



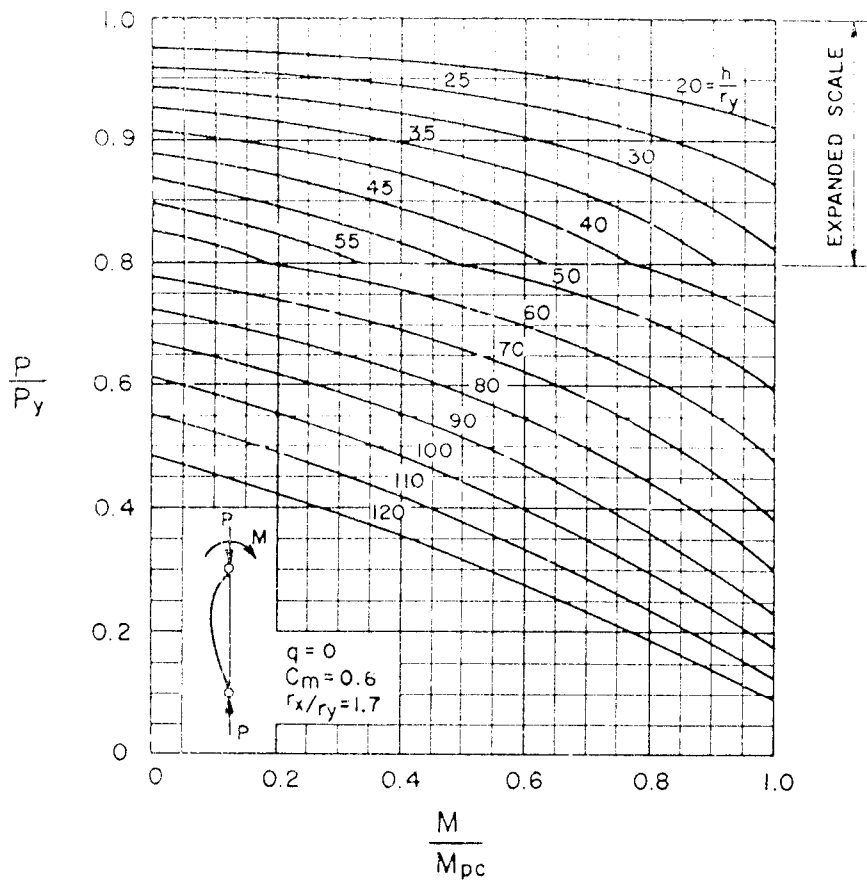
IN-PLANE BENDING

WF COLUMNS, A36 STEEL
MAJOR AXIS



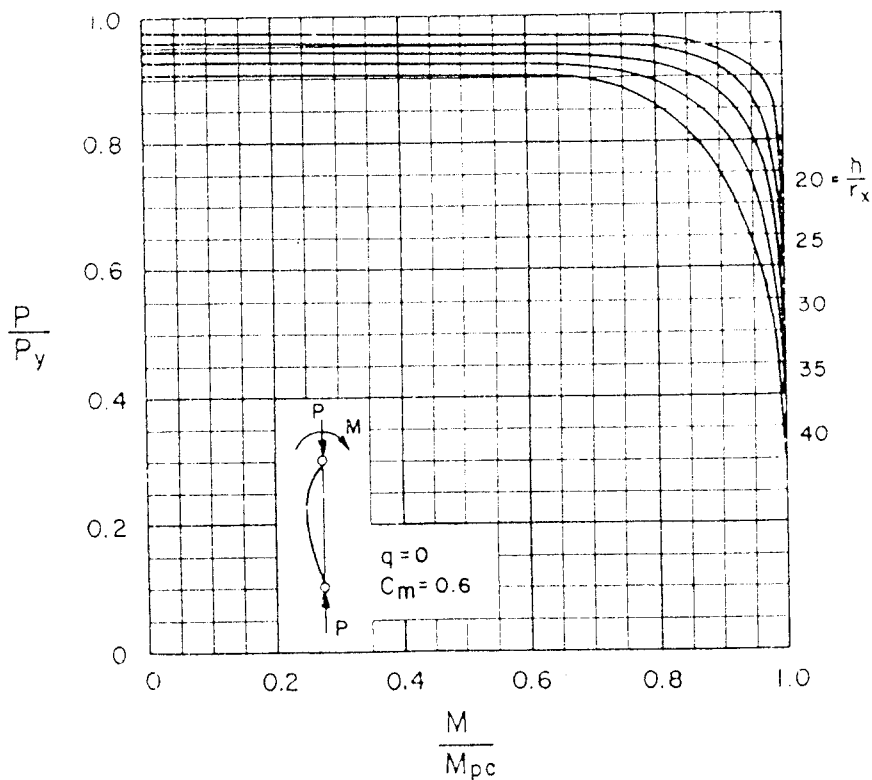
LATERAL TORSIONAL BUCKLING

WF COLUMNS, A36 STEEL
MAJOR AXIS BENDING



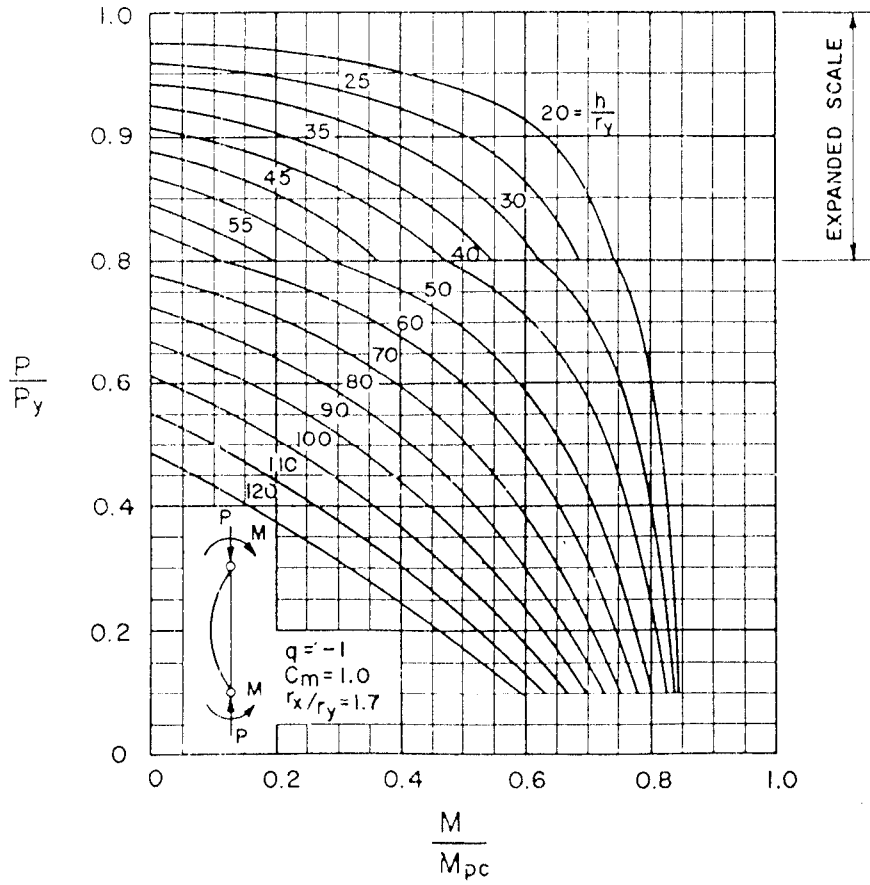
IN-PLANE BENDING

WF COLUMNS, A36 STEEL
MAJOR AXIS



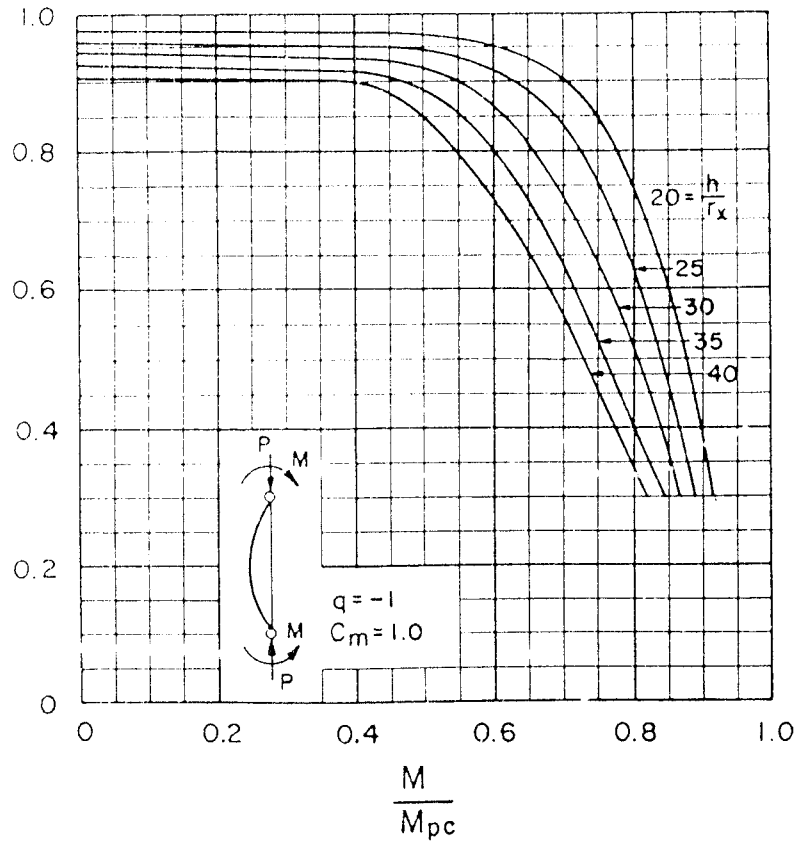
LATERAL TORSIONAL BUCKLING

W^F COLUMNS, A36 STEEL
MAJOR AXIS BENDING



IN-PLANE BENDING

W^F COLUMNS, A36 STEEL
MAJOR AXIS



DAFTAR PUSTAKA

- AISC (1992). **"Manual of Steel Construction I-II,"** 1 East Wacker Drive, Suite 3100, Chicago.
- Disgque, R. O (1971). **"Applied Plastic Design in Steel "**, Vantrand Reinhold Co., New York .
- Fatkhurrolman N (2001). **"Analisis Plastis,"** *Diklat Kuliah*, Jurusan teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Frederick, S.M.(1986). **"Standart Handbook for Civil Engineers,"** Me Graw Hill.
- Gideon H. Kusuma (1986), **"Makalah Seminar Analisa Plastis Pada Eccentrically Braced Frame,"** Universitas Petra-Surabaya.
- Gunawan T, Margaret, S. (1989) **"Teori Soal dan Penyelesaian Konstruksi Baja I-II,"** Delta Teknik Group Jakarta.
- Laurentius Wahyudi, Sjahril A Rahim (1992). **"Metode Plastis Analisis dan Desain,"** Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Me Cormac (1992). **"Structural Steel Design ASD Method,"** Harper Collins Publisher, Clemsons University.
- Rosenblueth, E. (1981). **"Design of Earthquake Resistant Structures,"** John Wiley & Sons, New York Toronto
- Roy Becker, Michael Ishler (1995). **"Seismic Design Of Special Concentrically Braced Steel Frames,"** Structural Steel Educational Council.
- Roy Becker, Michael Ishler (1996). **"Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames,"** Structural Steel Educational Council.
- Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum (1987). **Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung,** Departement Pekerjaan Umum
- Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum (1983). **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung.** Departement Pekerjaan Umum