

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PENGARUH GAYA AKSIAL DAN**  
**GESER TERHADAP KAPASITAS MOMEN**  
**PLASTIK PADA PORTAL BAJA**  
**BERTINGKAT BANYAK**



Disusun oleh :

**MEMED MEDRIANA**

---

No. Mhs. : 93 310 112  
NIRM : 930051013114120109

**ARIEF MUNANDAR**

---

No. Mhs. : 94 310 045  
NIRM : 940051013114120045

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2000**

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PENGARUH GAYA AKSIAL DAN**  
**GESER TERHADAP KAPASITAS MOMEN**  
**PLASTIK PADA PORTAL BAJA**  
**BERTINGKAT BANYAK**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia**  
**Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh**  
**derajat Sarjana Teknik Sipil**

**Disusun oleh :**

**MEMED MEDRIANA**

---

**No. Mhs. : 93 310 112**  
**NIRM : 930051013114120109**

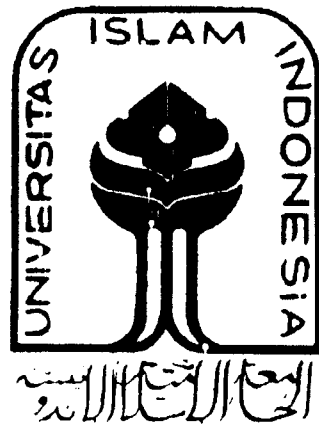
**ARIEF MUNANDAR**

---

**No. Mhs. : 94 310 045**  
**NIRM : 940051013114120045**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2000**

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PENGARUH GAYA AKSIAL DAN**  
**GESER TERHADAP KAPASITAS MOMEN**  
**PLASTIS PADA PORTAL BAJA**  
**BERTINGKAT BANYAK**



**Disusun oleh:**

Nama : Memed Medriana  
No. Mhs. : 93 310 112  
Nirm. : 930051013114120109

Nama : Arief Munandar  
No. Mhs. : 94 310 045  
Nirm. : 940051013114120045

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**1999**

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PENGARUH GAYA AKSIAL DAN**  
**GESER TERHADAP KAPASITAS MOMEN**  
**PLASTIS PADA PORTAL BAJA**  
**BERTINGKAT BANYAK**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia**  
**Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh**  
**derajat Sarjana Teknik Sipil**

**Disusun oleh:**

Nama : Memed Medriana  
No. Mhs. : 93 310 112  
Nirm. : 930051013114120109

Nama : Arief Munandar  
No. Mhs. : 94 310 045  
Nirm. : 940051013114120045

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**1999**

HALAMAN PENGESAHAN  
**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PENGARUH GAYA AKSIAL DAN**  
**GESER TERHADAP KAPASITAS MOMEN**  
**PLASTIS PADA PORTAL BAJA**  
**BERTINGKAT BANYAK**

**Disusun oleh:**

Nama : Memed Medriana  
No. Mhs. : 93 310 112  
Nirm. : 930051013114120109

Nama : Arief Munandar  
No. Mhs. : 94 310 045  
Nirm. : 940051013114120045

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Ir. H. M. Samsudin, MT**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Suharyatmo, MT**

**Dosen Pembimbing II**

  
Tanggal : 19 - 2 - 2000

  
Tanggal :

## KATA PENGANTAR



Assalaamu 'alaikum Wr. Wb.

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat serta salam kita panjatkan pada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW. sahabatnya, serta pengikutnya sampai akhir jaman. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul **ANALISIS PENGARUH GAYA AKSIAL DAN GESER TERHADAP KAPASITAS MOMEN PLASTIS PADA PORTAL BAJA BERTINGKAT BANYAK.**

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk menganalisis suatu struktur portal baja yang menerima gaya aksial dan geser yang akan mempengaruhi kapasitas momen plastisnya. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah metode plastis terutama dengan menggunakan metode mekanisme kombinasi.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengalami hambatan-hambatan yang disebabkan oleh sedikitnya literatur yang secara khusus membahas tentang analisis baja plastis tetapi berkat kerja keras dan dengan bantuan dari berbagai pihak

akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu sudah sepantasnyalah pada kesempatan kali ini penyusun menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H.Tajuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. M. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing II
5. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan , Universitas Islam Indonesia.
6. Anak-anak kost “Cempaka 15” Imam Dermawan, El Gharif Hajar Aswad, Agung, Wawan terima kasih atas kebersamaannya dan pinjaman televisinya.
7. Bapak, ibu, dan kakak serta adik terima kasih atas segala do'anya sehingga ananda bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih kurang sempurna hal ini disebabkan karena pengalaman dan pengetahuan dari penyusun yang masih terbatas. Oleh karena itu penyusun sangat terbuka oleh kritik dan saran yang konstruktif guna kemajuan bersama.

Akhirnya besar harapan penyusun semoga hasil Tugas Akhir ini akan dapat bermanfaat khususnya bagi penyusun dan pembaca pada umumnya. Terakhir

penyusun mohon maaf bila masih ditemukannya kekurangan pada Tugas Akhir ini.

Dengan demikian saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan.

Billahittaufiq wal hidayah

Wassalaamu 'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta , Oktober 1999

Penyusun



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xv
ABSTRAKSI .....	xvii
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1    Latar Belakang Masalah .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Batasan Masalah .....	4
1.4    Tujuan Dan Manfaat Penulisan Tugas Akhir .....	5
1.5    Tinjauan Pustaka .....	6
<b>BAB II    LANDASAN TEORI</b>	
2.1    Umum .....	9
2.2    Dasar – Dasar Teori Plastik .....	10
2.2.1 Hubungan tegangan - regangan .....	10

2.2.2	Momen plastis penampang .....	13
2.2.3	Modulus plastis .....	16
2.2.4	Faktor bentuk .....	18
2.2.5	Faktor beban/ faktor keamanan .....	20
2.3	Hubungan Momen Kelengkungan .....	21
2.3.1	Penampang segi empat .....	22
2.3.2	Penampang balok wide flange ( WF ) .....	24
2.4	Teorema Plastis .....	32
2.4.1	Teorema batas bawah ( <i>Lower Bound Theorm</i> ) .....	32
2.4.2	Teorema batas atas ( <i>Upper Bound Theorm</i> ) .....	33
2.4.3	Teorema unik ( <i>Unique Theorm</i> ) .....	33
2.5	Metode Kerja Virtual .....	34
2.6	Metode Mekanisme Kombinasi .....	37
2.6.1	Mekanisme elementer .....	38
2.6.2	Mekanisme kombinasi .....	38
2.7	Kontrol Kekuatan Balok .....	40
2.7.1	Kontrol terhadap local buckling .....	41
2.7.2	Kontrol terhadap lateral torsional buckling .....	42
2.7.3	Kontrol terhadap gaya aksial .....	43
2.7.4	Kontrol terhadap gaya geser .....	44
2.8	Panjang Sendi Plastis .....	45
2.9	Reduksi Momen Plastis .....	47

2.9.1 Akibat gaya aksial.....	47
2.9.2 Akibat gaya geser.....	51
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Dasar Analisis.....	56
3.2 Prosedur Analisis .....	57
<b>BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Data perencanaan.....	60
4.2 Analisis Mekanisme Kombinasi.....	64
4.3 Perhitungan Dimensi dan Kontrol Kekuatan Profil .....	90
4.3.1 Kontrol terhadap local buckling.....	91
4.3.2 Kontrol terhadap lateral torsional buckling.....	92
4.3.3 Kontrol terhadap gaya aksial.....	93
4.3.4 Kontrol terhadap gaya geser.....	94
4.3.5 Beban runtuh .....	95
4.4 Panjang Sendi Plastis .....	95
4.5 Reduksi Momen Plastis.....	96
4.6 Grafik Hubungan Momen – Gaya Aksial Dan Geser .....	98
4.6.1 Grafik hubungan momen – gaya aksial .....	98
4.6.2 Grafik hubungan momen – gaya geser .....	99
4.7 Perkembangan Zone Plastis.....	104

4.8 Hubungan Momen Kelengkungan Profil.....107

4.9 Pembahasan.....111

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....114

5.2 Saran.....115

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Struktur Portal Baja Bertingkat 4 .....	4
Gambar 2.1	Kurva Hubungan Tegangan – Regangan .....	11
Gambar 2.2	Kurva Hubungan Tegangan – Regangan yang Diidealisasikan ....	13
Gambar 2.3	Balok Diatas Dua Tumpuan Dengan Beban Terpusat .....	14
Gambar 2.4	Distribusi Tegangan – Regangan .....	15
Gambar 2.5	Distribusi Tegangan Dalam.....	16
Gambar 2.6	Distribusi Tegangan Plastis Profil Baja WF .....	17
Gambar 2.7	Distribusi Tegangan Elastis Profil Baja WF .....	18
Gambar 2.8	Potongan Balok Simetris .....	23
Gambar 2.9	Penampang Melintang Balok WF.....	25
Gambar 2.10	Distribusi Tegangan Penampang WF .....	26
Gambar 2.11	Distribusi Tegangan Penampang WF Batas Elasto Plastis Berada Pada Badan.....	28
Gambar 2.12	Struktur Penampang Memanjang Profil WF .....	29
Gambar 2.13	Penampang Memanjang Balok dan Perkembangan Dari Zona plastis Dengan Batas-Batasnya Untuk Nilai Konstan $\rho = P/Py$ .....	31
Gambar 2.14	Tipe Mekanisme Keruntuhan .....	37
Gambar 2.15	Panjang Sendi Plastis Pada Balok .....	45
Gambar 2.16	Distribusi Tegangan Akibat Kombinasi Momen dan	

	Tekanan Aksial.....	47
Gambar 2.17	Distribusi Tegangan Pada Penampang Persegi Panjang Yang Memiliki Gaya Aksial.....	49
Gambar 2.18	Penampang Profil WF.....	50
Gambar 2.19	Distribusi Tegangan Pada Penampang Segi Empat Akibat Kombinasi Lentur dan Geser.....	52
Gambar 2.20	Distribusi Tegangan Pada Profil WF Dibawah Pengaruh Kombinasi Lentur dan Geser.....	54
Gambar 4.1	Data Struktur Portal Baja Bertingkat.....	62
Gambar 4.2	Sendi Plastis yang Terjadi.....	63
Gambar 4.3	Reaksi yang Terjadi.....	63
Gambar 4.4	Mekanisme Balok EM.....	64
Gambar 4.5	Mekanisme Balok DL.....	65
Gambar 4.6	Mekanisme Balok CK.....	66
Gambar 4.7	Mekanisme Balok LT.....	67
Gambar 4.8	Mekanisme Balok KS.....	67
Gambar 4.9	Mekanisme Balok JR.....	68
Gambar 4.10	Mekanisme Balok AC.....	69
Gambar 4.11	Mekanisme Panel DEML.....	70
Gambar 4.12	Mekanisme Panel CDTS.....	71
Gambar 4.13	Mekanisme Panel ACSR.....	72
Gambar 4.14	Mekanisme Panel IJRQ.....	73

Gambar 4.15	Mekanisme Kombinasi .....	74
Gambar 4.16	Mekanisme Kombinasi .....	75
Gambar 4.17	Kombinasi Mekanisme Balok LT Dengan Mekanisme Panel CDTS Setelah Dikombinasikan Dengan Mekanisme Rotasi Simpul L.....	77
Gambar 4.18	Mekanisme Kombinasi Balok CK Dengan Panel JKSR.....	78
Gambar 4.19	Kombinasi Mekanisme Balok KS Dengan Mekanisme Panel ACSR Setelah Dikombinasikan Dengan Mekanisme Rotasi Simpul K .....	79
Gambar 4.20	Mekanisme Kombinasi .....	81
Gambar 4.21	Mekanisme Kombinasi Dari Panel DEML dan Panel CDTS .....	82
Gambar 4.22	Mekanisme Kombinasi Balok ED, Panel DEML Dan Panel CDTS.....	83
Gambar 4.23	Mekanisme Kombinasi Panel CDTS Dan Panel ACSR .....	84
Gambar 4.24	Mekanisme Kombinasi Balok DL, Panel CDTS Dan Panel ACSR.....	86
Gambar 4.25	Mekanisme Kombinasi Balok LT, Panel CDTS Dan Panel ACSR .....	87
Gambar 4.26	Mekanisme Kombinasi Dari Semua Mekanisme Elementer .....	89
Gambar 4.27	Profil Baja WF24x146 .....	91
Gambar 4.28	Panjang Sendi Plastis .....	95
Gambar 4.29	Grafik Hubungan Momen- Gaya Aksial .....	102

Gambar 4.30	Grafik Hubungan Momen- Gaya Geser .....	103
Gambar 4.31	Struktur Penampang Profil WF .....	104
Gambar 4.32	Grafik Perkembangan Zone Plastis .....	109
Gambar 4.33	Grafik Momen Profil WF 27 X 102 .....	110



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Perbandingan $F_y$ Dengan $b_f/2t_f$ .....	41
Tabel 2.2	Nilai Perbandingan $F_y$ Dengan $d/t_w$ .....	41
Tabel 4.1 a	Hubungan Momen – Gaya Aksial Profil WF 18 X 311 .....	99
Tabel 4.1 b	Hubungan Momen – Gaya Geser Profil WF 18 X 311 .....	100
Tabel 4.2	Batas Elastoplastis Pada Sayap Profil WF 18 X 311 .....	105
Tabel 4.3	Batas Elastoplastis Pada Badan Profil WF 18 X 311 .....	106
Tabel 4.4	Hubungan Momen Kelengkungan Profil WF 18 X 311.....	108

## DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang profil ( In <sup>2</sup> )
bf	= Lebar alas profil baja ( In )
c	= Tinggi inti elastis dari pusat sumbu ( In )
C1	= Gaya tekan pada sayap profil profil WF ( Kip )
C2	= Gaya tekan pada badan profil profil WF ( Kip )
Cm	= Faktor pembesaran momen yang berkaitan dengan gradien momen dan kekangan ujung
D	= Tinggi penampang profil ( In )
E	= Modulus elastisitas ( kip/In, Ksi )
Ec	= Modulus elastisitas beton
Es	= Modulus elastisitas baja, 29000 Ksi
f	= Faktor bentuk profil
Fa	= Tegangan aksial beban layanan yang diijinkan ( Ksi )
Fcr	= Tegangan kritik pada kondisi tekan, tegangan tekuk ( Ksi )
H	= Beban horisontal ( Kip )
h	= Tinggi serat terluar profil dari sumbu netral ( In )
I	= Momen inersia, masing-masing menurut x, y atau z ( In <sup>4</sup> )
K	= Kelengkungan
k	= Jumlah mekanisme elementer
Ky	= Kelengkungan saat leleh
L	= Panjang bentang struktur ( Ft )
M	= Momen ( Kip-Ft )
Mp	= Momen plastis ( Kip-Ft )
My	= Momen leleh ( Kip-Ft )
n	= Jumlah sendi plastis yang mungkin
n <sub>1</sub>	= Jumlah sendi plastis saat runtuh

$o$	= Pusat rotasi
$P$	= Beban terpusat ( Kip )
$P_y$	= Beban leleh ( Kip )
$P_{cr}$	= Beban tekuk kritis, gaya tekan pada tekuk ( Kip )
$r$	= Jumlah redundan
$r_x, r_y, r_z$	= Radius girasi, masing-masing menurut sumbu $x, y, z$
$S, S_x, S_y$	= Modulus penampang elastis, menurut sumbu $x$ , atau $y$ ( $In^3$ )
$T_1$	= Gaya tarik pada sayap profil ( Kip )
$T_2$	= Gaya tarik pada badan profil ( Kip )
$V$	= Beban vertikal ( Kip )
$V_u$	= Gaya geser terfaktor ( Kip )
$W$	= Berat profil ( Lbs/ft )
$X$	= Jarak horisontal dari pusat sumbu balok ( In )
$Y_1$	= Panjang lengan gaya tekan pada sayap ( In )
$Y_w$	= Panjang lengan gaya tekan pada badan ( In )
$Z$	= Modulus plastis ( $In^3$ )
$\epsilon$	= Regangan ( Ksi )
$\epsilon_y$	= Regangan leleh ( Ksi )
$\epsilon_p$	= Regangan plastis ( Ksi )
$\lambda$	= Faktor beban
$\lambda_c$	= Faktor beban yang sesungguhnya
$\rho$	= Perbandingan $P$ dengan $P_y$
$\theta$	= Sudut rotasi
$\sigma$	= Tegangan ( Ksi )
$\tau$	= Tegangan geser ( Kip )
$\Delta$	= defleksi, deformasi geser
$\sigma$	= Tegangan leleh tarik – tekan ( Ksi )

## ABSTRAKSI

Baja merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam sebuah konstruksi baik itu bangunan gedung, jembatan, jalan raya, bendungan dan lain-lain.

Baja struktur adalah material yang bersifat duktail dan dapat didesain dengan metode plastis atau metode elastis ( metode kekuatan batas ). Salah satu tujuan dari analisis plastis adalah untuk menentukan besarnya beban yang menyebabkan struktur runtuh ( *collapse* ). Disamping itu, perlu juga diketahui apa yang terjadi ketika struktur runtuh dan bagaimana polanya apabila tegangan-regangan dari materialnya telah batas elastis.

Momen plastis pada struktur baja tergantung pada tegangan leleh baja ( *Yield Stress* ) dan bentuk penampangnya, selain itu gaya aksial dan gaya geser yang bekerja pada penampang akan mengurangi kapasitas momen plastis pada profil yang digunakan dan dengan metode plastis ini pula perkembangan zone plastis pada penampang pada saat struktur runtuh dapat diketahui.

Analisis struktur pada rangka baja yang didesain dengan cara Metode Plastis akan lebih sederhana daripada dengan menggunakan Metode Elastis, misalnya pada portal baja, portal beratap lancip ( *pitched roof portal* ) ataupun balok menerus. Metode mekanisme kombinasi merupakan pengembangan dari metode kerja virtual, dimana konsep perhitungan dari metode kerja virtual adalah dengan meninjau keseimbangan energi pada saat mekanisme keruntuhan. Dengan metode mekanisme kombinasi dapat diketahui pola mekanisme keruntuhan struktur, letak dan jumlah sendi plastis pada saat runtuh dan momen plastisnya. Dari analisis penampang profil dapat diketahui reduksi momen plastis akibat gaya aksial dan gaya geser yang bekerja pada penampang profil dan kurva perkembangan zone plastis saat mengalami keruntuhan dapat diketahui dari distribusi tegangan pada penampang.

Tugas Akhir ini membahas dan menganalisis suatu rangka portal bertingkat banyak dan dicari pola keruntuhan strukturnya serta besarnya reduksi kapasitas momen plastis akibat pengaruh gaya aksial dan gaya geser yang bekerja pada penampang.

Dari harga momen plastis terbesar kemudian dapat ditentukan dimensi penampang profil yang dibutuhkan. Suatu struktur statis tak tentu tidak akan runtuh bila sendi plastis yang terjadi hanya 1 buah. Dari analisis mekanisme keruntuhan, struktur akan mengalami runtuh bila telah terbentuk 16 sendi plastis yang diakibatkan karena peningkatan beban yang bekerja. Besarnya reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya aksial yang bekerja pada penampang profil WF 18 X 311 lb/ft sebesar 4,84 % dan reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya geser sebesar 1,0298 %.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Telah lama para perancang struktur menyadari bahwa analisis dan desain berdasarkan teori Elastis belum mencerminkan faktor keamanan struktur yang sesungguhnya. Penyebabnya adalah perencanaannya mengabaikan kemampuan beberapa bahan tertentu, seperti baja, untuk mengalami deformasi setelah titik elastisnya terlampaui. Faktor yang lainnya adalah suatu faktor pengali pada pembebanan sehingga keadaan batas kekuatan atau batas yang berhubungan dengan keamanan dapat dicegah.

Baja adalah material yang bersifat duktail dan dapat di desain dengan Metode Plastis atau Metode Kekuatan Batas. Daktilitas adalah kemampuan untuk berdeformasi secara nyata di bawah tegangan tarik sebelum terjadi keruntuhan. Daktilitas baja akan memungkinkan terjadinya penyebaran tegangan pada struktur yang menerima beban berlebih, yang disebut dengan kondisi plastis.

Ada dua filosofi perencanaan yang dewasa ini dipakai. Filosofi perencanaan tegangan kerja/elastis ( *Working Stress Design* ) dan filosofi perencanaan tegangan batas/plastis ( *Limit State* ). Secara teoritis metode plastis mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan metode elastis. Dalam analisis plastis digunakan

beban leleh yang masih dapat ditahan oleh struktur dan berada dalam batas plastis, dimana beban tersebut lebih besar daripada beban pada tegangan elastis. Selain itu dengan metode plastis dapat diperkirakan beban maksimum ( beban runtuh ) suatu struktur. Keuntungan lain metode plastis adalah dimensi batang ( elemen ) struktur yang lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan metode elastis.

Penggunaan metode plastis biasanya diterapkan pada bangunan-bangunan yang berbentuk panjang seperti auditorium, hanggar pesawat terbang, pabrik, ruang pameran, ruang olah raga, dan lain-lain yang memerlukan ruangan luas dalam gedung tanpa ada kolom-kolom penyangga.

Pertimbangan lain penggunaan baja sebagai bahan konstruksi karena struktur baja mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

- Dapat menghitung lebih akurat baik sifat maupun kekuatan batasnya dari struktur
- Kemampuan untuk dibuat secara seragam karena beban dikalikan suatu faktor pengaman
- Berat keseluruhan struktur menjadi lebih ringan
- Perhitungan yang dilakukan lebih sederhana serta kemungkinan pemakaian kembali setelah struktur dibongkar.

Konsep perhitungan baja plastis adalah berdasar sifat plastis material baja. Dimensi dari batang komponen struktur berdasarkan atas tegangan leleh baja. Dengan memberi suatu beban batas yang didapat dari beban yang bekerja pada struktur dikalikan suatu faktor beban yang disebut faktor keamanan ( *safety faktor* ).

Umumnya dalam perhitungan, struktur dianggap lentur murni dan tidak memperhitungkan adanya gaya geser, gaya aksial dan buckling.

Pengaruh adanya gaya aksial, gaya geser dan buckling adalah terhadap kapasitas momen plastis. Selain itu pada suatu penampang, selain terdapat momen sering juga timbul gaya lintang (*Shear Force*). Hal ini berarti sering terjadi kombinasi tegangan akibat lentur  $\sigma$  dan tegangan akibat geser  $\tau$ .

Sehingga pengaruh faktor-faktor ini perlu mendapat perhatian karena akan mempengaruhi besarnya momen plastis.

## 1.2 Rumusan Masalah

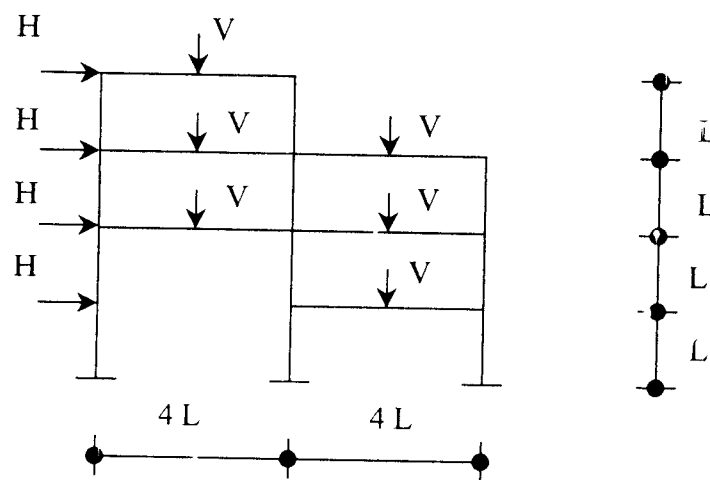
Berdasarkan latar belakang masalah tersebut di atas maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

- a). Bagaimana mekanisme keruntuhan struktur portal baja bertingkat
- b). Bagaimana menentukan harga momen plastis terbesar dan menentukan beban maksimum sehingga struktur mengalami keruntuhan
- c). Menentukan dimensi profil yang sesuai untuk menahan beban maksimum yang bekerja padanya
- d). Berapakah besarnya reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya aksial serta akibat kombinasi momen dan gaya geser
- e). Menganalisa perkembangan zone plastis pada suatu titik yang menjadi sendi plastis

### 1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini agar masalah yang dibahas lebih terarah maka, penulis membatasi permasalahannya sebagai berikut :

- a). Analisa kapasitas momen plastis dan mekanisme keruntuhan berdasarkan atas struktur portal baja bertingkat 4 ( gambar 1.1 ).



Gambar 1.1 Struktur Portal Baja Bertingkat 4

- b). Perletakkan struktur portal adalah jepit-jepit
- c). Balok yang digunakan untuk struktur merupakan balok tunggal dan seragam ( balok WF / Wide Flange )
- d). Beban-beban yang bekerja merupakan beban horisontal ke arah kanan dan beban vertikal
- e). Mutu baja yang digunakan untuk setiap elemen struktur adalah sama

Guna menyederhanakan proses analisis dalam tugas akhir ini dibuat beberapa anggapan yakni sebagai berikut :



- 1). Sambungan-sambungan merupakan sambungan yang kaku dan lebih kuat dari profil
- 2). Tidak terjadi penurunan ( settlement ) dari struktur
- 3). Kapasitas rotasi sendi plastis tidak terlampaui
- 4). Perancangan struktur baja dengan metode plastis dan untuk menghitung momen plastis digunakan metode mekanika kombinasi

#### **1.4 Tujuan dan Manfaat Penulisan Tugas Akhir**

Tujuannya :

- 1). Mengetahui mekanisme keruntuhan dan mekanisme dari proses plastis yang terjadi pada elemen struktur yang menerima beban vertikal dan horisontal
- 2). Menentukan dimensi profil yang dibutuhkan
- 3). Menentukan besarnya momen plastis yang terbesar yang terjadi pada mekanisme keruntuhan dan menentukan beban maksimum yang menyebabkan struktur runtuh
- 4). Untuk mengetahui besarnya reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya aksial serta kombinasi momen dengan gaya geser
- 5). Menganalisa perkembangan zone plastis pada profil yang digunakan di suatu titik yang menjadi sendi plastis

Sedangkan manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah:

- 1). Manfaat Teoritis

Untuk menambah pengetahuan dan mengembangkannya di bidang analisis dan desain plastis struktur baja.

## 2). Manfaat Praktis

Untuk dapat mengetahui pola dan bentuk struktur setelah mengalami proses plastis serta dapat memanfaatkan hasil-hasil analisis teoritis untuk mendesain struktur baja khususnya portal bertingkat yang dipengaruhi oleh gaya geser dan gaya aksial.

### 1.5 Tinjauan Pustaka

Struktur baja adalah suatu material yang dapat melentur atau daktail dan dapat didesain atas dasar metode plastis atau kekuatan batas ( *ultimate strength* ). Pembebanan berlebih pada suatu balok dapat menyebabkan struktur luluh tetapi belum runtuh, dan memaksa struktur mendistribusikan tegangan dan regangan yang ada pada seluruh penampang. Inti dari metode plastis sebenarnya menentukan sejauh mana suatu tampang mendistribusikan tegangan akibat beban yang bekerja sedangkan kekuatan plastis suatu tampang terhadap gaya-gaya luar masih dapat dijamin, selama pada tampang tersebut dapat terjadi suatu distribusi tegangan plastis yang memenuhi persyaratan untuk mengimbangi gaya-gaya luar tersebut ( Robert O. Disque, 1971 ).

Pada umumnya jika struktur mencapai kondisi keruntuhan akan dipenuhilah tiga keadaan berikut :

- a). Kondisi leleh ( *yield condition* )
- b). Kondisi keseimbangan ( *equilibrium condition* )

c). Kondisi mekanisme ( mekanism condition )

Kondisi leleh merupakan persyaratan dari sifat deformasi plastis, dimana pada saat runtuh momen dalam dari suatu struktur tidak ada yang melampaui kapasitas momen plastisnya. Kondisi keseimbangan menghendaki, bahwa momen lentur dalam harus seimbang dengan momen luar yang bekerja. Dalam uraian berikut akan kita lihat bahwa persamaan momen ini akan identik dengan persamaan momen elastis. Selanjutnya kondisi mekanisme akan terjadi bila jumlah sendi plastis dalam struktur telah cukup untuk mengubah sebagian atau seluruh struktur tersebut kedalam kondisi mekanisme keruntuhannya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi momen plastis (  $M_p$  ) dapat dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama  $M_p = Z \cdot \sigma_y$ . Dengan demikian setiap faktor yang mempengaruhi tegangan leleh juga akan mempengaruhi momen plastis (  $M_p$  ) yang termasuk faktor ini misalnya komposisi bahan, pengaruh panas, kecepatan pembebanan dan sebagainya. Bagian kedua selain mengalami lentur murni momen plastis suatu penampang juga dipengaruhi oleh adanya gaya aksial, gaya geser dan buckling. Pengaruh faktor ini adalah pengurangan besarnya momen plastis, walaupun pada umumnya pengurangan ini tidak terlalu besar ( Laurentius Wahyudi dan Sjahril A. Rahim, 1992 ).

Dalam metode perencanaan plastis, beban kerja dikalikan dengan faktor beban untuk memperoleh beban batas yang harus dipikul oleh struktur pada keruntuhan plastis. Momen batas kemudian ditentukan pada saat runtuh. Pada struktur statis

tertentu, pencapaian momen plastis pada suatu lokasi tertentu cukup untuk menimbulkan mekanisme keruntuhan. Setelah suatu penampang mencapai  $M_p$ , penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan daya tahan tambahan. Kondisi ini meningkatkan deformasi dengan momen penahan konstan disebut “sendi plastis”, untuk keadaan statis tak tentu. Umumnya redistribusi (penyebaran kembali) momen akan terjadi selama pembebanan berada di daerah elastis. Jadi bidang momen setelah terjadi sendi plastis terbentuk tidak lagi sebanding dengan bidang momen elastis (Salmon C. G., dan John E. Johnson, 1990).

Metode desain plastis memanfaatkan kekuatan cadangan balok baja yang ada setelah tegangan leleh tercapai pada beberapa lokasi. Banyak percobaan yang telah dilakukan membuktikan bahwa elemen struktur lentur dapat memikul beban lebih dari tegangan leleh. Dengan demikian teori plastis menggunakan hubungan tegangan-regangan yang meliputi juga daerah plastis sampai saat akan mencapai “Strain Hardening” (pengerasan Regangan). Selang “Strain hardening”, secara teoritis memungkinkan elemen struktur baja menahan tegangan tambahan. Akan tetapi deformasi dan regangannya sudah demikian besarnya sehingga struktur tersebut sudah tidak stabil. Asumsi yang digunakan dalam desain plastis adalah regangannya belum mencapai selang “Strain Hardening” (Spiegel, L, dan Limbrunner, G.F, 1991; 10).

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Umum

Jika suatu struktur dengan beban yang relatif kecil, misal dua balok yang diletakkan diatas dua tumpuan sendi dan diberi beban terpusat maka tegangan yang terjadi masih diatas batas elastis. Tetapi jika tegangan ini diperbesar, pada bagian-bagian tertentu dari balok tersebut, dalam hal ini terletak dibawah beban akan mengalami tegangan leleh ( *Yield Stress* ) sehingga struktur akan mengalami deformasi elastis plastis ( *Elasto Plastis* ).

Penambahan beban selanjutnya masih bisa dilanjutkan, namun akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang akan sama dengan momen plastisnya, sehingga terbentuk sendi plastis pertama. Selanjutnya dengan jumlah sendi plastis tertentu akan menyebabkan keruntuhan ( *collapse* ).

Dalam skripsi ini telah ditentukan suatu struktur portal baja bertingkat banyak dengan beban yang telah ditentukan pula. Dengan menggunakan metode mekanisme kombinasi akan diketahui besarnya momen plastis (  $M_p$  ), harga momen plastis terbesar kemudian akan menentukan dimensi profil dan dicari besarnya reduksi momen akibat gaya aksial serta reduksi momen akibat gaya yang terjadi pada struktur akibat beban ultimate yang bekerja. Dari mekanisme yang menghasilkan momen

plastis yang terbesar dapat diketahui pula sendi-sendi plastis pada saat struktur mengalami keruntuhan.

## **2.2 Dasar-dasar Teori Plastis**

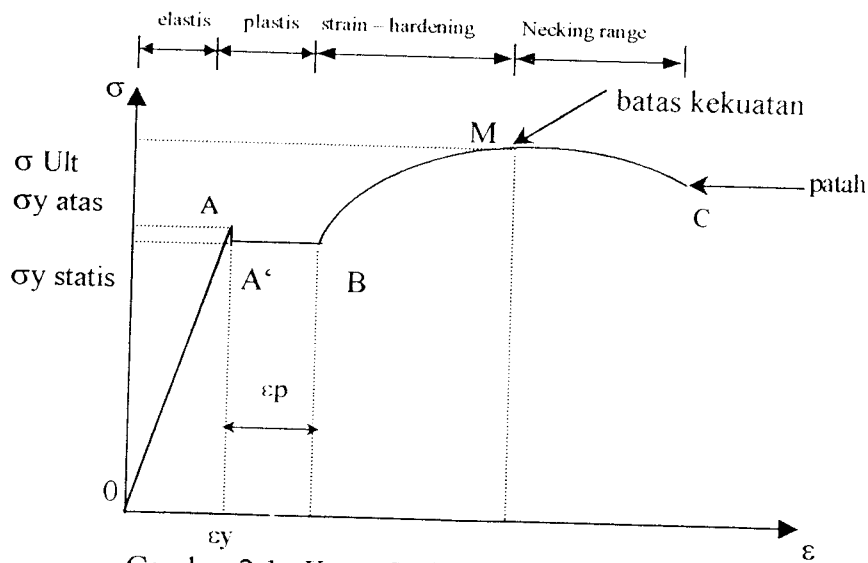
Konsep analisis dan desain plastis berdasarkan kondisi plastis, yang selanjutnya disebut teori plastis. Konsep ini mulai berkembang pada tahun 1930, karena relatif sederhana konsep ini digunakan untuk mendesain struktur baja, misalnya portal baja, portal beratap lancip (*pitched roof portal*) ataupun balok menerus.

Dasar dari teori plastis sebenarnya adalah meninjau suatu struktur yang mendapat beban berlebih, sehingga sebagian atau seluruhnya dari elemen struktur tersebut mengalami kelelahan. Dengan demikian struktur baja masih mempunyai kemampuan untuk menahan beban di bawah tegangan ijin. Dalam teori ini dapat dihitung berapa besar beban maksimum yang dapat ditahan oleh elemen struktur serta mekanisme keruntuhan strukturnya.

Teori plastis pada baja ini didasari pada studi penelitian dari hubungan tegangan regangan dibawah kondisi pembebanan yang sederhana.

### **2.2.1 Hubungan Tegangan – Regangan**

Kurva tegangan – regangan yang umum akibat tarikan baja ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan

( Michael Bruneau, Chia – Ming Uang, Andrew Whittaker, 1998, fig 2.2 )

Besarnya kurva pada tegangan – regangan, tegangan ditentukan dengan membagi beban dengan luas penampang, sedangkan regangannya dihitung sebagai perpanjangan dibagi dengan panjang semula.

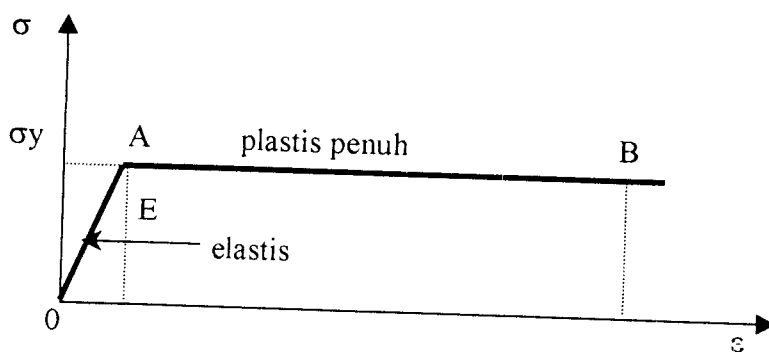
Tegangan atau stress dilambangkan dengan  $\sigma$ , sedangkan regangan dilambangkan dengan  $\epsilon$ . Pada kurva hubungan tegangan – regangan ( gambar 2.1 ) menunjukkan bahwa daerah pertama yaitu OA merupakan garis lurus yang menyatakan daerah linier elastis, kemiringan dari garis ini menyatakan besarnya modulus elastis atau disebut juga modulus Young, yang dilambangkan dengan  $E$ . Hubungan garis lurus terakhir di titik A yang disebut batas proporsional. Titik ini biasanya berhimpit dengan titik lelehnya. Pada gambar 2.1 keadaan regangan yang besar dengan tegangan yang konstan ( garis A'B ) disebut daerah plastis.

Metode perencanaan plastis menggunakan daerah ini untuk menentukan kekuatan plastis ( yang biasa dianggap kekuatan batas ). Tegangan kembali menaik terutama di titik B yang sebagai pemikiran dapat ditentukan terletak pada regangan 0,014 atau secara praktis dapat diterapkan sebesar 10 kali besarnya regangan leleh  $\epsilon_y$ . Kenaikan kekuatan ini disebut pengerasan regangan ( *strain hardening* ). Daerah pengerasan regangan berakhir di titik M yang disebut tegangan tarik ultimate atau (*ultimate tensile strength*) dan kemudian menurun sampai batang patah dengan beban menurun. Setelah kekuatan tarik dilalui maka batang baja menggenting atau necking dan akhirnya material putus ( di titik C ).

Kurva tegangan – regangan menunjukkan daktilitas. Daktilitas didefinisikan sebagai sebagai jumlah regangan permanen ( yaitu regangan yang melampaui batas proporsional ) sampai titik patah. Besarnya daktilitas diperoleh dari uji tarik dengan menentukan prosentase perpanjangan ( dengan membandingkan luas penampang lintang akhir dengan semula ) benda uji.

Jadi pada teori elastis hubungan antara tegangan – regangan bersifat linier, sedangkan pada plastis hubungan tersebut sudah tidak linier lagi karena walaupun regangan bertambah terus tetapi harga tegangan tetap. Diagram tegangan – regangan pada gambar 2.1 dapat diidealisasikan seperti terlihat pada gambar 2.2



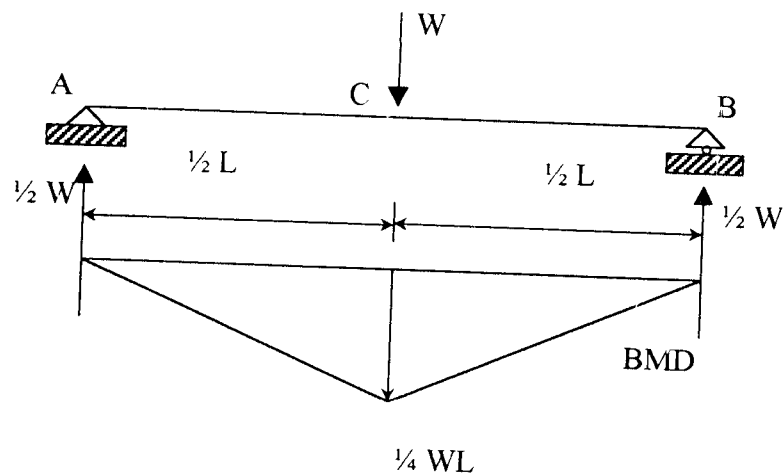


Gambar 2.2 Kurva Tegangan – Regangan yang Diidealisasikan  
( M.R Horne, L. J Morris, 1981, fig 1.1 )

Dari gambar tersebut terlihat bahwa mula-mula bahan tersebut bersifat elastis, tetapi setelah mencapai titik leleh ( A ) maka bahan tersebut berubah bentuk tetapi regangannya tetap atau  $\epsilon_y$ . Tegangan ini biasanya dikenal sebagai tegangan leleh ( $\sigma_y$ ). Perubahan bentuk pada tegangan ini berlangsung terus hingga titik B. Perilaku leleh pada tegangan ( A – B ) dikenal sebagai leleh plastis dan daerah A – B disebut daerah plastis.

### 2.2.2 Momen Plastis Penampang

Pengetahuan tentang besarnya momen plastis pada batang sangat penting dalam desain dan analisis plastis. Besarnya momen plastis sangat bervariasi pada struktur frame sehingga besarnya beban batas plastis pada sebuah frame dapat ditentukan dengan cepat, pada struktur baja momen plastis tergantung pada tegangan leleh baja dan ukuran batang. Sebagai contoh tinjaulah penampang lintang suatu balok di atas dua tumpuan sendi yang menahan beban terpusat W, seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Balok Diatas Dua Tumpuan Dengan Beban Terpusat  
( L. Wahyudi, Sjahril A Rahim, 1992, Gb. 1.4 )

Dari persamaan keseimbangan, kita dapat memperoleh reaksi tumpuan sebesar  $\frac{1}{2} W$  dengan momen maksimum sebesar  $\frac{1}{4} WL$  yang terletak di bawah titik beban.

Jika besarnya tegangan maksimum belum mencapai tegangan leleh, distribusi tegangan dan regangan dari semua penampangnya akan berupa garis lurus atau linier dan nol pada garis netral. Dengan demikian tegangan dan regangan di suatu serat yang ditinjau adalah berbanding lurus terhadap jarak dari garis netral penampang. Besarnya tegangan maksimum yang terjadi adalah :

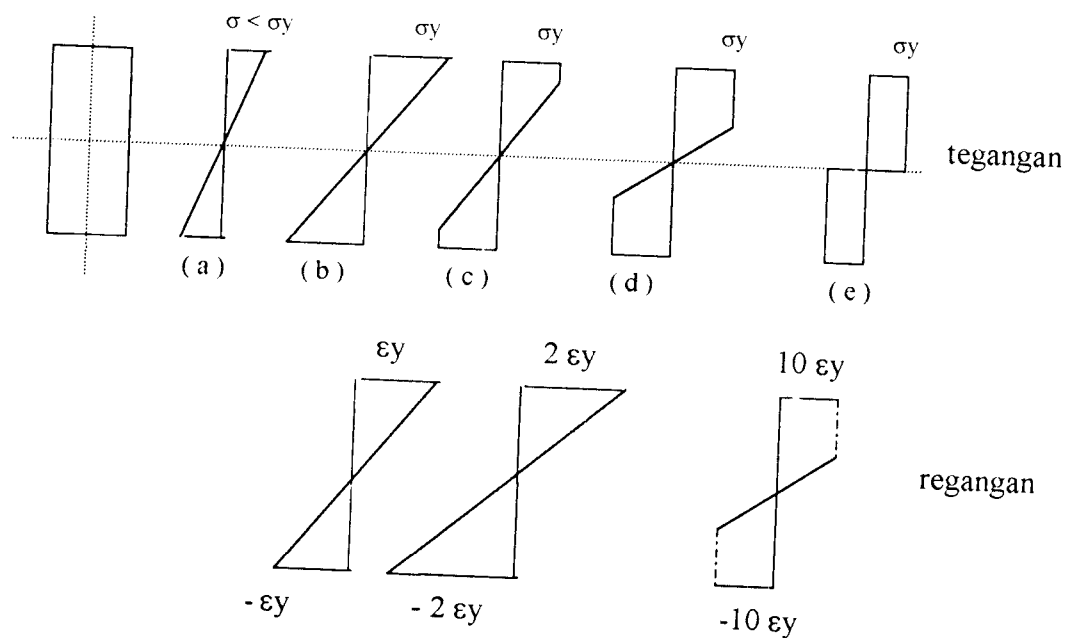
$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : M = Momen Lentur

S = Modulus penampang section ( section modulus )

( L. Wahyudi, Sjahril A Rahim, 1992, Pers. 1-2 )

Jika beban terpusat semakin besar, tegangan disetiap penampang turut bertambah pula. Keadaan ini dapat kita lihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Distribusi Tegangan – Regangan  
( L. Wahyudi, Sjahril A Rahim, 1992, Gb. 1.5 )

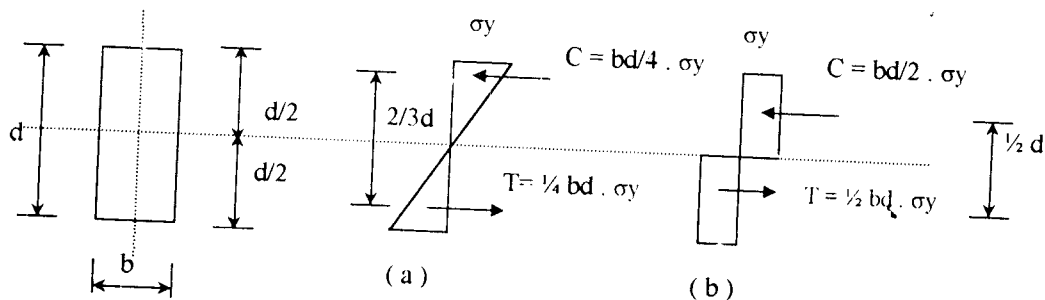
Gambar 2.4b menunjukkan tegangan dan regangan pada serat terluar yang telah mencapai kondisi leleh. Keadaan ini pada gambar 2.1 terletak pada titik A, dan besarnya momen pada titik ini disebut sebagai momen leleh ( *Yield Momen* ),  $M_y$ .

Apabila beban  $W$  diperbesar lagi, tegangan lelehnya mulai menjalar ke serat sebelah dalam, sebagaimana terlihat pada gambar 2.4c, dan 2.4d. Perhatikan bahwa tidak ada tegangan yang lebih besar dari tegangan leleh, tetapi *momen dalam* dapat terus bertambah karena resultan gaya dalamnya terus bertambah besar. Dengan penambahan beban lagi, maka akan tercapailah keadaan dimana seluruh penampang

mengalami tegangan leleh, seperti gambar 2.4e. Momen dalam menjadi maksimum dan merupakan momen plastis. Pada kondisi ini, penampang tadi akan mengalami rotasi yang cukup besar tanpa terjadi perubahan momen. Dengan kata lain, di titik tersebut telah terjadi sendi plastis.

### 2.2.3 Modulus Plastis

Momen leleh (  $M_y$  ) sama dengan tegangan leleh dikali modulus elastis. Modulus elastis untuk penampang segi empat sama dengan  $BD^2/6$  dan momen lelehnya sama dengan  $1/6 BD^2 \cdot \sigma_y$ . Nilai persamaan bisa diperoleh dengan mempertimbangkan kopel tahanan yang terjadi dalam penampang, seperti terlihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Distribusi Tegangan Dalam  
( L. Wahyudi, Sjahril A Rahim, 1992, Gb. 1.12 )

Momen tahanan sama dengan T atau C dikali dengan jarak antara keduanya seperti berikut :

$$M_y = \left[ \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot \frac{d}{2} \cdot b \right] \left[ \frac{2}{3} \cdot d \right] = \frac{\sigma_y \cdot b \cdot d^2}{6} \dots\dots\dots ( 2.2 )$$

( Robert O. Disque, 1971 )

Momen tahanan dari penampang segi empat pada kondisi plastis penuh (  $M_p$  ) dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti pada gambar 2.5b

$$M_y = \left[ \sigma \cdot \frac{d}{2} \cdot b \right] \left[ \frac{1}{2} \cdot d \right] = \frac{\sigma_y \cdot b \cdot d^2}{4} \dots\dots\dots ( 2.3 )$$

$$M_p = \sigma_y \cdot Z$$

( L. Wahyudi, Sjahril A Rahim, 1992, Pers. 1-15 )

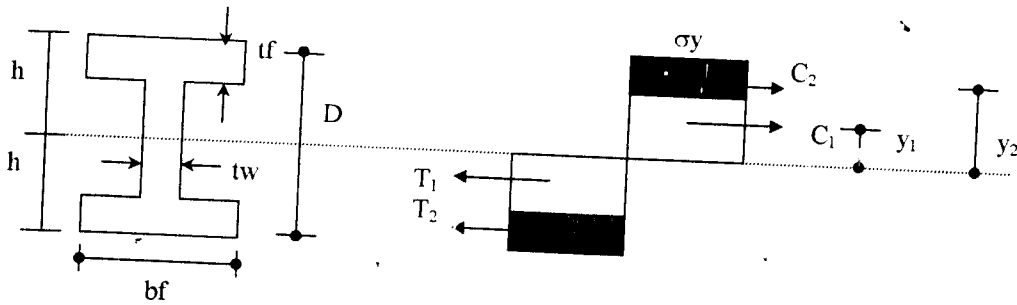
Dengan demikian momen plastis dikatakan sama dengan tegangan leleh dikali modulus plastis, dimana modulus plastis (  $Z$  ) :

$$Z = \frac{1}{4} b d^2 \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

Studi dari momen plastis ditentukan disini menunjukkan bahwa modulus plastis sama dengan statis momen dari daerah tarik dan tekan di sekitar sumbu netral.

Untuk profil WF perhitungan modulus plastis sama caranya dengan perhitungan modulus plastis untuk penampang segi empat.

Langkah-langkah perhitungan modulus plastis profil WF adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Plastis Profil Baja WF

( Lynn S. Beedle, 1958, hal. 32 )

$$M_p = b \cdot t_f \cdot \sigma_y (d - t_f) + (D - 2t_f^2) t_w \cdot \sigma_y, \text{ berarti :}$$

$$Z = b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + t_w (D - 2t_f^2) / 4 \dots\dots\dots ( 2.5 )$$

**2.2.4 Faktor Bentuk**

Faktor bentuk dari suatu penampang adalah perbandingan antara modulus plastis (Z) dengan modulus elastisnya ( S ):

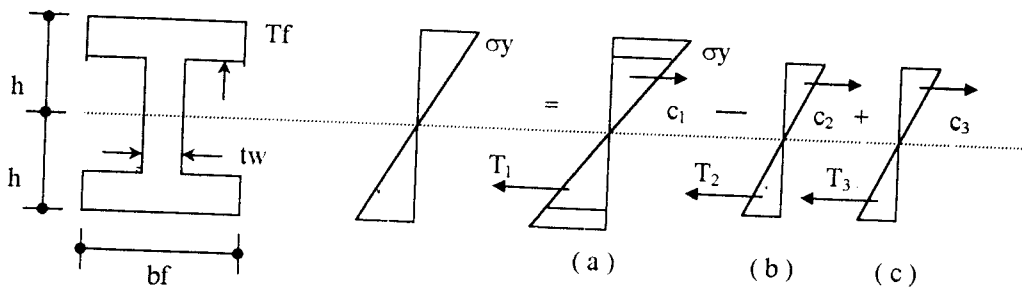
$$F = Z / S \dots\dots\dots( 2.6 )$$

Besarnya modulus plastis sangat tergantung dari bentuk penampangnya dengan demikian besarnya faktor bentuk untuk setiap penampang juga berbeda-beda. Pada penampang segi empat kita peroleh  $Z = \frac{1}{4} bd^2$  dan  $S = \frac{1}{6} bd^2$ , dengan demikian kita dapatkan :

$$F = Z / S = \frac{1/4bd^2}{1/6bd^2} = 1,5$$

( Robert O. Disque, 1971 )

Untuk menghitung besarnya faktor bentuk dari profil WF terlebih dahulu kita mencari modulus elastisitasnya. Sedangkan modulus plastisnya telah dihitung dan hasilnya seperti pada persamaan 2.5. Untuk menghitung modulus elastis dari profil WF adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7 Distribusi Tegangan Elastis Profil WF

( Lynn S. Beedle, 1958, hal. 32 )

$$(a). M_y = 2 \left( \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot bf \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot h \right)$$

$$= \left( \frac{2}{3} \cdot \sigma_y \cdot bf \cdot h^2 \right)$$

$$(b). M_y = 2 \left[ \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot \left( \frac{h-t_f}{h} \right) \cdot bf \cdot (h-t_f) \cdot \frac{2}{3} \cdot (h-t_f) \right]$$

$$= \left( \frac{2}{3} \cdot \sigma_y \cdot \frac{bf}{h} \cdot (h-t_f)^3 \right)$$

$$(c). M_y = 2 \left[ \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot \left( \frac{h-t_f}{h} \right) \cdot t_w \cdot (h-t_f) \cdot \frac{2}{3} \cdot (h-t_f) \right]$$

$$= \left( \frac{2}{3} \cdot \sigma_y \cdot \frac{t_w}{h} \cdot (h-t_f)^3 \right)$$

$$M_y = \frac{2}{3} \cdot \sigma_y \cdot bf \cdot h^2 + \frac{2}{3} \cdot \sigma_y \cdot \frac{1}{h} \cdot (t_w - bf) \cdot (h-t_f)^3$$

$$= \sigma_y \cdot \left[ \frac{2}{3} \cdot bf \cdot h^2 + \frac{2}{3h} \cdot (t_w - bf) \cdot (h-t_f)^3 \right]$$

$M_y = \sigma_y \cdot S$ , berarti :

$$S = \frac{2}{3} \left[ bf \cdot h^2 + \frac{1}{h} \cdot (t_w - bf) \cdot (h-t_f)^3 \right] \quad (2.7)$$

Perbandingan antara modulus plastis dengan modulus elastis,  $M_p/M_y$  akan memberikan nilai faktor bentuk (*Shape Factor*) yang nilainya untuk profil WF berkisar antara 1,14 s/d 1,16.

(L. Wahyudi, Sjahri A. Rahim, *Metode Plastis Analisis dan Desain*, 1992, hal 15).

### 2.2.5 Faktor Beban/ Faktor Keamanan

Faktor keamanan ( *Safety faktor* ) dapat dirumuskan dalam beberapa cara Umpamanya. Pada teori elastis faktor ini dirumuskan sebagai perbandingan antara tegangan leleh dengan tegangan ijinnya ( $\sigma_y/\sigma$  ), atau dapat pula dirumuskan sebagai beban pada kondisi tegangan leleh dibagi dengan tegangan kerja. Beban kerja didefinisikan sebagai beban yang menimbulkan tegangan ijin maksimum. Rumusan yang digunakan pada teori plastis menyatakan bahwa faktor keamanan merupakan hasil pembagian antara kapasitas beban maksimum dengan beban kerja, yang ekuivalen dengan momen plastis dibagi dengan momen elastis (  $M_p/M$  )

Dari uraian sebelumnya telah diketahui bahwa :

$$M_p = \sigma_y \cdot Z$$

$$M = \sigma \cdot S$$

$$\frac{M_p}{M} = \frac{\sigma_y \cdot Z}{\sigma \cdot S}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_y \cdot f}{\sigma} \dots\dots\dots (2.8)$$

( L. Wahyudi, Sjahril A Rahimi, 1992, Pers. 1.22 )

Dimana :  $\sigma_y$  = tegangan leleh baja

$\sigma$  = tegangan ijin baja

f = faktor bentuk

Sebagai contoh untuk penampang *rolled W shapes* yang mempunyai tegangan ijin sebesar  $0,66\sigma_y$  dan faktor bentuknya 1,12 mempunyai faktor beban sebesar :



$$\lambda = \frac{\sigma_y \cdot f}{\sigma} = \frac{\sigma_y}{0,66\sigma_y} \cdot 1,12 = 1,7 \dots\dots\dots (2.9)$$

Harga ini dipakai dalam desain plastis dimana beban rencana atau beban kerja dapat diperoleh dari beban plastis ( beban runtuh ) dibagi faktor beban.

$$Pr = \frac{Pp}{\lambda} \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk balok yang terletak di atas dua tumpuan atau menerus menggunakan faktor beban 1,70. Sedangkan untuk portal digunakan faktor beban 1,85 bila menahan beban mati atau beban hidup saja, dan 1,4 bila ditambah beban gempa atau beban angin ( L. Wahyudi, Sjahril A Rahim, 1992 )

### 2.3 Hubungan Momen Kelengkungan

Jika suatu balok diberi beban luar dengan peningkatan besaran yang bertahap, aliran plastis akan bermula pada suatu tahap saat kriteria leleh pertama kali muncul pada elemen yang bertegangan paling kritis. Peningkatan beban yang lebih besar menyebabkan menyebarnya zone plastis yang dimana dipisahkan dari material elastis dengan sebuah batas elastis – plastis. Posisi dari batas ini adalah sesuatu yang tidak diketahui permasalahannya, dan umumnya berbentuk cukup rumit yang penyelesaiannya dari masalah batas meliputi metode numerik. Pemecahannya harus dibawa kesuatu rangkaian kenaikan yang kecil dari regangan meskipun saat deformasi dibatasi pada keadaan elastis. Hal ini penting untuk menjamin pada setiap

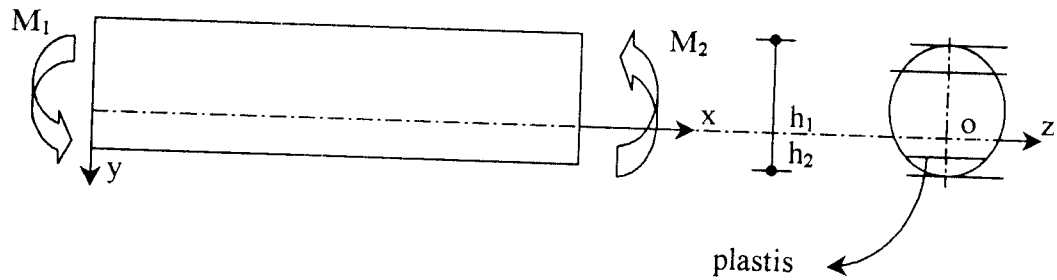
tahap bahwa tegangan yang diperhitungkan dan perpindahan ( *displacement* ) pada daerah elastis plastis memenuhi kondisi kontinuitas melintasi batas elastis plastis.

### 2.3.1 Penampang Segi Empat

Tinjaulah sebuah balok prismatis seperti pada gambar 2.8. Dilenturkan oleh dua momen kopel yang sama dan berlainan arah (  $M$  ) yang bekerja diujung-ujungnya. Penampang lintang dari balok mempunyai sumbu simetri pada  $Oy$  dan sumbu kopel kelengkungan sejajar dengan  $Oz$ , dimana  $O$  diletakkan pada bidang netral. Bidang kelengkungan bertepatan dengan bidang  $XY$ , serat netral  $Ox$  akan melentur menjadi lengkungan lingkaran dengan radius  $R$ . Selama kelenturan elastis,  $O$  ditempatkan pada pusat dari penampang melintang dan hanya tegangan yang ada  $\sigma_x = \sigma$  dinyatakan oleh :

$$\sigma = \frac{E.y}{R} = \frac{M.y}{I_z} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana  $E$  adalah Modulus Young dari material, dan  $I_z$  adalah momen inersia dari penampang melintang dengan sumbu netral  $Oz$ . Kelengkungan pertama terjadi pada serat terjauh dari sumbu netral, saat tegangan mencapai nilai yang sama dengan  $\sigma_y$ . Jika penampang melintang tidak simetris dengan sumbu netral  $Oz$ , zone plastis menyebar ke dalam sisi ini sebelum sisi lainnya mulai meleleh.



Gambar 2.8 Potongan Balok Simetris

Kelenturan selanjutnya dari balok melibatkan dua zone plastis yang terpisah, dengan batas elastis plastis terjadi pada jarak yang sama  $c = \frac{(\sigma_y/E)}{r}$  dari sumbu netral bervariasi dengan sejumlah kelenturan, dan ditentukan oleh kondisi resultan gaya longitudinal yang sama dengan 0 ( nol ) melintasi penampang melintang dinyatakan sebagai :

$$\int \sigma \cdot b(y) \cdot y \, dy = 0 \dots\dots\dots ( 2.12 )$$

dimana b adalah lebar dari penampang melintang sejauh y dari Oz. Jika Oz sumbu simetri dari penampang melintang, sumbu netral bertepatan dengan sumbu netral pada kedua jarak elastis dan plastis dari kelenturan. Tegangan pada daerah elastis bervariasi dengan linier dengan 0 pada sumbu netral sampai sebesar  $\sigma_y$  pada batas elastis – plastis. Tegangan mempunyai nilai leleh lokal dalam tarikan atau tekanan dan merupakan fungsi dari regangan. Momen lentur pada suatu tahap dapat dihitung dengan pernyataan :

$$M = \int \sigma \cdot y \cdot b(y) \, dy \dots\dots\dots ( 2.13 )$$

Untuk material yang mengeras dengan proses pemanasan ( *annealed* ), permukaan elasto plastis menghilang, tetapi integralnya masih bisa dievaluasi dengan hukum tegangan regangan yang ada, meliputi seluruh penampang. Untuk material nonhardening perbandingan dari momen plastis dengan momen leleh awal dari penampang melintang yang ada disebut *shape factor*.

### 2.3.2 Penampang Balok Wide – Flange ( WF )

Tinjaulah suatu penampang balok WF dengan tinggi  $2h$  dan lebar  $b$  serta kopel kelenturan bekerja pada bidang vertikal, mengalami kelenturan seperti pada gambar 2.9. Gambaran dari penampang melintang, sumbu vertikal selalu melalui pusatnya. Momen inersia pada sumbu ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_z = \frac{b \cdot t_f^3}{6} + 2b \cdot t_f \left( h - \frac{t_f}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \cdot t_w [2(h - t_f)]^3 \dots\dots\dots ( 2.14 )$$

Kelelahan plastis bermula pada  $y = \pm h$  sewaktu momen lentur dan jari-jari kelengkungan menjadi :

$$M_y = \frac{I_z \cdot \sigma_y}{y} \text{ dan } K_y = \frac{E \cdot h}{\sigma_y} \dots\dots\dots ( 2.15 )$$

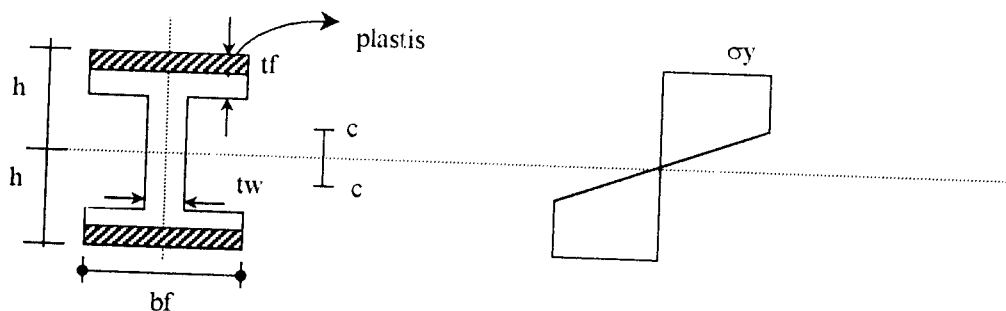
Jari-jari kelengkungan pada suatu tahap selama kelenturan elastis – plastis adalah

$K = \frac{E \cdot c}{\sigma_y}$ , dimana  $c$  adalah ketinggian dari inti elastis. Hal ini mengarah pada material

yang strain hardening mengacu pada aturan :

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \left[ \frac{E \cdot \epsilon}{\sigma_y} \right]^n, \epsilon \geq \frac{\sigma_y}{E} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana  $0 \leq n \leq 1$



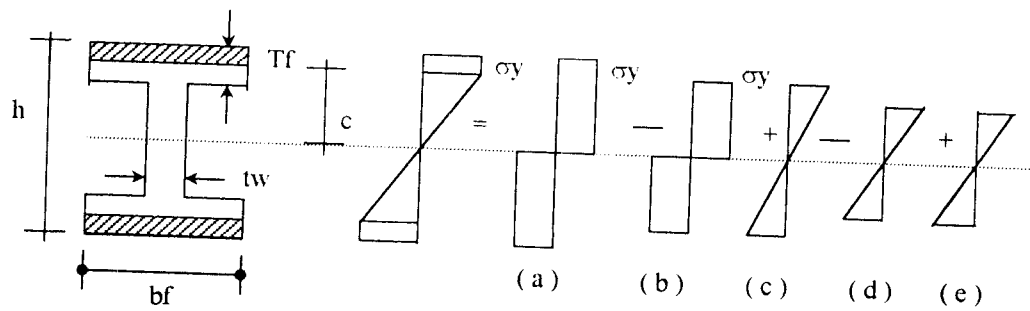
Gambar 2.9 Perampang Melintang Balok WF  
( Lynn S. Beedle, 1958 )

Jelaslah bahwa  $\sigma$  dan  $E$  adalah sama dengan besaran dari tegangan longitudinal dan regangan longitudinal pada daerah plastis. Dengan  $\epsilon = |y/K|$ , penyebaran tegangan pada bagian tarik dari penampang melintang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma = \sigma_y \left( \frac{y}{c} \right) \quad 0 \leq y \leq c \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\sigma = \sigma_y \left( \frac{y}{c} \right)^n \quad c < y < h \dots \dots \dots (2.18)$$

Untuk bagian sayap persamaan momen dapat diturunkan sebagai berikut :



Gambar 2.10 Distribusi Tegangan Penampang WF  
Saat Batas Elasto Plastik Berada di Bagian Sayap  
( Lynn S. Beedle, 1958 )

$$(a). M = 2(bf \cdot h \cdot \sigma_y \cdot 1/2h)$$

$$= (bf \cdot h^2 \cdot \sigma_y)$$

$$(b). M = 2(bf \cdot c \cdot \sigma_y \cdot 1/2c)$$

$$= (bf \cdot c^2 \cdot \sigma_y)$$

$$(c). M = 2(1/2bf \cdot c \cdot \sigma_y \cdot 2/3c)$$

$$= 2/3(bf \cdot c^2 \cdot \sigma_y)$$

$$(d). M = 2\left(\frac{1}{2}bf \cdot (h - tf)\right) \sigma_y / h \cdot (h - tf) \cdot \frac{2}{3} \cdot (h - tf)$$

$$= \frac{2/3 \sigma_y \cdot bf}{h \cdot (h - t)^3}$$

$$(e). M = 2\left(\frac{1}{2}tw \cdot (h - tf)\right) \sigma_y / h \cdot (h - tf) \cdot \frac{2}{3} \cdot (h - tf)$$

$$= \frac{2/3 \sigma_y \cdot tw}{h \cdot (h - t)^3}$$

$$M = Ma - Mb + Mc - Md + Me$$

$$M = \sigma_y \left[ bf \cdot h^2 - bf \cdot c^2 + 2/3 bf \cdot c^2 - 2/3 \frac{bf}{h} (h - tf)^3 + 2/3 \frac{bw}{h} (h - tf)^3 \right]$$

$$M = \sigma_y \left[ bf \cdot h^2 - \frac{1}{3} bf \cdot c^2 + \frac{2}{3h} (tw - h)(h - tf)^3 \right]$$

$$M = \sigma_y \left[ bf \cdot (h^2 - \frac{1}{3} c^2) + h/c \left( S - \frac{2}{3} bf \cdot h^2 \right) \right]$$

$$M = \sigma_y \left[ bf \cdot (h^2 - \frac{1}{3} \left( \frac{K}{K_y} \cdot h^2 \right)) + \frac{K}{K_y} \cdot \left( S - \frac{2}{3} bf \cdot h^2 \right) \right]$$

$$= \sigma_y \cdot \left[ bf \cdot h^2 \cdot \left( 1 - \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{K}{K_y} \right)^2 \right) + \frac{K}{K_y} \cdot \left( S - \frac{2}{3} bf \cdot h^2 \right) \right]$$

$M_y = \sigma_y \cdot S$  , berarti :

$$\frac{M}{M_y} = \frac{\sigma_y \left[ bf \cdot h^2 \left( 1 - \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{K}{K_y} \right)^2 \right) + \left( \frac{K}{K_y} \right) \left( S - \frac{2}{3} bf \cdot h^2 \right) \right]}{\sigma_y \cdot S}$$

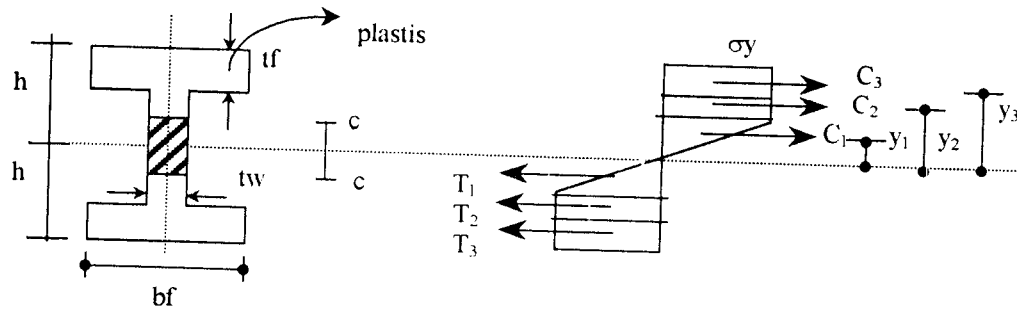
$$\frac{M}{M_y} = \frac{bf \cdot h^2}{S} \left[ 1 - \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{K}{K_y} \right)^2 \right] + \left( \frac{K}{K_y} \right) \left( 1 - \frac{2}{3} \frac{bf \cdot h^2}{S} \right)$$

Jadi persamaan kelengkungan untuk sayap profil adalah sebagai berikut :

$$\frac{M}{M_y} = \frac{K}{K_y} \left[ 1 - \left( \frac{2 \cdot bf \cdot h^2}{3S} \right) \right] + \frac{bf \cdot h^2}{S} \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{K}{K_y} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2.20)$$

( M. Bruneau, Chia-Miang Uang, A. Whittaker, hal. 68 )

Untuk bagian badan profil, persamaan kelengkungannya didapat dari penurunan rumus sebagai berikut :



Gambar 2.11 Distribusi Tegangan Profil WF Batas Elastoplastis Berada Pada Badan

$$m = 2(C_3 \cdot y_3 + C_2 \cdot y_2 + C_1 \cdot y_1)$$

$$M = 2(bf \cdot tf \cdot \sigma_y (h - tf / 2) + tw (h - tf - c) \sigma_y \cdot 1/2 (h - tf + c) + 1/2 \sigma_y \cdot tw \cdot c \cdot 2/3c)$$

$$M = 2\sigma_y (bf \cdot tf (h - tf / 2) + tw / 2 (h - tf - c) (h - tf + c) + tw / 3c^2)$$

$$M = 2\sigma_y (bf \cdot tf (h - tf / 2) + tw / 2 ((h - tf)^2 - c^2) + tw / 3c^2)$$

$$M = 2 \cdot \sigma_y \cdot (bf \cdot tf (h - tf / 2) + tw / 2 ((h - tf)^2 - c^2) + tw / 3 \cdot c^2)$$

$$M = \sigma_y \cdot (bf \cdot tf (h - tf / 2) + tw \cdot ((h - tf)^2) - 1/3 \cdot tw \cdot c^2)$$

$$M = \sigma_y \cdot (Z - 1/3 \cdot tw \cdot c^2)$$

$$M = \sigma_y \cdot \left\{ Z - \frac{1}{3} \cdot tw \cdot \left( \frac{Ky}{K} \right)^2 \right\}$$

$$M = \sigma_y \cdot S \quad \text{berarti :}$$

$$\frac{M}{My} = \frac{\sigma_y \cdot \left\{ Z - \frac{1}{3} \cdot tw \cdot h^2 \left( \frac{Ky}{K} \right)^2 \right\}}{\sigma_y \cdot S}$$

$$\frac{Z}{S} - \frac{tw \cdot h^2}{3 \cdot S} \left[ \frac{Ky}{K} \right]^2$$



Jadi persamaan kelengkungan untuk bagian badan profil adalah sebagai berikut :

$$\frac{M}{My} = \frac{Z}{S} - \frac{tw.h^2}{3.S} \left[ \frac{Ky}{K} \right]^2 \dots\dots\dots (2.21)$$

( M. Bruneau, Chia-Miang Uang, A. Whittaker, hal. 69 )

dimana : M = momen lentur terhadap suatu tahap

My = momen leleh

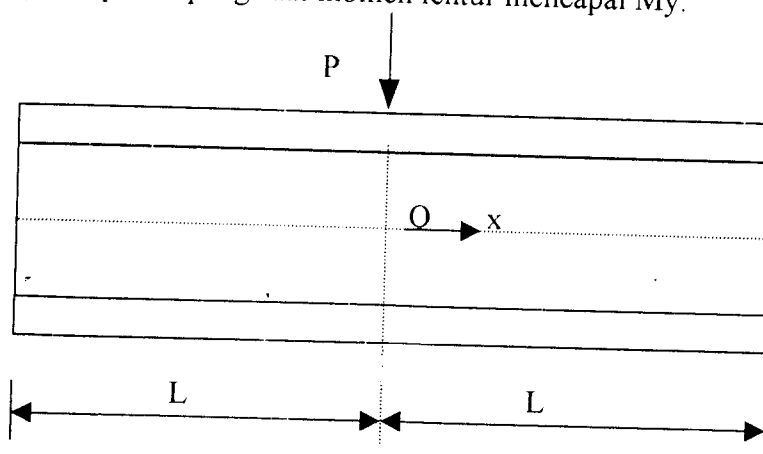
K = jari-jari kelengkungan

Ky = jari-jari kelengkungan pada saat leleh

Z = modulus plastis profil

S = modulus elastis profil

Tinjaulah balok WF secara memanjang seperti terlihat pada gambar 2.12. Momen lentur terjadi pada pusat potongan melintang X=0, yang besarnya sama dengan  $\frac{1}{4} PL$ , dimana 2L adalah panjang keseluruhan dari balok. Kelelehan pertama terjadi pada  $y = \pm h$  pada pusat penampang saat momen lentur mencapai My.



Gambar 2.12 Struktur Penampang Memanjang Profil WF  
( Design of Steel Structure, Duggal S. K, 1993 )

Untuk nilai lebih besar dari  $P_y$ , akan terbentuk 2 zone sendi plastis yang simetris meliputi panjang  $2x$  sepanjang  $y = \pm h$  dari balok. Momen statis pada suatu bagian penampang adalah  $M = \frac{1}{4} \cdot P \cdot (L - 2x)$  dan akan didapatkan :

$$\frac{M}{My} = \frac{P}{Py} \left[ 1 - \frac{2x}{L} \right] \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan ( 2.22 ) kedalam persamaan ( 2.20 ) dan persamaan ( 2.21 ) akan didapat ketinggian dari inti plastis sebagai fungsi dari  $x$ , maka persamaannya menjadi :

→ Untuk bagian sayap :

$$\begin{aligned} \frac{h}{c} \left[ 1 - \frac{2 \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot s} \right] + \frac{b \cdot h^2}{s} \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{c}{h} \right)^2 \right] &= \frac{P}{Py} \left[ 1 - \frac{2 \cdot x}{L} \right] \\ \left[ 1 - \frac{2 \cdot x}{L} \right] &= \frac{P}{Py} \left[ \frac{h}{c} \left[ 1 - \frac{2 \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot s} \right] + \frac{b \cdot h^2}{s} \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{c}{h} \right)^2 \right] \right] \\ \frac{2 \cdot x}{L} &= 1 - \left[ \frac{P}{Py} \left( \frac{h}{c} \left( 1 - \frac{2 \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot s} \right) + \frac{b \cdot h^2}{s} \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{c}{h} \right)^2 \right) \right) \right] \\ x &= \frac{L}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( \left( \frac{h}{c} \left( 1 - \frac{2 \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot s} \right) + \frac{b \cdot h^2}{s} \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{c}{h} \right)^2 \right) \right) \right) \right] \\ x &= \frac{L}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( 1 + \frac{b \cdot h^2}{3 \cdot S} \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{c}{h} \right)^2 \right) \right) \right] \dots\dots\dots (2.23) \end{aligned}$$

Dimana  $x$  = jarak horisontal dari titik tengah bentang profil

$$\rho = \frac{P}{P_y}$$

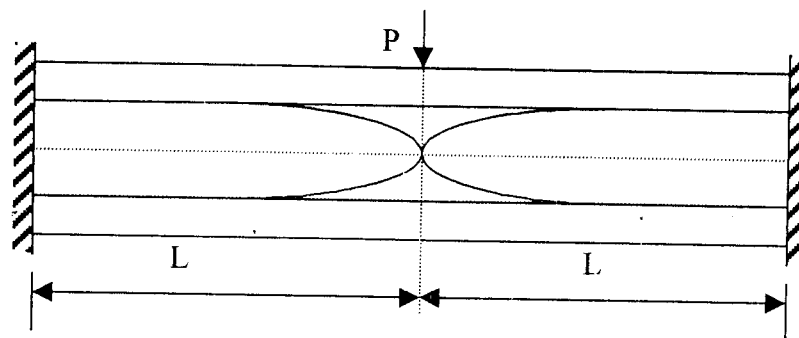
→ Untuk bagian badan :

$$\frac{Z}{S} - \frac{bw.c^2}{3.S} = \rho(1 - 2x/L)$$

$$\frac{2x}{L} = 1 - \frac{1}{\rho} \left( \frac{Z}{S} - \frac{bw.c^2}{3.S} \right)$$

$$x = \frac{L}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( \frac{Z}{S} - \frac{bw.c^2}{3.S} \right) \right] \dots\dots\dots (2.24)$$

Perlu diketahui di sini bahwa harga  $c$  adalah merupakan jarak batas elastoplastis maka harga  $c$  selalu bernilai positif. Sedangkan untuk nilai  $x$ , karena disebabkan oleh nilai momen plastis sepanjang  $\frac{1}{2}$  bentang profil simetris maka perkembangan zone plastisnya simetris. Balok runtuh saat  $P = f \cdot P_y$ , yang mana kedua zone plastis bertemu dipusat  $O$ . Posisi dari batas elastis/plastis untuk beberapa nilai dari  $P/P_y$  ( $\rho$ ) diperlihatkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Penampang Memanjang Balok dan Perkembangan Dari Zona Plastis Dengan Batas-Batasnya Untuk Nilai Konstan  $\rho = P/P_y$   
( M.R Horne, L. J Morris, 1981, hal.3 )

## 2.4 Teorema Plastis

Pada umumnya jika suatu struktur mencapai kondisi keruntuhan akan memenuhi keadaan berikut :

- a). Kondisi leleh (*yield condition*)
- b). Kondisi keseimbangan (*equilibrium condition*)
- c). Kondisi mekanisme (*mekanism condition*)

Kondisi leleh merupakan persyaratan dari sifat deformasi plastis, dimana pada saat runtuh momen dalam dari suatu struktur tidak ada yang melampaui kapasitas momen plastisnya. Kondisi keseimbangan menghendaki, bahwa momen lentur dalam harus seimbang dengan momen luar yang bekerja. Dalam uraian berikut akan kita lihat bahwa persamaan momen ini akan identik dengan persamaan momen elastis. Selanjutnya kondisi mekanisme akan terjadi bila jumlah sendi plastis dalam struktur telah cukup untuk mengubah sebagian atau seluruh struktur tersebut kedalam kondisi mekanisme keruntuhannya. Ketiga kondisi di atas merupakan syarat dasar dari teorema berikut :

### 2.4.1. Teorema Batas Bawah (*Lower Bound Thoerm*)

Teorema batas bawah menetapkan atau menghitung distribusi momen dalam struktur berdasarkan kondisi keseimbangan dan leleh. Beban ( faktor beban ),  $\lambda$ , yang dihasilkan akan lebih kecil atau sama dengan harga yang sebenarnya,  $\lambda_e$ .

$$\lambda \leq \lambda_c$$

Sehingga penyelesaian yang diperoleh dengan cara ini mungkin benar atau aman.

#### 2.4.2 Teorema Batas Atas ( *Upper Bound Theorem* )

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

$$\lambda \geq \lambda_c$$

Dengan demikian, hasil dari teorema ini mungkin benar atau mungkin tidak aman.

#### 2.4.3 Teorema Unik ( *Unique Theorem* )

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

$$\lambda = \lambda_c$$

Terdapat tiga metode yang berdasarkan pada teorema ini, yaitu :

- a. Metode Statis ( *Statical Method* )
- b. Metode Kerja Maya ( *Virtual Work Method* )
- c. Metode Distribusi Moment ( *Moment Balancing Method* )

## 2.5 Metode Kerja Virtual

Untuk menyelesaikan berbagai masalah keruntuhan pada balok atas struktur yang memiliki redundan lebih dari dua, penggunaan metode kerja virtual akan lebih sederhana dan lebih cepat dibanding metode lainnya. Metode kerja virtual pada dasarnya adalah meninjau keseimbangan energi dari struktur ketika mengalami mekanisme runtuhnya. Pada saat runtuh (*collapse*), struktur akan mengalami deformasi ( $\delta$ ) sehingga beban luar ( $W$ ) akan mengalami kerja luar (*eksternal work*) sebesar  $W\delta$ . Kerja luar total dari keseluruhan adalah  $\Sigma W\delta$ , yang akan diserap oleh setiap sendi plastis melalui perubahan sudut  $\theta$ , energi dari masing-masing sendi plastis yang disebut kerja dalam  $M_p\theta$ . Dengan demikian kerja dalam untuk seluruh sendi menjadi  $\Sigma M_p\theta$ . Kondisi keseimbangan menghendaki kerja luar harus sama dengan kerja dalam sehingga menghasilkan persamaan :

$$\Sigma W\delta = \Sigma M_p\theta \dots\dots\dots ( 2.25 )$$

Dalam metode ini perlu diperkirakan letak sendi plastis, dan mencoba beberapa mekanisme yang mungkin terjadi, karena metode ini berdasarkan teorema batas atas, beban runtuh akan sama dengan atau lebih besar nilai sebenarnya. Dalam hal ini, inti persoalannya adalah menentukan faktor beban yang paling kecil atau kapasitas momen plastis yang paling besar, agar tidak ada satu pun momen luar yang melampaui momen plastisnya

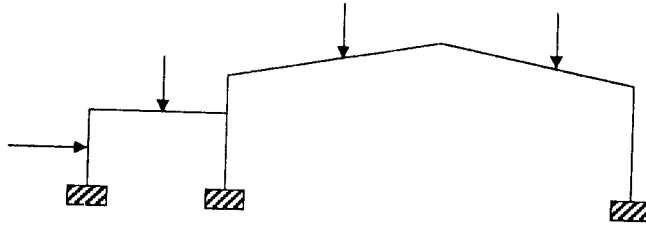
Mekanisme pada suatu struktur rangka dapat dibedakan menjadi beberapa tipe mekanisme yaitu :

1. Mekanisme Balok ( *Beam Mechanism* ), terjadi bila gaya vertikal lebih besar daripada gaya horisontal.
2. Mekanisme Panel ( *Sway Mechanism* ), terjadi bila gaya vertikal jauh lebih kecil daripada gaya horisontal.
3. Mekanisme Gable ( *Gable Mechanism* ), adalah mekanisme khusus yang terjadi portal beratap lancip atau gable frame.
4. Mekanisme Titik Simpul ( *Joint Mechanism* ), terjadi pada titik pertemuan tiga buah batang atau lebih.
5. Mekanisme Kombinasi ( *Combine Mechanism* ), merupakan kombinasi dari mekanisme-mekanisme yang ada.

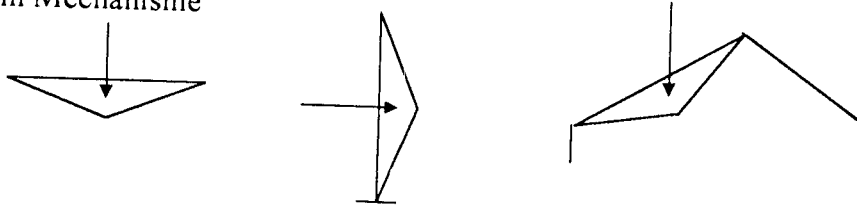
Dari uraian di atas dapat kita katakan bahwa tujuan dari mekanisme kombinasi adalah mengurangi energi dalam sebesar mungkin agar dihasilkan suatu faktor beban terkecil, yaitu dengan cara mengeliminasi ( mengurangi sendi plastis sebanyak mungkin). Dalam pelaksanaannya dipergunakan suatu perjanjian tanda atau aturan sebagai berikut :

- Tanda untuk momen dan rotasi adalah positif, jika serat yang bersebelahan dengan garis putus-putus tambahannya mengalami tegangan tarik.
- Tanda untuk momen dan rotasi pada mekanisme titik simpul adalah positif, jika sendi plastisnya mendekati garis putus-putus, dan bertanda negatif jika menjauhi garis tersebut.

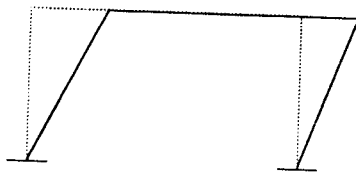
( a ) Type Struktur



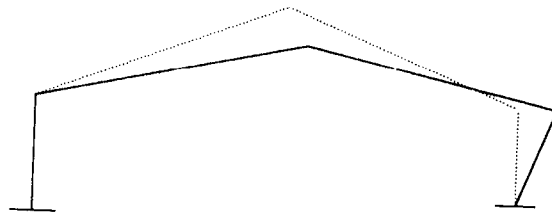
( b ) Beam Mechanisme



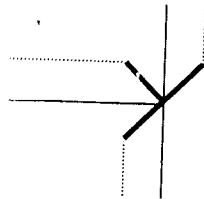
( c ) Panel Mechanisme



( d ) Gable Mechanisme

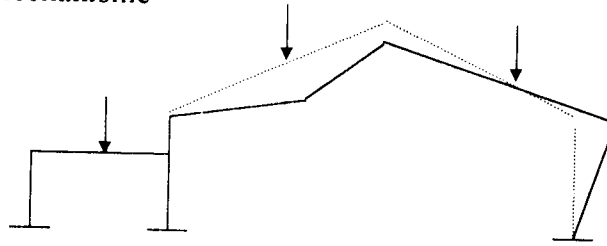


( e ) Joint Mechanisme

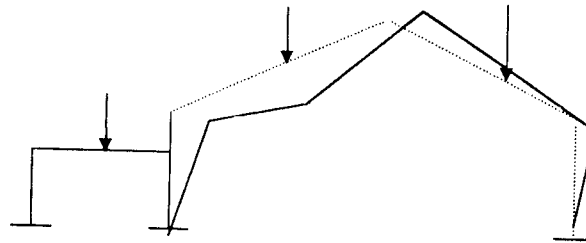




( f ) Partial Mechanisme



( g ) Complete Mechanisme



Gambar 2.14 Tipe Mekanisme Keruntuhan Struktur

## 2.6 Metode Mekanisme Kombinasi

Metode mekanisme kombinasi merupakan pengembangan metode kerja virtual. Pada prinsipnya metode mekanisme kombinasi membentuk penyelesaian dengan cara menggabungkan masing-masing mekanisme atau persamaan elementernya. Hasil penyelesaian ditentukan oleh harga faktor beban atau momen plastis yang dapat memberikan penyebaran momen pada setiap penampang dengan aman.

### 2.6.1 Mekanisme Elementer

Dalam uraian sebelumnya telah kita kenal adanya beberapa mekanisme. Semua mekanisme tersebut dikatakan sebagai mekanisme elementer atau mekanisme bebas (*Independent Mechanism*). Mekanisme titik simpul dapat terjadi bila terdapat tiga batang atau lebih yang bertemu di satu titik, meskipun pada titik tersebut tidak bekerja gaya luar. Oleh karena itu persamaan kerja dari mekanisme ini tidak akan menghasilkan faktor beban tertentu. Untuk mengetahui jumlah mekanisme elementer yang ada pada suatu struktur dapat kita rumus berikut :

$$K = n - N \dots\dots\dots ( 2.26 )$$

Dimana : K = Jumlah mekanisme elementer

n = Jumlah sendi plastis yang mungkin

N = Jumlah redundan

( V.N Vazirani dan M.M. Ratwani, Khanna Publisher, ND 1979 ).

Jumlah redundannya dapat kita peroleh dengan cara menghitung semua gaya dalam yang tidak dapat ditentukan oleh persamaan keseimbangan.

### 2.6.2 Mekanisme Kombinasi

Telah kita ketahui bahwa, kita dapat menyusun suatu persamaan kerja dari setiap mekanisme elementer yang disebut persamaan elementer. Dari persamaan ini dapat diperoleh harga faktor beban tertentu, tetapi struktur mungkin juga struktur runtuh pada harga beban faktor yang lebih kecil dari faktor beban yang diperlukan pada masing-masing elementernya. Sehingga kita harus mencari mekanisme runtuh yang

tepat dengan cara menggabungkan beberapa mekanisme elementernya dan kita dapatkan mekanisme kombinasi. Karena mekanisme tersebut merupakan hasil kombinasi, persamaan kerjanya juga dapat diperoleh dengan mengkombinasikan persamaan elementre yang bersesuaian.

Penyelesaian ini berdasarkan teorema batas atas, sehingga mekanisme yang tepat adalah mekanisme yang memberikan harga faktor beban terkecil. Akan tetapi sebagaimana sebelumnya, kita perlu memeriksa distribusi momen setiap penampangnya. Apabila terdapat momen yang lebih besar dari kapasitas momen plastisnya, hasil tersebut perlu direduksi. Keadaan semacam ini akan kita jumpai pada struktur yang memiliki beban merata.

Jumlah sendi yang diperoleh untuk mengubah suatu struktur kedalam kondisi mekanisme runtuhnya, sangat berkaitan dengan derajat statis tak tentu yang ada dalam struktur tersebut hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n_1 = r + 1 \dots\dots\dots ( 2.27 )$$

Dimana :  $n_1$  = Jumlah sendi plastis untuk runtuh

$r$  = Derajat statis tak tentu ( redundan )

ketika sendi plastis terbentuk, besarnya momen diujung elemen tersebut akan sama dengan kapasitas momen plastisnya. Penambahan beban berikutnya tidak akan mempengaruhi harga momen ini, yaitu tidak terjadi penambahan momen pada titik ujung yang bersangkutan. Ini mengakibatkan derajat statis tak tentunya berkurang satu pada saat yang sama, satu buah syarat kompatibilitas akan terhapus. Bila telah

terbentuk sendi plastis struktur akan menjadi struktur statis tertentu, dimana hanya diperlukan satu buah sendi untuk mencapai keruntuhannya.

Ada dua pengecualian yang perlu diperhatikan. Pada suatu kondisi struktur yang mempunyai dimensi serta pembebanan tertentu, keruntuhan sudah dapat terjadi hanya dengan  $r$  sendi plastis. Sehingga jumlah sendi plastisnya kurang satu dari yang seharusnya didapat dari rumus diatas. Keadaan ini disebut keruntuhan parsial (*Partial Collapse*). Selanjutnya dengan kombinasi pembebanan yang lain, bisa terjadi jumlah sendi plastis yang lebih dari hasil rumus diatas tadi dan keadaan ini disebut sebagai keruntuhan berlebih (*Over Collapse*).

## 2.7 Kontrol Kekuatan Balok

Penentuan momen plastis terbesar adalah dengan mekanisme kombinasi itu sendiri. Dari beberapa mekanisme kombinasi didapatkan harga momen plastis yang terbesar, yang mana akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan dimensi profil. Sebagai momen desain yaitu momen plastis dikalikan dengan faktor keamanan. Kemudian dilihat dalam tabel desain plastis AISC untuk profil yang sesuai. Meskipun telah dipilih profil yang sesuai namun bukan berarti profil yang kita pilih telah aman terhadap bahaya tekuk setempat (*local buckling*) dan bahaya tekuk puntir (*lateral torsional buckling*). Untuk itu perlu dikontrol terhadap bahaya keduanya.

### 2.7.1 Kontrol Terhadap Local Buckling

Local buckling dapat disebabkan oleh tegangan desak yang besar pada elemen yang relatif tipis. Untuk menghindari kemungkinan local buckling pada perencanaan plastis, kelangsingan pada badan dan sayap perlu dibatasi. *Steel Construction Manual AISC* mensyaratkan sebagai berikut :

1. Untuk bagian sayap (  $bf/2tf \leq F_y$  ).

Nilai  $F_y$  atau tegangan leleh dan perbandingan lebar sayap atau  $bf$  dan tebal sayap atau  $tf$  maksimum dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.1

$F_y$	$bf/2tf$
36	8,5
42	8,0
45	7,4
50	7,0
55	6,5
60	6,3
65	6,0

2. Bagian Web

Perbandingan tinggi profil (  $d$  ) dengan tebal badan (  $tw$  ) maksimum.

- a. Tanpa beban aksial.

Tabel 2.2

$F_y$	$d/tw$
36	68,7
42	62,9
45	61,4
50	58,3
55	55,6
60	53,2
65	51,1

b. Dengan beban aksial.

- bila  $\frac{P}{P_y} \leq 0,27$

$$\frac{d}{tw} = \frac{412}{\sqrt{F_y}} \left( 1 - 1,4 \frac{P}{P_y} \right) \dots\dots\dots ( 2.28 )$$

- bila  $\frac{P}{P_y} > 0,27$

$$\frac{d}{tw} = \frac{257}{\sqrt{F_y}} \dots\dots\dots ( 2.29 )$$

### 2.7.2 Kontrol Terhadap Lateral Torsional Buckling

Untuk menghindari bahaya Tekuk Puntir Lateral atau *Lateral Torsional Buckling* diperlukan pengaku ( Bracing ). Menurut AISC untuk menentukan jarak pengaku ada dua cara yaitu dengan Moment Gradient dan Uniform Moment, dimana jarak maksimum pengaku menurut *Steel Construction Manual* AISC hal 5-97 sebagai berikut :

a. Momen Gradien, bila  $1 > M/M_p > -0,5$

$$\frac{L_{ct}}{r_y} = \left[ \frac{1375}{F_y} + 25 \right] \dots\dots\dots ( 2.30 )$$

b. Uniform Momen, bila  $-0,5 > M/M_p > -1$

$$\frac{L_{ct}}{r_y} = \left[ \frac{1375}{F_y} \right] \dots\dots\dots ( 2.31 )$$

Dimana :  $L_{ct}$  = jarak maksimum pengaku

$r_y$  = jari-jari girasi

$F_y$  = tegangan leleh baja

$M/M_p$  = perbandingan momen

### 2.7.3 Kontrol Terhadap Gaya Aksial

Persamaan interaksi yang digunakan dalam desain plastis untuk kondisi ketidakstabilan menentukan untuk struktur yang menerima kombinasi lentur beban aksial ( balok-kolom ) menurut AISC hal 5-95 sebagai berikut :

#### A. Selidiki Persyaratan Kekuatan

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{1,18M_p} < 1,0 \dots\dots\dots ( 2.32 )$$

Dimana :  $P_y = F_y \cdot A_g$

$M_p$  = kapasitas momen plastis pada penampang

#### B. Selidiki Persyaratan Stabilitas

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m M}{\left(1 - \frac{P}{P_e}\right) M_m} < 1,0 \dots\dots\dots ( 2.33 )$$

Dimana :  $P$  = gaya aksial dikalikan faktor beban

$P_{cr}$  = kekuatan batang dengan tekanan aksial ( =  $1,70 \cdot A_g \cdot F_a$  )

$C_m$  = koefisien reduksi interaksi

$M$  = momen lentur

$M_m$  = daya tahan momen maksimum jika beban aksial tidak bekerja

a). Jika tekuk puntir lateral dicegah dengan memberi sokongan

$$M_m = M_p$$

b). Jika tidak disokong sepanjang

$$M_m = \left[ 1,07 - \frac{\sqrt{F_y} I / r_y}{3160} \right] M_p$$

( Robert O. Disque, 1971, hal. 47 )

#### 2.7.4 Kontrol Terhadap Gaya Geser

Total gaya geser yang bekerja pada penampang berbentuk WF karena beban batas tidak boleh melebihi :

$$V_p = 0,55.F_y.t_w.d_w \dots\dots\dots ( 2.34 )$$

( Robert O. Disque, 1971, hal 28 )

Dimana :  $t_w$  = tebal web

$d$  = tinggi penampang

$t_f$  = tebal flange

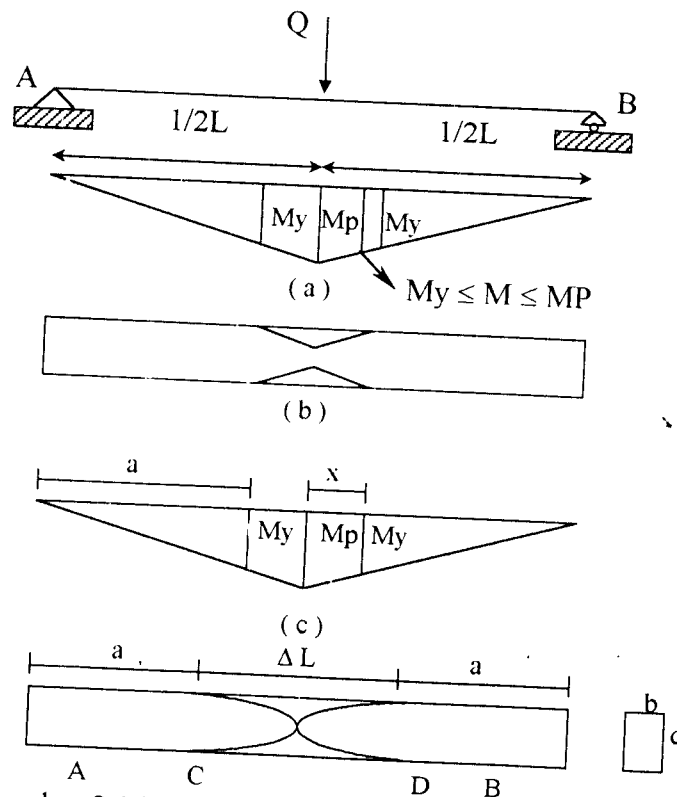
$$d / ( d - 2t_f ) = 1,07$$

web pada kolom, balok dan girder harus diperkuat dengan pengaku atau *double plat* jika gaya geser (  $V$  ) pada beban batas melebihi  $V_p$ .



## 2.8. Panjang Sendi Plastis

Jika sebuah balok dengan perletakkan sendi-rol seperti pada gambar 2.15 balok masih mempunyai sifat elastis ketika  $Q$  lebih kecil dari  $Q_y = 4 M_y/L$ . Jika  $Q = Q_y$  serat-serat terluar pada tampang mulai mengalami leleh, ketika beban  $Q$  terus ditambah secara berangsur-angsur hingga melebihi  $Q_y$  maka akan terjadi momen maksimum ditengah bentang dan momen di dekat tengah bentang melebihi  $M_y$  (gambar 2.15a) dan perkembangan daerah leleh pada penampang balok seperti ditunjukkan pada gambar 2.15b.



Gambar 2.15 Panjang Sendi Plastis Pada Balok  
( Design of Steel Structure, Duggal S.K, hal 567 )

Daerah leleh terus menjalar sehingga pada tengah bentang terbentuk momen plastis  $M_p$  ( pada gambar 2.15c ). Pada tahap ini seluruh bagian pada tengah bentang sudah mengalami leleh dan panjang penjalaran daerah leleh ini disebut panjang sendi plastis ( pada gambar 2.15d ). Bertambahnya lengkung pada balok seiring dengan bertambahnya besar momen plastis pada tengah bentang. Lokasi dimana nilai  $M_p$  dicapai pada struktur disebut sendi plastis.

Panjang dan luas sendi plastis pada balok tergantung pada bidang momen. Untuk tujuan desain diambil dari tiap-tiap baja pada sendi plastis pada satu sisi bagian balok. Pada gambar 2.15d titik C baru akan mengalami kelelahan dan berakhir pada titik A dapat kita peroleh.

Persamaan di C yang merupakan momen leleh

$$M_c = 1/2 Q_p \cdot a = M_y \dots\dots\dots ( 2.35 )$$

Dimana  $Q_p$  = beban batas plastis, dari persamaan 2.35 diperoleh :

$$a = 2M_y / Q_p \dots\dots\dots ( 2.36 )$$

dengan memasukkan  $Q_p = 4M_p/L$  kepersamaan 2.36 akan diperoleh :

$$a = L / 2f \dots\dots\dots ( 2.37 )$$

dimana :  $f$  = faktor bentuk ( shape faktor )

$L$  = panjang bentang balok

Dari gambar 2.15d panjang sendi plastis dapat diketahui :

$$\Delta L = L - 2a$$

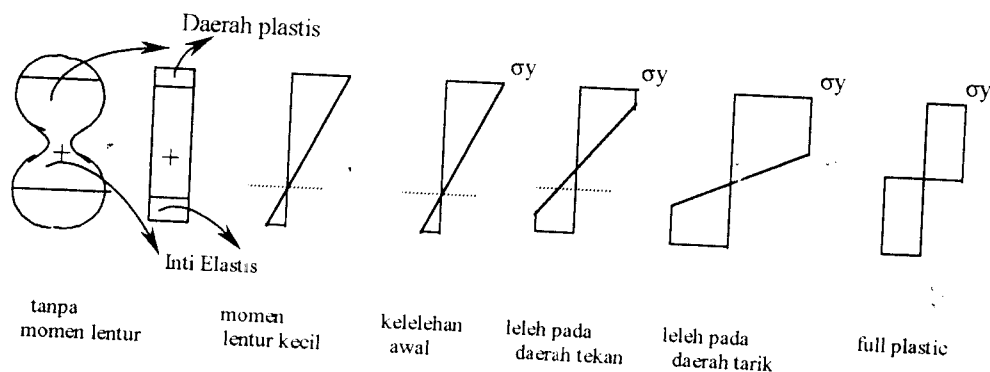
$$\Delta L = L(1 - 1/f) \dots\dots\dots ( 2.38 )$$

Panjang sendi plastis ini adalah untuk struktur balok diatas dua tumpuan sendi-rol dengan beban terpusat  $Q$  yang terletak ditengah bentang, panjang sendi plastis akan berbeda untuk struktur dan pembebanan yang berbeda. Sebelumnya perlu dicatat bahwa panjang sendi plastis tergantung pada bentuk bidang momen, panjang bentang, dan bentuk profil. Perkembangan daerah leleh didalam sendi plastis tergantung kurva hubungan momen kelengkungan.

## 2.9 Reduksi Momen Plastis

### 2.9.1 Akibat Gaya Aksial

Hampir semua batang pada struktur memikul momen lentur dan beban aksial baik tarik maupun tekan, Bila salah satu relatif kecil, pengaruhnya biasanya diabaikan dan batang direncanakan sebagai balok, sebagai kolom atau sebagai batang tarik. Dalam banyak hal, kedua pengaruh tersebut tidak dapat diabaikan dan kekakuan akibat beban gabungan harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Batang yang memikul gaya aksial dan momen lentur disebut balok kolom.



Gambar 2.16 Distribusi Tegangan Akibat Kombinasi Momen dan Tekanan Aksial  
( Design of Steel Structure, Duggal S.K, hal 565 )

Pertambahan momen lengkung dan tekanan aksial menyebabkan variasi tegangan elastis secara linier pada penampang seperti pada gambar 2.16. Lebih lanjut pertambahan lengkung momen, dengan tekanan aksial konstan, akan menyebabkan kelelahan pada daerah tekan penampang, diikuti kelelahan pada daerah tarik, dan akhirnya kelelahan terjadi pada seluruh tampang. Ketika proses ini terjadi, sumbu netral awal terletak di luar penampang untuk nilai momen yang sangat kecil dan pertambahan itu makin lama makin ke posisi akhir penampang dalam kondisi plastis.

Kapasitas momen plastis pada penampang dengan adanya gaya aksial dapat mengakibatkan adanya dua kondisi keseimbangan :

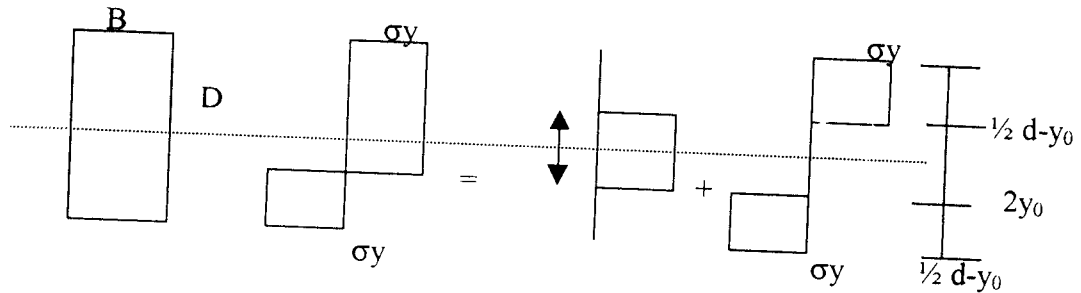
$$P = \int_A \sigma \, dA \dots\dots\dots ( 2.39 )$$

$$M = \int_A \sigma \cdot y \, dA \dots\dots\dots ( 2.40 )$$

Adanya gaya aksial menyebabkan berkurangnya momen plastis, besarnya reduksi tergantung besarnya gaya aksial.

#### **A. Penampang Segi Empat**

Pengaruh gaya aksial menyebabkan berkurangnya momen plastis, besarnya reduksi tergantung gaya aksial.



Gambar 2.17 Distribusi Tegangan Pada Penampang Persegi Panjang  
Yang Memikul gaya Aksial  
( Robert O. Disque, hal 49 )

Distribusi tekanan pada penampang dapat kita gambarkan pada gambar 2.17, kita ketahui bahwa sumbu netralnya akan terletak sejauh  $y_0$  dari sumbu simetri. Besarnya  $y_0$  dan momen plastis yang tereduksi ( $M_{pc}$ ) dapat dirumuskan :

$$y_0 = \frac{P}{2 \cdot \sigma_y \cdot b} \dots \dots \dots (2.41)$$

$$M_{pc} = \sigma_y \cdot b \cdot \left\{ \left( \frac{1}{2} d \right)^2 - y_0^2 \right\} \dots \dots \dots (2.42)$$

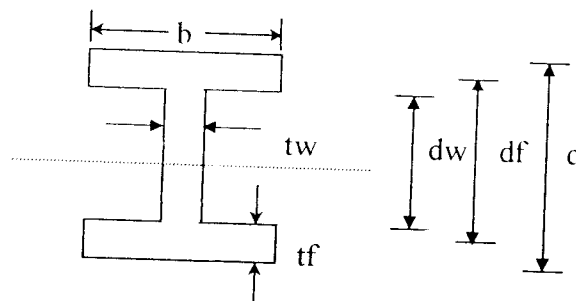
Dengan memasukkan persamaan 2.41 ke persamaan 2.42 dan  $\sigma_y \cdot b \cdot d = \sigma_y \cdot A = P_y$  dan  $M_p = \frac{1}{4} \cdot \sigma_y \cdot b \cdot d^2$  maka dapat dirumuskan :

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 1 - \left( \frac{P}{P_y} \right)^2 \dots \dots \dots (2.43)$$

( L. Wahyudi dan Sjahril A. Rahim, hal 131 )

### B. Penampang WF

Untuk kondisi dimana tegangan aksialnya kecil, sumbu netral pada penampang WF akan berada bagian web, sedangkan jika tegangan aksialnya besar sumbu netral akan berada pada bagian flange.



Gambar 2.18 Penampang Profil WF

Untuk sumbu netral terletak di web

- $[0 < P/P_y < 1/(1 + 2b.tf/tw.dw)]$

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 1 - \frac{\left(\frac{P}{P_y}\right)^2 \left(1 + \frac{2b.tf}{tw.dw}\right)}{\left(1 + \frac{4b.tf.df}{tw.dw^2}\right)} \dots \dots \dots (2.44)$$

Untuk sumbu netral terletak di flange

- $[1/(1 + 2b.tf/tw.dw) < P/P_y < 1,0]$

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = \frac{2 \frac{l}{dw} \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \left(1 + \frac{2b.tf}{tw.dw}\right)}{1 + \left(1 + \frac{d}{dw}\right) \left(\frac{2b.tf}{tw.dw}\right)} \dots \dots \dots (2.45)$$

dimana  $l$  = panjang lengan kopel antara gaya tarik dan gaya tekan pada sayap dan dirumuskan

$$l = d - tf \left(1 + \frac{tw.dw}{2b.tf}\right) \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \dots \dots \dots (2.46)$$

dimana  $b$ ,  $t_f$ ,  $t_w$ , dan  $d_w$  adalah dimensi WF seperti ditunjukkan pada gambar 2.18. Nilai maksimum lengan kopel adalah  $d$  dan nilai minimumnya adalah  $d_f$ . Untuk tujuan desain, persamaan 2.44 dan 2.45 dapat disederhanakan menjadi :

- untuk  $0 < P < 0,15P_y$

$$M_{pc} = M_p \dots\dots\dots (2.47)$$

- untuk  $0,15P_y < P < P_y$

$$M_{pc} = 1,18 ( 1 - P/P_y ) M_p \dots\dots\dots (2.48)$$

### 2.9.2 Akibat Gaya Geser

Pada suatu penampang, selain terdapat momen sering juga timbul gaya geser (*shear force*). Hal ini berarti sering terjadi kombinasi tegangan akibat lentur  $\sigma$  dan tegangan akibat geser  $\tau$ . Untuk kombinasi gaya geser dan momen lentur penyelesaian yang praktis dengan menggunakan persamaan keseimbangan pada persamaan 2.1 dan persamaan :

$$V = \int_A \tau dA \dots\dots\dots (2.49)$$

Dan kriteria leleh dari Von Mises yang menyatakan bahwa leleh akan terjadi bila :

$$\sigma^2 + 3\tau^2 \leq \sigma_y^2 \dots\dots\dots (2.50)$$

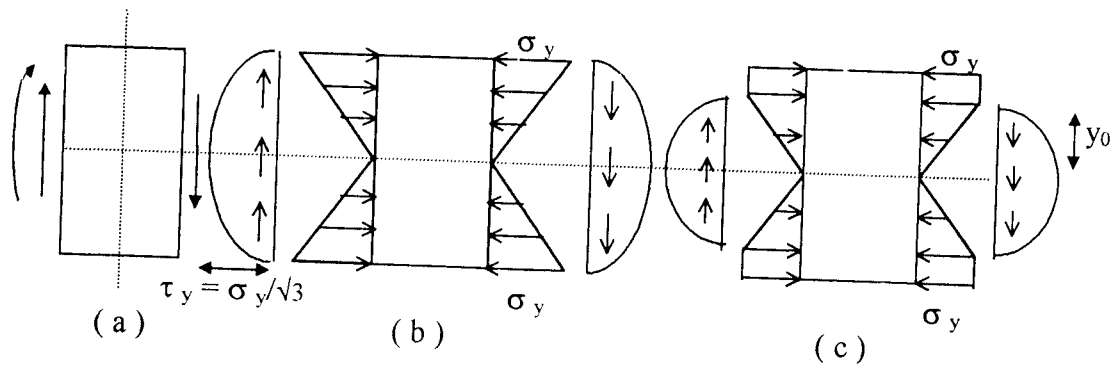
Dimana  $\sigma$  = tegangan normal

$\tau$  = tegangan geser

Pada titik sejauh  $y$  dari sumbu netral.

### A. Penampang Segi Empat

Sebuah penampang segi empat seperti pada gambar 2.19a, penyelesaian elastis pada balok segi empat akibat pengaruh kombinasi lentur dan geser seperti pada gambar 2.19b.



Gambar 2.19 Distribusi Tegangan Pada Penampang Segi Empat Akibat Kombinasi Lentur dan Geser

( Gere dan Timoshenko, hal. 245 )

$$\sigma = \sigma_y(2y/d) \dots\dots\dots (2.51)$$

$$\tau = \sigma_y/\sqrt{3} [1 - (2y/d)^2] \dots\dots\dots (2.52)$$

dimana  $d$  = tinggi balok

Kondisis leleh seperti ditunjukkan pada persamaan 2.50 tidak melebihi seluruh bagian balok. Bagian atas serat tegangannya  $-\sigma_y$  dan bawah serat tegangannya adalah  $+\sigma_y$ , serat mengalami kelelahan pada kasus geser murni  $\tau_y = \sigma_y/\sqrt{3}$ . Menurut Von Mises tegangan pada serat adalah elastis. Dengan menggunakan distribusi tegangan elastis pada penampang, reduksi momen plastis akibat gaya geser dapat dirumuskan :

$$M_{ps} = \frac{1}{6} \cdot \sigma_y \cdot b \cdot d^2 = \frac{2}{3} M_p \dots\dots\dots (2.53)$$



$$v = \frac{2/3 \cdot \sigma_y}{\sqrt{3} \cdot b \cdot d} \dots\dots\dots (2.54)$$

dengan mengambil distribusi tegangan yang lebih banyak dengan kelelahan serat yang lebih banyak seperti pada gambar 2.19.c hubungan  $M_{ps}$  dengan gaya geser  $V$  dapat dirumuskan :

$$M_{ps} = M_p \left[ 1 - \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{2 \cdot y_0}{d} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2.55)$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot \tau_y \cdot b \cdot y_0 \dots\dots\dots (2.56)$$

dimana  $b$  = lebar balok

$\tau_y$  = tegangan leleh parsial pada kondisi lentur murni ( $= \sigma_y / \sqrt{3}$ )

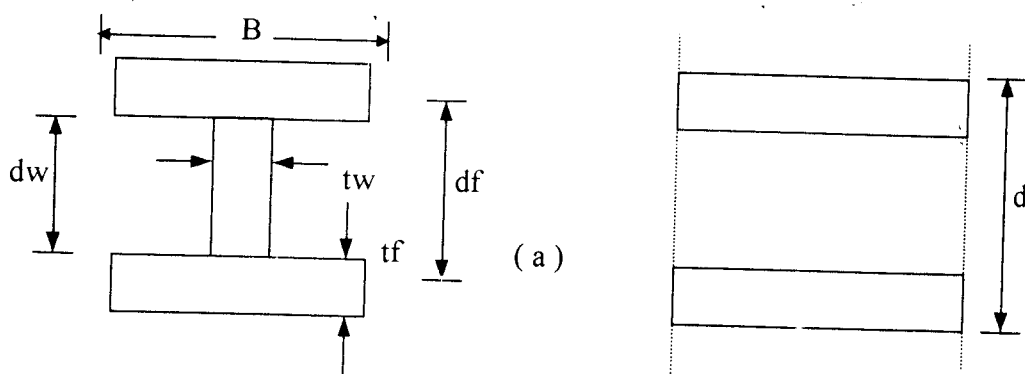
Dengan menghilangkan  $y_0$  pada persamaan di atas maka hubungan momen lentur dan gaya geser dapat dirumuskan sebagai berikut :

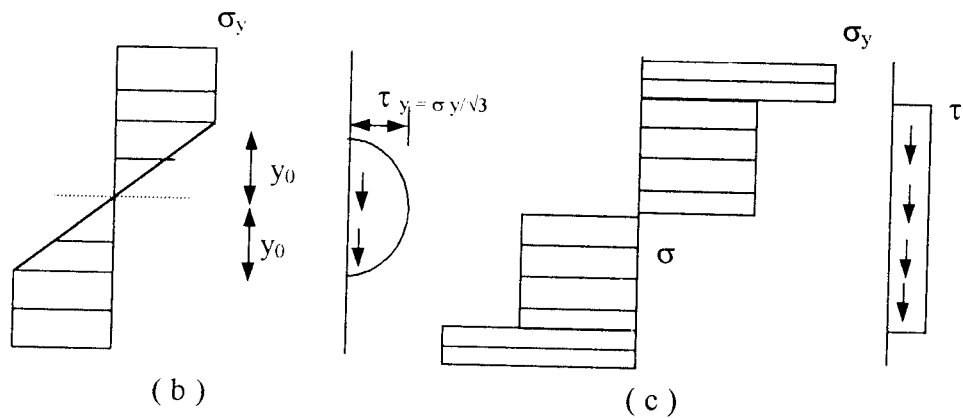
$$\frac{M_{ps}}{M_p} = 1 - \frac{3}{4} \left( \frac{V}{V_p} \right)^2 \dots\dots\dots (2.57)$$

(L. Wahyudi dan Sjahril A. Rahim, hal 131)

dimana  $V_p$  = gaya geser maksimum ( $= b \cdot d \cdot \sigma_y / \sqrt{3}$ )

### B. Penampang WF





Gambar 2.20 Distribusi Tegangan pada profil WF dibawah Pengaruh Kombinasi Lentur dan Geser  
( M.R Horne dan L.J Morris, hal 122 )

Sebuah balok dengan profil WF seperti pada gambar 2.20a misal *flange* dan *web* ieleh dibawah tegangan normal dan distribusi tegangan yang tersisa pada web berbentuk parabolik untuk tegangan geser dan linier untuk tegangan normal seperti pada gambar 2.20b. Dengan mengasumsikan bahwa distribusi tegangan memenuhi kriteria leleh dari Von Mises maka hubungan  $M_{ps}$  dengan gaya geser  $V$  adalah :

$$M_{ps} = M_p - 1/3 \sigma_y \cdot y_0^2 \cdot t_w \dots\dots\dots ( 2.58 )$$

$$V = 4/3 \cdot \sigma_y / \sqrt{3} \cdot t_w \cdot y_0 \dots\dots\dots ( 2.59 )$$

Dengan mengeliminasi  $y_0$  pada persamaan diatas :

$$\frac{M_{ps}}{M_p} = 1 - \frac{\frac{3}{4} \left( \frac{V}{V_p} \right)^3}{1 + \frac{4b \cdot t_f \cdot d_f}{t_w \cdot d_w^2}} \text{ untuk } V < \frac{2}{3} V_p \dots\dots\dots ( 2.60 )$$

Kapasitas geser minimum  $V_p$  pada web adalah :

$$V_p = tw.dw.\tau_y \dots\dots\dots (2.61)$$

persamaan 2.60 untuk  $M_{ps}$  dapat dimanfaatkan dengan mengasumsikan bahwa sayap akan mengakibatkan tegangan normal dan web akan menyebabkan tegangan normal uniform dan geser seperti pada gambar 2.20c. Maka  $M_{ps}$  dapat dirumuskan :

$$M_{ps} = \sigma_y.b.t.f.d_f + 1/4\sigma.tw.dw^2 \dots\dots\dots (2.62)$$

Dimana  $\sigma$  = tegangan normal uniform pada web

Gaya geser (  $V$  ) didapat dengan menggunakan  $\tau = V/tw.dw$  pada kondisi leleh Von Mises dapat dirumuskan :

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \sqrt{1 - \left(\frac{3r}{\sigma_y}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_p}\right)^2} \dots\dots\dots (2.63)$$

dengan memasukkan  $\sigma$  pada persamaan 2.63 ke persamaan 2.62,  $M_{ps}$  dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{M_{ps}}{M_p} = \frac{1 + 1/4 \left( \frac{tw.dw^2}{b.t.f.d_f} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{V}{V_p} \right)^2}}{1 + 1/4 \left( \frac{tw.dw^2}{b.t.f.d_f} \right)} \dots\dots\dots (2.64)$$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Dasar Analisis**

Konsep perhitungan baja plastis adalah berdasarkan sifat material baja. Disini mendimensi batang komponen konstruksi didasarkan atas tegangan leleh baja  $\sigma_y$  dan dengan memberi suatu beban batas yang didapat dari beban kerja dikalikan suatu faktor beban yang sering juga disebut faktor keamanan.

Pada proses terbentuknya sendi-sendi plastis konstruksi bisa diequivalenkan telah menjadi statis tertentu. Suatu sendi plastis pertama akan terbentuk jika momen elastis maksimum dalam suatu tampang terjadi, selanjutnya bila beban konstruksi ditambah pada tampang tersebut tidak terjadi penambahan momen ( telah terjadi sendi plastis ) dan momen-momen tambahan akan didistribusikan ke tampang-tampang yang masih elastis, bila beban terus bertambah pada suatu saat telah terbentuk sejumlah sendi plastis maka akan tercapai kondisi batas. Selanjutnya bila beban terus ditambah akan menyebabkan konstruksi labil dan siap runtuh.

Dalam skripsi ini akan dibahas mengenai pola mekanisme keruntuhan struktur portal baja bertingkat serta menentukan nilai momen plastis terbesar yang terjadi pada suatu struktur. Momen plastis terbesar ini digunakan untuk menentukan dimensi

profil yang digunakan, dari harga momen ini dapat ditentukan pula beban maksimum yang dapat diterima struktur (  $P_{max}$  ).

### 3.2 Prosedur Analisis

Metodologi adalah cara prosedur yang digunakan dalam menjawab rumusan masalah. Dalam skripsi ini analisis struktur dan penampang profil yang digunakan adalah analisis plastis seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Langkah-langkah analisis perhitungan skripsi ini adalah sebagai berikut :

- 1). Menyiapkan data struktur yang meliputi:
  - Tinggi dan panjang bentang struktur (  $L$  )
  - Beban yang bekerja pada struktur ( beban horisontal (  $H$  ) dan beban vertikal (  $V$  )
  - Faktor beban
- 2). Menentukan besarnya momen plastis terbesar pada struktur dengan menggunakan metode mekanisme kombinasi. Selanjutnya momen plastis tersebut digunakan sebagai harga momen untuk perancangan struktur termasuk penentuan dimensi profil. Langkah-langkah untuk menentukan momen plastis terbesar yaitu dengan menggunakan metode mekanisme kombinasi. Langkah-langkah tersebut sebagai berikut :

*Langkah 1* : memperkirakan pola mekanisme keruntuhan struktur.

- Langkah 2* : mengasumsikan suatu batas mengalami rotasi atau mengalami perubahan sudut sebesar  $\theta$ , kemudian dengan perhitungan geometri perubahan sudut lainnya dapat dicari.
- Langkah 3* : menghitung kerja dalam ( *internal work* ) yang merupakan jumlah dari perkalian antara momen plastis  $M_p$  dengan perubahan sudut ( $\theta$ ).
- Langkah 4* : menghitung jumlah kerja luar ( *eksternal work* ) yang merupakan jumlah seluruh beban luar dikalikan dengan jarak virtual yang melewati pergerakannya pada mekanisme runtuhnya. Dimana jarak virtual adalah hasil kali antara jarak titik sudut ke beban dengan  $\theta$ .
- Langkah 5* : menyamakan kerja luar dengan kerja dalam sehingga diperoleh suatu persamaan yang menyatakan besarnya momen plastis.
- Langkah 6* : dipilih momen plastis terbesar dari berbagai mekanisme keruntuhan yang telah dicoba. Momen plastis ini yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan struktur.
- ( Robert O. Disque, 1971 )
- 3). Menentukan besarnya gaya aksial dan gaya geser yang terjadi pada struktur.
  - 4). Menentukan dimensi profil yang sesuai dengan gaya-gaya yang bekerja pada struktur berdasarkan harga momen plastis terbesar.

- 5). Cek penampang terhadap local buckling ( dengan menggunakan persamaan 2.28 atau 2.29 ).
- 6). Cek penampang terhadap lateral torsional buckling ( dengan menggunakan persamaan 2.30 atau 2.31 ).
- 7). Cek stabilitas struktur akibat gaya aksial yang bekerja pada struktur (dengan menggunakan persamaan 2.32 dan 2.33 ).
- 8). Cek stabilitas struktur akibat gaya geser yang bekerja pada struktur (dengan menggunakan persamaan 2.34 ).
- 9). Mencari besarnya reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya aksial (  $M_{pc}$  ) pada penampang profil WF. ( Dengan menggunakan persamaan 2.47 dan 2.48 )

Reduksi kapasitas momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya aksial

$$\% \text{ reduksi} = \frac{M_p - M_{pc}}{M_p} \times 100 \%$$

- 10). Mencari besarnya reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya geser ( $M_{ps}$ ) pada penampang profil WF. (Dengan menggunakan persamaan 2.62)

Reduksi momen plastis akibat kombinasi momen dan gaya geser

$$\% \text{ reduksi} = \frac{M_p - M_{ps}}{M_p} \times 100 \%$$

- 11). Membuat kurva hubungan antara gaya aksial dan momen plastis. ( Dengan menggunakan persamaan 2.44 dan 2.45 )

- 12). Membuat kurva hubungan antara gaya geser dan momen plastis. ( dengan menggunakan persamaan 2.60 dan 2.64 )
- 13). Membuat kurva perkembangan zona plastis. ( Dengan menggunakan persamaan 2.23 dan 2.24 ).
- 14). Membuat grafik hubungan momen kelengkungan pada profil WF. ( Dengan menggunakan persamaan 2.20 dan 2.21 ).



## BAB IV

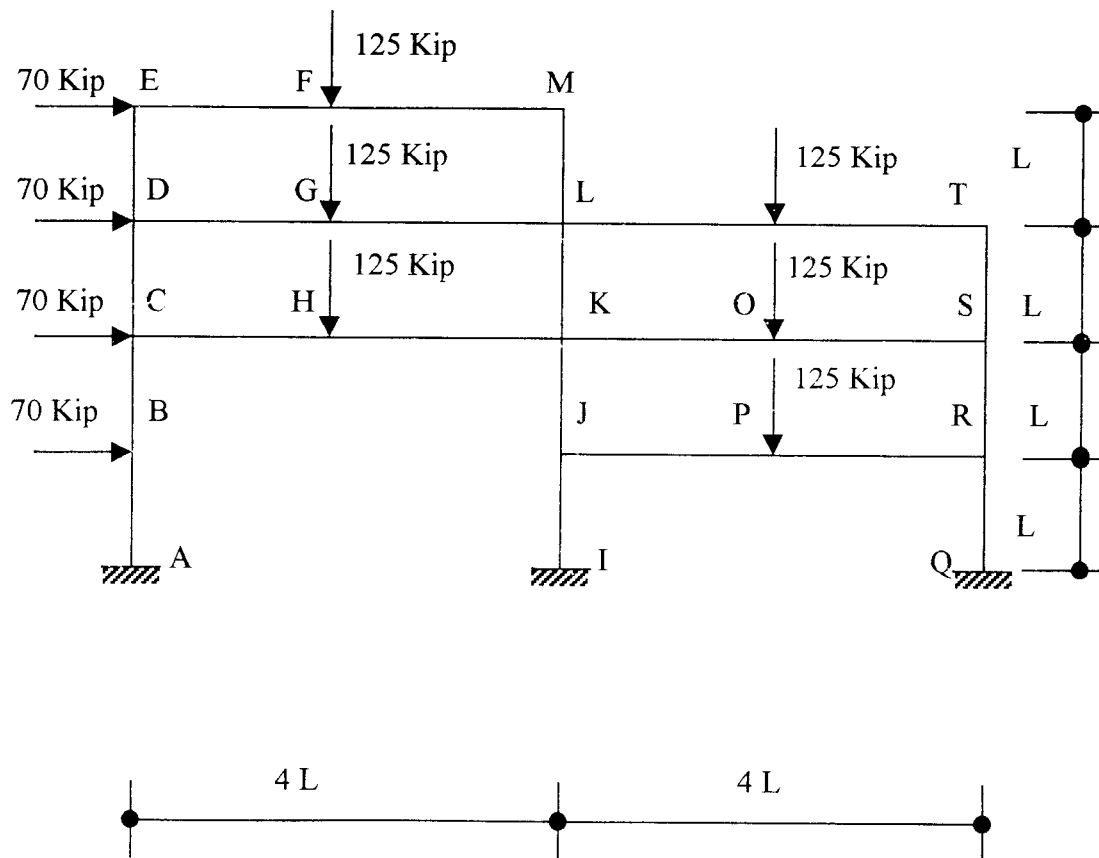
### PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Dalam skripsi akan dibahas mengenai pola mekanisme keruntuhan struktur portal baja bertingkat serta menentukan nilai momen plastis terbesar yang terjadi pada suatu struktur akibat reduksi dari gaya dan momen aksial serta gaya dan momen geser. Momen plastis terbesar setelah mengalami reduksi digunakan untuk menentukan dimensi profil yang digunakan. Dari harga momen ini pula dapat ditentukan besarnya beban maksimum yang diterima struktur (  $P_{max}$  ). Selanjutnya akan dibahas pula perkembangan zone plastis pada elemen struktur dengan batas-batasnya ( batas elastoplastis ) pada suatu mekanisme sampai terbentuknya sendi plastis.

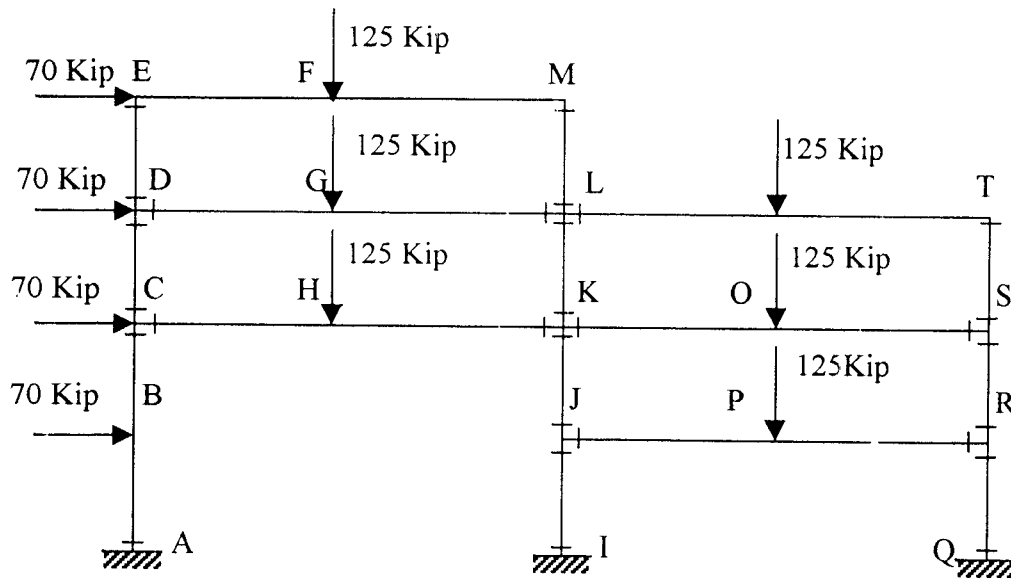
#### 4.1 Data Perencanaan

- Struktur portal baja bertingkat ( gambar 4.1 )
- Profil yang digunakan adalah baja profil WF tunggal (  $\sigma_y = 36$  Ksi )
- Tinggi kolom (  $L$  ) = 10 Ft
- Panjang bentang (  $4L$  ) = 40 Ft
- Beban yang bekerja pada struktur :
  - Beban vertikal (  $V$  ) = 125 Kip

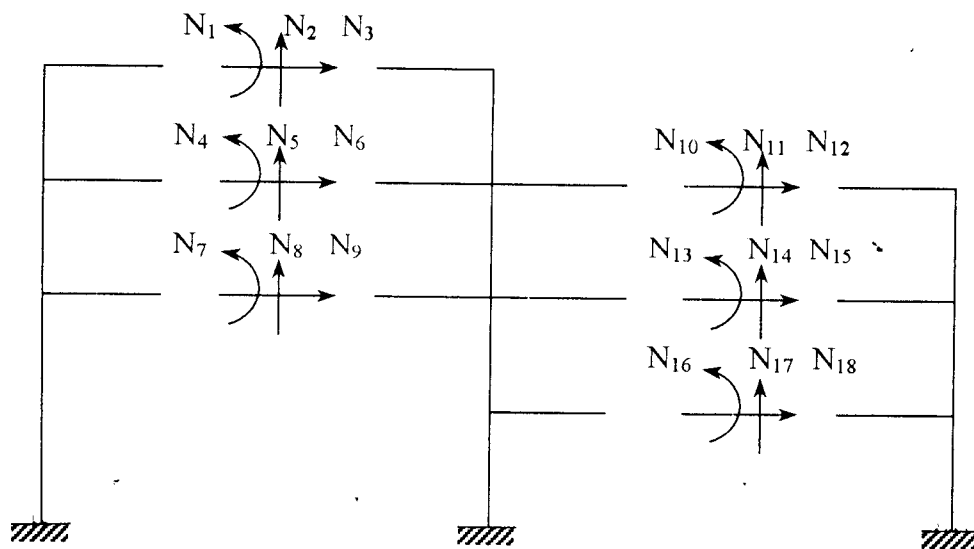
- Beban horisontal ( $H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = H$ ) = 70 Kip
- Tumpuan jepit-jepit
- Faktor beban ( $\lambda$ ) = 1,7 ( beban yang bekerja pada struktur merupakan kombinasi antara beban mati + beban hidup )
- Dalam perhitungan menggunakan satuan internasional, konversi satuan untuk satuan nasional dapat dilihat dalam lampiran.



Gambar 4.1 Data Struktur Portal Baja Bertingkat



Gambar 4.2 Sendi Plastis Yang Terjadi



Gambar 4.3 Reaksi yang Terjadi

( M. Bruneau, Chia - Ming Uang, A. Whittaker, 1998, hal. 56 )

Maka jumlah mekanisme elementernya

$$K = n - N = 36 - 18 = 18 \text{ buah terdiri dari :}$$

( V.N. Nazirani dan M.N. Ratwani, 1979 )

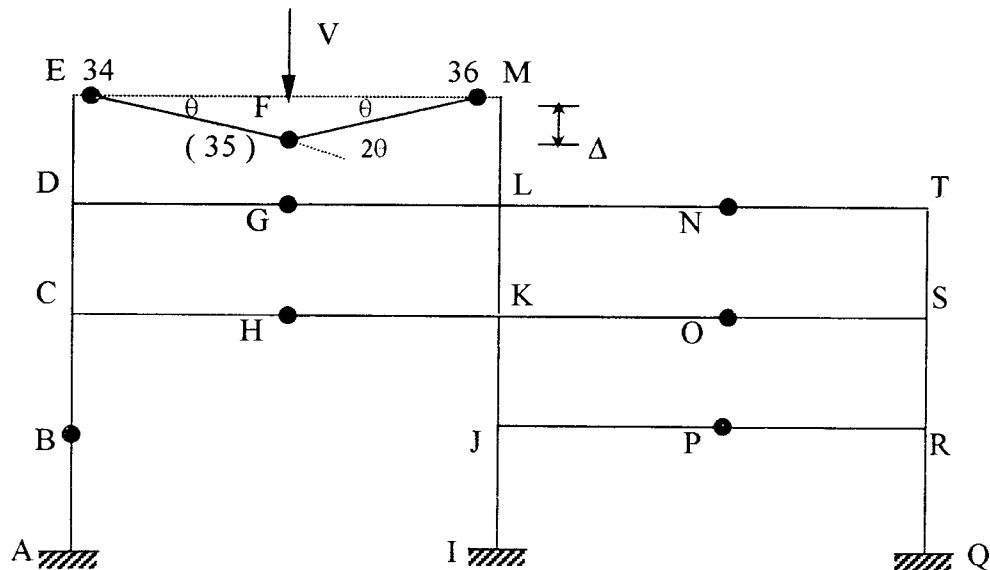
( a ). 7 buah mekanisme balok.

( b ). 4 buah mekanisme panel.

( c ). 7 buah mekanisme titik joint.

Mekanisme titik joint adalah di titik C, D, E, H, I, L, dan M

#### 4.2. Analisis Mekanisme Keruntuhan



Gambar 4.4 Mekanisme Balok EM

- Mekanisme 1 ( mekanisme balok EM )

Akibat beban vertikal V, balok EF berotasi sejauh  $\theta$  terhadap titik joint E. Titik F ditengah bentang dengan jarak  $2L$  dari joint E, seperti terlihat pada gambar 4.4.

Jarak virtual titik beban ( titik F ) terhadap pusat rotasi ( simpul E ) sejauh  $2L$ , maka penurunan vertikal pada titik F adalah  $2L.\theta$ .

Dengan menyamakan kerja luar dan kerja dalamnya kita peroleh persamaan :

Kerja luar = kerja dalam

$$V. \Delta = M_p.\theta + 2M_p.\theta + M_p.\theta$$

$$V . 2L.\theta = M_p.\theta + 2.M_p.\theta + M_p.\theta$$

$$2V . L.\theta = 4M_p.\theta$$

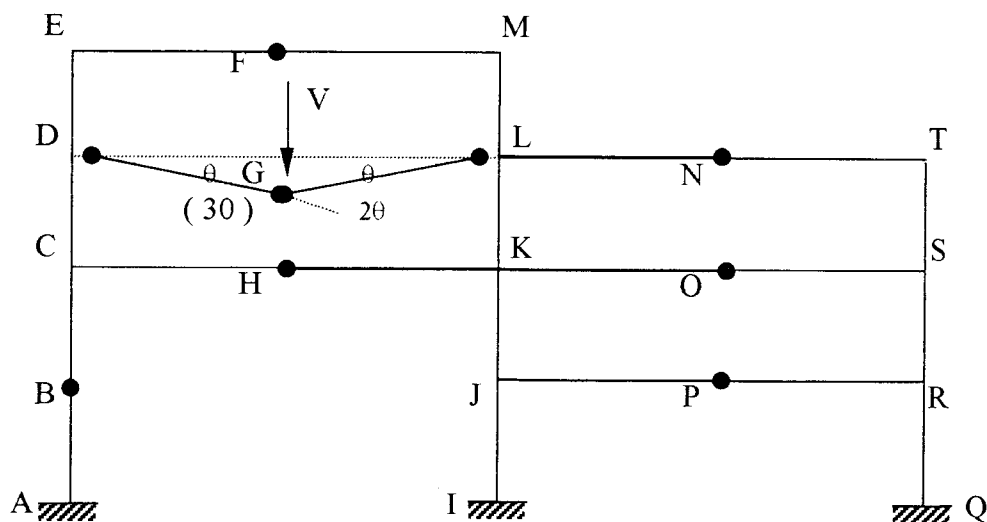
$$M_p = \frac{2V . L}{4} = \frac{2.125.10}{4} = 625 \text{Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok EM terlihat pada gambar 4.4

- Mekanisme 2 ( mekanisme balok DL )

Pada mekanisme balok DL ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok DL terlihat pada gambar 4.5

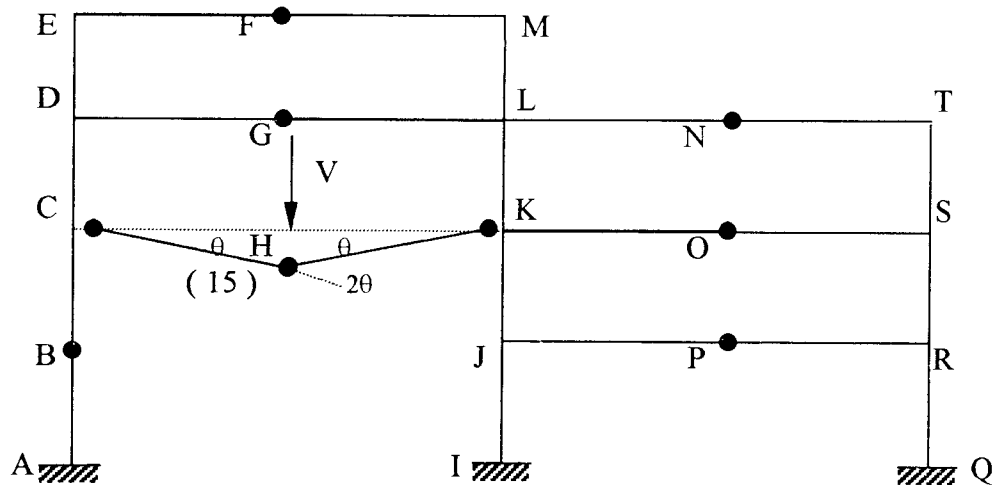


Gambar 4.5 Mekanisme Balok DL

- Mekanisme 3 (mekanisme balok CK)

Pada mekanisme balok CK ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok CK terlihat pada gambar 4.6

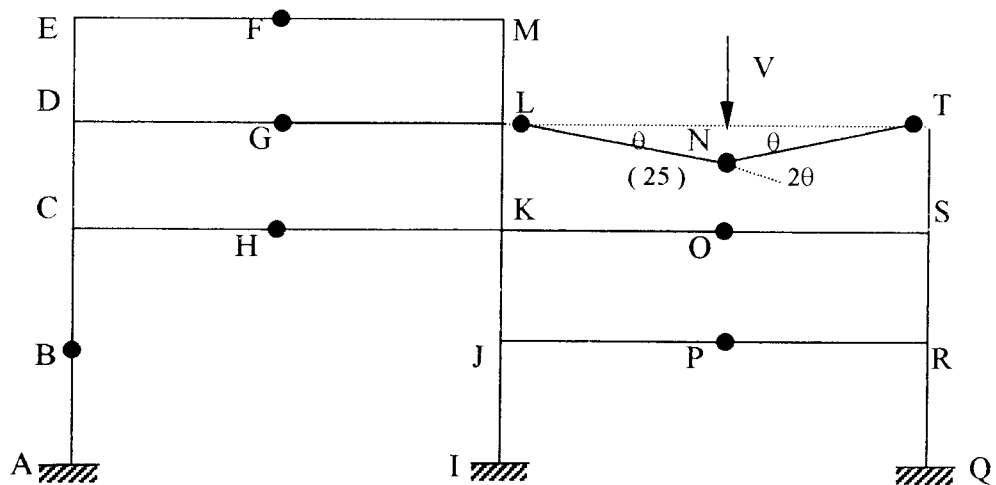


Gambar 4.6 Mekanisme Balok CK

- Mekanisme 4 (mekanisme balok LT)

Pada mekanisme balok LT ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok LT terlihat pada gambar 4.7



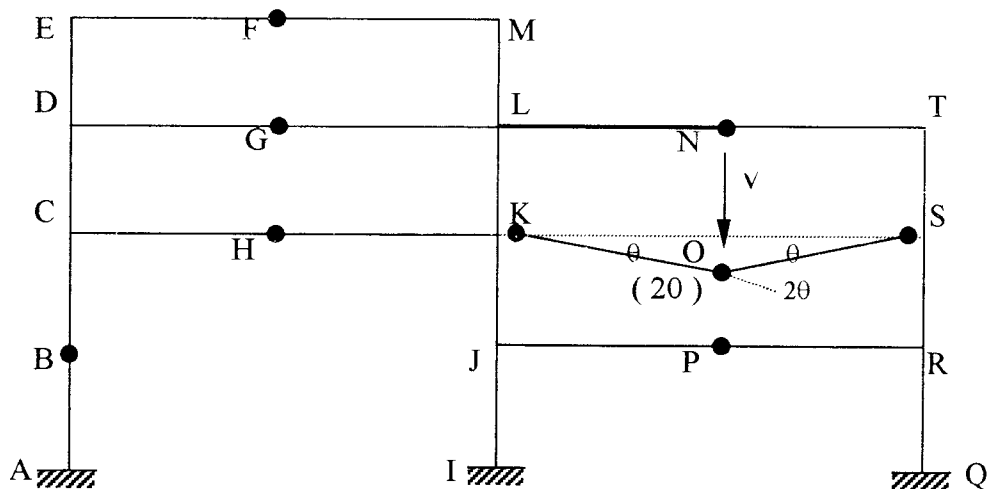
Gambar 4.7 Mekanisme Balok LT

- Mekanisme 5 (mekanisme balok KS)

Pada mekanisme balok KS ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft.

Hal ini karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok

EM. Mekanisme elementer untuk mekanisme balok KS terlihat pada gambar 4.8.

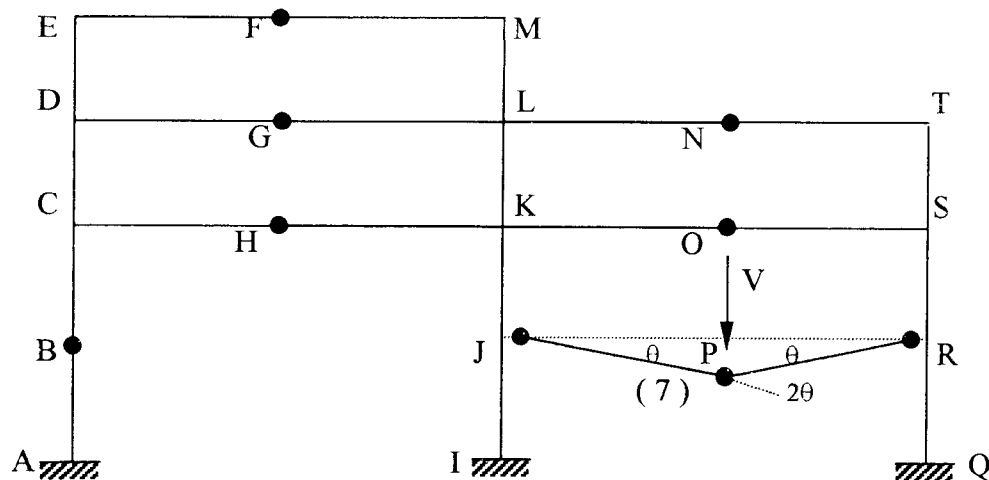


Gambar 4.8 Mekanisme Balok KS

- Mekanisme 6 ( mekanisme balok JR )

Pada mekanisme balok JR ini besarnya momen plastis = 625 Kip-ft karena besarnya beban terpusat dan bentang baloknya sama dengan balok EM.

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok JR terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Mekanisme Balok JR

- Mekanisme 7 ( mekanisme balok AC )

Akibat beban horisontal H maka balok AB berotasi sejauh  $\theta$  terhadap titik joint A.

Titik B ditengah bentang dengan jarak L dari joint A seperti terlihat pada gambar

4.4. Jarak virtuil L titik beban ( titik B ) terhadap pusat rotasi ( simpul A ) sejauh

L, maka penurunan arah horisontal pada titik B adalah  $L.\theta$ . Dengan menyamakan

kerja luar dan kerja dalamnya maka kita peroleh persamaan :

$$\text{Kerja luar} = \text{kerja dalam}$$

$$H.\Delta = Mp.\theta + 2Mp.\theta + Mp.\theta$$

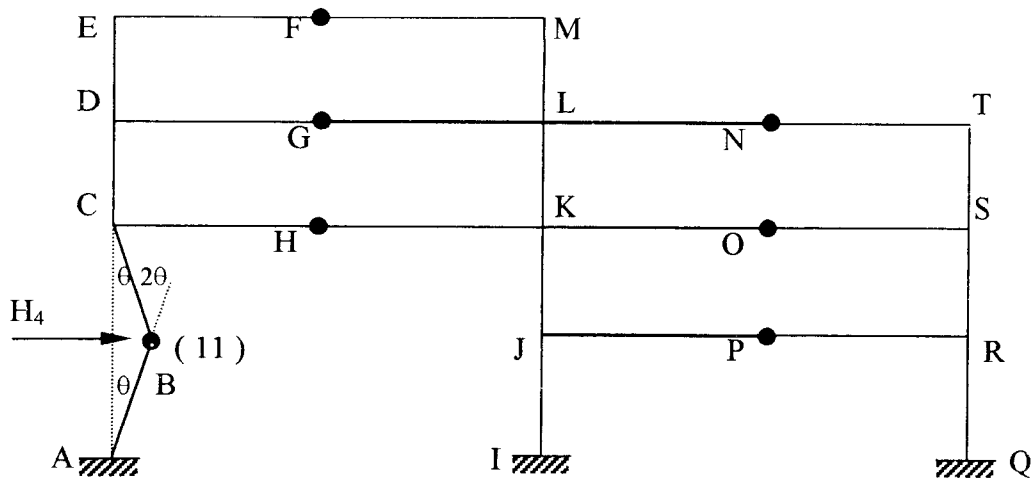
$$H_4.L.\theta = Mp.\theta + 2Mp.\theta + Mp.\theta$$



$$H_4.L.\theta = 4Mp.\theta$$

$$Mp = \frac{H_4.L}{4} = \frac{70.10}{4} = 175\text{Kip-ft}$$

Mekanisme elementer untuk mekanisme balok AC terlihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Mekanisme Balok AC

- Mekanisme 8 (mekanisme panel DEML)

Pada mekanisme panel DEML ini panel bawah CDTS dianggap sebagai bahan kaku (*Rigid Body*) sehingga beban horisontal yang bekerja pada panel DEML tidak akan mempengaruhi rotasi panel CDTS. Akibat beban tersebut menyebabkan simpul D berotasi sejauh  $\theta$  sehingga jarak virtual beban adalah  $L.\theta$ . Persamaan mekanisme elementernya menjadi :

Kerja luar = kerja dalam

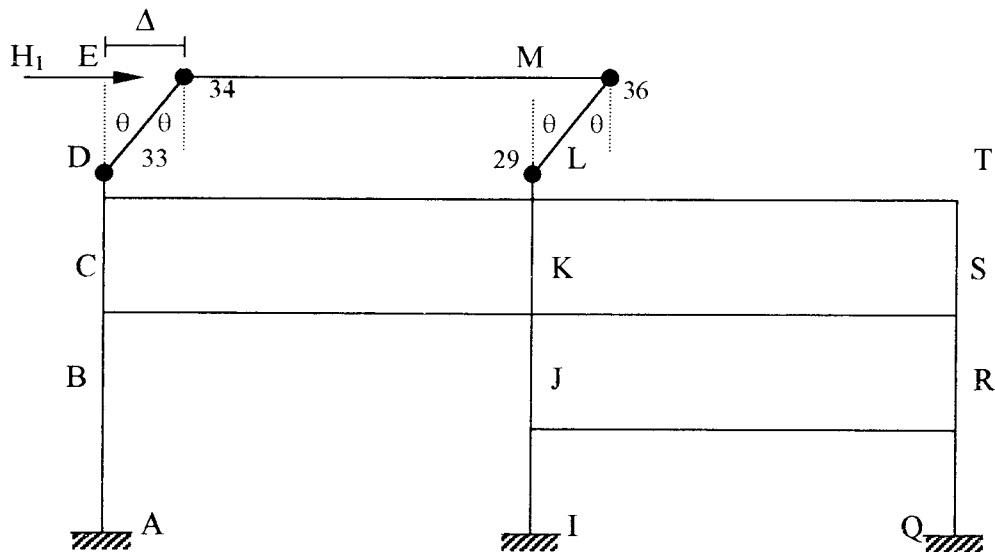
$$H_4.L.\theta = Mp.\theta + 2Mp.\theta + Mp.\theta$$

$$H_4.L.\theta = Mp(\theta + \theta + \theta + \theta)$$

$$H_4.L.\theta = 4Mp.\theta$$

$$Mp = \frac{H_1 L}{4} = \frac{70 \cdot 10}{4} = 175 \text{ Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.11 .



Gambar 4.11 Mekanisme Panel DEML

- Mekanisme 9 ( mekanisme panel CDTS)

Pada mekanisme panel CDTS ini panel atas DEML dianggap sebagai bahan kaku (*Rigid Body*). Tetapi beban horisontal yang bekerja di titik simpul E tetap berpengaruh terhadap mekanisme panel bawah ( panel CDTS ). Kolom DE sebagai bahan kaku, sedangkan pusat rotasi dititik simpul C maka jarak virtuil gaya yang bekerja pada simpul C sama dengan gaya horisontal pada simpul D yaitu sejauh  $L \cdot \theta$ . Sehingga mekanismenya sama dengan :

Kerja luar = kerja dalam

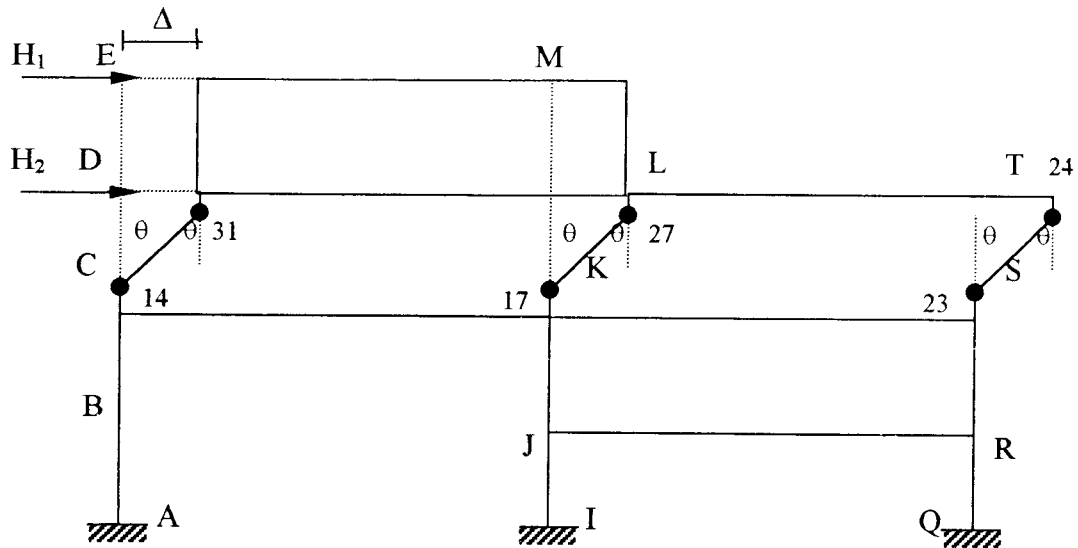
$$H_1 \cdot \Delta + H_2 \cdot \Delta = Mp \cdot (\theta + \theta + \theta + \theta + \theta + \theta)$$

$$H_1 \cdot L \cdot \theta + H_2 \cdot L \cdot \theta = Mp(\theta + \theta + \theta + \theta + \theta + \theta)$$

$$2 \cdot H \cdot L \cdot \theta = 6 \cdot \theta \cdot Mp$$

$$M_p = \frac{2.H.L}{6} = \frac{2.70.10}{6} = 233,33 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mekanisme Panel CDTs

- Mekanisme 10 (mekanisme panel ACSR)

Pada mekanisme panel ACSR ini panel CDTs dianggap sebagai bahan kaku (*Rigid Body*) dan pada simpul C bekerja gaya horisontal yang menyebabkan rotasi pada simpul A sejauh  $\theta$ . Sehingga jarak virtual gaya yang bekerja pada simpul A adalah  $2L.\theta$ . hal ini juga menyebabkan rotasi pada simpul C sejauh  $2\theta$  yang dikarenakan kolom KL bersifat kaku, sedangkan jarak virtual gaya yang bekerja pada simpul J adalah sejauh  $L.\theta$ . Maka persamaan mekanisme elementernya :

Kerja luar = kerja dalam

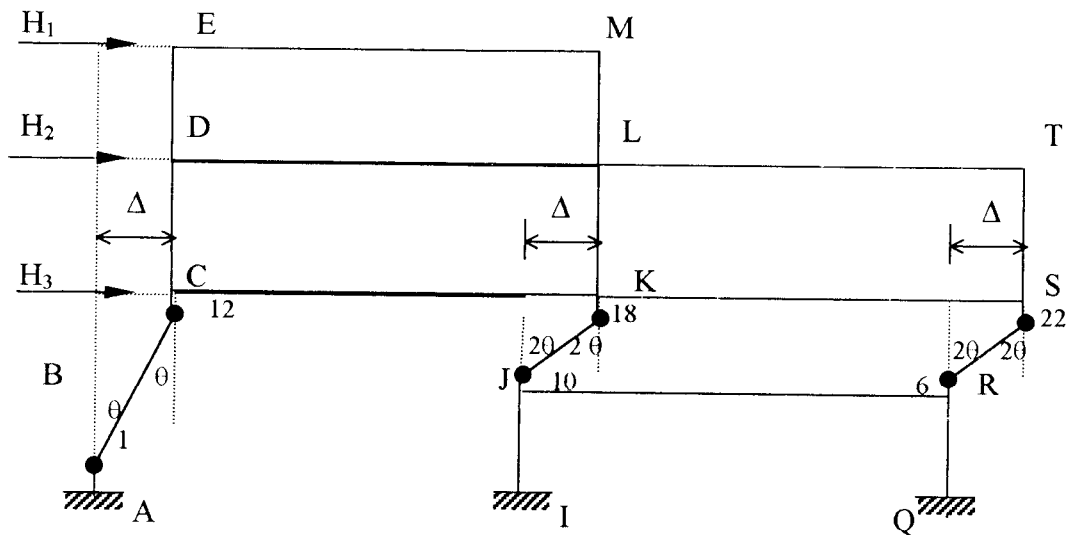
$$H_1. \Delta + H_2. \Delta + H_3. \Delta = M_p. (\theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta)$$

$$H_1. 2L\theta + H_2. L\theta + H_3. 2L\theta = M_p(\theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta)$$

$$5.H.L.\theta = 10.\theta.M_p$$

$$M_p = \frac{5.H.L}{10} = \frac{5.70.10}{10} = 350 \text{Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Mekanisme Panel ACSR

- Mekanisme 11 ( mekanisme panel IJRQ )

Pada mekanisme ini akibat gaya horisontal yang terjadi maka terjadi rotasi sebesar  $\theta$  pada titik simpul A dengan jarak virtual gaya ke beban sebesar  $2\theta$ , karena gaya panel ACSR bersifat kaku ( *Rigid Body* ) maka menyebabkan pada titik simpul I terjadi rotasi sebesar  $2\theta$  dengan jarak virtual gaya ke beban sebesar  $L\theta$ .

Maka persamaan elementernya :

Kerja luar = kerja dalam

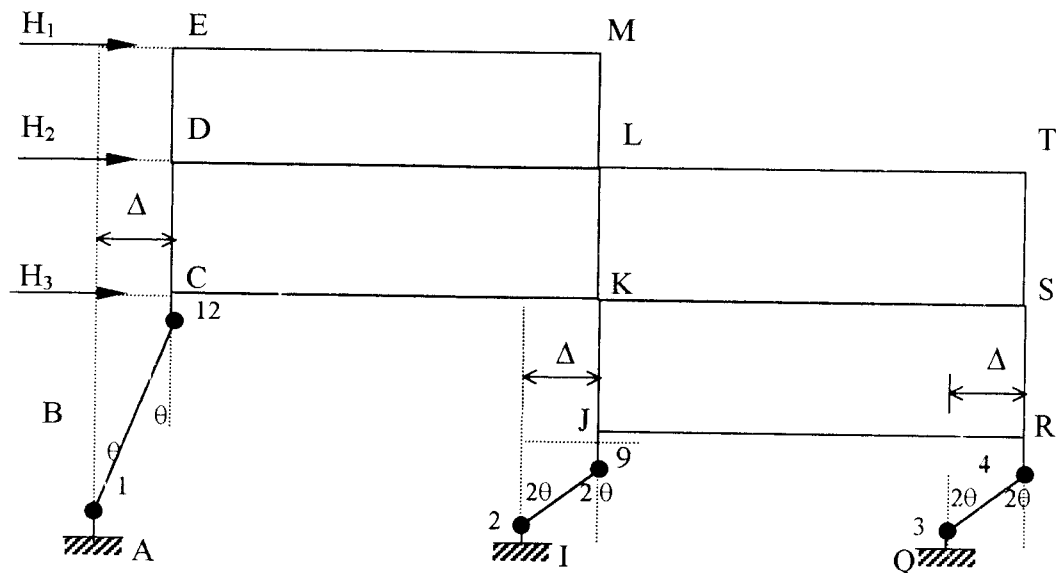
$$H_1. \Delta + H_2. \Delta + H_3. \Delta = M_p.( \theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta )$$

$$H_1. 2L\theta + H_2. L\theta + H_3. 2L\theta = M_p.( \theta + \theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta + 2\theta )$$

$$5.H.L.\theta = 10.\theta Mp$$

$$Mp = \frac{5.H.L}{10} = \frac{5.70.10}{10} = 350 \text{Kip-ft}$$

Mekanisme elementer seperti terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Mekanisme Panel IJRQ

- Mekanisme 12 (mekanisme kombinasi)

Mekanisme kombinasi yang pertama yang kita analisa yaitu kombinasi antara mekanisme balok EM dan panel DEML. Kombinasi ini menyebabkan sendi plastis di simpul E tereliminasi, yang berarti terjadi pengurangan ( reduksi ) kerja dalam sebesar  $2Mp.\theta$  ( L. Wahyudi dan Sjahril A. Rahim, 1992 ).

Sehingga persamaan mekanismenya merupakan jumlah gaya-gaya yang bekerja dikurangi dengan reduksinya yang menghasilkan persamaan :

$$\text{Mekanisme ( 12 )} = \text{mekanisme ( 1 )} + \text{mekanisme ( 8 )} - \text{reduksi}$$

$$\text{Mekanisme ( 1 )} = 2.V.L = 4.Mp$$

$$\text{Mekanisme ( 8 )} = \quad H.L = 4.Mp$$

$$\text{Reduksi} = \quad - 2.Mp \quad +$$

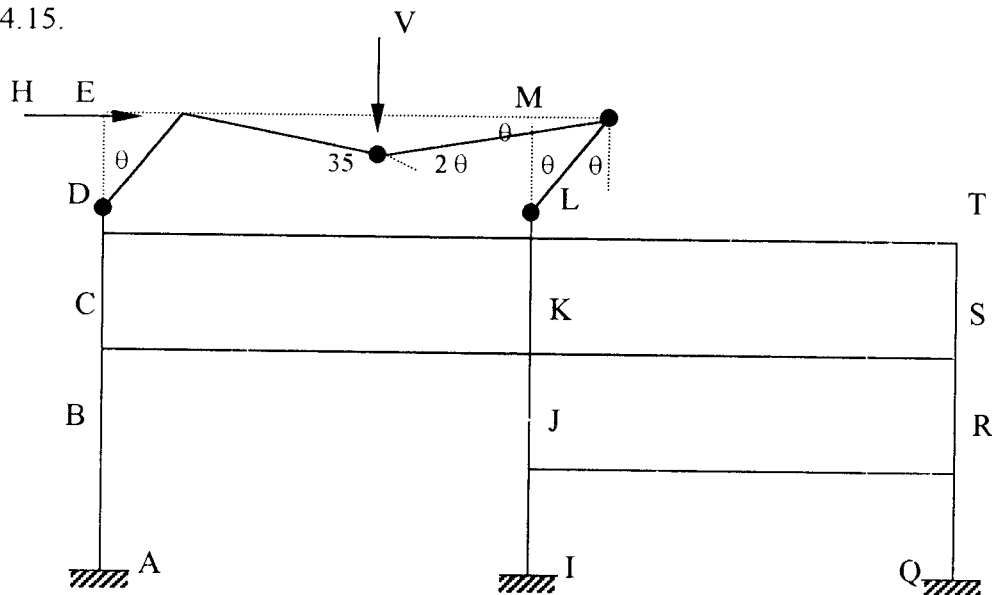
$$\text{Mekanisme ( 12 )} = 2.V.L + H.L = 6.Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + H.L}{6}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 70.10}{6} = 533,33 \text{kip} - \text{ft}$$

Mekanisme kombinasi dari balok EM dan panel DEML ditunjukkan pada gambar

4.15.



Gambar 4.15 Mekanisme Kombinasi

- Mekanisme 13 ( mekanisme kombinasi )

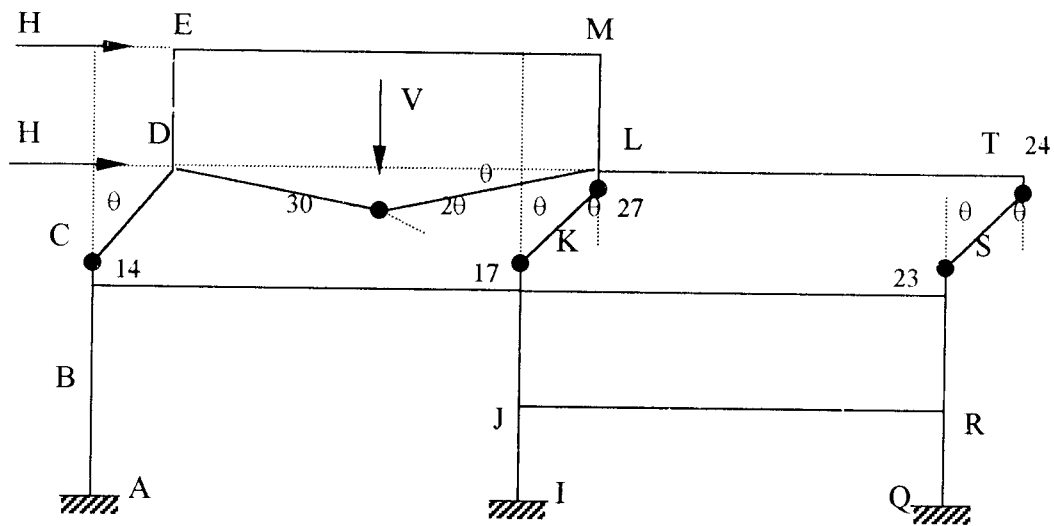
Mekanisme kombinasi selanjutnya kita peroleh dengan menggabungkan mekanisme balok DL pada gambar 4.5 dengan mekanisme panel CDTS pada gambar 4.11. Hal ini menyebabkan sendi plastis di simpul D tereliminasi, akibatnya terjadi pengurangan kerja dalam sebesar  $2Mp.\theta$  sehingga persamaan mekanisme adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme ( 2 )} &= 2.V.L = 4.Mp \\ \text{Mekanisme ( 9 )} &= 2.H.L = 6.Mp \\ \text{Reduksi} &= - 2.Mp + \\ \hline \text{Mekanisme ( 13 )} &= 2.V.L + 2.H.L = 8.Mp \end{aligned}$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 2.H.L}{8}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 2.70.10}{8} = 487,5 \text{Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme kombinasi dari balok DL dan panel CDTS ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Mekanisme Kombinasi

- Mekanisme 14 ( mekanisme kombinasi )

Mekanisme kombinasi selanjutnya kita peroleh dengan menggabungkan mekanisme balok LT dengan panel CDTS pada gambar 4.7. Pada mekanisme ini

tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi dengan demikian total kerja luarnya tidak berubah. Sedangkan jumlah kerja dalamnya bertambah sehingga dihasilkan momen plastis yang nilainya lebih kecil. Jadi persamaan menjadi :

$$\text{Mekanisme ( 14 )} = \text{mekanisme ( 4 )} + \text{mekanisme ( 9 )}$$

$$\text{Mekanisme ( 4 )} = 2.V.L = 4.Mp$$

$$\text{Mekanisme ( 9 )} = 2.H.L = 6.Mp \quad +$$

$$\text{Mekanisme ( 13 )} = 2.V.L + 2.H.L = 10.Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 2.H.L}{10}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 2.70.10}{10} = 390Kip - ft$$

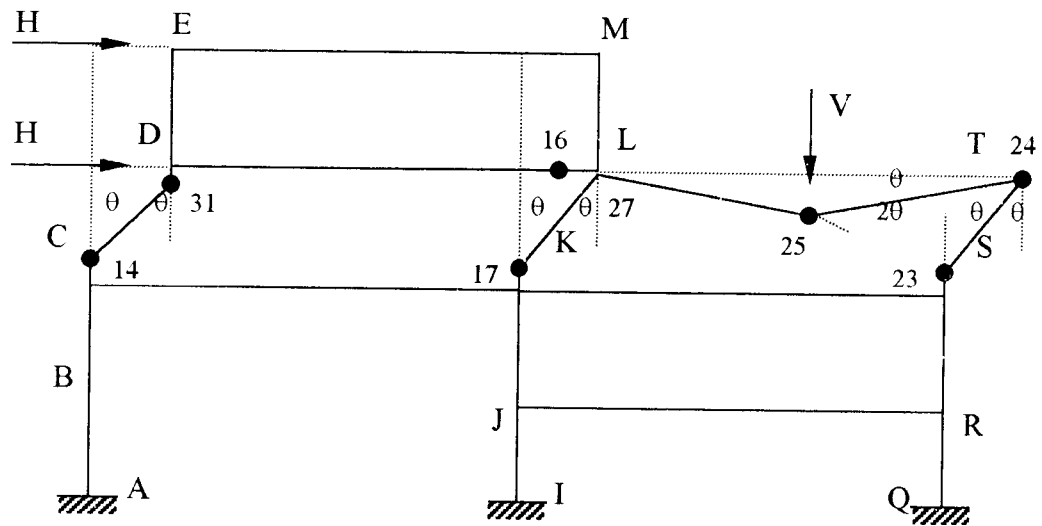
Tetapi jika kita gabungkan mekanisme ini dengan mekanisme rotasi titik simpul pada simpul L maka satu buah sendi plastis dapat terhapus dengan pengurangan energi dalam sebesar  $Mp.\theta$ , seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17 sehingga persamaannya menjadi :

$$2.V.L + 2.H.L = 10.Mp - Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 2.H.L}{9}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 2.70.10}{9} = 433,33Kip - ft$$





Gambar 4.17 Kombinasi Mekanisme Balok LT Dengan Mekanisme Panel CDTs

Setelah Dikombinasikan Dengan Mekanisme Rotasi Simpul L

- Mekanisme 15 ( mekanisme kombinasi )

Pada mekanisme kombinasi ini kita coba menggabungkan mekanisme balok CK (mekanisme 3) dengan mekanisme panel ACSR. Ternyata pada mekanisme ini menyebabkan sendi plastis di simpul C terhapus, akibatnya terjadi pengurangan kerja dalam sebesar  $2M_p \cdot \theta$  sehingga persamaan mekanisme adalah sebagai berikut:

$$\text{Mekanisme ( 3 )} = 2 \cdot V \cdot L = 4 \cdot M_p$$

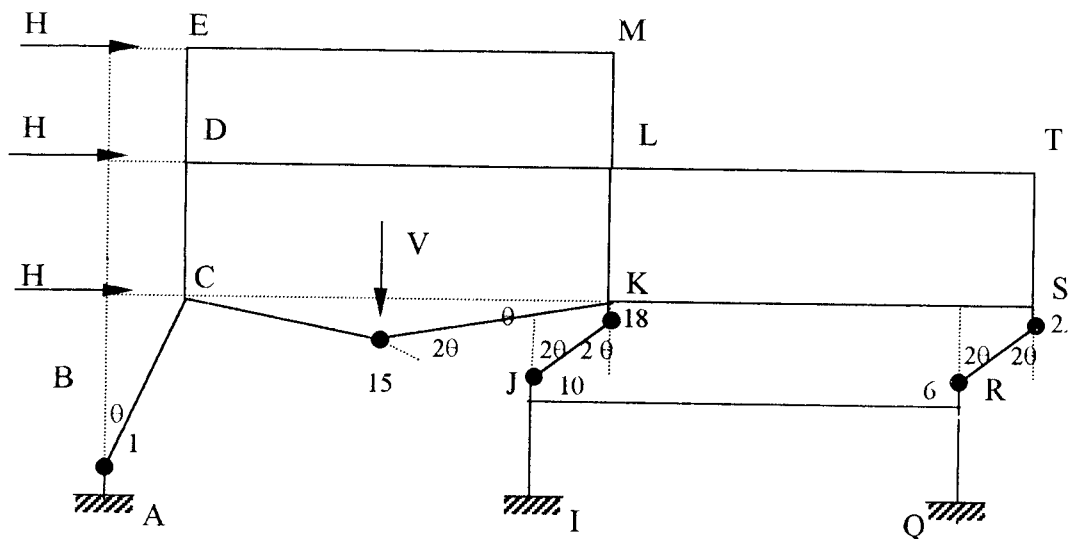
$$\text{Mekanisme ( 10 )} = 5H \cdot L = 10 \cdot M_p$$

$$\text{Reduksi} = - 2 \cdot M_p +$$

$$\text{Mekanisme ( 13 )} = 2 \cdot V \cdot L + 5 \cdot H \cdot L = 12 \cdot M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{12}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{12} = 500 \text{ Kip-ft}$$



Gambar 4.18 Mekanisme Kombinasi Balok CK dengan panel ACSR

- Mekanisme 16 (mekanisme kombinasi)

Pada mekanisme ini kita peroleh dengan menggabungkan mekanisme balok KS pada gambar 4.9 dengan mekanisme ACSR pada gambar 4.13. Pada mekanisme ini tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi dengan demikian total kerja luarnya tidak berubah. Sedangkan jumlah kerja dalamnya bertambah, sehingga dihasilkan momen plastis yang nilai lebih kecil. Jadi persamaannya menjadi :

$$\text{Mekanisme ( 16 )} = \text{mekanisme ( 5 )} + \text{mekanisme ( 10 )}$$

$$\text{Mekanisme ( 5 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 10 )} = 5.H.L = 10.M_p \quad +$$

$$\text{Mekanisme ( 13 )} = 2.V.L + 5.H.L = 14.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{14}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{14} = 428,571 \text{ Kip-ft}$$

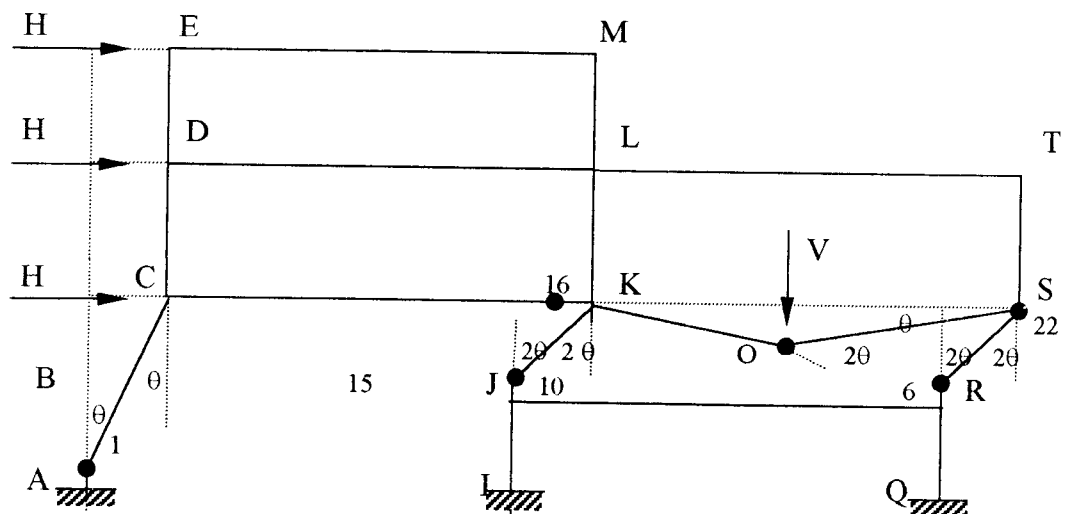
Tetapi jika gabungkan mekanisme ini dengan mekanisme rotasi titik simpul pada simpul K maka satu buah sendi plastis terhapus dengan pengurangan energi dalam sebesar  $M_p.\theta$ , seperti ditunjukkan pada gambar 4.19, sehingga persamaannya menjadi :

$$2.V.L + 5.H.L = 14.M_p - M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{13}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{13} = 461,538 \text{ Kip-ft}$$

Gambar 4.19 kombinasi mekanisme balok KS dengan mekanisme panel ACSR setelah dikombinasikan dengan mekanisme rotasi simpul K.



Gambar 4.19 Kombinasi Mekanisme Balok KS Dengan Mekanisme Panel ACSR Setelah Dikombinasikan Dengan Mekanisme Rotasi Simpul K

- Mekanisme 17 ( mekanisme kombinasi )

Kombinasi selanjutnya dicoba dengan menggabungkan mekanisme balok JR (mekanisme 6) dengan mekanisme panel IJRQ (mekanisme 11). Ternyata kombinasi ini menyebabkan sendi plastis di simpul J terhapus, akibat terjadi pengurangan kerja dalam sebesar  $M_p \cdot \theta$ . Sehingga persamaan mekanismenya adalah sebagai berikut :

$$\text{Mekanisme ( 17 )} = \text{mekanisme ( 6 )} + \text{mekanisme ( 11 )}$$

$$\text{Mekanisme ( 6 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 11 )} = 5.H.L = 10.M_p$$

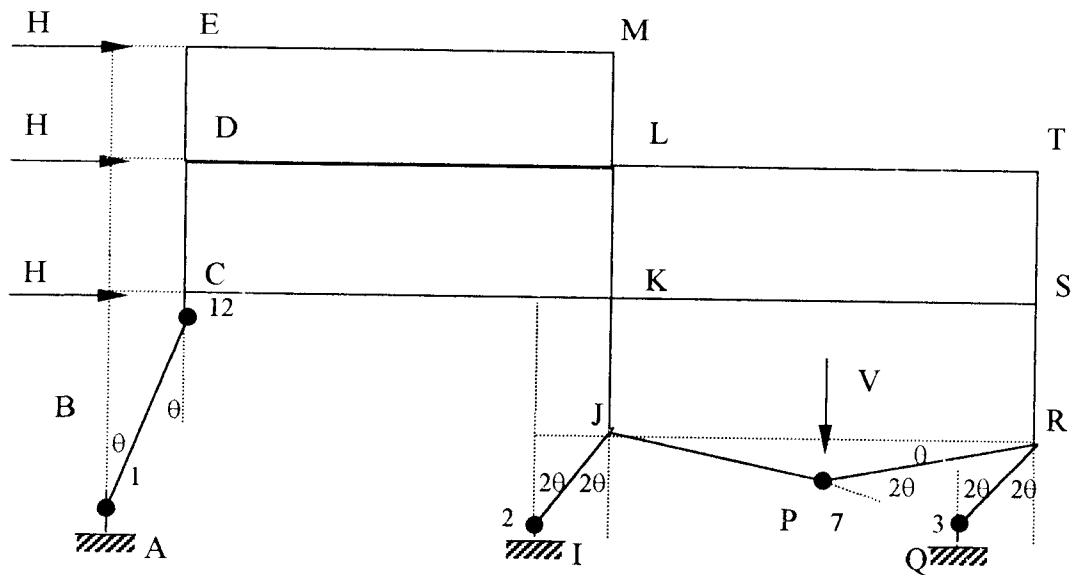
$$\text{Reduksi} = \frac{\quad}{\quad} - M_p +$$

$$\text{Mekanisme ( 17 )} = 2.V.L + 5.H.L = 13.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 5.H.L}{13}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 5.70.10}{13} = 461,538 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme kombinasi dari balok JR dan panel IJRQ ditunjukkan pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Mekanisme Kombinasi

- Mekanisme 18 ( mekanisme kombinasi )

Jika kita gabungkan mekanisme ( 8 ) dan mekanisme ( 9 ), yaitu antara mekanisme panel DEML dan panel CDTS. Tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi. Akan tetapi dengan menambahkan mekanisme rotasi titik simpul D dan L, sendi di titik 31 dan 33 akan terhapus dan digantikan dengan sendi di titik 32. Demikian juga pada simpul L, sendi di titik 27 dan 29 akan terhapus dan digantikan oleh sendi pada titik 26 dan 28 sehingga total pengurangan energi dalamnya  $M_p\theta$ .

Sehingga persamaan kerjanya menjadi :

$$\text{Mekanisme ( 8 )} = H.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 9 )} = 2.H.L = 6.M_p$$

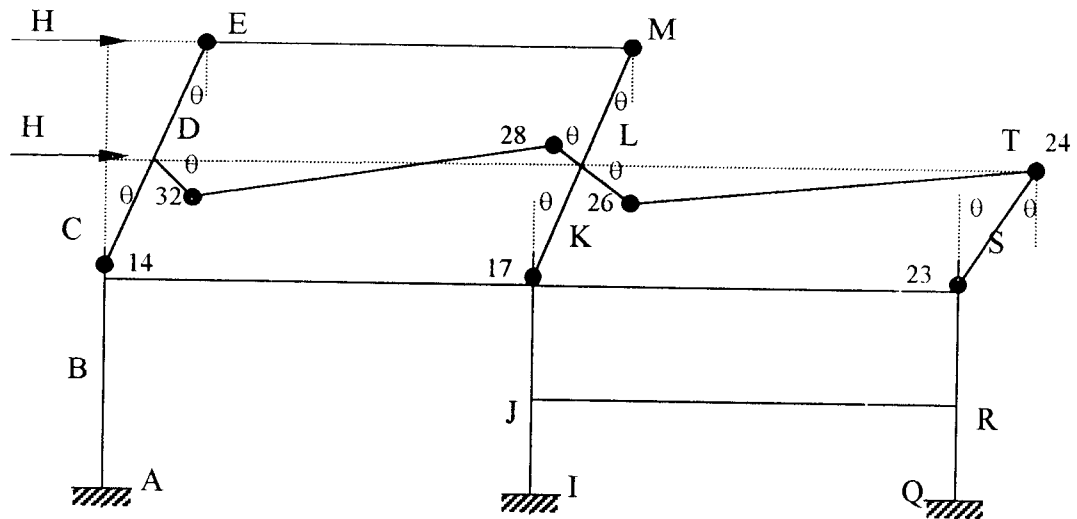
$$\text{Reduksi} = - M_p +$$

$$\text{Mekanisme ( 17 )} = 3.H.L = 9.M_p$$

$$M_p = \frac{3.H.L}{9}$$

$$M_p = \frac{3.70.10}{9} = 233,33 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme strukturnya terlihat pada gambar 4.21



Gambar 4.21 Mekanisme Kombinasi dari Panel DEML dan Panel CDTs

- Mekanisme 19 (mekanisme kombinasi)

Jika kita gabungkan mekanisme ( 1 ) kedalam mekanisme ( 8 ) dan ( 9 ) maka sendi plastis di simpul E akan tereliminasi. Dengan demikian terjadi pengurangan energi dalam sebesar  $2M_p.\theta$ . Sedangkan kombinasi mekanisme ( 8 ) dan ( 9 ) telah kita hitung sebelumnya yaitu sama dengan dengan mekanisme ( 18 ). Sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme ( 19 )} &= \text{mekanisme ( 8 )} + \text{mekanisme ( 9 )} + \text{mekanisme ( 1 )-reduksi} \\ &= \text{mekanisme ( 18 )} + \text{mekanisme ( 1 ) - reduksi} \end{aligned}$$

$$\text{Mekanisme ( 18 )} = 3.H.L = 9.Mp$$

$$\text{Mekanisme ( 1 )} = 2.V.L = 4.Mp$$

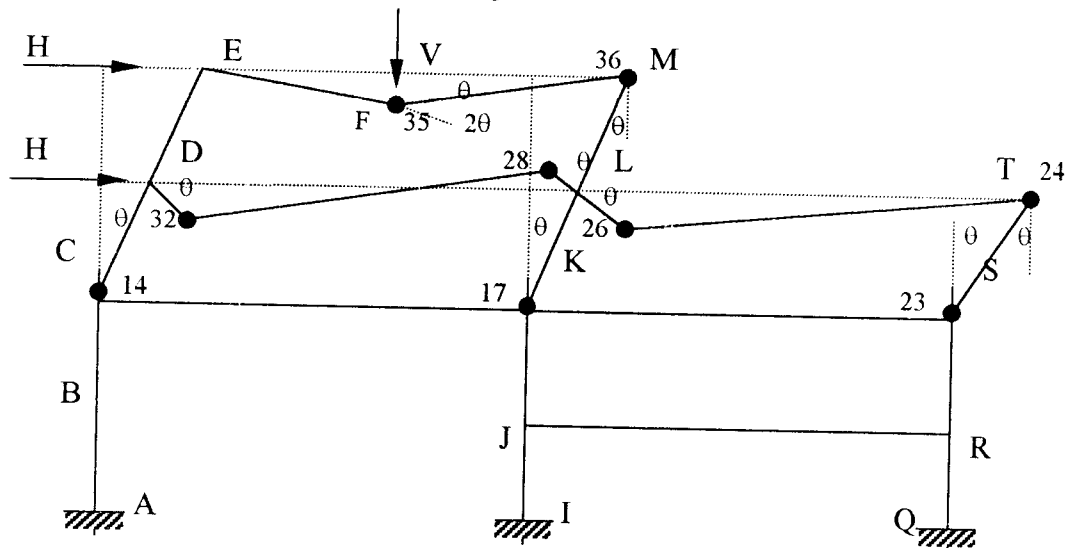
$$\text{Reduksi} = - 2 Mp +$$

$$\text{Mekanisme ( 19 )} = 3.H.L + 2.V.L = 11.Mp$$

$$Mp = \frac{2.V.L + 3.H.L}{11}$$

$$Mp = \frac{2.125.10 + 3.70.10}{11} = 418,18 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme strukturnya terlihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Mekanisme kombinasi dari balok ED, panel DEML dan panel CDTS

- Mekanisme 20 ( mekanisme kombinasi )

Pada mekanisme ini kita gabungkan mekanisme panel 9 ( mekanisme CDTS ) seperti pada gambar 4.12 dan mekanisme 10 ( mekanisme ACSR ) seperti pada gambar 4.13. Pada mekanisme ini tidak ada satupun sendi plastis yang tereliminasi. Akan tetapi dengan menambahkan mekanisme rotasi titik simpul C





- Mekanisme 21 (mekanisme kombinasi)

Jika kita gabungkan mekanisme ( 2 ) ke dalam mekanisme ( 9 ) dan ( 10 ) maka sendi plastis di titik D akan tereliminasi. Dengan demikian terjadi pengurangan energi dalam sebesar  $2M_p\theta$ . Sedangkan kombinasi mekanisme ( 9 ) dan ( 10 ) telah kita hitung sebelumnya yaitu sama dengan mekanisme ( 20 ) sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme ( 21 )} &= \text{mekanisme ( 9 )} + \text{mekanisme ( 10 )} + \text{mekanisme ( 2 )} - \text{reduksi} \\ &= \text{mekanisme ( 20 )} + \text{mekanisme ( 2 )} - \text{reduksi} \end{aligned}$$

$$\text{Mekanisme ( 20 )} = 7.H.L = 15.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 1 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

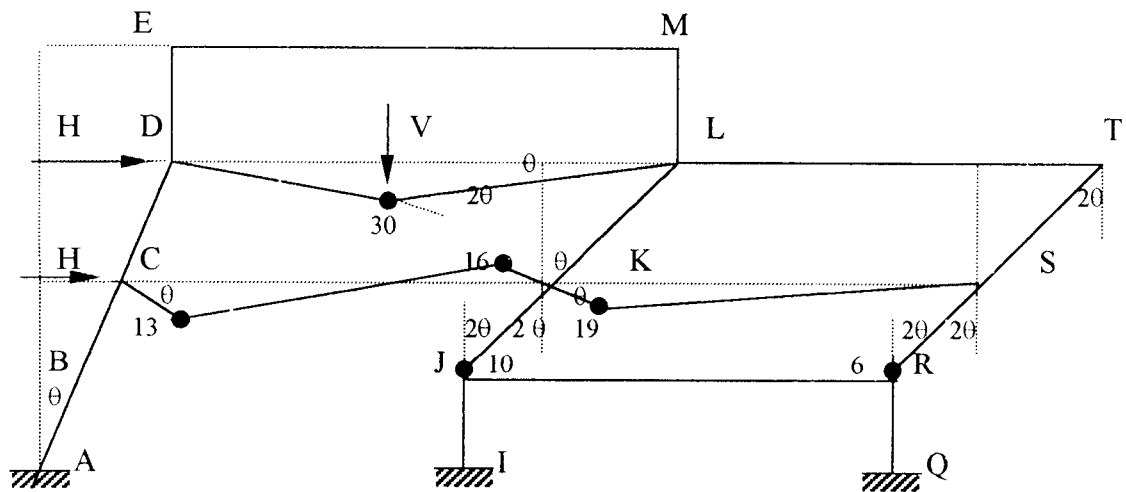
$$\text{Reduksi} = \underline{\hspace{10em}} - 2 M_p +$$

$$\text{Mekanisme ( 21 )} = 7.H.L + 2.V.L = 17.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 7.H.L}{17}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 7.70.10}{17} = 435,294 \text{ Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Mekanisme Kombinasi dari Balok DL, Panel CDTS dan Panel ACSR

- Mekanisme 22 ( mekanisme kombinasi )

Jika kita gabungkan mekanisme ( 4 ) ke dalam mekanisme ( 9 ) dan ( 10 ) maka sendi plastis di titik L akan tereliminasi. Dengan demikian terjadi pengurangan energi dalam sebesar  $2M_p\theta$ . Sedangkan kombinasi mekanisme ( 9 ) dan ( 10 ) telah kita hitung sebelumnya yaitu sama dengan mekanisme ( 20 ) sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Mekanisme ( 21 )} &= \text{mekanisme ( 9 )} + \text{mekanisme ( 10 )} + \text{mekanisme ( 4 )} - \text{reduksi} \\ &= \text{mekanisme ( 20 )} + \text{mekanisme ( 2 )} - \text{reduksi} \end{aligned}$$

$$\text{Mekanisme ( 20 )} = 7.H.L = 15.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 4 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

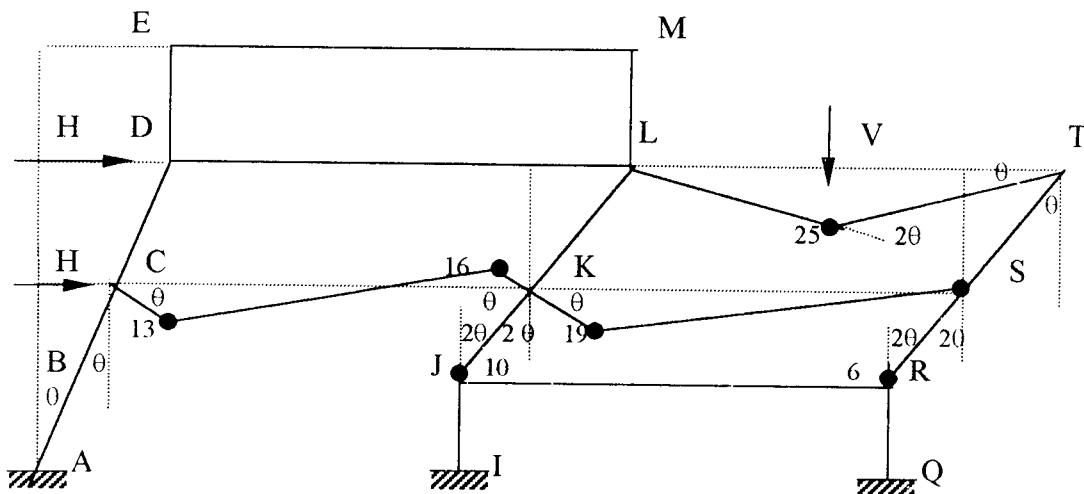
$$\text{Reduksi} = - 2 M_p +$$

$$\text{Mekanisme ( 21 )} = 7.H.L + 2.V.L = 17.M_p$$

$$M_p = \frac{2.V.L + 7.H.L}{17}$$

$$M_p = \frac{2.125.10 + 7.70.10}{17} = 435,294 \text{ Kip-ft}$$

Mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.25



Gambar 4.25 Mekanisme Kombinasi Dari Balok LT, Panel CDTs dan Panel ACSR

- Mekanisme 23 (mekanisme kombinasi)

Pada mekanisme ini semua mekanisme elementer digabungkan menjadi satu dan hasilnya seperti terlihat pada gambar 4.26. Akibat mekanisme balok EM maka sendi plastis di titik E tereliminasi sehingga terjadi pengurangan energi dalam sebesar  $2M_p\theta$ . Kemudian dengan mengkombinasikan mekanisme ini dengan mekanisme rotasi titik simpul D semua sendi plastis disimpul D yang mengakibatkan pengurangan energi dalam sebesar  $3M_p\theta$ . Hal yang sama juga terjadi pada titik simpul L, C, K, S, J, dan R. Dengan demikian akibat mekanisme

kombinasi ini terjadi pengurangan energi dalam sebesar  $23M_p\theta$ , dan persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Mekanisme ( 1 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 2 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 3 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 4 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 5 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 6 )} = 2.V.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 7 )} = H.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 8 )} = H.L = 4.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 9 )} = 2.H.L = 6.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 10 )} = 5.H.L = 10.M_p$$

$$\text{Mekanisme ( 11 )} = 5.H.L = 10.M_p$$

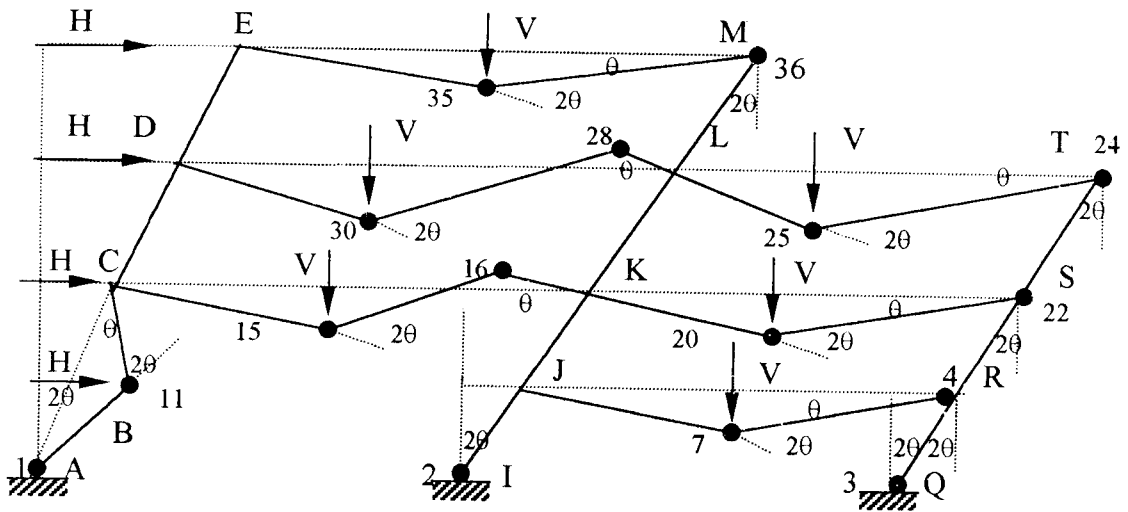
$$\text{Reduksi} = \underline{\hspace{10em}} - 23 M_p \quad +$$

$$\text{Mekanisme} \quad 12.V.L + 14.H.L = 35 M_p$$

$$M_p = \frac{12.V.L + 14.H.L}{35}$$

$$M_p = \frac{12.125.10 + 14.70.10}{35} = 708,571 \text{Kip} - \text{ft}$$

Mekanisme dari strukturnya terlihat pada gambar 4.26



Gambar 4.26. Mekanisme Kombinasi Dari Semua Mekanisme Elementer

Ternyata dari keduapuluh tiga mekanisme yang diperkirakan harga momen plastis terbesar didapat pada mekanisme ke-23 yaitu dengan menggabungkan semua mekanisme elementer yang menghasilkan harga momen plastis sebesar 708,571 Kip-ft. Berarti pola mekanisme tersebut mewakili keruntuhan yang sebenarnya. Titik-titik yang menjadi sendi plastis adalah : 1, 2, 3, 4, 7, 11, 15, 16, 20, 22, 24, 25, 28, 30, 35, dan 36. Dengan demikian sesuai dengan perjanjian tanda rotasi harga momen-momen plastis pada titik tersebut adalah :

$M_1 = - 708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{15} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{28} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_2 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{16} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{30} = +708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_3 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{20} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{35} = +708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_4 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{22} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{36} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$
$M_7 = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{24} = - 708,571 \text{ Kip-ft}$	
$M_{11} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	$M_{25} = +708,571 \text{ Kip-ft}$	

Ternyata momen plastis terbesar di peroleh dengan jumlah sendi plastis sebanyak 16 buah. Hal ini berarti struktur runtuh pada saat sendi plastis berkurang tiga dari yang seharusnya didapat dari rumus yaitu berjumlah 19 buah. Dengan demikian struktur tersebut mengalami keruntuhan parsial (*partial collapse*).

Jadi dari perhitungan didapat  $M_p = 708,571 \text{ Kip-ft}$

Gaya aksial terbesar yang bekerja pada struktur sebesar 375 Kip dan gaya geser sebesar 104,993 Kip

#### 4.3. Perhitungan Dimensi dan Kontrol Kekuatan Profil

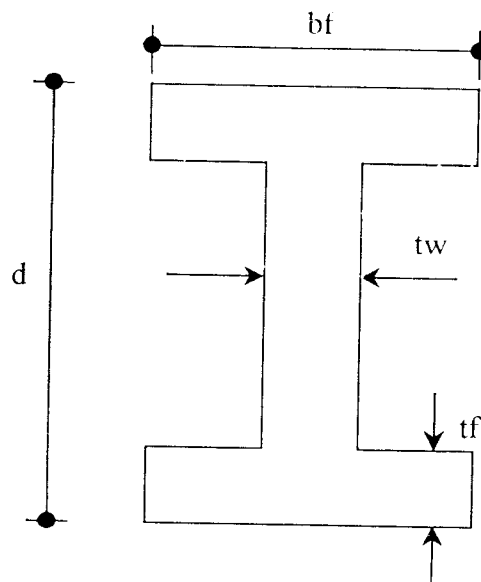
Untuk menentukan dimensi profil WF yang akan digunakan dapat disesuaikan dengan syarat yang telah ditetapkan yaitu pada syarat AISC. Dalam hal ini mutu baja yang digunakan adalah A36 ( $\sigma_y = 36 \text{ ksi}$ ). Untuk perencanaan suatu struktur perlu diberi angka keamanan atau faktor beban. Menurut AISC untuk beban yang bekerja antara merupakan kombinasi antara beban mati + beban hidup maka faktor bebannya ( $\lambda$ ) = 1,7. Perhitungan dimensi profil untuk kasus diatas adalah sebagai berikut :

- Mutu baja A36 ( $\sigma_y = 36 \text{ ksi}$ )
  - $\lambda = 1,7$  (kombinasi beban mati + beban hidup)
- ( L. Wahyudi, Sjahril A. Rahim, 1992 )
- $M_p = 708,571 \text{ Kip-ft}$
  - $M_p = \lambda \cdot 708,571 = 708,571 \cdot 1,7 = 1204,571 \text{ Kip-ft}$
  - Gaya aksial =  $\lambda \cdot 375 = 637,5 \text{ Kip}$

- Gaya geser =  $\lambda \cdot 104,993 = 178,4881$  Kip

Dengan mengacu pada tabel Desain Plastis AISC, maka profil yang sesuai adalah WF18x311 dengan data profil sebagai berikut :

$M_p = 2260$ Kip-ft	$A = 91,5$ in <sup>2</sup>	$P_y = 3290$ kip	$r_y = 2,95$ in
$Z_x = 753$ In <sup>3</sup>	$b_f = 12,005$ in	$S_x = 624$ in <sup>3</sup>	$d/t_w = 14,7$
$W = 311$ lb/ft	$t_w = 1,52$ in	$S_y = 132$ in <sup>3</sup>	
$d = 22,32$ in	$r_x = 8,72$ in	$t_f = 2,74$ in	



Gambar 4.27 Profil Baja WF18x311

#### 4.3.1. Kontrol Terhadap Local Buckling

- Bagian sayap ( Flange )

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_y$$

$$\frac{12,005}{2 \cdot 2,74} < 8,5$$

$$2,1906 < 8,5 \dots\dots\dots \text{OK !}$$

- Bagian Badan ( Web )

$$\frac{P}{P_y} = \frac{637,5}{3290} = 0,1938 < 0,27, \text{ maka}$$

$$\frac{d}{t_w} < \frac{412}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 - 1,4 \frac{P}{P_y} \right]$$

$$14,7 < \frac{412}{\sqrt{36}} [1 - 1,4 \cdot 0,1938]$$

$$14,7 < 53,496 \dots\dots\dots \text{OK !}$$

#### 4.3.2. Kontrol Terhadap Lateral Torsional Buckling

$$\frac{M}{M_p} = \frac{1204,571}{2260} = 0,537, \text{ berarti } 1 < M/M_p < -0,5$$

- ◆ Dicoba Cara Momen Gradient

$$\begin{aligned} L_{cr} &= \left[ \frac{1375}{F_y} + 25 \right] r_y \\ &= \left[ \frac{1375}{36} + 25 \right] r_y = 63,194 \cdot r_y = 63,194 \cdot 2,95 = 186,4223 \text{ in} \end{aligned}$$

$$L_{cr} = \frac{186,4223}{12} = 15,535 \text{ ft} < 40 \text{ ft}$$

$$r_y^{\text{perlu}} = \frac{L}{L_{cr}} = \frac{40 \cdot (12)}{63,194} = 7,595 > r_y = 2,95$$

Jadi diperlukan penopang lateral ( bracing ) dengan jarak 15,535 ft sepanjang bentang balok ( 40 ft ).



### 4.3.3. Kontrol Terhadap Gaya Aksial

#### A. Selidiki Persyaratan Kekuatan

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{1,18Mp} < 1,0$$

$$\frac{637,5}{3290} + \frac{1204,5711}{1,18.2260} < 1,0$$

$$0,1938 + 0,4517 < 1,0$$

$$0,6455 < 1,0 \dots\dots\dots \text{OK !}$$

#### B. Selidiki Persyaratan Stabilitas

$$\frac{P}{P_c} + \frac{C_m M}{\left(1 - \frac{P}{P_e}\right) M} < 1,0$$

karena pengeang momen di dasar portal  $G_B = 1,0$   $G_A = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_g}{L_g}} = \frac{2 \cdot \frac{I}{10}}{1 \cdot \frac{I}{40}} = 8$

Dari  $G_A = 8$  dan  $G_B = 1,0$  maka dengan tabel nomogram didapat  $k = 1,8$

$$\frac{k \cdot I_x}{r_x} = \frac{1,8 \cdot (10) \cdot (12)}{8,72} = 24,77$$

$$\frac{k \cdot I_y}{r_y} = \frac{1,8 \cdot (10) \cdot (12)}{2,95} = 73,22 \dots\dots\dots (\text{menentukan})$$

karena dari tabel AISC didapat harga:

$$F_a = 16,0958 \text{ Ksi}$$

$$F'_e = 27,855 \text{ Ksi}$$

$$\text{Maka : } P_e = 1,92 \cdot A_g \cdot F_a = 1,92 \cdot 91,5 \cdot 16,0958 = 2827,71 \text{ Kip}$$

$$P_{cr} = 1,7 \cdot A_g \cdot F'_e = 1,7 \cdot 91,5 \cdot 27,855 = 4332,845 \text{ Kip}$$

Karena tanpa penopang ( dukungan ) maka :

$$\begin{aligned} M_m &= \left[ 1,07 - \frac{\sqrt{F_y \cdot k / r_y}}{3160} \right] M_p \\ &= \left[ 1,07 - \frac{\sqrt{36 \cdot 73,22}}{3160} \right] \cdot 2260 \\ &= 2140,003 \text{ Kip-ft} \end{aligned}$$

$C_m = 0,85$  ( portal bergoyang )

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m M}{\left[ 1 - \frac{P}{P_e} \right] M_m} < 1,0$$

$$\frac{637,5}{4332,845} + \frac{0,85 \cdot 1204,571}{\left[ 1 - \frac{637,5}{2823,71} \right] 2140,003} < 1,0$$

$$0,7651 < 1,0 \dots \dots \dots \text{OK !}$$

#### 4.3.4. Kontrol Terhadap Gaya Geser

Besarnya gaya geser yang terjadi pada struktur yaitu 178,4881 Kip. Persyaratan besarnya gaya geser pada sebuah struktur pada desain plastis tidak boleh melebihi  $V_u$ , yaitu :

$$V_u = 0,55 \cdot F_y \cdot d_w \cdot t_w$$

$$= 0,55 \cdot 36 \cdot 22,32 \cdot 1,52$$

$$= 671,7427 \text{ Kip} > 178,4881 \text{ Kip} \dots \dots \dots \text{OK !}$$

#### 4.3.5. Beban Plastis ( Beban Runtuh )

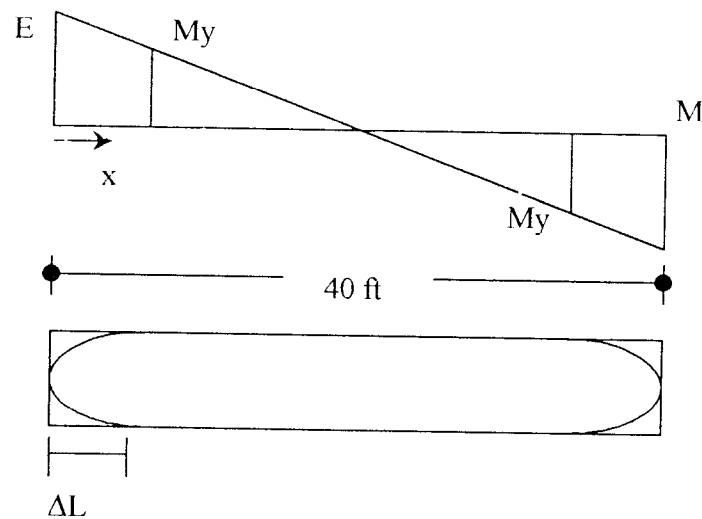
Beban batas plastis ditentukan dengan persamaan

$$P_u = \frac{8Mp}{L}$$

$$= \frac{8.1204,571}{40} = 240,9142 \text{ Kip}$$

Jadi struktur akan runtuh bila beban vertikal di tambah terus menerus sampai 240,9142 Kip.

#### 4.4 Panjang Sendi plastis



Gambar 4.28 Panjang Sendi Plastis

Dari persamaan 2.38 diketahui :

$$\Delta L = L ( 1 - 1/f )$$

dengan  $f = Z/S = 753/624 = 1,2061$

$$\Delta L = 40 . ( 1 - 1/1,2061 )$$

$$= 6,8325 \text{ ft} = 81,99 \text{ in}$$

## 4.5 Reduksi Momen Plastis

### A. Reduksi Akibat Gaya Aksial

Besarnya momen plastis akibat gaya aksial adalah :

- Untuk  $0 < P < 0,15P_y$

$$M_{pc} = M_p$$

- Untuk  $0,15P_y < P < P_y$

$$M_{pc} = 1,18 ( 1 - P/P_y ) M_p$$

Besarnya gaya aksial pada struktur = 637,5 Kip dan untuk profil WF = 2260 Kip sehingga  $0,15P_y = 339$  Kip. Karena besarnya  $P > 0,15P_y$  maka besarnya momen plastis yang tereduksi akibat gaya aksial adalah seperti dirumuskan pada persamaan 2.48. Sehingga reduksi momen plastis akibat gaya aksial yang bekerja pada struktur adalah :

$$\begin{aligned} M_{pc} &= 1,18 \cdot \left( 1 - \frac{P}{P_y} \right) M_p \\ &= 1,18 \cdot \left( 1 - \frac{637,5}{3290} \right) 2260 = 2150,057 \text{ Kip} - ft \end{aligned}$$

$$\% \text{reduksi} = \frac{M_p - M_{pc}}{M_p} \times 100\%$$

$$\% \text{reduksi} = \frac{2260 - 2150,057}{2260} \times 100\%$$

$$\% \text{reduksi} = 4,84\%$$

## B. Reduksi Akibat Gaya Geser

Besarnya momen plastis yang tereduksi akibat gaya geser (  $M_{ps}$  ) seperti dirumuskan pada persamaan 2.62.

$$M_{ps} = \sigma_y \cdot b \cdot t_f \cdot d_f + \frac{1}{4} \cdot \sigma \cdot t_w \cdot d_w^2$$

Menurut kriteria Von Mises :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_y^2 - 3\tau^2}$$

$$\tau = \frac{V}{d_w \cdot t_w}$$

$$d_w = d - 2t_f = 22,32 - 2 \cdot 2,74 = 16,84 \text{ in}$$

$$t_w = 1,52 \text{ in}$$

$$\tau = \frac{178,881}{16,84 \cdot 1,520} = 6,973 \text{ Ksi}$$

$$\sigma = \sqrt{36^2 - 3 \cdot (6,973)^2} = 33,9136 \text{ Ksi}$$

$$d_f = d - t_f = 22,32 - 2,74 = 19,58 \text{ in}$$

Sehingga besarnya momen plastis yang tereduksi akibat gaya geser adalah :

$$M_{ps} = \sigma_y \cdot b \cdot t_f \cdot d_f + \frac{1}{4} \cdot \sigma \cdot t_w \cdot d_w^2$$

$$M_{ps} = 36 \cdot 12,005 \cdot 2,74 \cdot 19,58 + \frac{1}{4} \cdot 33,9136 \cdot 1,52 \cdot (16,84)^2$$

$$= 26840,7216 \text{ Kip-ft} = 2236,7268 \text{ Kip-in}$$

$$\% \text{ reduksi} = \frac{M_p - M_{ps}}{M_p} \times 100\%$$

$$\% \text{ reduksi} = \frac{2260 - 2236,7268}{2260} \times 100\% = 1,0298\%$$

## 4.6 Grafik Hubungan Momen Gaya Aksial dan Gaya Geser

### 4.6.1 Hubungan Momen – Gaya Aksial

Pada sub bab ini ditinjau hubungan antara momen dengan gaya aksial untuk profil WF18x311. Hubungan ini didapat dari persamaan 2.44 dan 2.45.

- Untuk sumbu netral terletak di web

$$\left[0 < P/P_y < 1/(1 + 2b.tf / tw.dw)\right]$$

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 1 - \left(\frac{P}{P_y}\right)^2 (0,5117)$$

- Untuk sumbu netral terletak di flange

$$\left[1/(1 + 2b.tf / tw.dw) < P/P_y < 1,0\right]$$

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 0,0608 \left(1 - \frac{P}{P_y}\right)$$

dari persamaan 2.48 hubungan momen – gaya aksial dapat dilihat pada tabel 4.1a dan kurva hubungan antara gaya aksial – momen dapat dilihat pada gambar 4.29.

Persamaan 2.48

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = 1,18 \left(1 - \frac{P}{P_y}\right)$$

Tabel 4.1a. Hubungan Momen - Gaya Aksial Profil WF18x311

P/Py	Mpc/Mp	Mpc/Mp
	Persamaan 2.44 dan 2.45	Persamaan 2.48
0	1	1
0.05	0.99872075	1
0.1	0.994883	1
0.15	0.98848675	1
0.2	0.979532	0.944
0.25	0.96801875	0.885
0.2801	0.95985406	0.849482
0.3	0.9499392	0.826
0.35	0.874867413	0.767
0.4	0.80090624	0.708
0.45	0.72805568	0.649
0.5	0.656685938	0.59
0.55	0.586019584	0.531
0.6	0.516463844	0.472
0.65	0.448018716	0.413
0.7	0.380684203	0.354
0.75	0.314460302	0.295
0.8	0.249495097	0.236
0.85	0.185455403	0.177
0.9	0.122526322	0.118
0.95	0.060668189	0.059
1	0	0

#### 4.6.2 Hubungan Momen – Gaya Geser

Pada bagian ini ditinjau hubungan momen dan gaya geser untuk profil WF18x311. Hubungan ini didapat dari persamaan 2.64. Persamaan momen dengan gaya geser dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{M_{ps}}{M_p} = \frac{1 + 0,1673 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_p}\right)^2}}{1,1673}$$

Hubungan gaya geser dengan momen dapat dilihat pada tabel 4.1b dan kurva hubungan antara gaya geser dapat dilihat pada gambar 4.30.

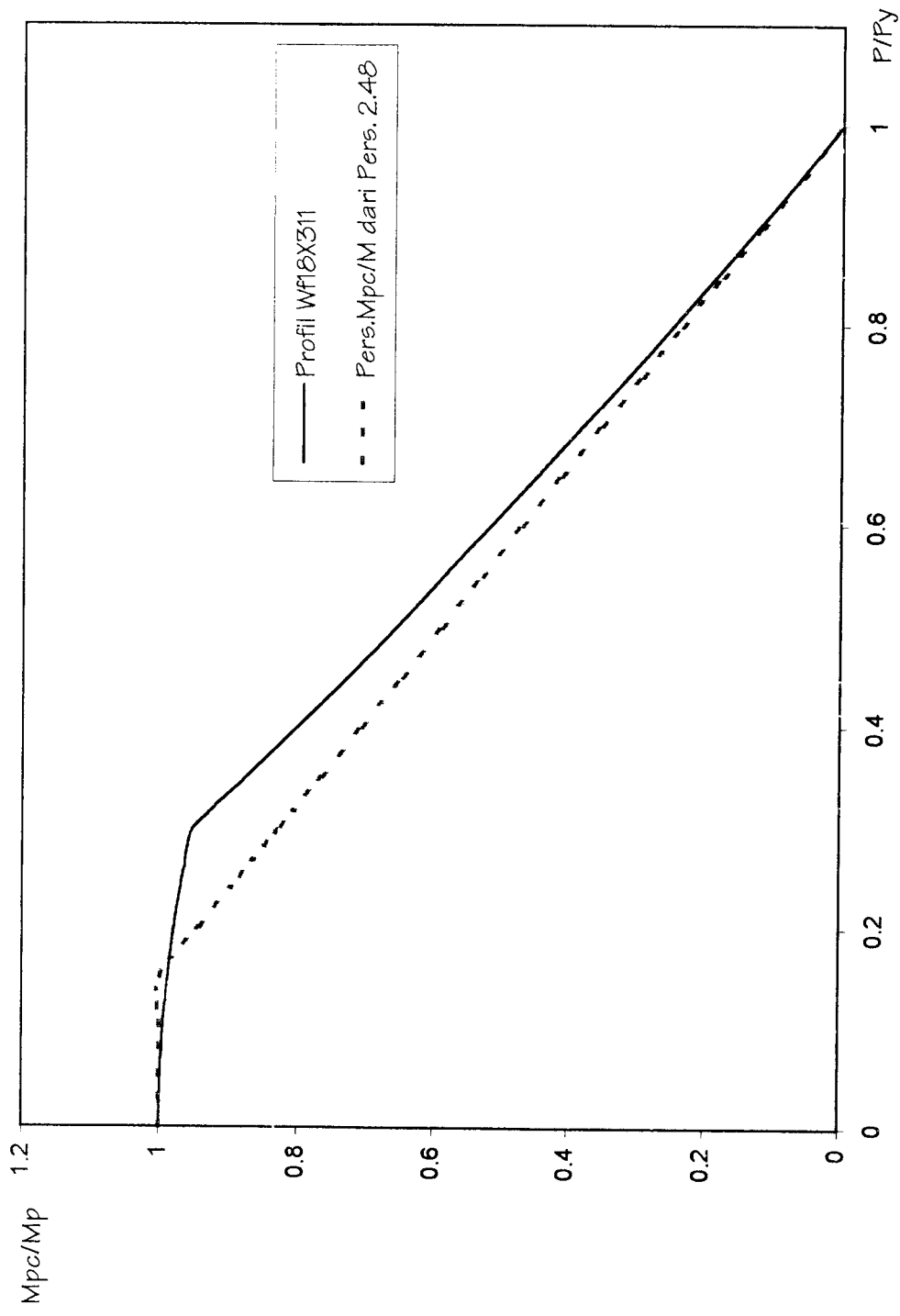
Tabel 4.1b. Hubungan Momen - Gaya Geser  
Profil WF18x311

V/V <sub>p</sub>	M <sub>ps</sub> /M <sub>p</sub>
0	1
0.025	0.996416945
0.05	0.99283389
0.075	0.989250835
0.1	0.98566778
0.125	0.982081725
0.15	0.978501671
0.175	0.974918616
0.2	0.971335561
0.225	0.967752506
0.25	0.964169451
0.275	0.960586396
0.3	0.957003341
0.325	0.953420286
0.35	0.949837231
0.375	0.946254176
0.4	0.942671121
0.425	0.939088066
0.45	0.935505012

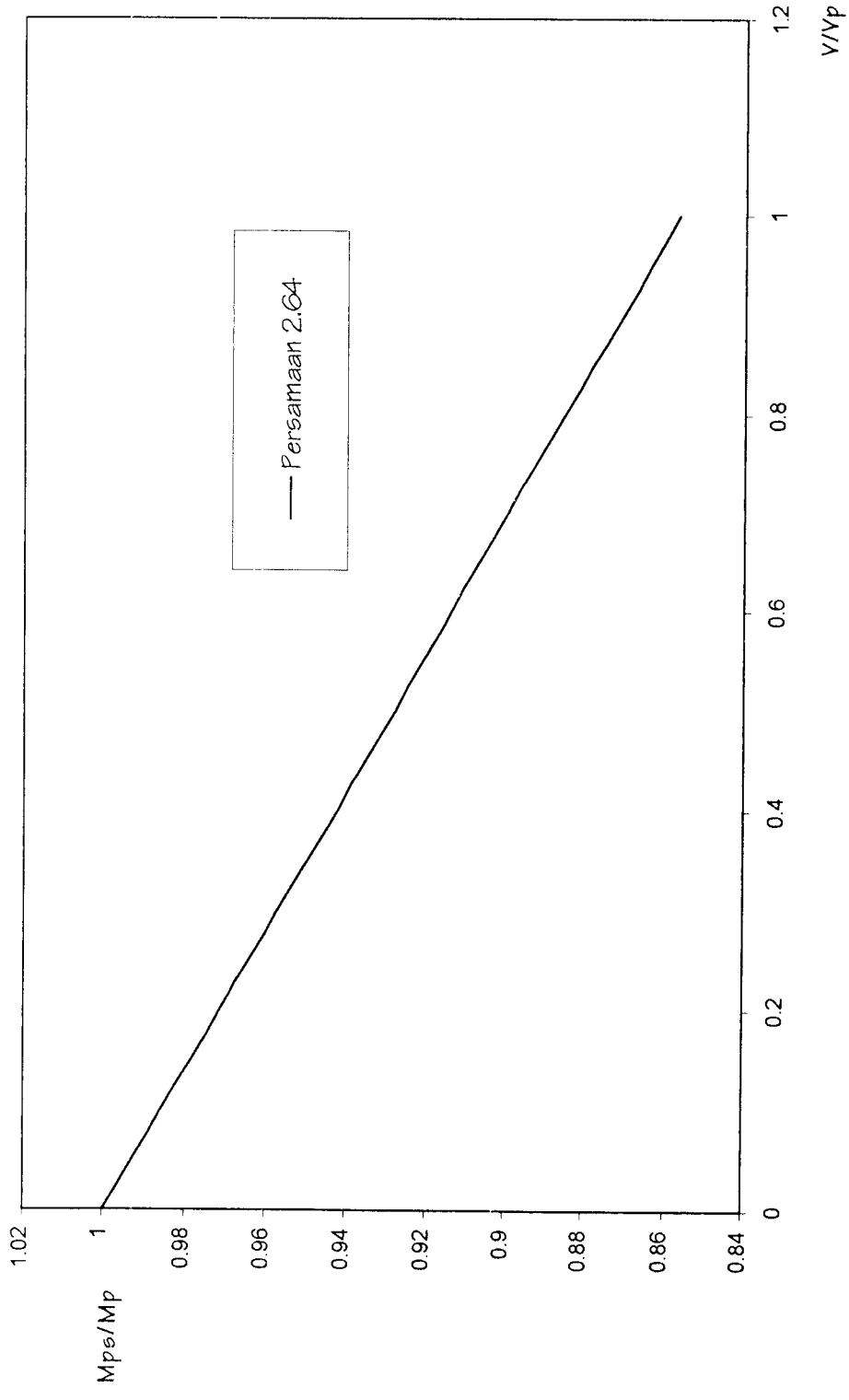


Tabel 4.1b. Hubungan Momen - Gaya Geser  
Profil WF18x311  
( lanjutan )

V/Vp	Mps/Mp
0.475	0.931921957
0.5	0.928338902
0.525	0.924755847
0.55	0.921172792
0.575	0.917589737
0.6	0.914006682
0.625	0.910423627
0.65	0.906840572
0.675	0.903257517
0.7	0.899674462
0.725	0.896091408
0.75	0.892508353
0.775	0.888925298
0.8	0.885342243
0.825	0.881759188
0.85	0.878176133
0.875	0.874593078
0.9	0.871010023
0.925	0.867426968
0.95	0.863843913
0.975	0.860260858
1	0.856677803



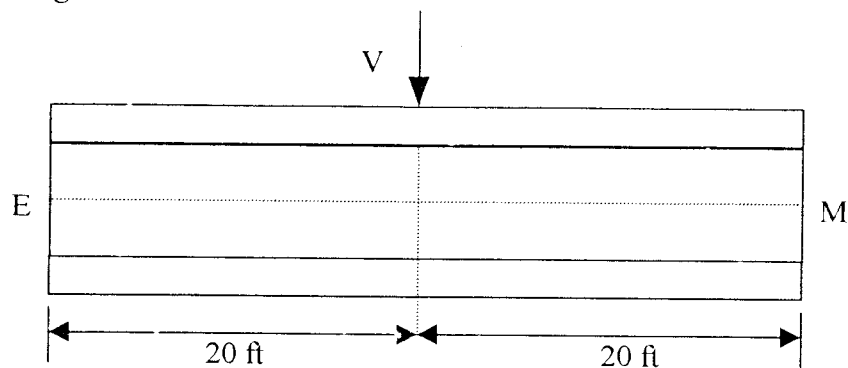
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Momen - Gaya Aksial



Gambar 4.30 Grafik Hubungan Momen - Gaya Geser

#### 4.7 Perkembangan Zone Plastis

Setelah didapat dimensi profil yang sesuai, kita akan meninjau suatu titik yang menjadi sendi plastis untuk dilihat perkembangan zone plastisnya. Untuk analisis diambil sendi plastis yang terjadi pada tengah balok EM seperti yang terlihat pada gambar 2.11. Perletakkan balok EM dianggap jepit-jepit. Keadaan ini diasumsikan seperti pada gambar 4.31.



Gambar 4.31 Struktur Penampang Memanjang Profil WF

Untuk mengetahui garis batas elastoplastisnya yang merupakan fungsi dari  $C$  dan  $x$  dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

- Bagian Sayap

$$x = \frac{L}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( 1 + \frac{bf \cdot h^2}{3 \cdot S} \left( 1 - \left( \frac{c}{h} \right)^2 \right) \right) \right] \dots \dots \dots (4.1)$$

dimana  $L = 20 \text{ ft} = 20 \cdot 12 = 240 \text{ in}$

$$\rho = P/P_y = 1,0 ; 1,05 ; 1,1 ; f, 1,2$$

$$bf = 12,005 \text{ in}$$

$$h = d/2 = 22,32/2 = 11,16 \text{ in}$$

$$S = 624 \text{ in}^3$$

$x$  = jarak horisontal dari titik tengah bentang profil

$C$  = jarak batas elastoplastis

Sehingga dengan memasukkan angka-angka tersebut persamaannya menjadi :

$$x = \frac{240}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( 1 + \frac{12,005 \cdot 11,16^2}{3.624} \left( 1 - \left( \frac{c}{11,16} \right)^2 \right) \right) \right]$$

$$x = 120 \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( 1 + 0,7987 \left( 1 - \left( \frac{c}{11,16} \right)^2 \right) \right) \right]$$

Sebagai contoh untuk harga  $C = 12 \text{ in}$  dan  $\rho = 1,1$  maka harga  $x$  dapat ditentukan sebagai berikut :

$$x = 120 \left[ 1 - \frac{1}{1,1} \left( 1 + 0,7987 \left( 1 - \left( \frac{12}{11,16} \right)^2 \right) \right) \right] = 24,5192 \text{ in}$$

Untuk selanjutnya dengan variasi nilai  $C$  dan  $\rho$  akan dihasilkan nilai  $x$  yang bervariasi pula seperti yang terlihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Batas Elastoplastis Pada Sayap ( Flange )  
Profil WF 18 X 311

C	X				
	1	1.05	1.1	1.15	1.2
8.42	-41.285713	-33.608513	-26.624842	-20.2540562	-14.399385
8.7625	-36.75691	-29.295281	-22.507707	-16.3158088	-10.625533
9.105	-32.04756	-24.810097	-18.226437	-12.2205586	-6.7012321
9.4475	-27.157665	-20.15296	-13.781033	-7.96830565	-2.6264824
9.79	-22.087224	-15.323872	-9.1714953	-3.55904999	1.5987162
10.1325	-16.836237	-10.322832	-4.397823	1.0072084	5.9743638
10.475	-11.404704	-5.1498399	0.5399837	5.73046953	10.50046
10.8175	-5.7926249	0.1951041	5.6419247	10.6107334	15.177006
11.16	0	5.712	10.908	15.648	20.004

• Bagian Badan

Untuk bagian badan persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$x = \frac{L}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( \frac{Z}{S} - \frac{tw.c^2}{3.S} \right) \right] \dots\dots\dots (4.2)$$

$$x = \frac{240}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \left( \frac{418}{371} - \frac{0,518.c^2}{3.371} \right) \right]$$

Sebagai contoh untuk harga c = 12 in dan ρ = 1,1 maka nilai x dapat dihitung sebagai berikut :

$$x = \frac{240}{2} \left[ 1 - \frac{1}{1,1} \left( \frac{418}{371} - \frac{0,518.12^2}{3.371} \right) \right] = 4,4001in$$

Hasil perhitungan selanjutnya dapat kita tabelkan seperti dalam tabel 4.3

Tabel 4.3 Batas Elastoplastis Pada Badan ( Web ) Profil WF 18 X 311

C	X				
	1	1.05	1.1	1.15	1.2
0	-14.4816	-8.0668277	-2.2559898	0	7.932
1	-14.38416	-7.973807	-2.1671898	1.14444661	8.0134
2	-14.09184	-7.694745	-1.9007898	2.39926393	8.2576
3	-13.60464	-7.2296417	-1.4567899	3.82395948	8.6646
4	-12.92256	-6.5784971	-0.8351899	4.41853324	9.2344
5	-12.0456	-5.7413111	-0.03599	5.18298523	9.967
6	-10.97376	-4.7180838	0.9408099	6.11731543	10.8624
7	-9.70704	-3.5088151	2.0952098	7.22152385	11.9206
8	-8.24544	-2.1135052	3.4272097	8.49561048	13.1416
8.42	-7.5734548	-1.4719975	4.03961	9.08138456	13.702967

Untuk melengkapi kejelasannya, maka hasil dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat dibuat dalam bentuk kurva hubungan fungsi zone elastoplastis ( C ) dengan jarak horisontal ( x ).

Kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 4.31

#### 4.8 Hubungan Momen Kelengkungan Profil

Analisis selanjutnya akan ditinjau hubungan antara momen dengan kelengkungan profil WF yang digunakan. Hubungan ini dapat dilihat pada persamaan ( 2.20 ) dan persamaan ( 2.21 ). Persamaan kelengkungan untuk sayap profil adalah sebagai berikut :

$$\frac{M}{M_y} = \frac{K_y}{K} \left[ 1 - \frac{2bf \cdot h^2}{3 \cdot S} \right] + \frac{bf \cdot h^2}{S} \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{K}{K_y} \right)^2 \right] \dots\dots\dots ( 4.3 )$$

$$\text{Untuk } \left( 1 < \frac{K}{K_y} < \frac{d/2}{(d/2 - tf)} \right)$$

Sedangkan persamaan kelengkungan untuk bagian badan profil adalah sebagai berikut :

$$\frac{M}{M_y} = \frac{Z}{S} - \frac{tw \cdot h^2}{3 \cdot S} \left( \frac{K}{K_y} \right)^2 \dots\dots\dots ( 4.4 )$$

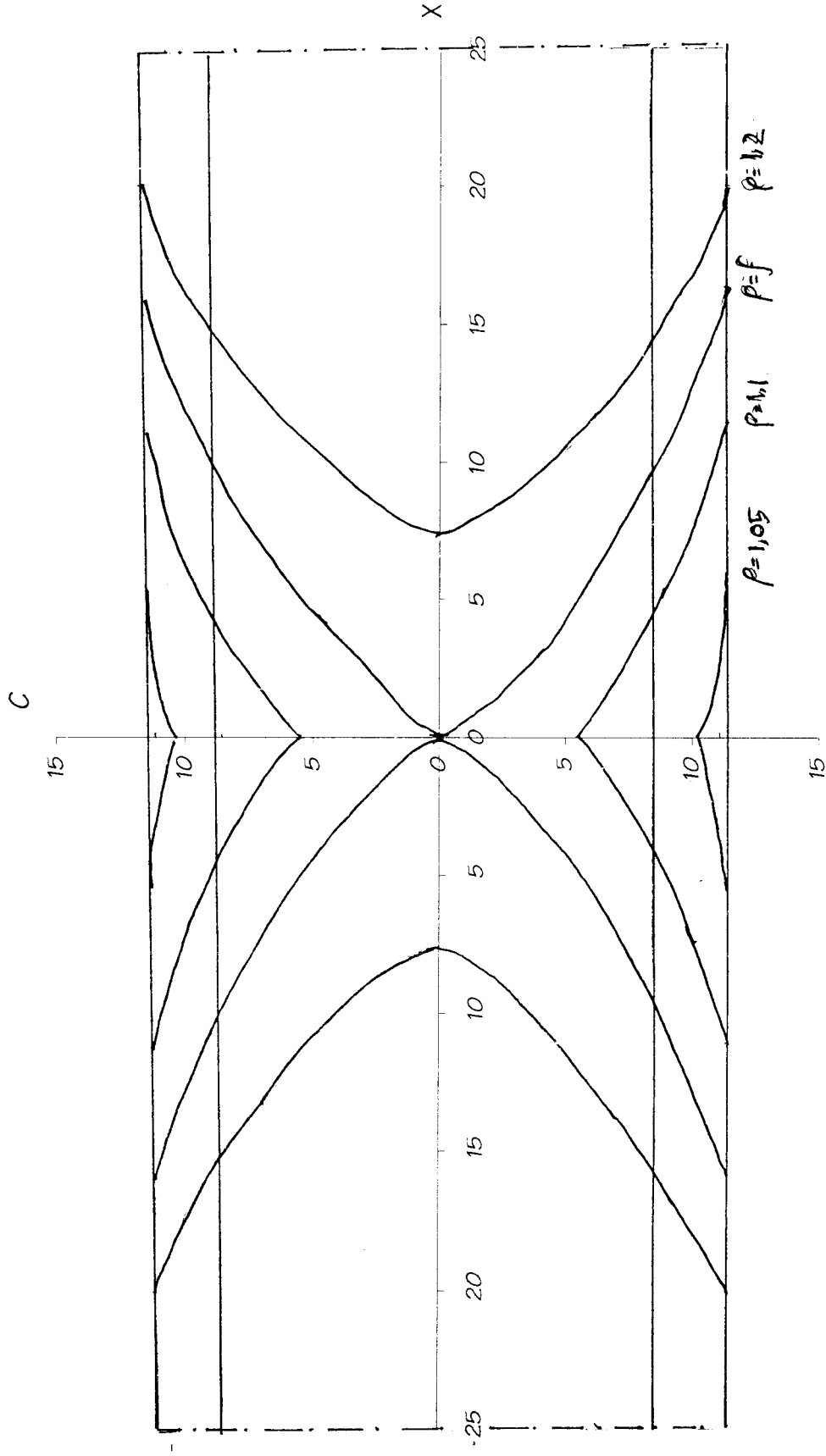
$$\text{Batasan } \left( \frac{d/2}{(d/2 - tf)} < \frac{K}{K_y} < \infty \right)$$

Dengan memasukkan nilai  $K/K_y$  pada kedua persamaan diatas didapatkan hubungan momen kelengkungan untuk profil WF18x311. Hubungan ini dapat dilihat pada tabel 4.4 dan selanjutnya dibuat kurva seperti pada gambar 4.33

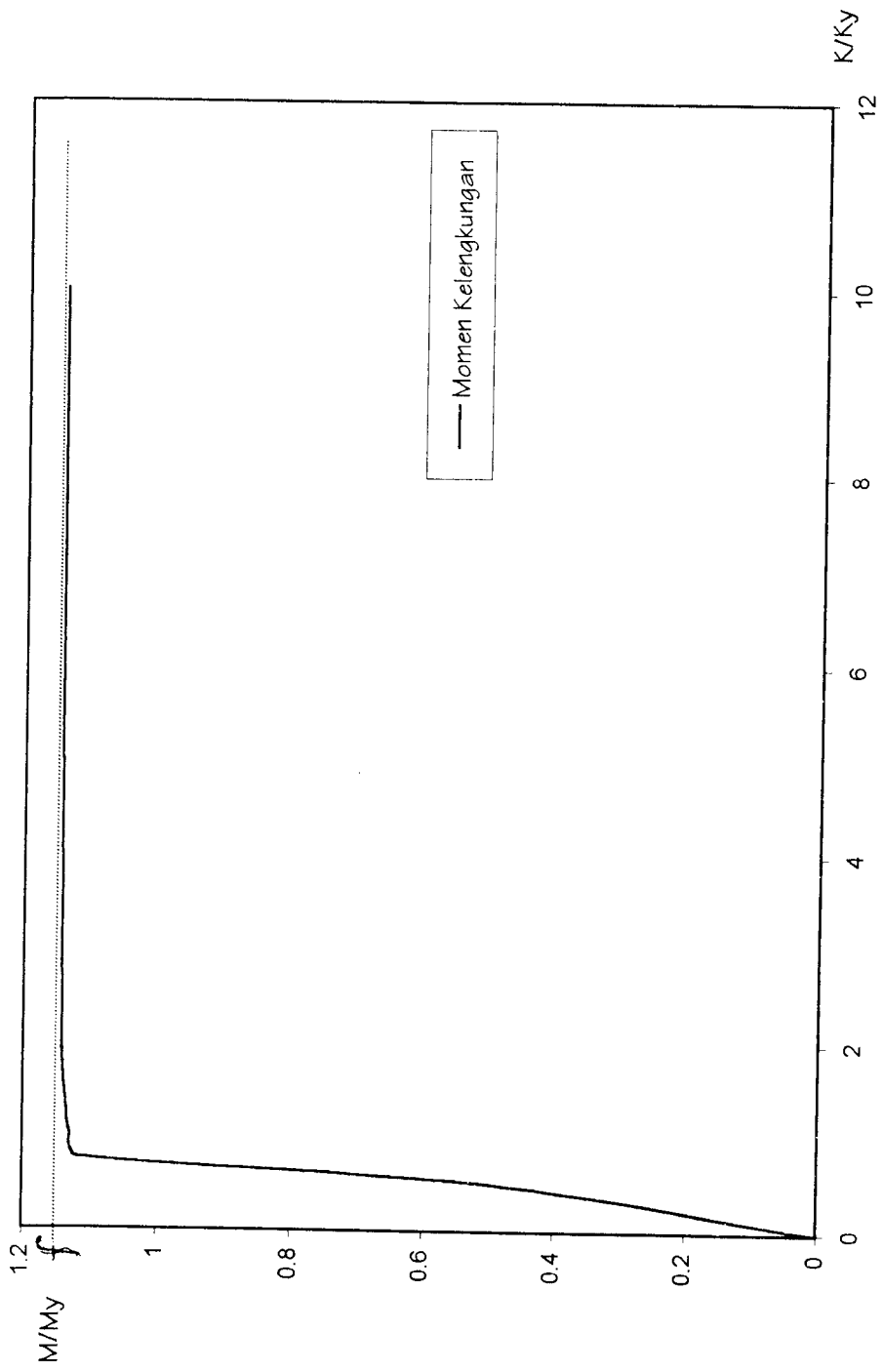
Tabel 4.4 Hubungan Momen Kelengkungan Profil WF 18 X 311

<b>K/Ky</b>	<b>M/My</b>
0	0
0.5	0.5006
0.75	1.1160756
1	1.12873
1.01	1.1290506
1.02	1.1293618
1.03	1.129664
1.04	1.1299575
1.05	1.1302426
1.065	1.1306554
1.07	1.1307892
1.08	1.1310511
1.09	1.1313059
1.1	1.1315537
1.5	1.1377689
2	1.1409325
3	1.1431922
4	1.1439831
5	1.1443492
6	1.1445481
7	1.144668
8	1.1447458
9	1.1447991
10	1.1448373





Gambar 4.32 Grafik Perkembangan Zone Plastis



Gambar 4.33 Grafik Momen Kelengkungan Profil WF18X311

#### 4.9 Pembahasan

Diantara mekanisme elementer dan mekanisme kombinasi yang mungkin terjadi pada struktur portal bertingkat, mekanisme balok – panel merupakan mekanisme yang paling banyak terjadi. Hal ini disebabkan pada struktur tersebut lebih banyak balok horisontalnya yang mana balok tersebut difungsikan untuk menerima beban vertikal. Kenyataan di lapangan juga menunjukkan biasanya beban vertikal lebih besar daripada beban horisontal. Pembebanan vertikal ini untuk struktur portal biasanya berasal dari beban lantai, dinding, balok anak bahkan beban kuda-kuda. Sedangkan beban horisontal biasanya merupakan beban angin atau beban gempa.

Dari perhitungan analisis reduksi momen plastis profil WF18x311 lb/ft yang menerima beban aksial, gaya geser dan kombinasi beban aksial dan gaya geser didapat reduksi momen plastis akibat gaya aksial adalah 4,84 %. Dan besarnya reduksi momen plastis akibat gaya geser adalah 1,0298 %. Sehingga besarnya reduksi akibat gaya aksial dan gaya geser masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu besarnya reduksi tidak boleh melebihi 5 %, sehingga profil WF18x311 lb/ft dianggap masih mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur.

Hubungan besarnya gaya aksial dan momen plastis yang tereduksi pada profil WF18x311 lb/ft dapat dilihat pada tabel 4.1a disini dapat diketahui bahwa untuk harga gaya aksial (  $P$  ) cukup kecil sumbu netral profil masih terletak diantara kedua sayap ( flange ) atau pada plat badan ( web ) dengan peningkatan harga gaya aksial maka akan mengakibatkan sumbu netral profil berpindah kearah sayap ( flange ). Selama harga  $P/P_y$  berada pada selang 0 sampai  $1 / ( 1 + ( 2 \cdot b_f \cdot t_w / d_w \cdot t_w ) )$  hubungan

Hub antara gaya aksial dan momen plastis yang tereduksi digunakan persamaan 2.44  
 sini dapat untuk peningkatan harga gaya aksial selanjutnya yaitu saat harga  $P/P_y$  antara  $(1 +$   
 dalam ke  $(2.bf.tw/dw.tw )$  ) hingga 1,0 digunakan persamaan 2.45.

Hubungan momen dan gaya geser pada profil WF18x311 lb/ft dapat dilihat pada  
 daerah sa tabel 4.1b disini dapat diketahui bahwa untuk gaya geser yang masih kecil besarnya  
 Selama k reduksi momen plastis masih kecil, dengan peningkatan gaya geser diikuti dengan  
 (4.3). Ur peningkatan reduksi  $M_p$  sehingga sampai kondisi dimana gaya geser sama dengan  
 D/2/(D/2 gaya geser maksimum penampang maka besarnya momen plastis yang tereduksi =  
 maksimum 0,8568  $M_p$ .  
 faktor be

dengan M Tabel 4.2 dan tabel 4.3 dapat dilihat hubungan antara jarak horisontal (  $x$  ) dengan  
 fungsi elastis (  $C$  ) dari sumbu netral pada profil yang digunakan. Untuk  $\rho =1$  zone  
 plastis terletak pada serat paling luar di titik dimana momen maksimum terjadi.  
 Dengan perubahan harga  $\rho$  maka zona platis pada penampang profil perlahan-lahan  
 berkembang kearah pusat profil. Apabila harga  $\rho$  telah sama dengan harga faktor  
 bentuk (  $f$  ), maka zona plastis pada bagian tarik dan tekan bertemu di pusat profil  
 (sumbu netral). Keadaan ini berarti telah terbentuk sendi plastis. Dengan penambahan  
 beban lagi maka zona plastis terus menyebar keserat-serat sekitarnya sampai akhirnya  
 struktur runtuh ( *collapse* ). Kurva garis penetrasi atau batas elastis pada bagian sayap  
 dan badan tidak merupakan suatu fungsi yang sama, hal ini disebabkan oleh  
 perbedaan lebar profil sayap (  $bf$  ) dan tebal badan (  $tw$  ).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Melalui analisis dan uraian-uraian pada bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan metode mekanisme kombinasi dapat diketahui pola mekanisme keruntuhan struktur akibat beban yang bekerja. Mekanisme kombinasi didapat dengan cara mengkombinasikan beberapa mekanisme tunggal (elementer).
2. Letak sendi-sendi plastis pada struktur dapat diperkirakan, dimana letak sendi plastis yang sebenarnya terjadi pada saat runtuh adalah sendi plastis yang terjadi pada mekanisme yang menghasilkan momen plastis terbesar.
3. Mekanisme keruntuhan struktur yang paling mewakili adalah mekanisme kombinasi dari semua mekanisme elementer yang menghasilkan momen plastis yang terbesar.
4. Penentuan momen plastis terbesar dalam skripsi ini yaitu dengan mekanisme kombinasi itu sendiri. Dari beberapa mekanisme yang mungkin masing-masing didapatkan harga momen plastis, kemudian dipilih momen plastis yang terbesar yang merupakan momen plastis yang sebenarnya. Dari momen plastis terbesar

tersebut kemudian dipilih dimensi profil yang sesuai, yang dapat dilihat pada tabel.

5. Pengaruh gaya geser yang bekerja pada struktur akan mengurangi kapasitas momen plastis pada profil yang menerima beban tersebut. Dan besarnya reduksi momen plastis akibat gaya aksial pada profil WF18x311 lb/ft adalah 4,84 % dan akibat gaya geser sebesar 1,0298 %.
6. Keadaan plastis penuh terjadi pada saat perbandingan momen yang terjadi dengan momen leleh adalah sama dengan faktor bentuk profil ( $f$ ).
7. Pada kurva perkembangan zone plastis ketika  $\rho = 1$  zone plastis terletak pada serat paling luar di titik dimana momen maksimum terjadi. Dengan perubahan harga  $\rho$  maka zone plastis pada penampang profil perlahan-lahan berkembang kearah pusat profil. Apabila harga  $\rho$  telah sama dengan harga faktor bentuk ( $f$ ), maka zone plastis pada bagian tarik dan tekan bertemu dipusat profil ( sumbu netral ). Keadaan ini berarti telah terbentuk sendi plastis. Dengan penambahan beban lagi maka zone plastis terus menyebar ke serat-serat sekitarnya sampai akhirnya struktur runtuh ( *collapse* ).

## 5.2 Saran

Dari analisis dan kesimpulan di atas, maka untuk kesempurnaan analisis dan desain selanjutnya perlu kiranya saran-saran yang dapat membangun antara lain :

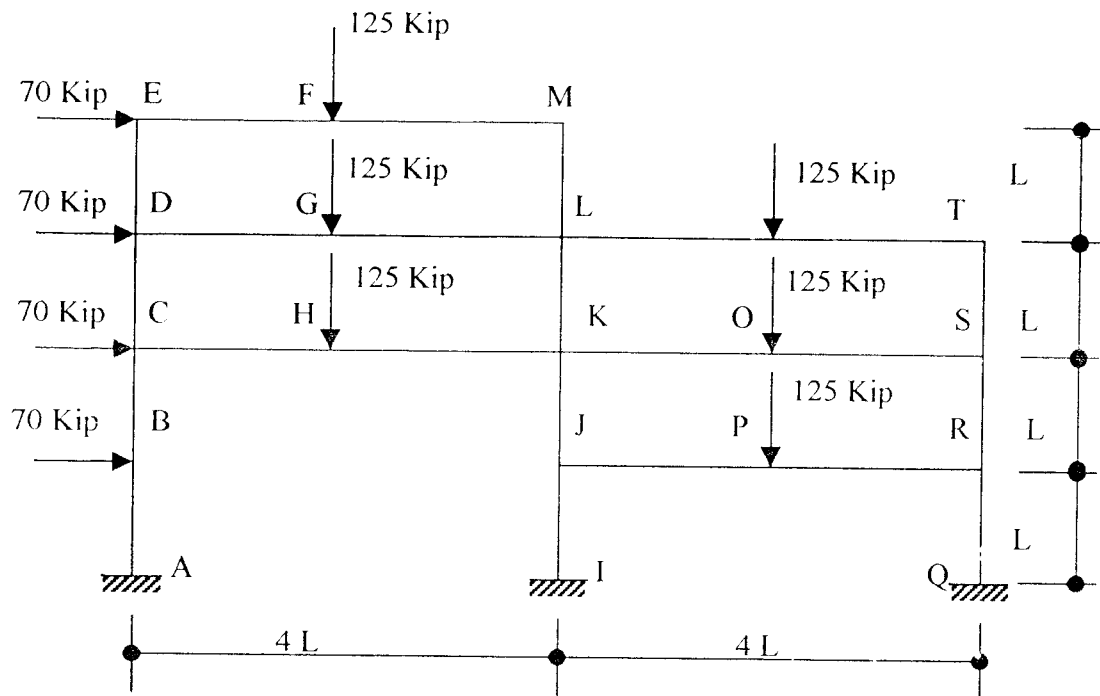
1. Dalam perencanaan struktur baja penggunaan metode plastis lebih menguntungkan dibandingkan dengan metode elastis. Dengan metode plastis dapat diketahui bahwa struktur masih dapat menerima beban sampai suatu keadaan tertentu ( plastis ) hingga akhirnya struktur runtuh. Oleh karena itu dalam analisis atau desain struktur baja lebih baik menggunakan Metode Plastis.
2. Dalam skripsi ini analisis dilakukan secara manual dengan penuntun dan arahan dari beberapa literatur yang ada. Untuk memperkecil kesalahan, kepada para pembaca disarankan menggunakan program komputer. Terutama sekali dalam penentuan mekanisme kombinasi dan memformulasikan perkembangan zone plastis yang menghasilkan bentuk kurva yang berbeda.
3. Mengembangkan analisis plastis pengaruh gaya aksial dan geser pada berbagai bentuk profil baja yang digunakan serta tipe struktur yang lain antara lain Gable Frame atau tipe yang lain.
4. Dalam desain yang akan datang sebaiknya dimensi antara balok dan kolom dibuat berbeda sehingga struktur akan menjadi lebih ekonomis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abraham J. Rokach, 1991, **THEORY AND PROBLEM OF STRUCTURAL STEEL DESIGN**, Mc- Graw Hill Inc. Singapore .
- American Institute Of Steel Design, 1980, **MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION**, 8<sup>th</sup> Edition, AISC Inc. Chicago.
- Charles G. Salmon, John E. Johnson, 1990, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU**, PT Erlangga, Jakarta.
- Disque, Robert O, 1971, **PLASTIC DESIGN IN STEEL STRUCTURES**, Litton Education Publishing Inc , London.
- Gere & Timoshenko, 1985, **MECHANICS OF MATERIALS**, PT. Erlangga, Jakarta
- Laurentius Wahyudi, Syahril A.Rahim, 1992 , **METODE PLASTIS ANALISIS DAN DESAIN**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Leonard Spiegel & George F. Limbrunner, 1986, **APPLIED STRUCTURAL STEEL DESIGN**, Prentice Hall , Inc. New York .
- Michael Bruneau, Chia Ming-Uang , Andrew Whittaker ,1998, **DUCTILE DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, Mc – Graw Hill Inc.
- V.N Vazirani & M.M Ratwani, 1979, **STEEL STRUCTURES** , Khanna Publisers, 8<sup>th</sup> Edition Revised, New Delhi.



# LAMPIRAN



Gambar Struktur Portal Baja Bertingkat

Gaya-gaya yang bekerja pada struktur :

$$\Sigma H = 70 \times 4 = 280 \text{ Kip}$$

$$\Sigma V = 125 \times 6 = 750 \text{ Kip}$$

$$\text{Gaya Geser } EM = ME = 70/2 = 35 \text{ Kip}$$

Gaya Aksial yang terjadi pada titik E dan M

$$R_E = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \cdot 125 = 62,5 \text{ Kip}$$

$$R_M = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \cdot 125 = 62,5 \text{ Kip}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan besarnya gaya aksial untuk

$$R_D = 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 125 \text{ Kip}$$

$$R_I = 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + \frac{1}{2} \cdot 125 = 187,5 \text{ Kip}$$

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot 125 = 62,5 \text{ Kip}$$

$$R_C = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 187,5 \text{ Kip}$$

$$R_K = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 312,5 \text{ Kip}$$

$$R_S = 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 125 \text{ kip}$$

$$R_J = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 375 \text{ Kip}$$

$$R_A = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 187,5 \text{ Kip}$$

$$R_I = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 375 \text{ Kip}$$

Besarnya Gaya Geser yang terjadi :

$$\text{Gaya Geser } EM = ME = 70/2 = 35 \text{ Kip}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan besarnya gaya geser untuk

$$H_D = H_L = 35 + \left( \frac{70}{3} \right) = 58,333 \text{ Kip}$$

$$H_T = \left( \frac{70}{3} \right) = 23.333 \text{ Kip}$$

$$H_C = H_K = 58,333 + \left( \frac{70}{3} \right) = 81,666 \text{ Kip}$$

$$H_S = 23.333 + \left( \frac{70}{3} \right) = 46,666 \text{ Kip}$$

$$H_J = 81,666 + \left( \frac{70}{3} \right) = 104,993 \text{ Kip}$$

$$H_A = H_I = 81,666 + \left( \frac{70}{3} \right) = 104,993 \text{ Kip}$$

$$H_L = H_J = 104,993 \text{ Kip}$$

$$H_R = 46,666 + \left( \frac{70}{3} \right) = 69,9996 \text{ Kip}$$

$$H_Q = H_R = 69,9996 \text{ Kip}$$

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot 125 = 62,5 \text{ Kip}$$

$$R_C = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 187,5 \text{ Kip}$$

$$R_K = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 312,5 \text{ Kip}$$

$$R_S = 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 125 \text{ kip}$$

$$R_J = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 375 \text{ Kip}$$

$$R_A = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 187,5 \text{ Kip}$$

$$R_I = 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) + 3 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 \right) = 375 \text{ Kip}$$

Besarnya Gaya Geser yang terjadi :

$$\text{Gaya Geser } EM = ME = 70/2 = 35 \text{ Kip}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan besarnya gaya geser untuk

$$H_D = H_L = 35 + \left( \frac{70}{3} \right) = 58,333 \text{ Kip}$$

$$H_T = \left( \frac{70}{3} \right) = 23,333 \text{ Kip}$$

$$H_C = H_K = 58,333 + \left( \frac{70}{3} \right) = 81,666 \text{ Kip}$$

$$H_S = 23,333 + \left( \frac{70}{3} \right) = 46,666 \text{ Kip}$$

$$H_J = 81,666 + \left( \frac{70}{3} \right) = 104,993 \text{ Kip}$$

$$H_A = H_J = 81,666 + \left( \frac{70}{3} \right) = 104,993 \text{ Kip}$$

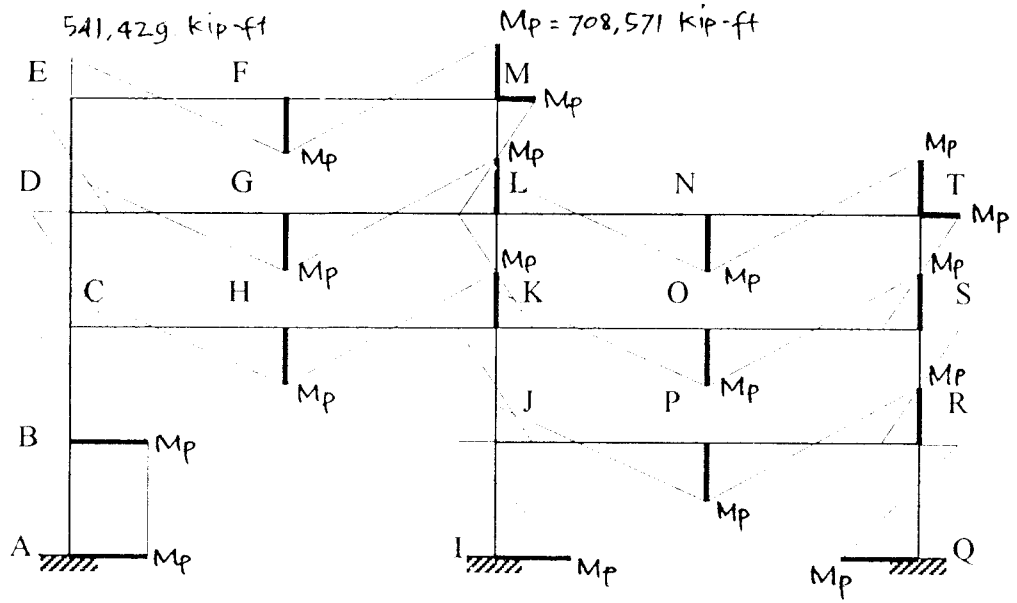
$$H_I = H_J = 104,993 \text{ Kip}$$

$$H_R = 46,666 + \left( \frac{70}{3} \right) = 69,9996 \text{ Kip}$$

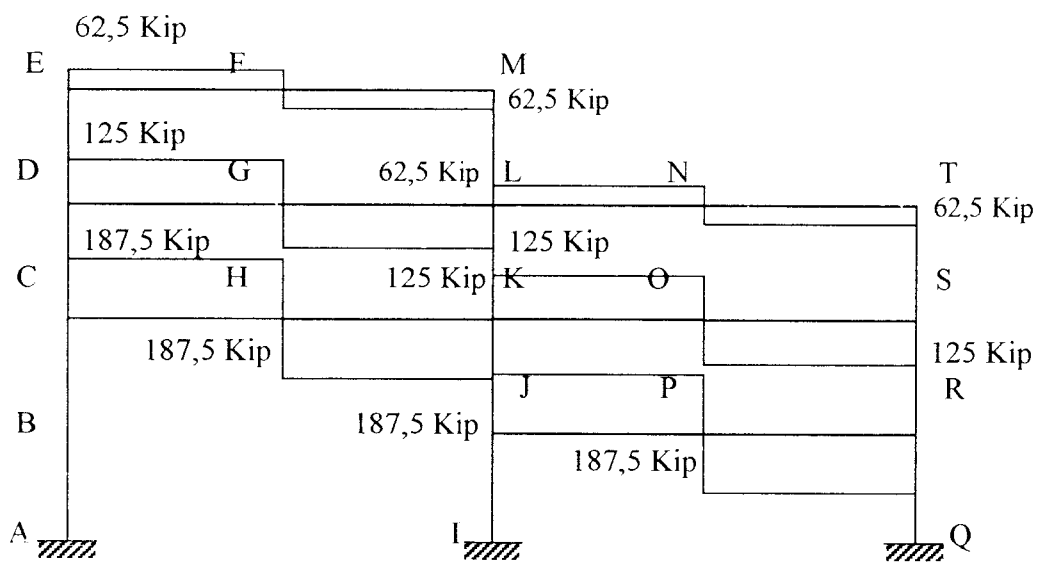
$$H_Q = H_R = 69,9996 \text{ Kip}$$

Momen lentur di titik E

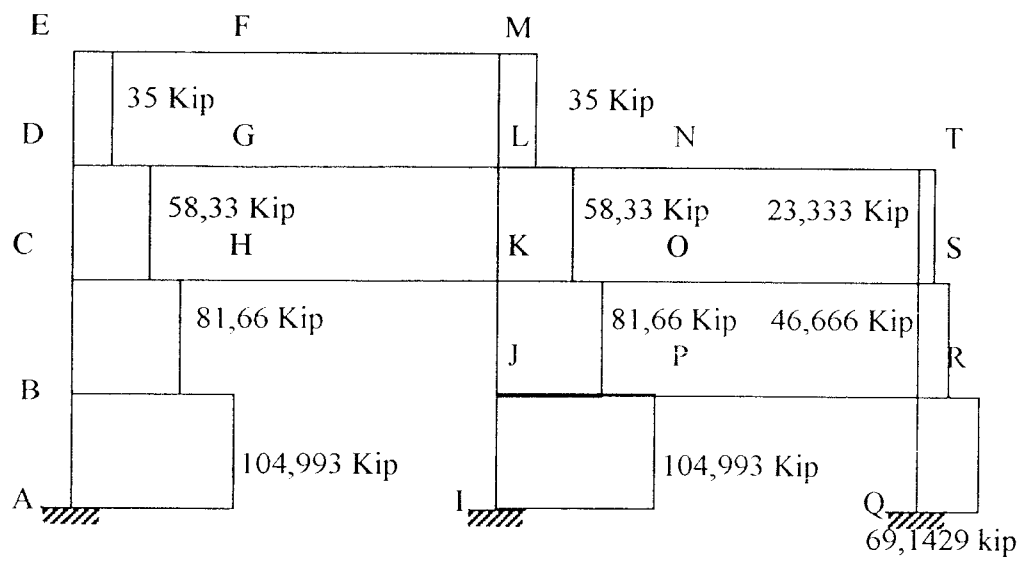
$$\left( \left( 125 - \frac{708,571}{20} \right) \cdot 20 \right) - 708,571 = 541,429 \text{ Kip} - ft$$



Gambar Bidang Momen



Gambar SFD



Gambar Bidang Geser



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

Proposal 1 bulan  
 TA = 3 Bulan  
*[Signature]*

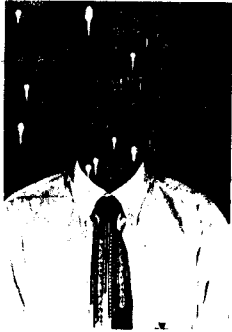
**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	MEMED MEDRIANA	93 310 112		STRUKTUR
2.	ARIEF MUNANDAR	94 310 045		STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISA PENGARUH GAYA AXIAL DAN GESER TERHADAP.....  
 KAPASITAS MOMEN PLASTIS PADA PORTAL BAJA BERTINGKAT  
 BANYAK.....

Dosen Pembimbing I : IR. H. M. SAMSUDIN, MT  
 Dosen Pembimbing II : IR. SUHARYATMO, MT

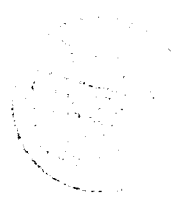
2

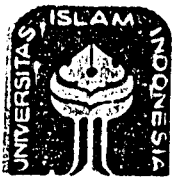


Yogyakarta, 18 Mei 1999  
 An. Dekan,  
 Ketua Jurusan Teknik Sipil,

*[Signature]*

IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

T.A. = 3 Bulan  
*[Signature]*

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	MEMED MEDRIANA	93 310 112		STRUKTUR
2.	ARIEF MUNANDAR	94 310 045		STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISA PENGARUH GAYA AXIAL DAN GESER TERHADAP.....  
 KAPASITAS MOMEN ELASTIS PADA PORTAL BAJA BERTINGKAT  
 BANYAK.

Dosen Pembimbing I : IR. H. M. SAMSUDIN, MT  
 Dosen Pembimbing II : IR. SUHARYATMO, MT



2



Yogyakarta, 18 Mei 1999  
 An. Dekan,  
 Ketua Jurusan Teknik Sipil,

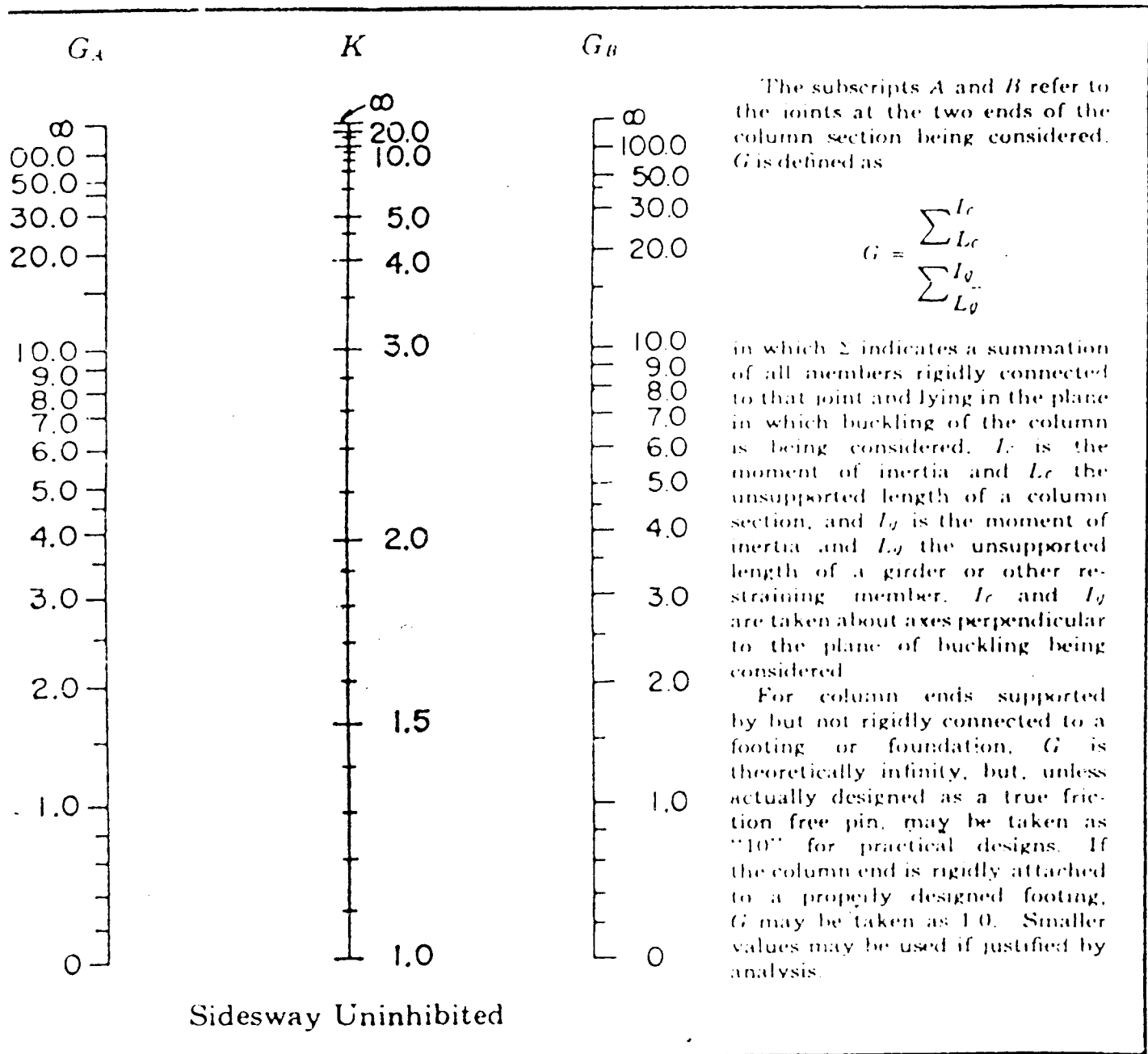
*[Signature]*  
 IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

15. 17 19 21.



length factor  $K$  was assumed to be unity in calculations of  $f_a$  and  $F'_c$ , and coefficient  $C_m$  was computed as for a braced frame.

Several other references\*\* are available concerning alternatives to effective



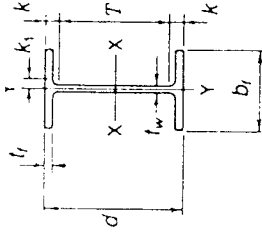
Alignment Chart for Effective Length of Columns in Continuous Frames

Fig. C-C2.2

n procedure based only upon a first order drift index may not assure frame stability.

1971; Springfield and Adams, 1972; Liapunov, 1974 (pp 1643-1655); Daniels and Lu, LeMessurier, 1976; and LeMessurier, 1977.

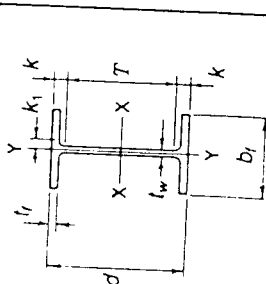
## W SHAPES Dimensions



Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance			
			Thickness $t_w$	$\frac{t_w}{2}$	Width $b_f$	Thickness $t_f$	T	k	$k_1$	
	In. <sup>2</sup>	In.	In.	In.	In.	In.	In.	In.	In.	In.
W 44 x 285	83.8	44.02	1.024	1/2	11.811	17 1/2	38 3/4	2 1/4	1 3/4	1 3/4
	72.8	43.62	0.865	7/16	11.811	17 1/2	38 3/4	2 1/4	1 3/4	1 3/4
	65.8	43.31	0.787	3/8	11.811	17 1/2	38 3/4	2 1/4	1 3/4	1 3/4
	58.0	42.91	0.709	1/2	11.811	17 1/2	38 3/4	2 1/4	1 3/4	1 3/4
W 40 x 328	98.4	40.00	0.910	1/2	17.810	17 1/2	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
	87.6	39.69	0.830	3/8	17.830	17 1/2	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
	78.8	39.37	0.750	3/8	17.750	17 1/2	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
	71.7	39.06	0.710	1/2	17.710	17 1/2	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
W 40 x 221	64.8	38.67	0.710	1/2	17.710	17 1/2	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
	58.5	38.20	0.710	1/2	17.710	17 1/2	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
	192.0	43.62	1.970	1 1/2	19.870	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	174.0	42.99	1.780	1 1/4	16.690	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
W 40 x 655 <sup>a</sup>	156.0	42.34	1.610	1 1/4	16.510	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	140.0	41.81	1.460	3/4	16.360	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	128.0	41.34	1.340	1/2	16.240	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	116.0	40.95	1.220	1/4	16.120	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	106.0	40.55	1.120	1/8	16.020	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	85.3	40.16	1.000	1/16	15.905	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	87.4	39.84	0.930	3/16	15.825	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	81.3	39.69	0.830	1/8	15.830	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	73.3	39.38	0.750	3/16	15.750	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	63.3	38.96	0.650	1/4	15.750	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	58.4	38.67	0.650	3/8	15.750	18 1/2	39 1/2	4 1/4	2 1/4	2 1/4
	W 40 x 183 <sup>b</sup>	53.7	38.98	0.650	3/8	11.810	11 1/4	33 1/2	3 1/2	1 1/4
49.1		38.59	0.650	3/8	11.810	11 1/4	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4
43.8		38.20	0.630	3/8	11.810	11 1/4	33 1/2	3 1/2	1 1/4	1 1/4

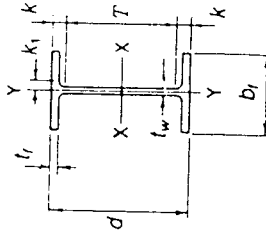
<sup>a</sup>For application refer to Notes in Table 2.  
<sup>b</sup>Heavier shapes in this series are available from some producers.  
 Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

### W SHAPES Properties



Nominal Wt. per Ft. Lb.	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus		
	$\frac{b_1}{2t_f}$	$\frac{d}{t_w}$	$F_y$ Ksi	$F_y^m$ Ksi	Axis X-X			Axis Y-Y			$Z_x$ In. <sup>3</sup>	$Z_y$ In. <sup>3</sup>	
					$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.	$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.			
285	3.3	43.0	35.7	2.95	2.10	24600	1120	17.1	3.90	83.0	2.42	1310	135.1 <sup>W</sup>
248	3.7	50.4	26.0	2.96	2.34	21400	983	17.2	4.35	74.0	2.44	1150	118
224	4.2	55.0	21.8	2.98	2.59	19200	869	17.1	3.91	66.0	2.44	1030	105
198	4.8	60.5	18.0	2.94	2.88	16700	778	16.9	3.36	57.0	2.41	902	90.0
328	3.2	44.0	34.2	4.73	1.29	26800	1340	16.7	1.69	185	4.15	1510	288
298	5.7	47.8	28.9	4.70	1.41	24200	1220	16.8	1.49	167	4.12	1370	257
268	6.3	52.5	24.0	4.67	1.57	21500	1090	16.5	1.320	149	4.09	1220	229
244	7.0	55.0	21.8	4.63	1.75	19200	983	16.4	1.170	132	4.04	1100	203
221	8.3	54.5	22.3	4.58	2.05	16600	858	16.0	968	112	3.90	967	172
192	10.7	53.8	22.8	4.43	2.60	13500	708	15.5	770	87.0	3.69	807	135
655	2.4	22.1	44.3	0.73	58500	2590	17.2	2.86	339	3.88	3.88	3060	541
583	2.8	24.0	43.8	0.80	50400	2340	17.0	2.520	302	3.81	3.81	2750	481
531	2.8	28.3	43.3	0.88	44300	2090	16.9	2.200	266	3.75	3.75	2450	422
480	3.1	28.6	42.8	0.97	39500	1890	16.8	1.940	237	3.72	3.72	2180	374
436	3.4	30.9	42.4	1.06	35400	1710	16.6	1.720	212	3.67	3.67	1980	334
397	3.7	33.6	42.1	1.15	32000	1560	16.6	1.540	191	3.65	3.65	1780	300
362	4.0	36.2	41.7	1.26	28900	1420	16.5	1.380	173	3.61	3.61	1630	270
324	4.4	40.2	41.4	1.40	25600	1280	16.4	1.220	153	3.57	3.57	1460	239
297	4.8	42.8	41.1	1.53	23200	1170	16.3	1.090	138	3.54	3.54	1330	215
277	5.0	47.8	28.9	4.13	21900	1100	16.4	1.040	132	3.58	3.58	1250	204
249	5.5	52.5	24.0	4.10	17900	982	16.3	928	118	3.56	3.56	1120	182
215	6.5	60.0	18.4	4.08	16700	858	16.2	798	101	3.54	3.54	963	156
199	7.4	59.5	18.7	4.04	14900	769	16.0	695	88.2	3.45	3.45	868	137
183	4.8	60.0	18.4	2.98	13300	682	15.7	336	58.9	2.50	2.50	781	88.6
167	5.8	59.4	18.7	2.91	11600	599	15.3	283	47.9	2.40	2.40	692	76.0
149	7.1	60.6	18.0	2.84	9780	512	14.9	229	38.8	2.29	2.29	587	62.2

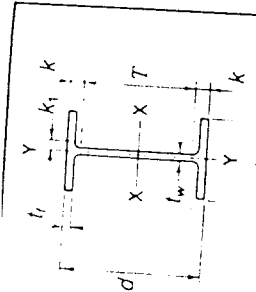
### W SHAPES Dimensions



Designation	Area A In. <sup>2</sup>	Depth d In.	Web		Flange		Distance			
			Thickness tw In.	$\frac{t_w}{2}$ In.	Width b1 In.	Thickness tf In.	T In.	k In.		
									k1 In.	
W 36x84 <sup>8</sup>	249.0	42.45	2.520	1 1/4	18.130	18%	4.530	31%	5 1/8	2 1/4
x798 <sup>1</sup>	234.0	41.97	2.380	2%	17.990	18	4.290	4%	5 1/8	2 1/4
x720 <sup>1</sup>	211.0	41.19	2.165	2%	17.775	17%	3.900	3%	5 1/8	2 1/4
x650 <sup>1</sup>	190.0	40.47	1.970	2	17.575	17%	3.540	3%	4 1/8	2
x588 <sup>1</sup>	172.0	39.84	1.790	1 1/4	17.400	17%	3.230	3%	4 1/8	1 1/2
x527 <sup>1</sup>	154.0	39.21	1.610	1%	17.220	17%	2.910	2%	3 1/8	1 1/4
x485 <sup>1</sup>	142.0	38.74	1.500	1 1/2	17.105	17%	2.680	2 1/8	3 1/8	1 3/4
x439 <sup>1</sup>	128.0	38.26	1.360	1%	16.965	17	2.440	2%	3 1/8	1 3/4
x393 <sup>1</sup>	115.0	37.80	1.220	1%	16.830	16%	2.200	2%	3 1/8	1 3/4
x359 <sup>1</sup>	105.0	37.40	1.120	1%	16.730	16%	2.010	2	3 1/8	1 3/4
x329 <sup>1</sup>	96.4	37.09	1.020	1	16.630	16%	1.850	1%	3 1/8	1 3/4
x300 <sup>1</sup>	88.3	36.74	0.945	3/4	16.655	16%	1.680	1 1/8	3 1/8	1 1/2
x280	82.4	36.52	0.885	3/4	16.595	16%	1.570	1%	3 1/8	1 1/2
x260	76.5	36.26	0.840	3/4	16.550	16%	1.440	1%	3 1/8	1 1/2
x245	72.1	36.08	0.800	3/4	16.510	16%	1.350	1%	3 1/8	1 1/2
x230	67.6	35.90	0.760	3/4	16.470	16%	1.260	1%	3 1/8	1 1/2
W 36x256	75.4	37.43	0.960	1	12.215	12%	1.730	1%	32%	2%
x232	68.1	37.12	0.870	3/4	12.120	12%	1.570	1%	32%	2%
x210	61.8	36.69	0.830	3/4	12.180	12%	1.360	1%	32%	2%
x194	57.0	36.49	0.765	3/4	12.115	12%	1.260	1%	32%	2%
x182	53.6	36.33	0.725	3/4	12.075	12%	1.180	1%	32%	2%
x170	50.0	36.17	0.680	3/4	12.030	12	1.100	1%	32%	2
x160	47.0	36.01	0.650	3/4	12.000	12	1.020	1	32%	1 1/8
x150	44.2	35.85	0.625	3/4	11.975	12	0.940	3/8	32%	1 1/8
x135	39.7	35.55	0.600	3/4	11.950	12	0.790	3/8	32%	1 1/8

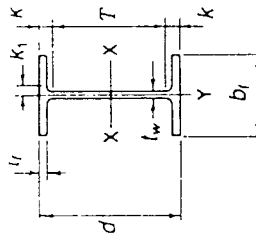
\*For application refer to Notes in Table 2. Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

### W SHAPES Properties



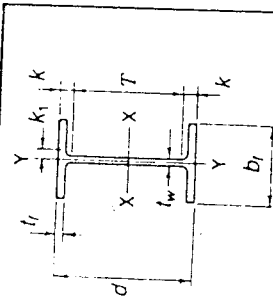
Nominal Wt. per Ft Lb.	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_f}{2t_f}$	$F_y$ Ksi	$\frac{d}{t_w}$	$F_y$ Ksi	Axis X-X			Axis Y-Y			$Z_x$ In. <sup>3</sup>	$Z_y$ In. <sup>3</sup>
					$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.	$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.		
848	2.0	—	16.8	—	67400	3170	16.4	4550	4.27	3830	799	
798	2.1	—	17.6	—	62600	2980	16.4	4200	4.24	3570	743	
720	2.3	—	19.0	—	55300	2690	16.2	3660	4.18	3190	656	
650	2.5	—	20.5	—	48900	2420	16.0	3230	4.12	2840	580	
588	2.7	—	22.3	—	43500	2180	15.9	2850	4.07	2550	517	
527	3.0	—	24.4	—	38300	1950	15.8	2490	4.02	2270	454	
485	3.2	—	25.8	—	34700	1790	15.6	2250	3.98	2070	412	
439	3.5	—	28.1	—	31000	1620	15.5	1990	3.95	1860	367	
393	3.8	—	31.0	—	27500	1450	15.5	1750	3.90	1660	325	
359	4.2	—	33.4	—	24900	1320	15.4	1570	3.87	1510	292	
328	4.5	—	36.4	—	22500	1210	15.3	1420	3.84	1380	265	
300	5.0	—	38.9	—	20300	1110	15.2	1300	3.83	1260	241	
280	5.3	—	41.3	—	18900	1030	15.1	1200	3.81	1170	223	
260	5.7	—	43.2	—	17300	953	15.0	1090	3.78	1080	204	
245	6.1	—	45.1	—	16100	895	15.0	1010	3.75	1010	190	
230	6.5	—	47.2	—	15000	837	14.9	940	3.73	943	176	
256	3.5	—	39.0	—	16800	895	14.9	528	86.5	2.65	1040	
232	3.9	—	42.7	—	15000	809	14.8	468	77.2	2.62	936	
210	4.5	—	44.2	—	13200	719	14.6	411	67.5	2.56	833	
194	4.8	—	47.7	—	12100	664	14.6	375	61.9	2.56	767	
182	5.1	—	50.1	—	11300	623	14.5	347	57.6	2.55	718	
170	5.5	—	53.2	—	10500	580	14.5	320	53.2	2.53	668	
160	5.9	—	55.4	—	9750	542	14.4	295	49.1	2.50	624	
150	6.4	—	57.4	—	9040	504	14.3	270	45.1	2.47	581	
135	7.6	—	59.3	—	7800	439	14.0	225	37.7	2.38	509	

### W SHAPES Dimensions



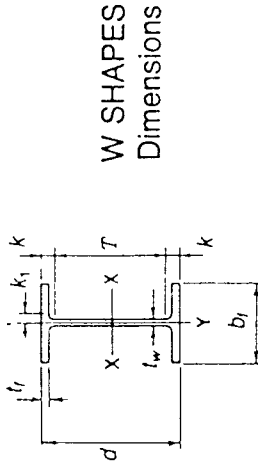
Designation	Area A In. <sup>2</sup>	Depth d In.	Web			Flange			Distance		
			Thickness $t_w$ In.	$\frac{t_w}{2}$ In.	Width $b_f$ In.	Thickness $t_f$ In.	T In.	k In.	$k_1$ In.		
										Thickness $t_w$ In.	$\frac{t_w}{2}$ In.
W 33x61 <sup>a</sup>	181.0	38.47	38%	1.970	2	16.910	16%	3.540	29%	4%	1%
x567 <sup>b</sup>	166.0	37.81	37%	1.810	1 1/2	16.750	16%	3.270	29%	4%	1 1/8
x515 <sup>b</sup>	151.0	37.36	37%	1.650	1 1/2	16.590	16%	2.990	29%	3 1/2	1 1/8
x468 <sup>b</sup>	137.0	36.81	36%	1.520	1 1/2	16.455	16%	2.720	29%	3 1/2	1 1/8
x424 <sup>b</sup>	124.0	36.34	36%	1.380	1 1/2	16.315	16%	2.480	29%	3 1/2	1 1/8
x387 <sup>b</sup>	113.0	35.96	36	1.260	1 1/2	16.200	16%	2.280	29%	3 1/2	1 1/8
x354 <sup>b</sup>	104.0	35.55	35 1/2	1.160	1 1/2	16.100	16%	2.090	29%	2 1/2	1 1/8
x318 <sup>b</sup>	93.5	35.16	35 1/2	1.040	1 1/2	15.985	16	1.890	29%	2 1/2	1 1/8
x291 <sup>b</sup>	85.6	34.84	34%	0.960	1	15.905	15%	1.730	29%	2 1/2	1 1/8
x263 <sup>b</sup>	77.4	34.53	34 1/2	0.870	7/8	15.805	15%	1.570	29%	2 1/2	1 1/8
x241 <sup>b</sup>	70.9	34.18	34%	0.830	7/8	15.860	15%	1.400	29%	2 1/2	1 1/8
x221 <sup>b</sup>	65.0	33.93	33%	0.775	3/4	15.805	15%	1.275	29%	2 1/2	1 1/8
x201 <sup>b</sup>	59.1	33.68	33%	0.715	3/4	15.745	15%	1.150	29%	1 1/2	1 1/8
W 33x169 <sup>b</sup>	49.5	33.82	33%	0.670	1 1/2	11.500	11 1/2	1.220	29%	2 1/2	1%
x152	44.7	33.49	33 1/2	0.635	3/4	11.565	11%	1.055	29%	1 1/2	1%
x141	41.6	33.30	33 1/2	0.605	3/4	11.535	11 1/2	0.960	29%	1 1/2	1 1/8
x130	38.3	33.09	33%	0.580	3/4	11.510	11 1/2	0.855	29%	1 1/2	1 1/8
x118	34.7	32.86	32%	0.550	3/4	11.480	11 1/2	0.740	29%	1 1/2	1 1/8
W 30x581 <sup>a</sup>	170.0	35.39	35%	1.970	2	16.200	16%	3.540	26%	4 1/2	1 1/8
x526 <sup>b</sup>	154.0	34.76	34%	1.790	1 1/2	16.020	16	3.230	26%	4	1%
x477 <sup>b</sup>	140.0	34.21	34 1/2	1.630	1 1/2	15.865	15%	2.950	26%	3 1/2	1 1/8
x433 <sup>b</sup>	127.0	33.66	33%	1.500	1 1/2	15.725	15%	2.680	26%	3 1/2	1 1/8
x391 <sup>b</sup>	114.0	33.19	33 1/2	1.360	1 1/2	15.590	15%	2.440	26%	3 1/2	1 1/8
x357 <sup>b</sup>	104.0	32.80	32%	1.240	1 1/2	15.470	15%	2.240	26%	3	1 1/8
x328 <sup>b</sup>	95.7	32.40	32%	1.140	1 1/2	15.370	15%	2.050	26%	2 1/2	1 1/8
x292 <sup>b</sup>	85.7	32.01	31%	1.020	1	15.255	15%	1.850	26%	2 1/2	1 1/8
x261 <sup>b</sup>	76.7	31.61	31%	0.930	3/4	15.155	15%	1.650	26%	2 1/2	1 1/8
x235	69.0	31.30	31 1/2	0.830	3/4	15.055	15	1.500	26%	2 1/2	1 1/8
x211	62.0	30.94	31	0.775	3/4	15.105	15 1/2	1.315	26%	2 1/2	1%
x191	56.1	30.68	30%	0.710	3/4	15.040	15	1.185	26%	1 1/2	1 1/8
x173	50.8	30.44	30 1/2	0.655	3/4	14.985	15	1.065	26%	1 1/2	1 1/8

<sup>a</sup>For application refer to Notes in Table 2.  
<sup>b</sup>Heavier shapes in this series are available from some producers.  
 Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.



### W SHAPES Properties

Nom- inal Wt. per Ft	Compact Section Criteria			Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_f}{2t_f}$	$f_y$ Ksi	$\frac{d}{t_w}$	Axis X-X			Axis Y-Y			$Z_x$ In. <sup>3</sup>	$Z_y$ In. <sup>3</sup>
				$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.	$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.		
619	2.4	—	19.5	41800	2170	15.2	2870	340	3.96	2560	537
567	2.6	—	20.9	37700	1990	15.1	2580	308	3.84	2330	485
515	2.8	—	22.6	33700	1810	14.9	2290	276	3.69	2110	433
468	3.0	—	24.2	30100	1630	14.8	2030	247	3.85	1890	387
424	3.3	—	26.3	26900	1480	14.7	1800	221	3.81	1700	345
387	3.6	—	28.5	24300	1350	14.7	1620	200	3.79	1550	312
354	3.8	—	30.6	21900	1230	14.5	1460	181	3.74	1420	282
318	4.2	—	33.8	19500	1110	14.4	1290	161	3.71	1270	250
291	4.6	—	36.3	17700	1010	14.4	1160	146	3.69	1150	226
263	5.0	—	39.7	15800	917	14.3	1030	131	3.66	1030	202
241	5.7	—	41.2	14200	829	14.1	932	118	3.63	939	182
221	6.2	—	43.8	12800	757	14.1	840	106	3.59	855	164
201	6.8	—	47.1	11500	684	14.0	749	95.2	3.56	772	147
169	4.7	—	50.5	9290	549	13.7	310	53.9	2.50	629	84.4
152	5.5	—	52.7	8160	487	13.5	273	47.2	2.47	559	73.9
141	6.0	—	55.0	7450	448	13.4	246	42.7	2.43	514	66.9
130	6.7	—	57.1	6710	406	13.2	218	37.9	2.39	467	59.5
118	7.8	—	59.7	5900	359	13.0	187	32.6	2.32	415	51.3
581	2.3	—	18.0	33000	1870	13.9	2530	312	3.86	2210	492
528	2.5	—	19.4	29300	1680	13.8	2230	278	3.80	1990	438
477	2.7	—	21.0	26100	1530	13.7	1970	249	3.75	1790	390
433	2.9	—	22.4	23200	1380	13.5	1750	222	3.71	1610	348
391	3.2	—	24.4	20700	1250	13.5	1550	198	3.68	1430	310
357	3.5	—	26.5	18600	1140	13.4	1390	179	3.65	1300	279
326	3.7	—	28.4	16800	1030	13.2	1240	162	3.61	1190	252
292	4.1	—	31.4	14900	928	13.2	1100	144	3.58	1060	223
261	4.6	—	34.0	13100	827	13.1	959	127	3.54	941	196
235	5.0	—	37.7	11700	746	13.0	855	114	3.52	845	175
211	5.7	—	39.9	10300	663	12.9	757	100	3.49	749	154
191	6.3	—	43.2	9170	598	12.8	673	89.5	3.46	673	138
173	7.0	—	46.5	8200	539	12.7	598	79.8	3.43	605	123

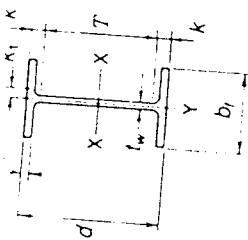


### W SHAPES Dimensions

Desig- nation	Area A In. <sup>2</sup>	Depth d In.	Web			Flange			Distance		
			Thickness $t_w$ In.	$\frac{t_w}{2}$ In.	Width $b_f$ In.	Thickness $t_f$ In.	T In.	k In.	$k_1$ In.		
										In.	In.
W 30 x 148 <sup>b</sup>	43.5	30.67	30%	3/8	10.480	1 1/8	26 3/4	2	1	1 1/8	
x 132	38.9	30.31	30 1/4	3/8	10.545	1	26 3/4	1 1/4	1 1/8	1	
x 124	36.5	30.17	30%	3/8	10.515	3/8	26 3/4	1 1/8	1 1/8	1	
x 116	34.2	30.01	30	3/8	10.495	3/8	26 3/4	1 1/8	1 1/8	1	
x 108	31.7	29.83	29 3/4	3/8	10.475	3/8	26 3/4	1 1/8	1 1/8	1	
x 99	29.1	29.65	29%	3/8	10.450	3/8	26 3/4	1 1/8	1 1/8	1	
x 90	26.4	29.53	29 1/4	3/8	10.400	3/8	26 3/4	1 1/8	1 1/8	1	
W 27 x 539 <sup>a</sup>	158.0	32.52	32 1/2	1	15.255	3/4	3 5/8	24	4 1/4	1 1/8	
x 494 <sup>a</sup>	145.0	31.97	32	1 1/8	15.095	3/4	3 5/8	24	4	1 1/8	
x 448 <sup>a</sup>	131.0	31.42	31%	1 1/2	14.940	3/4	3 5/8	24	3 3/4	1 1/8	
x 407 <sup>a</sup>	119.0	30.87	30%	1 3/4	14.800	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 368 <sup>a</sup>	108.0	30.38	30%	1 3/8	14.665	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 336 <sup>a</sup>	98.7	30.00	30	1 1/4	14.545	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 307 <sup>a</sup>	90.2	29.81	29%	1 1/8	14.445	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 281 <sup>a</sup>	82.6	29.29	29%	1 1/8	14.350	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 258	75.7	28.98	29	1 1/4	14.270	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 235	69.1	28.66	28%	1 1/2	14.190	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 217	63.8	28.43	28%	1 3/4	14.115	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 194	57.0	28.11	28%	1 3/4	14.035	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 178	52.3	27.81	27%	1 3/4	14.085	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 161	47.4	27.59	27%	1 3/4	14.020	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
x 146	42.9	27.38	27%	1 3/4	13.965	3/4	3 5/8	24	3 3/8	1 1/8	
W 27 x 129 <sup>b</sup>	37.8	27.63	27%	3/8	10.010	10	1 1/8	24	1 3/8	1 1/8	
x 114	33.5	27.29	27 1/4	3/8	10.070	10%	1 1/8	24	1 3/8	1 1/8	
x 102	30.0	27.09	27%	1/2	10.015	10	1 1/8	24	1 3/8	1 1/8	
x 94	27.7	26.92	26%	1/2	9.990	10	1 1/8	24	1 3/8	1 1/8	
x 84	24.8	26.71	26%	3/8	9.960	10	1 1/8	24	1 3/8	1 1/8	

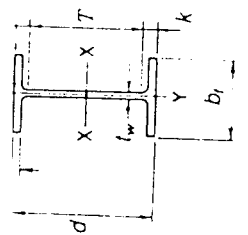
<sup>a</sup>For application refer to Notes in Table 2.  
<sup>b</sup>Heavier shapes in this series are available from some producers.  
 Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

### W SHAPES Properties



Nominal Wt. per Ft	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus		
	$\frac{b_1}{2t_1}$	$F_y$	$\frac{d}{t_w}$	$F_y''$	Axis X-X		Axis Y-Y		$r$	$Z_x$	$Z_y$		
					$I$	$S$	$I$	$S$					
148	4.4	—	47.2	29.7	2.70	6680	436	12.4	227	43.3	2.28	500	68.0
132	5.3	—	49.3	27.2	2.68	5770	380	12.2	196	37.2	2.25	437	58.4
124	5.7	—	51.6	24.8	2.66	5360	355	12.1	181	34.4	2.23	408	54.0
116	6.2	—	53.1	23.4	2.64	4930	329	12.0	164	31.3	2.19	378	49.2
108	6.9	—	54.7	22.0	2.61	4470	299	11.9	146	27.9	2.15	346	43.9
99	7.8	—	57.0	20.3	2.57	3990	269	11.7	128	24.5	2.10	312	38.6
90	8.5	58.1	62.8	16.7	2.56	3620	245	11.7	115	22.1	2.09	283	34.7
539	2.2	—	16.5	—	4.10	25500	1570	12.7	2110	277	3.66	1880	437
494	2.3	—	17.7	—	4.05	22900	1440	12.6	1890	250	3.61	1710	394
448	2.5	—	19.0	—	4.01	20400	1300	12.5	1670	224	3.57	1530	351
407	2.7	—	20.3	—	3.96	18100	1170	12.3	1480	200	3.52	1380	313
368	3.0	—	22.0	—	3.93	16100	1060	12.2	1310	179	3.48	1240	279
336	3.2	—	23.8	—	3.89	14500	970	12.1	1170	161	3.45	1130	252
307	3.5	—	25.5	—	3.86	13100	884	12.0	1050	146	3.42	1020	227
281	3.7	—	27.6	—	3.84	11900	811	12.0	953	133	3.40	933	206
258	4.0	—	29.6	—	3.81	10800	742	11.9	859	120	3.37	850	187
235	4.4	—	31.5	—	3.78	9660	674	11.8	768	108	3.33	769	168
217	4.7	—	34.3	—	3.75	8870	624	11.8	704	99.8	3.32	708	154
194	5.2	—	37.5	—	3.74	8200	556	11.7	618	88.1	3.29	628	136
178	5.9	—	40.4	—	3.72	7690	502	11.6	555	78.8	3.26	567	122
161	6.5	—	43.8	—	3.70	7200	455	11.5	497	70.9	3.24	512	109
146	7.2	—	45.3	—	3.68	6800	411	11.4	443	63.5	3.21	461	97.5
129	4.5	—	45.3	2.59	2.51	4760	345	11.2	184	36.8	2.21	395	57.6
114	5.4	—	47.9	2.58	2.91	4090	299	11.0	159	31.5	2.18	343	49.3
102	6.0	—	52.6	2.39	2.56	3620	267	11.0	139	27.8	2.15	305	43.4
94	6.7	—	54.9	2.19	2.53	3270	243	10.9	124	24.8	2.12	278	38.8
84	7.8	—	58.1	19.6	2.49	2850	213	10.7	106	21.2	2.07	244	33.2

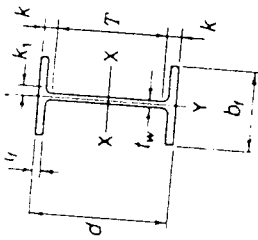
### W SHAPES Dimensions



Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance	
			Thickness t <sub>w</sub>	$\frac{t_w}{2}$	Width b <sub>1</sub>	Thickness t <sub>f</sub>	T	k
W 24 x 492 <sup>a</sup>	144.0	29.65	1.970	2	14.115	3.540	21	4%
x 450 <sup>a</sup>	132.0	29.09	1.810	1 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	13.955	3.270	21	4%
x 408 <sup>a</sup>	119.0	28.54	1.650	1%	13.800	2.990	21	3%
x 370 <sup>a</sup>	108.0	27.99	1.520	1%	13.660	2.720	21	3%
x 335 <sup>a</sup>	98.4	27.52	1.380	1%	13.520	2.480	21	3%
x 306 <sup>a</sup>	89.8	27.13	1.260	1%	13.405	2.280	21	3%
x 279 <sup>a</sup>	82.0	26.73	1.160	1%	13.305	2.090	21	2%
x 250 <sup>a</sup>	73.5	26.34	1.040	1%	13.185	1.890	21	2%
x 229	67.2	26.02	0.960	1	13.110	1.730	21	2%
x 192	60.7	25.71	0.870	7/8	13.010	1.570	21	2%
x 176	51.7	25.24	0.750	3/4	12.950	1.460	21	2%
x 162	47.7	25.00	0.705	3/4	12.890	1.340	21	2%
x 146	43.0	24.74	0.650	3/4	12.955	1.220	21	1 1/2
x 131	38.5	24.48	0.605	3/4	12.900	1.090	21	1 1/2
x 117	34.4	24.26	0.550	3/4	12.855	0.960	21	1 1/2
x 104	30.6	24.06	0.500	1/2	12.800	0.850	21	1 1/2
W 24 x 103 <sup>b</sup>	30.3	24.53	0.550	3/4	9.000	0.980	1	1 1/2
x 94	27.7	24.31	0.515	3/4	9.065	0.875	1	1 1/2
x 84	24.7	24.10	0.470	3/4	9.020	0.770	1	1 1/2
x 76	22.4	23.92	0.440	3/4	8.990	0.680	1	1 1/2
x 68	20.1	23.73	0.415	3/4	8.965	0.585	1	1 1/2
W 24 x 62	18.2	23.74	0.430	3/4	7.040	0.590	1	1 1/2
x 55	16.2	23.57	0.395	3/4	7.005	0.505	1	1 1/2

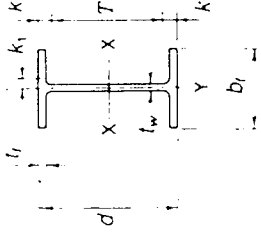
<sup>a</sup>For application refer to Notes in Table 2.  
<sup>b</sup>Heavier shapes in this series are available from some producers.  
 Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

### W SHAPES Properties



Nominal Wt. per Ft	Compact Section Criteria	Elastic Properties						Plastic Modulus	
		Axis X-X			Axis Y-Y			Z <sub>x</sub>	Z <sub>y</sub>
		I	S	r	I	S	r		
Lb.	$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{d}{t_w}$	$F_y$	$F_y'$	$F_u$	$r$	$\frac{d}{A_f}$	In. <sup>3</sup>	In. <sup>3</sup>
		In.	Ksi	Ksi	Ksi	In.		In. <sup>3</sup>	In. <sup>3</sup>
492	2.0	15.1	36.0	36.0	36.0	3.41	1670	237	341
450	2.1	16.1	37.8	37.8	37.8	3.36	1490	214	336
408	2.3	17.3	37.1	37.1	37.1	3.33	1320	191	333
370	2.5	18.4	36.7	36.7	36.7	3.28	1160	170	328
335	2.7	19.9	36.3	36.3	36.3	3.23	1030	152	323
308	2.9	21.5	36.0	36.0	36.0	3.20	919	137	320
279	3.2	23.0	35.7	35.7	35.7	3.17	823	124	317
250	3.5	25.3	35.3	35.3	35.3	3.14	724	110	314
229	3.8	27.1	35.1	35.1	35.1	3.11	651	99.4	311
207	4.1	28.6	34.8	34.8	34.8	3.08	578	88.8	308
192	4.4	31.4	34.6	34.6	34.6	3.07	530	81.8	307
176	4.8	33.7	34.4	34.4	34.4	3.04	479	74.3	304
162	5.3	35.5	34.5	34.5	34.5	3.05	443	68.4	305
146	5.9	38.1	34.3	34.3	34.3	3.01	391	60.5	301
131	6.7	40.5	34.0	34.0	34.0	2.97	340	53.0	297
117	7.5	44.1	33.9	33.9	33.9	2.94	297	46.5	294
104	8.5	48.1	33.5	33.5	33.5	2.91	259	40.7	291
103	4.6	44.6	33.2	33.2	33.2	2.89	245	38.9	289
94	5.2	47.2	33.0	33.0	33.0	2.89	222	36.5	289
84	5.9	51.3	32.3	32.3	32.3	2.80	199	34.0	280
76	6.6	54.4	32.1	32.1	32.1	2.78	184	32.4	278
68	7.7	57.2	31.9	31.9	31.9	2.72	176	30.9	272
62	6.0	55.2	31.7	31.7	31.7	2.72	154	28.4	272
55	6.9	59.7	31.6	31.6	31.6	2.66	131	26.5	266

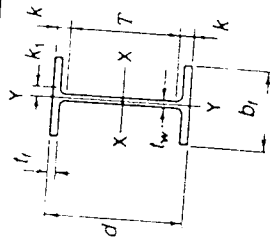
### W SHAPES Dimensions



Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance	
			Thickness t <sub>w</sub>	Thickness t <sub>w</sub> /2	Width b <sub>f</sub>	Thickness t <sub>f</sub>	T	k
W 21 x 40.2*	118.0	26.02	1.730	7/8	13.405	3/8	18 1/4	1 1/8
x 36.4*	107.0	25.47	1.590	13/16	13.265	2/8	18 1/4	3/8
x 33.3*	97.9	25.00	1.460	17/16	13.130	2/8	18 1/4	3/8
x 30.0*	88.2	24.53	1.320	15/16	12.990	2/8	18 1/4	3/8
x 27.5*	80.8	24.13	1.220	1/2	12.890	2/8	18 1/4	3/8
x 24.8*	72.8	23.74	1.100	5/8	12.775	2/8	18 1/4	3/8
x 22.3	65.4	23.35	1.000	1/2	12.675	2	18 1/4	1 1/8
x 20.1	59.2	23.03	0.910	1/2	12.575	2	18 1/4	2 1/8
x 18.2	53.6	22.72	0.830	7/16	12.500	1 1/2	18 1/4	2 1/4
x 16.6	48.8	22.48	0.750	3/4	12.420	1 1/2	18 1/4	2 1/4
x 14.7	43.2	22.06	0.720	3/4	12.360	1 1/2	18 1/4	2 1/4
x 13.2	38.8	21.83	0.650	5/8	12.310	1 1/2	18 1/4	2 1/4
x 12.2	35.9	21.68	0.600	5/8	12.300	1 1/2	18 1/4	2 1/4
x 11.1	32.7	21.51	0.550	5/8	12.340	1 1/2	18 1/4	2 1/4
x 10.1	29.8	21.36	0.500	1/2	12.290	1 1/2	18 1/4	2 1/4
W 21 x 93	27.3	21.62	0.580	5/8	8.420	8%	18 1/4	1 1/8
x 83	24.3	21.43	0.515	1/2	8.355	8%	18 1/4	1 1/8
x 73	21.5	21.24	0.455	3/4	8.295	8 1/4	18 1/4	1 1/2
x 68	20.0	21.13	0.430	3/4	8.270	8 1/4	18 1/4	1 1/8
x 62	18.3	20.99	0.400	3/4	8.240	8 1/4	18 1/4	1 1/8
W 21 x 57	16.7	21.06	0.465	3/8	6.555	6 1/2	16 1/4	3/8
x 50	14.7	20.83	0.380	3/8	6.530	6 1/2	16 1/4	3/8
x 44	13.0	20.66	0.350	3/8	6.500	6 1/2	16 1/4	3/8

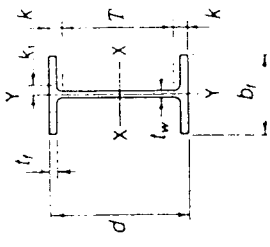
\*For application refer to Notes in Table 2. Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

### W SHAPES Properties



Nominal Wt. per Ft	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_f}{2t_f}$	$F_y$	$F_y'$	$\frac{d}{t_w}$	Axis X-X			Axis Y-Y			$Z_x$	$Z_y$
					$I$	$S$	$r$	$I$	$S$	$r$		
Lb.		Ksi	Ksi	In.	In. <sup>4</sup>	In. <sup>3</sup>	In.	In. <sup>4</sup>	In. <sup>3</sup>	In.	In. <sup>3</sup>	In. <sup>3</sup>
402	2.1	—	—	15.0	12200	937	10.2	1270	189	3.27	1130	296
364	2.3	—	—	16.0	10800	846	10.0	1120	168	3.23	1010	263
333	2.5	—	—	17.1	9610	769	9.91	994	151	3.19	915	237
300	2.7	—	—	18.6	8480	692	9.81	873	134	3.15	816	210
275	2.9	—	—	19.8	7620	632	9.71	785	122	3.12	741	189
248	3.2	—	—	21.6	6760	569	9.63	694	109	3.09	663	169
223	3.5	—	—	23.4	5950	510	9.54	609	96.1	3.05	589	149
201	3.9	—	—	25.3	5310	461	9.47	542	86.1	3.02	530	133
182	4.2	—	—	27.4	4730	417	9.40	483	77.2	3.00	476	119
166	4.6	—	—	30.0	4280	380	9.36	435	70.1	2.98	432	108
147	5.4	—	—	30.6	3630	329	9.17	376	60.1	2.95	373	92.6
132	6.0	—	—	33.6	3220	295	9.12	333	53.5	2.93	333	82.3
122	6.5	—	—	36.1	2960	273	9.09	305	49.2	2.92	307	75.6
111	7.1	—	—	39.1	2670	249	9.05	274	44.5	2.90	279	68.2
101	7.7	—	—	42.7	2420	227	9.02	248	40.3	2.89	253	61.7
93	4.5	—	—	37.3	2070	192	8.70	92.9	22.1	1.84	221	34.7
83	5.0	—	—	41.6	1830	171	8.67	81.4	19.5	1.83	196	30.5
73	5.6	—	—	46.7	1600	151	8.64	70.6	17.0	1.81	172	26.6
68	6.0	—	—	49.1	1480	140	8.60	64.7	15.7	1.80	160	24.4
62	6.7	—	—	52.5	1330	127	8.54	57.5	13.9	1.77	144	21.7
57	5.0	—	—	52.0	1170	111	8.36	30.6	9.35	1.35	129	14.8
50	6.1	—	—	54.8	945	81.6	8.18	24.9	7.64	1.30	110	12.2
44	7.2	—	—	59.0	843	81.6	8.06	20.7	6.36	1.26	95.4	10.2

### W SHAPES Dimensions

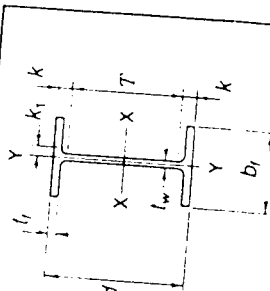


Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance	
			Thickness t_w	Width b_f	Thickness t_f	Width b_f	k	k_1
	In. <sup>2</sup>	In.	In.	In.	In.	In.	In.	In.
W 18x31 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	91.5	22.32	1.520	12	2.740	12	15 1/2	3 1/8
x 283 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	83.2	21.85	1.400	11 1/2	2.500	11 1/2	15 1/2	3 3/8
x 258 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	75.9	21.46	1.280	11 1/4	2.300	11 1/4	15 1/2	3
x 234 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	68.8	21.06	1.160	11 1/8	2.100	11 1/8	15 1/2	2 3/4
x 211 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	62.1	20.67	1.060	11 1/8	1.910	11 1/8	15 1/2	2 1/8
x 192	56.4	20.35	0.960	1 1/2	1.750	1 1/2	15 1/2	2 1/8
x 175	51.3	20.04	0.890	7/8	1.590	7/8	15 1/2	2 1/8
x 158	46.3	19.72	0.810	7/8	1.440	7/8	15 1/2	2 1/8
x 143	42.1	19.49	0.730	3/4	1.320	3/4	15 1/2	2 1/8
x 130	38.2	19.25	0.670	3/4	1.200	3/4	15 1/2	1 1/2
W 18x119	35.1	18.97	0.655	3/4	1.060	3/4	15 1/2	1 1/4
x 106	31.1	18.73	0.590	3/4	0.940	3/4	15 1/2	1 1/4
x 97	28.5	18.59	0.535	3/4	0.870	3/4	15 1/2	1 1/4
x 86	25.3	18.39	0.480	1/2	0.770	1/2	15 1/2	1 1/4
x 76	22.3	18.21	0.425	7/8	0.680	7/8	15 1/2	1 1/4
W 18x71	20.8	18.47	0.495	1/2	0.810	7/8	15 1/2	1 1/2
x 65	19.1	18.35	0.450	1/2	0.750	7/8	15 1/2	1 1/8
x 60	17.6	18.24	0.415	1/2	0.695	7/8	15 1/2	1 1/8
x 55	16.2	18.11	0.390	3/8	0.630	7/8	15 1/2	1 1/8
x 50	14.7	17.99	0.355	3/8	0.570	7/8	15 1/2	1 1/4
W 18x46	13.5	18.06	0.360	3/8	0.605	6	15 1/2	1 1/4
x 40	11.8	17.90	0.315	3/8	0.525	6	15 1/2	1 1/8
x 35	10.3	17.70	0.300	3/8	0.425	6	15 1/2	1 1/8
W 16x100	29.4	16.97	0.585	3/4	0.985	10 1/2	13 1/2	1 1/8
x 89	26.2	16.75	0.525	1/2	0.875	10 1/2	13 1/2	1 1/8
x 77	22.6	16.52	0.455	1/2	0.760	10 1/2	13 1/2	1 1/8
x 67	19.7	16.33	0.395	3/8	0.665	10 1/2	13 1/2	1 1/8
W 16x57	16.8	16.43	0.430	3/8	0.715	7 1/2	13 1/2	1 1/8
x 50	14.7	16.26	0.380	3/8	0.630	7 1/2	13 1/2	1 1/8
x 45	13.3	16.13	0.345	3/8	0.565	7 1/2	13 1/2	1 1/4
x 40	11.8	16.01	0.305	3/8	0.505	7 1/2	13 1/2	1 1/8
x 36	10.6	15.86	0.295	3/8	0.430	7 1/2	13 1/2	1 1/8

<sup>1</sup>For application refer to Notes in Table 2.  
Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

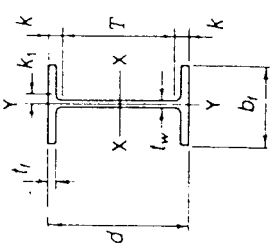


### W SHAPES Properties



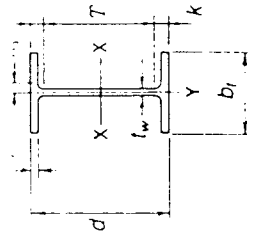
Nominal Wt. per Ft Lb.	Compact Section Criteria				Elastic Properties				Plastic Modulus			
	$\frac{b_1}{2t_f}$	$F_y$ Ksi	$\frac{d}{t_w}$	$F_y$ Ksi	Axis X-X		Axis Y-Y		$Z_x$ In. <sup>3</sup>	$Z_y$ In. <sup>3</sup>		
					$I$ In. <sup>4</sup>	$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.	$I$ In. <sup>4</sup>			$S$ In. <sup>3</sup>	$r$ In.
311	2.2	—	14.7	—	6960	624	8.72	795	132	2.95	753	207
283	2.4	—	15.6	—	6150	564	8.61	704	118	2.81	676	185
234	2.6	—	18.2	—	5510	514	8.53	628	107	2.88	611	166
211	3.0	—	19.5	—	4900	466	8.44	558	95.8	2.85	549	149
192	3.3	—	21.2	—	4330	419	8.35	493	85.3	2.82	490	132
175	3.6	—	22.5	—	3870	380	8.28	440	76.8	2.79	442	119
158	3.9	—	24.3	—	3450	344	8.20	391	68.8	2.76	398	106
143	4.2	—	26.7	—	3060	310	8.12	347	61.4	2.74	356	94.8
130	4.6	—	28.7	—	2750	282	8.09	311	55.5	2.72	322	85.4
119	5.3	—	—	—	2460	256	8.03	278	49.9	2.70	291	76.7
106	6.0	—	—	—	2190	231	7.90	253	44.9	2.69	261	69.1
97	6.4	—	—	—	1910	204	7.84	220	39.4	2.66	230	60.5
86	7.2	—	—	—	1750	188	7.82	201	36.1	2.65	211	55.3
76	8.1	64.2	—	—	1530	166	7.77	175	31.6	2.63	186	48.4
71	4.7	—	—	—	1330	146	7.73	152	27.6	2.61	163	42.2
65	5.1	—	—	—	1170	127	7.50	133	24.7	2.58	145	37.5
60	5.4	—	—	—	1070	117	7.49	120	22.5	2.57	133	34.5
55	6.0	—	—	—	984	108	7.47	108	20.6	2.56	123	31.5
50	6.6	—	—	—	890	98.3	7.41	98.3	18.5	2.55	112	28.5
46	5.0	—	—	—	800	88.9	7.38	90.1	16.6	2.54	101	25.5
40	5.7	—	—	—	712	78.8	7.25	82.5	14.5	2.53	90.7	22.5
35	7.1	—	—	—	612	68.4	7.21	72.1	12.5	2.52	80.7	19.5
100	5.3	—	—	—	510	57.6	7.04	63.6	10.5	2.51	70.4	16.5
89	5.9	—	—	—	454	50.4	6.94	55.4	9.0	2.50	63.6	14.5
77	6.8	—	—	—	394	42.4	6.84	47.4	7.8	2.49	55.4	12.5
67	7.7	—	—	—	334	34.4	6.74	39.4	6.7	2.48	47.4	10.5
57	5.0	—	—	—	274	26.4	6.64	31.4	5.6	2.47	39.4	8.5
50	5.6	—	—	—	214	18.4	6.54	23.4	4.5	2.46	31.4	6.5
45	6.2	—	—	—	154	10.4	6.44	15.4	3.4	2.45	23.4	4.5
40	6.9	—	—	—	94	2.4	6.34	7.4	2.3	2.44	15.4	2.5
36	8.1	64.0	—	—	34	—	6.24	—	—	2.43	7.4	—

### W SHAPES Dimensions



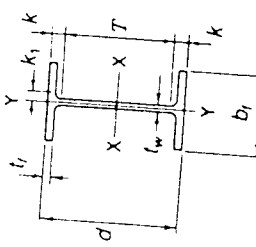
Designation	Area A In. <sup>2</sup>	Depth d In.	Web		Flange		Distance		
			Thickness $t_w$ In.	$\frac{t_w}{2}$ In.	Width $b_1$ In.	Thickness $t_f$ In.	T In.	k In.	$k_1$ In.
W 16 x 31	9.12	15.88	0.275	1/4	5.525	7/16	13 3/8	1 1/2	3/4
x 26	7.68	15.69	0.250	1/4	5.500	3/8	13 3/8	1 1/2	3/4
W 14 x 730*	215.0	22.42	3.070	3/16	17.890	17/16	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 665*	196.0	21.64	2.830	2 1/16	17.650	17/16	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 605*	178.0	20.92	2.595	2 1/8	17.415	17/16	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 550*	162.0	20.24	2.380	2 1/8	17.200	17/16	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 500*	147.0	19.60	2.190	2 3/16	17.010	17	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 455*	134.0	19.02	2.015	2	16.835	16 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
W 14 x 426*	125.0	18.67	1.875	1 1/2	16.695	16 1/4	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 398*	117.0	18.29	1.770	1 3/4	16.590	16 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 370*	109.0	17.92	1.655	1 5/8	16.475	16 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 342*	101.0	17.54	1.540	1 5/8	16.360	16 3/8	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 311*	91.4	17.12	1.410	1 7/8	16.230	16 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 283*	83.3	16.74	1.290	1 7/8	16.110	16 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 257*	75.6	16.38	1.175	1 3/4	15.995	16	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 233*	68.5	16.04	1.070	1 1/2	15.890	15 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 211	62.0	15.72	0.980	1	15.800	15 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 193	56.8	15.48	0.890	7/8	15.710	15 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 176	51.8	15.22	0.830	3/4	15.650	15 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 159	46.7	14.98	0.745	3/4	15.565	15 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2
x 145	42.7	14.78	0.680	3/4	15.500	15 1/2	11 1/4	5 3/8	2 1/2

\*For application refer to Notes in Table 2



W SHAPES  
Dimensions

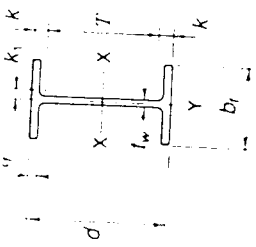
Designation	Area A In. <sup>2</sup>	Depth d In.	Web		Flange		Distance	
			Thickness t <sub>w</sub> In.	$\frac{t_w}{2}$ In.	Width b <sub>1</sub> In.	Thickness t <sub>f</sub> In.	T · k In.	k <sub>1</sub> In.
W 14 x 132	38.8	14.66	0.645	3/16	14.725	1.030	11 1/4	3/16
x 120	35.3	14.48	0.590	3/16	14.670	0.940	11 1/4	3/16
x 109	32.0	14.32	0.525	1/4	14.605	0.860	11 1/4	3/16
x 99	29.1	14.16	0.485	1/2	14.565	0.780	11 1/4	3/16
x 90	26.5	14.02	0.440	3/4	14.520	0.710	11 1/4	3/16
W 14 x 82	24.1	14.31	0.510	1/4	10.130	0.855	11	1 1/2
x 74	21.8	14.17	0.450	3/8	10.070	0.785	11	1 1/2
x 68	20.0	14.04	0.415	1/2	10.035	0.720	11	1 1/2
x 61	17.9	13.89	0.375	3/8	9.995	0.645	11	1 1/2
W 14 x 53	15.6	13.92	0.370	3/8	8.060	0.660	11	1 1/2
x 48	14.1	13.79	0.340	3/8	8.030	0.595	11	1 1/2
x 43	12.6	13.66	0.305	3/8	7.995	0.530	11	1 1/2
W 14 x 38	11.2	14.10	0.310	3/8	6.770	0.515	12	1 1/2
x 34	10.0	13.98	0.285	3/8	6.745	0.455	12	1 1/2
x 30	8.85	13.84	0.270	1/2	6.730	0.385	12	1 1/2
W 14 x 26	7.69	13.91	0.255	1/2	5.025	0.420	12	1 1/2
x 22	6.49	13.74	0.230	1/2	5.000	0.335	12	1 1/2



W SHAPES  
Properties

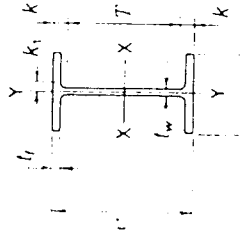
Nominal Wt. per Ft. Lb.	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_1}{2t_f}$	$F_y$ Ksi	$\frac{d}{t_w}$	$F_u$ Ksi	Axis X-X		Axis Y-Y		r	Z <sub>x</sub> In. <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub> In. <sup>3</sup>	
					I In. <sup>4</sup>	S In. <sup>3</sup>	r In.	I In. <sup>4</sup>				S In. <sup>3</sup>
31	6.3	—	57.7	19.8	375	47.2	6.41	12.4	4.49	1.17	54.0	7.03
26	8.0	—	62.8	16.8	301	38.4	6.26	9.59	3.49	1.12	44.2	5.48
730	1.8	—	7.3	—	14300	1280	8.17	4720	527	4.69	1680	816
665	2.0	—	7.6	—	12400	1150	7.98	4170	472	4.62	1480	730
605	2.1	—	8.1	—	10800	1040	7.80	3680	423	4.55	1320	652
550	2.3	—	8.5	—	9430	931	7.63	3250	378	4.49	1180	583
500	2.4	—	8.9	—	8210	838	7.48	2880	339	4.43	1050	522
455	2.6	—	9.4	—	7190	756	7.33	2560	304	4.38	936	468
426	2.8	—	10.0	—	6600	707	7.26	2360	283	4.34	869	434
398	2.9	—	10.3	—	6000	656	7.16	2170	262	4.31	801	402
370	3.1	—	10.8	—	5440	607	7.07	1990	241	4.27	736	370
342	3.3	—	11.4	—	4900	559	6.98	1810	221	4.24	672	338
311	3.6	—	12.1	—	4330	506	6.88	1610	199	4.20	603	304
283	3.9	—	13.0	—	3840	459	6.79	1440	179	4.17	542	274
257	4.2	—	13.9	—	3400	415	6.71	1290	161	4.13	487	246
233	4.6	—	15.0	—	3010	375	6.63	1150	145	4.10	436	221
211	5.1	—	16.0	—	2660	338	6.55	1030	130	4.07	390	198
193	5.5	—	17.4	—	2400	310	6.50	931	119	4.05	355	180
176	6.0	—	18.3	—	2140	281	6.43	838	107	4.02	320	163
159	6.5	—	20.1	—	1900	254	6.38	748	96.2	4.00	287	146
145	7.1	—	21.7	—	1710	232	6.33	677	87.3	3.98	260	133

### W SHAPES Properties



Nominal Wt. per Ft	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_f}{2t_f}$	$F_y$	$\frac{d}{t_w}$	$F_u$	Axis X-X			Axis Y-Y			$Z_x$	$Z_y$
					$I$	$S$	$r$	$I$	$S$	$r$		
132	7.1	—	22.7	—	1530	209	6.28	548	74.5	3.76	234	113
120	7.8	—	24.5	—	1380	190	6.24	495	67.5	3.74	212	102
109	8.5	58.6	27.3	—	1240	173	6.22	447	61.2	3.73	192	92.7
99	9.3	48.5	29.2	—	1110	157	6.17	402	55.2	3.71	173	83.6
90	10.2	40.4	31.9	—	999	143	6.14	362	49.9	3.70	157	75.6
82	5.9	—	28.1	—	882	123	6.05	148	29.3	2.48	139	44.8
74	6.4	—	31.5	—	796	112	6.04	134	26.6	2.48	126	40.6
68	7.0	—	33.8	57.7	723	103	6.01	121	24.2	2.46	115	36.9
61	7.7	—	37.0	48.1	640	92.2	5.98	107	21.5	2.45	102	32.8
53	6.1	—	37.6	46.7	541	77.8	5.89	57.7	14.3	1.92	87.1	22.0
48	6.7	—	40.6	40.2	485	70.3	5.85	51.4	12.8	1.91	78.4	19.6
43	7.5	—	44.8	32.9	428	62.7	5.82	45.2	11.3	1.89	69.6	17.3
38	6.6	—	45.5	31.9	385	54.6	5.87	26.7	7.88	1.55	61.5	12.1
34	7.4	—	49.1	27.4	340	48.6	5.83	23.3	6.91	1.53	54.6	10.6
30	8.7	55.3	51.3	25.1	291	42.0	5.73	19.6	5.82	1.49	47.3	8.99
26	6.0	—	54.5	22.2	245	35.3	5.65	8.91	3.54	1.08	40.2	5.54
22	7.5	—	59.7	18.5	199	29.0	5.54	7.00	2.80	1.04	33.2	4.39

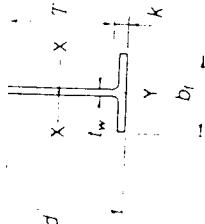
### W SHAPES Dimensions



Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance k
			Thickness t_w	$\frac{t_w}{2}$	Width b_f	Thickness t_f	
W 12 x 336	98.8	16.82	1.775	7/8	13.385	2.955	9 1/4
x 305	89.6	16.32	1.625	3/4	13.235	2.705	9 1/4
x 279	81.9	15.85	1.530	1/2	13.140	2.470	9 1/4
x 252	74.1	15.41	1.395	1/4	13.005	2.250	9 1/4
x 230	67.7	15.05	1.285	1/8	12.895	2.070	9 1/4
x 210	61.8	14.71	1.180	3/16	12.790	1.900	9 1/4
x 190	55.8	14.38	1.060	1/16	12.670	1.735	9 1/4
x 170	50.0	14.03	0.960	3/32	12.570	1.560	9 1/4
x 152	44.7	13.71	0.870	1/8	12.480	1.400	9 1/4
x 136	39.9	13.41	0.790	3/16	12.400	1.250	9 1/4
x 120	35.3	13.12	0.710	1/4	12.320	1.105	9 1/4
x 106	31.2	12.89	0.610	3/8	12.220	0.990	9 1/4
x 96	28.2	12.71	0.550	1/2	12.160	0.900	9 1/4
x 87	25.6	12.53	0.515	3/4	12.125	0.810	9 1/4
x 79	23.2	12.38	0.470	1/2	12.080	0.735	9 1/4
x 72	21.1	12.25	0.430	3/4	12.040	0.670	9 1/4
x 65	19.1	12.12	0.390	1/2	12.000	0.605	9 1/4
W 12 x 58	17.0	12.19	0.360	3/8	10.010	0.640	9 1/4
x 53	15.6	12.06	0.345	1/2	9.995	0.575	9 1/4
W 12 x 50	14.7	12.13	0.370	3/8	8.080	0.640	9 1/4
x 45	13.2	12.06	0.335	1/2	8.045	0.575	9 1/4
x 40	11.8	11.94	0.295	3/4	8.005	0.515	9 1/4
W 12 x 35	10.3	12.50	0.300	3/8	6.560	0.520	10 1/4
x 30	8.79	12.34	0.260	1/2	6.520	0.440	10 1/4
x 26	7.65	12.22	0.230	3/4	6.490	0.380	10 1/4
W 12 x 22	6.48	12.31	0.250	1/2	4.030	0.425	10 1/4
x 19	5.57	12.16	0.235	3/4	4.005	0.350	10 1/4
x 16	4.71	11.99	0.220	1/2	3.990	0.265	10 1/4
x 14	4.16	11.91	0.200	3/4	3.970	0.225	10 1/4

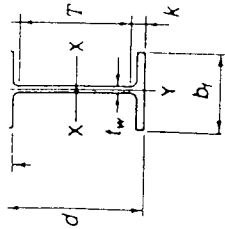
\*For application refer to Notes in Table 2  
Shapes in shaded rows are not available from domestic producers.

### W SHAPES Properties



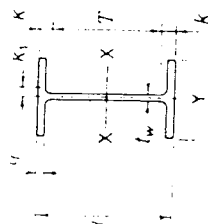
Nominal Wt. per Ft.	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_1}{2t}$	$f_y$	$\frac{d}{L_c}$	$f_r$	Axis X-X		Axis Y-Y		$Z_x$	$Z_y$		
					$I$	$S$	$r$	$I$			$S$	$r$
Lb.		Ksi	In.	In.	In. <sup>4</sup>	In. <sup>3</sup>	In.	In. <sup>4</sup>	In. <sup>3</sup>	In.	In. <sup>3</sup>	In. <sup>3</sup>
336	2.3	—	9.5	3.71	4060	483	6.41	1190	177	3.47	603	274
305	2.4	—	10.0	3.67	3550	435	6.29	1050	159	3.42	537	244
279	2.7	—	10.4	3.64	3110	393	6.16	937	143	3.38	481	220
252	2.9	—	11.0	3.59	2720	353	6.06	828	127	3.34	428	196
230	3.1	—	11.7	3.56	2420	321	5.97	742	115	3.31	386	177
210	3.4	—	12.5	3.53	2140	292	5.89	664	104	3.28	348	159
190	3.7	—	13.6	3.50	1890	263	5.82	589	93.0	3.25	311	143
170	4.0	—	14.6	3.47	1650	235	5.74	517	82.3	3.22	275	126
152	4.5	—	15.8	3.44	1430	209	5.66	454	72.8	3.19	243	111
136	5.0	—	17.0	3.41	1240	186	5.58	398	64.2	3.16	214	98.0
120	5.6	—	18.5	3.38	1070	163	5.51	345	56.0	3.13	186	85.4
106	6.2	—	21.1	3.36	933	145	5.47	301	49.3	3.11	164	75.1
96	6.8	—	23.3	3.34	833	131	5.44	270	44.4	3.09	147	67.5
87	7.5	—	24.3	3.32	740	118	5.38	241	39.7	3.07	132	60.4
79	8.2	62.6	26.3	3.31	662	107	5.34	216	35.8	3.05	119	54.3
72	9.0	52.3	28.5	3.29	597	97.4	5.31	195	32.4	3.04	108	49.2
65	9.9	43.0	31.1	3.28	533	87.9	5.28	174	29.1	3.02	96.8	44.1
58	7.8	—	33.9	3.28	475	78.0	5.28	157	25.4	2.98	86.4	39.5
53	8.7	55.9	35.0	3.27	425	70.6	5.23	142	22.4	2.94	77.9	35.1
50	6.3	—	32.9	3.27	394	64.7	5.18	129	19.9	2.91	72.4	32.4
45	7.0	—	36.0	3.26	350	58.1	5.15	116	17.4	2.87	64.7	29.0
40	7.8	—	40.5	3.25	310	51.9	5.13	104	15.0	2.84	57.5	26.6
35	6.3	—	41.7	3.24	285	45.6	5.25	92	12.9	2.81	51.2	24.1
30	7.4	—	47.5	3.23	238	38.6	5.21	80	11.1	2.78	43.1	21.6
26	8.5	57.9	53.1	3.23	204	33.4	5.17	70	9.6	2.75	37.2	19.1
22	4.7	—	47.3	3.22	156	25.4	4.91	56	7.7	2.72	29.3	16.6
19	5.7	—	51.7	3.21	130	21.3	4.82	47	6.6	2.69	24.7	14.1
16	7.5	—	54.5	3.20	103	17.1	4.67	39	5.5	2.66	20.1	11.6
14	8.8	54.3	59.6	3.19	86	14.9	4.62	33	4.6	2.63	17.4	9.9

### W SHAPES Dimensions



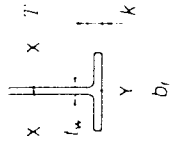
Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance			
			Thickness $t_w$	$\frac{L_w}{2}$	Width $b_1$	Thickness $t_f$	$\gamma$	k	$k_1$	
W 10x112	32.9	11.36	11%	3/8	10.415	1.250	7%	1/4	1/8	1/8
x 100	29.4	11.10	11 1/2%	3/8	10.340	1.120	7%	1/4	1/8	1/8
x 88	25.9	10.84	10%	3/8	10.265	0.990	7%	1/4	1/8	1/8
x 77	22.6	10.60	10%	3/8	10.190	0.870	7%	1/4	1/8	1/8
x 68	20.0	10.40	10%	3/8	10.130	0.770	7%	1/4	1/8	1/8
x 60	17.6	10.22	10 1/4%	3/8	10.080	0.680	7%	1/4	1/8	1/8
x 54	15.8	10.09	10%	3/8	10.030	0.615	7%	1/4	1/8	1/8
x 49	14.4	9.98	10	3/8	10.000	0.560	7%	1/4	1/8	1/8
W 10x45	13.3	10.10	10 1/4%	3/8	8.020	0.620	7%	1/4	1/8	1/8
x 39	11.5	9.92	9 3/4%	3/8	7.985	0.530	7%	1/4	1/8	1/8
x 33	9.71	9.73	9%	3/8	7.960	0.435	7%	1/4	1/8	1/8
W 10x30	8.84	10.47	10 1/2%	3/8	5.810	0.510	8%	1/4	1/8	1/8
x 26	7.81	10.33	10%	3/8	5.770	0.440	8%	1/4	1/8	1/8
x 22	6.49	10.17	10%	3/8	5.750	0.360	8%	1/4	1/8	1/8
W 10x19	5.62	10.24	10 1/4%	3/8	4.020	0.395	8%	1/4	1/8	1/8
x 17	4.99	10.11	10%	3/8	4.010	0.330	8%	1/4	1/8	1/8
x 15	4.41	9.99	10	3/8	4.000	0.270	8%	1/4	1/8	1/8
x 12	3.54	9.87	9 3/4%	3/8	3.960	0.210	8%	1/4	1/8	1/8

### W SHAPES Properties

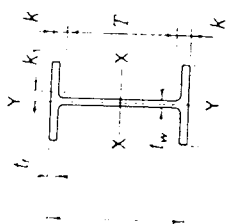


Nominal Wt. per Ft	Lb.	Compact Section Criteria			Elastic Properties						Plastic Modulus	
		$\frac{b_f}{2t_f}$	$F_y$	$\frac{d}{t_w}$	Axis X-X			Axis Y-Y			$Z_x$	$Z_y$
					$I$	$S$	$r$	$I$	$S$	$r$		
112	42	—	15.0	—	126	4.66	236	45.3	2.68	147	69.2	
100	46	—	16.3	—	112	4.60	207	40.0	2.65	130	61.0	
88	5.2	—	17.9	—	98.5	4.54	179	34.8	2.63	113	53.1	
77	5.9	—	20.0	—	85.9	4.49	154	30.1	2.60	97.6	45.9	
68	6.6	—	22.1	—	75.7	4.44	134	26.4	2.59	85.3	40.1	
60	7.4	—	24.3	—	66.7	4.39	116	23.0	2.57	74.6	35.0	
54	8.2	63.5	27.3	—	60.0	4.37	103	20.6	2.56	66.6	31.3	
49	8.9	53.0	29.4	—	54.6	4.35	93.4	18.7	2.54	60.4	28.3	
45	6.5	—	28.9	—	49.1	4.32	83.4	13.3	2.01	54.9	20.3	
39	7.5	—	31.5	—	42.1	4.27	45.0	11.3	1.98	46.8	17.2	
33	9.1	50.5	33.6	58.7	35.0	4.19	36.6	9.20	1.94	38.8	14.0	
30	5.7	—	34.9	54.2	32.4	4.38	16.7	5.75	1.37	36.6	8.84	
26	6.6	—	39.7	41.8	27.9	4.35	14.1	4.89	1.36	31.3	7.50	
22	8.0	—	42.4	36.8	23.2	4.27	11.4	3.97	1.33	26.0	6.10	
19	5.1	—	41.0	39.4	18.8	4.14	4.29	2.14	0.874	21.6	3.35	
17	6.1	—	42.1	37.2	16.2	4.05	3.56	1.78	0.844	18.7	2.80	
15	7.4	—	43.4	35.0	13.8	3.95	2.89	1.45	0.810	16.0	2.30	
12	9.4	47.5	51.9	24.5	10.9	3.90	2.18	1.10	0.785	12.6	1.74	

### W SHAPES Dimensions

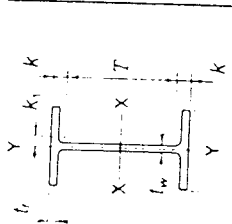


Designation	Area A	Depth d	Web		Flange		Distance k
			Thickness t_w	$\frac{t_w}{2}$	Width b_f	Thickness t_f	
W 8 x 67	19.7	9.00	0.570	3/16	8 1/4	0.935	1 1/16
x58	17.1	8.75	0.510	1/2	8 1/4	0.810	1 1/16
x48	14.1	8.50	0.400	3/8	8 1/4	0.685	1 1/16
x40	11.7	8.25	0.360	3/8	8 1/4	0.560	1 1/16
x35	10.3	8.12	0.310	3/8	8 1/4	0.495	1 1/16
x31	9.13	8.00	0.285	3/8	8 1/4	0.435	1 1/16
W 8 x 28	8.25	8.06	0.285	3/16	6 1/2	0.465	1 1/16
x24	7.08	7.93	0.245	1/2	6 1/2	0.400	1 1/16
W 8 x 21	6.16	8.28	0.250	1/2	5 1/4	0.400	1 1/16
x18	5.26	8.14	0.230	1/2	5 1/4	0.330	1 1/16
W 8 x 15	4.44	8.11	0.245	1/2	4 1/2	0.315	1 1/16
x13	3.84	7.99	0.230	1/2	4 1/2	0.255	1 1/16
x10	2.96	7.89	0.170	3/16	4 1/2	0.205	1 1/16
W 6 x 25	7.34	6.38	0.320	3/16	6 1/4	0.455	1 1/16
x20	5.87	6.20	0.260	1/2	6 1/4	0.365	1 1/16
x15	4.43	5.99	0.230	1/2	6 1/4	0.260	1 1/16
W 6 x 16	4.74	6.28	0.260	1/2	4 1/2	0.405	1 1/16
x12	3.55	6.03	0.230	1/2	4 1/2	0.280	1 1/16
x9	2.68	5.90	0.170	3/16	4 1/2	0.215	1 1/16
W 5 x 19	5.54	5.15	0.270	1/2	5	0.430	1 1/16
x16	4.68	5.01	0.240	1/2	5	0.360	1 1/16
W 4 x 13	3.83	4.16	0.280	1/2	4	0.345	1 1/16



M SHAPES  
Dimensions

Designation	Area A In. <sup>2</sup>	Depth d In.	Web		Flange		Distance		Max. Fibre Tension	
			Thickness t <sub>w</sub> In.	t <sub>w</sub> /2 In.	Width b <sub>f</sub> In.	Thickness t <sub>f</sub> In.	T In.	k In.		
M 14x18	5.10	14.00	0.215	3/8	4.000	0.270	1/4	12 3/4	3/8	1/4
M 12x11.8	3.47	12.00	0.177	3/8	3.065	0.225	1/4	10 7/8	9/16	1/4
M 12x10.8	3.18	11.97	0.160	3/8	3.065	0.210	1/4	11	1/2	1/4
M 12x10	2.94	11.97	0.149	3/8	3.250	0.180	3/16	11	1/2	3/16
M 10x9	2.65	10.00	0.157	3/8	2.690	0.206	3/16	8 3/8	9/16	3/16
M 10x8	2.35	9.95	0.141	3/8	2.690	0.182	3/16	9 7/8	7/16	3/16
M 10x7.5	2.21	9.99	0.130	3/8	2.690	0.173	3/16	9 7/8	7/16	3/16
M 8x6.5	1.92	8.00	0.135	1/2	2.281	0.189	3/16	7	1/2	3/16
M 6x4.4	1.29	6.00	0.114	1/2	1.844	0.171	1/8	5 1/8	7/16	3/16
M 5x18.9	5.55	5.00	0.316	3/8	5.003	0.416	1/2	3 1/2	3/8	1/4



W SHAPES  
Properties

Nominal Wt. per Ft Lb.	Compact Section Criteria				Elastic Properties						Plastic Modulus	
	b <sub>f</sub> /2t <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> /F <sub>w</sub>	d/t <sub>w</sub>	F <sub>w</sub> /K <sub>s</sub>	Axis X-X			Axis Y-Y			Z <sub>x</sub> In. <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub> In. <sup>3</sup>
					I In. <sup>4</sup>	S In. <sup>3</sup>	r In.	I In. <sup>4</sup>	S In. <sup>3</sup>	r In.		
67	4.4	—	158	—	272	60.4	3.72	88.6	21.4	2.12	70.2	32.7
58	5.1	—	172	—	228	52.0	3.65	75.1	18.3	2.10	59.8	27.9
48	5.9	—	21.3	—	184	43.3	3.61	60.9	15.0	2.08	49.0	22.9
40	7.2	—	22.9	—	146	35.5	3.53	49.1	12.2	2.04	39.8	18.5
35	8.1	64.4	26.2	—	127	31.2	3.51	42.6	10.6	2.03	34.7	16.1
31	9.2	50.0	28.1	—	110	27.5	3.47	37.1	9.27	2.02	30.4	14.1
28	7.0	—	28.3	—	98.0	24.3	3.45	21.7	6.63	1.62	27.2	10.1
24	8.1	64.1	32.4	63.0	82.8	20.9	3.42	18.3	5.63	1.61	23.2	8.57
21	6.6	—	33.1	60.2	75.3	18.2	3.49	9.77	3.71	1.26	20.4	5.69
18	8.0	—	35.4	52.7	61.9	15.2	3.43	7.97	3.04	1.23	17.0	4.66
15	6.4	—	33.1	60.3	48.0	11.8	3.29	3.41	1.70	0.876	13.6	2.67
13	7.8	—	34.7	54.7	39.6	9.91	3.21	2.73	1.37	0.843	11.4	2.15
10	9.6	45.8	46.4	30.7	30.8	7.81	3.22	2.09	1.06	0.841	8.87	1.66
25	6.7	—	19.9	—	53.4	16.7	2.70	17.1	5.61	1.52	18.9	8.56
20	8.2	62.1	23.8	—	41.4	13.4	2.66	13.3	4.41	1.50	14.9	6.72
15	11.5	31.8	26.0	—	29.1	9.72	2.56	9.32	3.11	1.46	10.8	4.75
16	5.0	—	24.2	—	32.1	10.2	2.60	4.43	2.20	0.966	11.7	3.39
12	7.1	—	26.2	—	22.1	7.31	2.49	2.93	1.50	0.918	8.30	2.32
9	9.2	50.3	34.7	54.8	16.4	5.56	2.47	2.19	1.11	0.905	6.23	1.72
19	5.8	—	19.1	—	26.2	10.2	2.17	9.13	3.63	1.28	11.6	5.53
16	6.9	—	20.9	—	21.3	8.51	2.13	7.51	3.00	1.27	9.59	4.57
13	5.9	—	14.9	—	11.3	5.46	1.72	3.86	1.90	1.00	6.28	2.92

$F_y = 36.0 \text{ KSI}$

Main and Secondary Members $Kl/r$ not over 120				Main Members $Kl/r$ 121 to 200				Secondary Members* $l/r$ 121 to 200					
$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$l/r$	$F_{as}$ (ksi)	$l/r$	$F_{as}$ (ksi)	$l/r$	$F_{as}$ (ksi)
1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76	121	10.19	161	7.25
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69	122	10.09	162	7.20
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62	123	10.00	163	7.16
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55	124	9.90	164	7.12
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49	125	9.80	165	7.08
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42	126	9.70	166	7.04
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35	127	9.59	167	7.00
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29	128	9.49	168	6.96
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23	129	9.40	169	6.93
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	130	9.30	170	6.89
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	131	9.21	171	6.85
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	132	9.12	172	6.82
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	133	9.03	173	6.79
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	134	8.94	174	6.76
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	135	8.86	175	6.73
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	136	8.78	176	6.70
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	137	8.70	177	6.67
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	138	8.62	178	6.64
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	139	8.54	179	6.61
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	140	8.47	180	6.58
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	141	8.39	181	6.56
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	142	8.32	182	6.53
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	143	8.25	183	6.51
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	144	8.18	184	6.49
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	145	8.12	185	6.46
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32	146	8.05	186	6.44
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27	147	7.99	187	6.42
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23	148	7.93	188	6.40
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18	149	7.87	189	6.38
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14	150	7.81	190	6.36
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09	151	7.75	191	6.35
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05	152	7.69	192	6.33
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01	153	7.64	193	6.31
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97	154	7.59	194	6.30
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93	155	7.53	195	6.28
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89	156	7.48	196	6.27
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85	157	7.43	197	6.26
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81	158	7.39	198	6.24
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77	159	7.34	199	6.23
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73	160	7.29	200	6.22

\*  $K$  taken as 1.0 for secondary members.

$F_y = 50.0 \text{ KSI}$

Main and Secondary Members $Kl/r$ not over 120				Main Members $Kl/r$ 121 to 200				Secondary Members* $l/r$ 121 to 200					
$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$Kl/r$	$F_a$ (ksi)	$l/r$	$F_{as}$ (ksi)	$l/r$	$F_{as}$ (ksi)	$l/r$	$F_{as}$ (ksi)
1	29.94	41	25.69	81	18.81	121	10.20	161	5.76	121	10.25	161	7.25
2	29.87	42	25.55	82	18.61	122	10.03	162	5.69	122	10.13	162	7.20
3	29.80	43	25.40	83	18.41	123	9.87	163	5.62	123	10.02	163	7.16
4	29.73	44	25.26	84	18.20	124	9.71	164	5.55	124	9.91	164	7.12
5	29.66	45	25.11	85	17.99	125	9.56	165	5.49	125	9.80	165	7.08
6	29.58	46	24.96	86	17.79	126	9.41	166	5.42	126	9.70	166	7.04
7	29.50	47	24.81	87	17.58	127	9.26	167	5.35	127	9.59	167	7.00
8	29.42	48	24.66	88	17.37	128	9.11	168	5.29	128	9.49	168	6.96
9	29.34	49	24.51	89	17.15	129	8.97	169	5.23	129	9.40	169	6.93
10	29.26	50	24.35	90	16.94	130	8.84	170	5.17	130	9.30	170	6.89
11	29.17	51	24.19	91	16.72	131	8.70	171	5.11	131	9.21	171	6.85
12	29.08	52	24.04	92	16.50	132	8.57	172	5.05	132	9.12	172	6.82
13	28.99	53	23.88	93	16.29	133	8.44	173	4.99	133	9.03	173	6.79
14	28.90	54	23.72	94	16.06	134	8.32	174	4.93	134	8.94	174	6.76
15	28.80	55	23.55	95	15.84	135	8.19	175	4.88	135	8.86	175	6.73
16	28.71	56	23.39	96	15.62	136	8.07	176	4.82	136	8.78	176	6.70
17	28.61	57	23.22	97	15.39	137	7.96	177	4.77	137	8.70	177	6.67
18	28.51	58	23.06	98	15.17	138	7.84	178	4.71	138	8.62	178	6.64
19	28.40	59	22.89	99	14.94	139	7.73	179	4.66	139	8.54	179	6.61
20	28.30	60	22.72	100	14.71	140	7.62	180	4.61	140	8.47	180	6.58
21	28.19	61	22.55	101	14.47	141	7.51	181	4.56	141	8.39	181	6.56
22	28.08	62	22.37	102	14.24	142	7.41	182	4.51	142	8.32	182	6.53
23	27.97	63	22.20	103	14.00	143	7.30	183	4.46	143	8.25	183	6.51
24	27.86	64	22.02	104	13.77	144	7.20	184	4.41	144	8.18	184	6.49
25	27.75	65	21.85	105	13.53	145	7.10	185	4.36	145	8.12	185	6.46
26	27.63	66	21.67	106	13.29	146	7.01	186	4.32	146	8.05	186	6.44
27	27.52	67	21.49	107	13.04	147	6.91	187	4.27	147	7.99	187	6.42
28	27.40	68	21.31	108	12.80	148	6.82	188	4.23	148	7.93	188	6.40
29	27.28	69	21.12	109	12.57	149	6.73	189	4.18	149	7.87	189	6.38
30	27.15	70	20.94	110	12.34	150	6.64	190	4.14	150	7.81	190	6.36
31	27.03	71	20.75	111	12.12	151	6.55	191	4.09	151	7.75	191	6.35
32	26.90	72	20.56	112	11.90	152	6.46	192	4.05	152	7.69	192	6.33
33	26.77	73	20.38	113	11.69	153	6.38	193	4.01	153	7.64	193	6.31
34	26.64	74	20.19	114	11.49	154	6.30	194	3.97	154	7.59	194	6.30
35	26.51	75	19.99	115	11.29	155	6.22	195	3.93	155	7.53	195	6.28
36	26.38	76	19.80	116	11.10	156	6.14	196	3.89	156	7.48	196	6.27
37	26.25	77	19.61	117	10.91	157	6.06	197	3.85	157	7.43	197	6.26
38	26.11	78	19.41	118	10.72	158	5.98	198	3.81	158	7.39	198	6.24
39	25.97	79	19.21	119	10.55	159	5.91	199	3.77	159	7.34	199	6.23
40	25.83	80	19.01	120	10.37	160	5.83	200	3.73	160	7.29	200	6.22

\*  $K$  taken as 1.0 for secondary members.

# APPENDIX D

## Plastic Design Selection Tables

# APPENDIX C

## Elastic Design Euler Stress Values $F'_e$ for Compression Members

### ALL GRADES OF STEEL

$\frac{Kl_e}{r_b}$	$F'_e$ (ksi)	$\frac{Kl_e}{r_b}$	$F'_e$ (ksi)	$\frac{Kl_e}{r_b}$	$F'_e$ (ksi)	$\frac{Kl_e}{r_b}$	$F'_e$ (ksi)	$\frac{Kl_e}{r_b}$	$F'_e$ (ksi)	$\frac{Kl_e}{r_b}$	$F'_e$ (ksi)
21	338.62	51	57.41	81	22.76	111	12.12	141	7.51	171	5.11
22	308.54	52	55.23	82	22.21	112	11.90	142	7.41	172	5.05
23	282.29	53	53.16	83	21.68	113	11.69	143	7.30	173	4.99
24	259.26	54	51.21	84	21.16	114	11.49	144	7.20	174	4.93
25	238.93	55	49.37	85	20.67	115	11.29	145	7.10	175	4.88
26	220.90	56	47.62	86	20.19	116	11.10	146	7.01	176	4.82
27	204.84	57	45.96	87	19.73	117	10.91	147	6.91	177	4.77
28	190.47	58	44.39	88	19.28	118	10.72	148	6.82	178	4.71
29	177.56	59	42.90	89	18.85	119	10.55	149	6.73	179	4.66
30	165.92	60	41.48	90	18.44	120	10.37	150	6.64	180	4.61
31	155.39	61	40.13	91	18.03	121	10.20	151	6.55	181	4.56
32	145.83	62	38.85	92	17.64	122	10.03	152	6.46	182	4.51
33	137.13	63	37.62	93	17.27	123	9.87	153	6.38	183	4.46
34	129.18	64	36.46	94	16.90	124	9.71	154	6.30	184	4.41
35	121.90	65	35.34	95	16.55	125	9.56	155	6.22	185	4.36
36	115.22	66	34.28	96	16.20	126	94.1	156	6.14	186	4.32
37	109.08	67	33.27	97	15.87	127	9.26	157	6.06	187	4.27
38	103.42	68	32.28	98	15.55	128	9.11	158	5.98	188	4.23
39	98.18	69	31.37	99	15.24	129	8.97	159	5.91	189	4.18
40	93.33	70	30.48	100	14.93	130	8.84	160	5.83	190	4.14
41	88.83	71	29.62	101	14.64	131	8.70	161	5.76	191	4.09
42	84.65	72	28.81	102	14.35	132	8.57	162	5.69	192	4.05
43	80.76	73	28.02	103	14.08	133	8.44	163	5.62	193	4.01
44	77.13	74	27.27	104	13.81	134	8.32	164	5.55	194	3.97
45	73.74	75	26.55	105	13.54	135	8.19	165	5.49	195	3.93
46	70.57	76	25.85	106	13.29	136	8.07	166	5.42	196	3.89
47	67.60	77	25.19	107	13.04	137	7.96	167	5.35	197	3.85
48	64.81	78	24.54	108	12.80	138	7.84	168	5.29	198	3.81
49	62.20	79	23.93	109	12.57	139	7.73	169	5.23	199	3.77
50	59.73	80	23.33	110	12.34	140	7.62	170	5.17	200	3.73



Z <sub>1</sub> In.	Shape	A In. <sup>2</sup>	d t <sub>w</sub>	r <sub>x</sub> In.	r <sub>y</sub> In.	F <sub>y</sub> = 36 ksi		F <sub>y</sub> = 50 ksi	
						M <sub>p</sub> Kip-ft.	P <sub>y</sub> Kips	M <sub>p</sub> Kip-ft.	P <sub>y</sub> Kips
1660	W 14 X 730	215	7.31	8.18	4.69	4980	7740	6360	9890
1480	W 14 X 665	196	7.67	7.99	4.62	4440	7060	5670	9020
1320	W 14 X 605	178	8.06	7.81	4.55	3960	6410	5060	8190
1260	W 36 X 300	88.3	38.9	15.2	3.83	3780	3180	5250	4420
1180	W 14 X 550	162	8.49	7.64	4.49	3540	5830	4920	8100
1170	W 36 X 280	82.4	41.2	15.1	3.81	3510	2970	4880	4120
1080	W 36 X 260	76.5	43.1	15.0	3.77	3240	2750	4500	3830
1050	W 14 X 500	147	8.97	7.49	4.43	3150	5290	4380	7350
1010	W 36 X 245	72.1	45.0	15.0	3.75	3030	2600	4210	3610
943	W 36 X 230	67.7	47.1	14.9	3.73	2830	2440	3930	3390
938	W 14 X 455	134	9.49	7.35	4.37	2810	4820	3910	6700
919	W 33 X 240	70.6	40.4	13.9	3.64	2760	2540	3830	3530
869	W 14 X 426	125	9.97	7.26	4.34	2610	4500	3620	6250
838	W 33 X 220	64.8	42.9	13.8	3.60	2510	2330	3490	3240
802	W 14 X 398	117	10.3	7.17	4.31	2410	4210	3340	5850
768	W 36 X 194	57.2	47.4	14.6	2.56	2300	2060	3200	2860
756	W 33 X 200	58.9	46.2	13.7	3.57	2270	2120	3150	2950
737	W 14 X 370	109	10.8	7.08	4.27	2210	3920	3070	5450
735	W 30 X 210	61.9	39.2	12.6	3.50	2210	2230	3060	3100
718	W 36 X 182	53.6	50.1	14.5	2.55	2150	1930	2990	2680
673	W 14 X 342	101	11.4	6.99	4.24	2020	3640	2800	5050
668	W 36 X 170	50.0	53.2	14.5	2.53	2000	1800	2780	2500
661	W 30 X 190	56.0	42.4	12.6	3.47	1980	2020	2750	2800
625	W 36 X 160	47.1	55.1	14.4	2.50	1880	1700	2600	2360
611	W 14 X 314	92.3	12.1	6.90	4.20	1830	3320	2950	4620
594	W 30 X 172	50.7	45.6	12.5	3.43	1780	1830	2480	2540
592	W 14 X 320	94.1	8.89	6.63	4.17	1780	3390	2470	4710
581	W 36 X 150	44.2	57.3	14.3	2.47	1740	1590	2420	2210
569	W 33 X 152	44.8	52.8	13.5	2.47	1680	1610	2330	2240
557	W 27 X 177	52.2	37.7	11.4	3.26	1670	1880	2320	2610
551	W 14 X 287	84.4	12.8	6.81	4.17	1650	3040	2300	4220
514	W 33 X 141	41.6	55.1	13.4	2.43	1540	1500	2140	2080

\* Check shape for compliance with Formulas (2.7-1a) or (2.7-1b), Section 2.7, AISC Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.  
 a Values of M<sub>p</sub> and P<sub>y</sub> for these shapes computed on the basis of F<sub>y</sub> = 46 ksi.

Z <sub>2</sub> In.	Shape	A In. <sup>2</sup>	d t <sub>w</sub>	r <sub>x</sub> In.	r <sub>y</sub> In.	F <sub>y</sub> = 36 ksi		F <sub>y</sub> = 50 ksi	
						M <sub>p</sub> Kip-ft.	P <sub>y</sub> Kips	M <sub>p</sub> Kip-ft.	P <sub>y</sub> Kips
510	W 36 X 135	39.8	59.4	14.0	2.39	1530	1430	—	—
502	W 14 X 264	77.6	13.7	6.74	4.14	1510	2790	2090	3880
501	W 27 X 160	47.1	41.2	11.3	3.24	1500	1700	2090	2360
467	W 33 X 130	38.3	57.1	13.2	2.38	1400	1380	1950	1920
465	W 24 X 160	47.1	37.7	10.4	3.35	1400	1700	1940	2360
464	W 14 X 246	72.5	14.4	6.68	4.12	1390	2600	1930	3620
453	W 27 X 145	42.7	44.8	11.3	3.22	1360	1540	—	—
445	W 14 X 237	69.7	14.8	6.65	4.11	1340	2510	1850	3490
437	W 30 X 132	38.9	49.3	12.2	2.25	1310	1400	1820	1950
427	W 14 X 228	67.1	15.3	6.62	4.10	1280	2420	1780	3360
417	W 24 X 145	42.7	40.3	10.3	3.32	1250	1540	1740	2140
415	W 33 X 118	34.8	59.3	13.0	2.32	1250	1250	—	—
408	W 30 X 124	36.5	51.6	12.1	2.23	1220	1310	—	1830
408	W 14 X 219	64.4	15.8	6.59	4.08	1220	2320	1700	3220
391	W 14 X 211	62.1	16.1	6.56	4.07	1170	2240	1630	3110
378	W 30 X 116	34.2	53.2	12.0	2.19	1130	1230	1580	1710
373	W 14 X 202	59.4	16.8	6.54	4.06	1120	2140	1550	2970
370	W 24 X 130	38.3	42.9	10.2	3.28	1110	1380	—	—
357	W 21 X 142	41.8	32.6	9.03	3.15	1070	1500	1490	2090
355	W 14 X 193	56.7	17.4	6.51	4.05	1070	2040	1480	2840
346	W 30 X 108	31.8	54.4	11.9	2.15	1040	1140	1440	1590
343	W 27 X 114	33.6	47.9	11.0	2.18	1030	1210	1430	1680
338	W 24 X 120	35.4	43.7	10.2	2.78	1010	1270	1410	1770
338	W 14 X 184	54.1	18.3	6.49	4.04	1010	1950	1410	2710
321	W 14 X 176	51.7	18.6	6.45	4.02	963	1860	1340	2590
318	W 21 X 127	37.4	36.1	8.99	3.13	954	1350	1330	1870
313	W 30 X 99	29.1	56.8	11.7	2.10	939	1050	—	—
311	W 12 X 190	55.9	13.6	5.82	3.25	933	2010	1300	2800
309	W 24 X 110	32.5	47.4	10.1	2.77	927	1170	1290	1630
305	W 27 X 102	30.0	52.3	11.0	2.15	915	1080	1270	1500
303	W 14 X 167	49.1	19.4	6.42	4.01	909	1770	1260	2460
299	S 24 X 120	35.3	30.1	9.26	1.54	897	1270	1250	1770
286	W 14 X 158	46.5	20.5	6.40	4.00	858	1670	1190	2330
280	W 24 X 100	29.5	51.3	10.1	2.75	840	1060	—	—
278	W 27 X 94	27.7	54.9	10.9	2.12	834	997	1160	1390
278	W 21 X 112	33.0	39.8	8.92	3.10	834	1190	1140	1560
274	S 24 X 105.9	31.1	38.4	9.53	1.58	822	1120	1130	2210
270	W 14 X 150	44.1	21.4	6.37	3.99	810	1590	1130	2370
259	W 12 X 161	47.4	15.3	5.70	3.20	777	1710	1080	2370
255	W 14 X 142	41.8	21.7	6.32	3.97	765	1500	—	—

\* Check shape for compliance with Formulas (2.7-1a) or (2.7-1b), Section 2.7, AISC Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

Z <sub>x</sub>	In. <sup>3</sup>	Shape	A	d	t <sub>w</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	F <sub>y</sub> = 36 ksi		F <sub>y</sub> = 50 ksi	
								M <sub>p</sub>	P <sub>y</sub>	M <sub>p</sub>	P <sub>y</sub>
253	27.7	W 24 X 94	27.7	47.1	9.86	1.98	759	• 997	1050	• 1390	
248	33.5	W 18 X 114	33.5	31.1	7.79	2.86	744	1210	1030	1680	
244	24.8	W 27 X 84	24.8	57.6	10.7	2.06	732	• 893	—	—	
243	40.0	W 14 X 136	40.0	22.3	6.31	3.77	729	1440	1010	2000	
240	29.4	S 24 X 100	29.4	32.1	9.01	1.27	720	1060	1000	1470	
227	28.3	W 21 X 96	28.3	36.8	8.61	2.02	681	1020	946	• 1420	
227	30.9	W 18 X 105	30.9	33.1	7.75	2.84	681	1110	946	1550	
226	37.3	W 14 X 127	37.3	24.0	6.29	3.76	678	1340	—	—	
224	24.7	W 24 X 84	24.7	51.3	9.79	1.95	672	• 889	933	• 1240	
222	26.5	S 24 X 90	26.5	38.5	9.22	1.30	666	954	925	• 1330	
211	35.0	W 14 X 119	35.0	25.4	6.26	3.75	633	1260	—	—	
210	39.1	W 12 X 133	39.1	17.7	5.59	3.16	630	1410	875	1960	
206	28.2	W 18 X 96	28.2	35.5	7.70	2.82	618	1020	—	—	
205	23.5	S 24 X 79.9	23.5	47.9	9.47	1.34	615	• 846	854	• 1180	
201	22.4	W 24 X 76	22.4	54.3	9.69	1.92	603	• 806	838	• 1120	
196	32.7	W 14 X 111	32.7	26.6	6.23	3.73	588	1180	—	—	
194	27.9	S 20 X 95	27.9	25.0	7.60	1.33	582	1000	808	1400	
192	24.2	W 21 X 82	24.2	41.8	8.53	1.99	576	871	800	• 1210	
186	28.2	W 16 X 96	28.2	30.5	6.93	2.82	568	1020	775	1410	
186	35.3	W 12 X 120	35.3	18.5	5.51	3.13	558	1270	775	1770	
179	25.0	S 20 X 85	25.0	30.6	7.79	1.36	537	900	746	1250	
178	25.0	W 18 X 85	25.0	34.8	7.57	2.05	534	900	742	1250	
176	20.0	W 24 X 68	20.0	57.0	9.53	1.87	528	• 720	—	—	
172	21.5	W 21 X 73	21.5	46.7	8.64	1.81	516	• 774	717	• 1080	
169	25.9	W 16 X 85	25.9	32.1	6.87	2.79	507	932	—	—	
164	31.2	W 12 X 106	31.2	20.8	5.46	3.11	492	1120	683	1560	
161	22.7	W 18 X 77	22.7	38.2	7.54	2.04	483	817	671	• 1140	
160	20.0	W 21 X 68	20.0	49.1	8.60	1.80	480	• 720	667	• 1000	
153	22.1	S 20 X 75	22.1	31.2	7.60	1.16	459	796	638	1110	
152	18.0	W 24 X 61	18.0	56.6	9.25	1.38	456	• 648	633	• 900	
152	29.1	W 12 X 99	29.1	21.9	5.43	3.09	456	1050	633	1460	
148	32.9	W 10 X 112	32.9	15.1	4.67	2.67	444	1180	617	1650	
146	30.9	W 16 X 78	30.9	30.9	6.75	2.01	438	828	608	1150	
145	20.6	W 18 X 70	20.6	41.1	7.50	2.02	435	742	604	• 1030	
145	24.7	W 14 X 84	24.7	31.4	6.13	3.02	435	889	—	—	
144	18.3	W 21 X 62	18.3	52.5	8.54	1.77	432	• 659	600	• 915	
140	27.1	W 12 X 92	27.1	23.2	5.40	3.08	420	976	—	—	
138	19.2	S 20 X 65.4	19.2	40.0	7.84	1.19	414	691	575	• 960	

• Check shape for compliance with Formulas (2.7.1a) or (2.7.1b), Section 2.7, AISC Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

Z <sub>x</sub>	In. <sup>3</sup>	Shape	A	d	t <sub>w</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	F <sub>y</sub> = 36 ksi		F <sub>y</sub> = 50 ksi	
								M <sub>p</sub>	P <sub>y</sub>	M <sub>p</sub>	P <sub>y</sub>
134	16.2	W 24 X 55	16.2	59.5	9.10	1.34	402	• 583	—	—	
134	22.9	W 14 X 78	22.9	32.9	6.09	3.00	402	824	—	—	
132	18.9	W 18 X 64	18.9	44.3	7.46	2.00	396	• 680	550	• 945	
132	20.9	W 16 X 71	20.9	33.3	6.71	1.99	390	752	550	1050	
130	29.4	W 10 X 100	29.4	16.2	4.61	2.65	390	1060	542	1470	
129	25.0	W 12 X 85	25.0	25.3	5.38	3.07	387	900	—	—	
126	16.2	W 21 X 55	16.2	55.5	8.40	1.73	378	• 583	—	—	
126	21.8	W 14 X 74	21.8	31.5	6.05	2.48	378	785	525	1090	
125	20.6	S 18 X 70	20.6	25.3	6.71	1.08	375	742	521	1030	
123	17.7	W 18 X 60	17.7	43.9	7.47	1.68	369	• 637	513	• 885	
119	23.2	W 12 X 79	23.2	26.3	5.34	3.05	357	835	—	—	
118	18.8	W 16 X 64	18.8	36.1	6.66	1.97	354	677	492	940	
115	20.0	W 14 X 68	20.0	33.6	6.02	2.46	345	720	479	1000	
114	26.2	W 10 X 89	26.2	17.7	4.55	2.63	342	943	475	1310	
112	16.2	W 18 X 55	16.2	46.5	7.42	1.67	336	• 583	467	• 810	
108	14.4	W 21 X 49	14.4	56.6	8.21	1.31	324	• 518	450	• 720	
106	17.1	W 16 X 58	17.1	39.0	6.62	1.96	318	616	442	• 855	
105	16.1	S 18 X 54.7	16.1	39.0	7.07	1.14	315	580	438	• 805	
102	17.9	W 14 X 61	17.9	36.8	5.98	2.45	306	644	—	—	
101	14.7	W 18 X 50	14.7	50.3	7.38	1.65	303	• 529	421	• 735	
97.8	22.7	W 10 X 77	22.7	19.9	4.49	2.60	293	817	408	1140	
95.3	13.0	W 21 X 44	13.0	59.4	8.07	1.27	286	• 468	—	—	
91.8	14.7	W 16 X 50	14.7	42.8	6.68	1.59	275	529	383	• 735	
90.6	21.2	W 10 X 72	21.2	20.6	4.46	2.59	272	763	378	1060	
89.7	13.2	W 18 X 45	13.2	53.3	7.30	1.62	269	• 475	—	—	
87.1	15.6	W 14 X 53	15.6	37.7	5.90	1.92	261	562	363	• 780	
86.5	17.1	W 12 X 58	17.1	34.0	5.28	2.51	260	616	—	—	
82.8	19.4	W 10 X 66	19.4	22.7	4.44	2.58	248	698	345	970	
82.1	13.3	W 16 X 45	13.3	46.6	6.64	1.57	246	• 479	342	• 665	
78.4	11.8	W 18 X 40	11.8	56.6	7.21	1.27	235	• 425	327	• 590	
78.4	14.1	W 14 X 48	14.1	40.7	5.86	1.91	235	508	327	• 705	
77.1	14.7	S 15 X 50	14.7	27.3	5.75	1.03	231	529	321	735	
75.0	17.7	W 10 X 60	17.7	24.7	4.41	2.57	225	637	—	—	
72.8	11.8	W 16 X 40	11.8	52.1	6.62	1.56	218	• 425	303	• 590	
72.5	14.7	W 12 X 50	14.7	32.9	5.18	1.96	218	529	302	735	
70.2	19.7	W 8 X 67	19.7	15.7	3.71	2.12	211	709	293	965	
69.7	12.6	W 14 X 43	12.6	44.4	5.82	1.89	209	• 454	—	—	
69.3	12.6	S 15 X 42.9	12.6	36.5	5.95	1.07	208	454	289	• 630	
67.1	15.9	W 10 X 54	15.9	27.5	4.39	2.56	201	572	—	—	

• Check shape for compliance with Formulas (2.7.1a) or (2.7.1b), Section 2.7, AISC Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

$Z_x$	Shape	A	$\frac{d}{t_w}$	$r_x$	$r_y$	$F_y = 36 \text{ ksi}$		$F_y = 50 \text{ ksi}$	
						$M_p$	$P_y$	$M_p$	$P_y$
In. <sup>3</sup>		In. <sup>2</sup>		In.	In.	Kip-ft.	Kips	Kip-ft.	Kips
66.8	W 18 X 35	10.3	59.4	7.05	1.23	200	*371	—	—
64.8	W 12 X 45	13.2	35.9	5.15	1.94	194	475	270	660
64.0	W 16 X 36	10.6	53.0	6.50	1.52	192	*382	—	*560
61.6	W 14 X 38	11.2	45.1	5.88	1.54	185	*403	257	—
61.2	S 12 X 50	14.7	17.5	4.55	1.03	184	529	255	735
59.7	W 8 X 58	17.1	17.2	3.65	2.10	179	616	249	855
57.5	W 12 X 40	11.8	40.6	5.13	1.94	173	425	—	—
54.9	W 10 X 45	13.2	28.9	4.33	2.00	165	475	229	660
54.6	W 14 X 34	10.0	48.8	5.83	1.52	164	*360	—	—
54.0	W 16 X 31	9.13	57.6	6.40	1.17	162	*329	225	*457
53.1	S 12 X 40.8	12.0	26.0	4.77	1.06	159	432	221	600
51.6	W 12 X 36	10.6	40.1	5.15	1.55	155	382	215	*530
49.0	W 8 X 48	14.1	21.0	3.61	2.08	147	508	204	705
46.9	W 10 X 39	11.5	31.3	4.27	1.98	141	414	—	—
44.8	S 12 X 35	10.3	28.0	4.72	0.98	134	371	187	515
44.1	W 12 X 31	9.13	45.6	5.12	1.54	132	*329	184	*457
44.0	W 16 X 26	7.67	62.6	6.25	1.12	132	*276	—	—
42.0	S 12 X 31.8	9.35	34.3	4.83	1.00	126	337	175	468
40.0	W 14 X 26	7.67	54.5	5.64	1.08	120	*276	167	*384
39.8	W 8 X 40	11.8	22.6	3.53	2.04	119	425	—	—
38.0	W 12 X 27	7.95	50.5	5.07	1.52	114	*286	—	—
36.6	M 8 X 37.7	11.1	21.5	3.46	1.91	110	400	—	—
35.4	S 10 X 35	10.3	16.8	3.78	0.901	106	371	148	515
34.7	W 10 X 29	8.54	35.4	4.30	1.38	104	307	145	427
34.7	W 6 X 35	10.3	25.8	3.50	2.03	104	371	—	—
33.1	W 14 X 22	6.49	59.7	5.53	1.04	99.3	*234	—	—
30.9	M 10 X 29.1	8.56	23.1	3.92	1.14	92.7	308	—	—
29.6	W 10 X 25	7.36	40.0	4.26	1.37	88.8	265	123	*368
29.3	W 12 X 22	6.47	47.3	4.91	0.847	87.9	*233	122	*324
28.4	S 10 X 25.4	7.46	32.2	4.07	0.954	85.2	269	118	373
27.1	W 8 X 28	8.23	28.3	3.45	1.62	81.3	296	—	—
26.4	M 10 X 22.9	6.73	40.8	4.16	1.22	79.2	242	—	—
24.8	M 14 X 17.2	5.05	66.7	5.40	0.725	74.4	*182	—	—
24.7	W 12 X 19	5.59	51.3	4.82	0.820	74.1	*201	103	*280
24.1	W 10 X 21	6.20	41.3	4.15	1.32	72.3	223	—	—
24.1	M 6 X 33.75	9.93	12.8	2.55	1.47	72.3	357	100	497
23.1	W 8 X 24	7.06	32.4	3.42	1.61	69.3	254	—	—
21.6	W 10 X 19	5.61	41.0	4.14	0.874	64.8	202	90.0	*281

\* Check shape for compliance with Formulas (2.7-1a) or (2.7-1b), Section 2.7, AISC Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

$Z_x$	Shape	A	$\frac{d}{t_w}$	$r_x$	$r_y$	$F_y = 36 \text{ ksi}$		$F_y = 50 \text{ ksi}$	
						$M_p$	$P_y$	$M_p$	$P_y$
In. <sup>3</sup>		In. <sup>2</sup>		In.	In.	Kip-ft.	Kips	Kip-ft.	Kips
20.6	W 12 X 16.5	4.87	52.2	4.65	0.770	61.8	*175	—	—
19.7	M 8 X 22.5	6.60	21.3	3.22	1.06	59.1	238	—	—
19.3	S 8 X 23	6.77	18.1	3.10	0.798	57.9	244	80.4	339
19.1	W 8 X 20	5.89	32.8	3.43	1.25	57.3	212	79.6	295
18.9	W 6 X 25	7.35	19.9	2.69	1.53	56.7	265	78.8	368
18.6	W 10 X 17	4.99	42.2	4.05	0.844	55.8	180	77.5	*250
17.4	M 8 X 18.5	5.44	34.8	3.38	1.12	52.2	196	—	—
16.5	S 8 X 18.4	5.41	29.5	3.26	0.831	49.5	195	68.8	271
16.0	W 10 X 15	4.41	43.5	3.95	0.809	48.0	*159	—	—
15.9	W 8 X 17	5.01	34.8	3.36	1.22	47.7	180	—	—
15.6	M 6 X 22.5	6.62	16.1	2.49	1.37	46.8	238	—	—
15.0	W 6 X 20	5.88	24.0	2.66	1.51	45.0	212	—	—
14.5	S 7 X 20	5.88	15.6	2.69	0.734	43.5	212	60.4	294
14.5	M 6 X 20	5.89	24.0	2.57	1.40	43.5	212	—	—
14.3	M 12 X 11.8	3.47	67.8	4.55	0.532	42.9	*125	—	—
13.6	W 8 X 15	4.43	33.1	3.29	0.876	40.8	159	56.7	222
12.1	S 7 X 15.3	4.50	27.8	2.86	0.766	36.3	162	50.4	225
11.6	W 6 X 16	4.72	24.0	2.59	0.967	34.8	170	48.3	236
11.4	W 8 X 13	3.83	34.8	3.21	0.842	34.2	138	—	—
11.3	W 5 X 18.5	5.43	19.3	2.16	1.28	33.9	195	47.1	272
11.0	M 5 X 18.9	5.55	15.8	2.08	1.19	33.0	200	45.8	278
10.6	S 6 X 17.25	5.07	12.9	2.28	0.675	31.8	183	44.2	254
9.61	W 5 X 16	4.70	20.8	2.13	1.26	28.8	169	40.0	235
9.19	M 10 X 9	2.65	63.7	3.83	0.480	27.6	*95.4	—	—
8.47	S 6 X 12.5	3.67	25.9	2.45	0.705	25.4	132	35.3	184
8.23	W 6 X 12	3.54	26.1	2.48	0.918	24.7	127	—	—
7.85	M 4 X 16.3	4.80	13.5	1.71	0.962	23.5	173	32.7	240
7.42	S 5 X 14.75	4.34	10.1	1.87	0.620	22.3	156	30.9	217
6.31	M 4 X 13.8	4.06	12.8	1.63	0.939	18.9	146	26.3	203
6.27	W 4 X 13	3.82	14.9	1.72	0.991	18.2	138	26.1	191
6.06	M 4 X 13	3.81	15.7	1.66	0.939	18.2	137	25.3	191
5.67	S 5 X 10	2.94	23.4	2.05	0.643	17.0	106	23.6	147
5.42	M 8 X 6.5	1.92	59.3	3.10	0.423	16.3	*69.1	—	—
4.04	S 4 X 9.5	2.79	12.3	1.56	0.569	12.1	100	16.8	140
4.03	M 7 X 5.5	1.62	54.7	2.73	0.392	12.1	*58.3	16.8	*81.0
3.51	S 4 X 7.7	2.26	20.7	1.64	0.561	10.5	81.4	14.6	113
2.80	M 6 X 4.4	1.29	52.6	2.36	0.358	8.40	*46.4	11.7	*64.5
2.36	S 3 X 7.5	2.21	8.6	1.15	0.516	7.08	79.6	9.83	111
1.95	S 3 X 5.7	1.67	17.6	1.23	0.522	5.85	60.1	8.13	83.5

\* Check shape for compliance with Formulas (2.7-1a) or (2.7-1b), Section 2.7, AISC Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

### Z<sub>x</sub>

#### PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE For W and M shapes

F <sub>y</sub> = 50 ksi		F <sub>y</sub> = 36 ksi		A	Z <sub>x</sub>	Shape	d/t <sub>w</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	M <sub>p</sub>		P <sub>y</sub>	
Kip-ft	Kip	Kip-ft	Kip							Kip-ft	Kip		
16000	12450	11490	8960	249	3830	W 36x848	16.8	16.4	4.27	11490	8960		
14900	11700	10710	8420	234	3570	W 36x798	17.6	16.4	4.24	10710	8420		
13200	10550	9570	7600	211	3190	W 36x720	19.0	16.2	4.18	9570	7600		
12800	9600	9180	6910	192	3060	W 40x655	22.1	17.2	3.86	9180	6910		
11800	9000	8520	6840	190	2840	W 36x650	20.5	16.0	4.12	8520	6840		
11500	8700	8250	6260	174	2750	W 40x593	24.0	17.0	3.81	8250	6260		
10700	9050	7680	6520	181	2500	W 33x619	19.5	15.2	3.98	7680	6520		
10600	8600	7650	6190	172	2550	W 36x588	22.3	15.9	4.07	7650	6190		
10200	7800	7350	5620	156	2450	W 40x531	26.3	16.9	3.75	7350	5620		
9710	8300	6990	5980	165	2330	W 33x557	20.9	15.1	3.94	6990	5980		
9460	7700	6010	5540	154	2270	W 38x527	24.4	15.0	4.02	6010	5540		
9210	6500	6630	6120	170	2210	W 30x581	18.0	13.9	3.06	6630	6120		
9080	7000	6540	5040	140	2160	W 40x480	22.6	16.8	3.72	6540	5040		
8790	7500	6330	5440	151	2110	W 33x515	22.6	14.9	3.89	6330	5440		
8630	7100	6210	5110	142	2070	W 36x405	25.8	15.6	3.98	6210	5110		
8550	7700	5970	5540	154	1990	W 30x526	19.4	13.8	3.80	5970	5540		
8350	6400	5940	4610	128	1900	W 40x436	30.9	16.0	3.67	5940	4610		
7880	6850	5670	4930	137	1890	W 33x468	24.2	14.6	3.95	5670	4930		
7630	7900	5640	5690	158	1860	W 27x539	16.5	12.7	3.66	5640	5690		
7750	6400	5580	4610	128	1860	W 36x439	28.1	15.6	3.95	5580	4610		
7400	5800	5370	4180	116	1790	W 40x397	33.6	16.6	3.65	5370	4180		
7450	7000	5370	5040	140	1790	W 30x477	21.0	13.7	3.75	5370	5040		
7150	7250	5130	5220	145	1710	W 27x494	17.7	12.6	3.61	5130	5220		
7080	6200	5100	4460	124	1700	W 33x424	26.3	14.7	3.81	5100	4460		
6620	5750	4680	4140	115	1660	W 36x393	31.0	15.5	3.90	4680	4140		
6920	10750	4980	7740	215	1660	W 14x730	7.3	8.17	4.69	4980	7740		
6790	5300	4690	3820	100	1650	W 40x362	36.2	16.5	3.61	4690	3820		
6710	6350	4830	4570	127	1610	W 30x433	22.4	13.5	3.71	4830	4570		
6460	5650	4650	4070	113	1550	W 33x387	28.5	14.7	3.79	4650	4070		
6460	7200	4650	5180	144	1550	W 24x492	15.1	11.5	3.41	4650	5180		
6360	8550	4590	5220	131	1530	W 27x448	19.0	12.5	3.57	4590	5220		
6290	4820	4530	3470	96.4	1510	W 40x328	44.0	16.7	4.15	4530	3470		
6290	6250	4530	3780	105	1510	W 36x359	33.4	15.4	3.87	4530	3780		
6170	9800	4440	7060	196	1480	W 14x665	7.6	7.98	4.62	4440	7060		

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

### Z<sub>x</sub>

#### PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE For W and M shapes

F <sub>y</sub> = 50 ksi		F <sub>y</sub> = 36 ksi		A	Z <sub>x</sub>	Shape	d/t <sub>w</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	M <sub>p</sub>		P <sub>y</sub>	
Kip-ft	Kip	Kip-ft	Kip							Kip-ft	Kip		
6080	*4770	1460	1430	95.3	1460	W 40x324	40.2	16.4	3.57	4380	3430		
5960	5700	114	1430	114	1430	W 30x391	24.4	13.5	3.68	4290	4100		
5920	5200	104	1420	104	1420	W 33x354	30.6	14.5	3.74	4260	3740		
5880	6600	132	1410	132	1410	W 24x450	16.1	11.4	3.36	4230	4750		
5750	*4820	1380	1380	96.4	1380	W 36x328	36.4	15.3	3.84	4140	3470		
5750	5950	119	1380	119	1380	W 27x407	20.3	12.3	3.52	4140	4280		
5710	*4380	87.5	1370	87.5	1370	W 40x298	47.8	16.6	4.12	4110	*3150		
5540	*4370	87.4	1330	87.4	1330	W 40x297	42.8	16.3	3.54	3990	3150		
5500	8900	178	1320	178	1320	W 14x605	8.1	7.80	4.55	3960	6410		
5460	*4190	83.8	1310	83.8	1310	W 44x285	43.0	17.1	2.42	3930	*3020		
5420	5200	104	1300	104	1300	W 30x357	26.5	13.4	3.65	3900	3740		
5290	4680	93.5	1270	93.5	1270	W 33x318	33.8	14.4	3.71	3810	3370		
5250	*4420	88.3	1260	88.3	1260	W 36x300	38.9	15.2	3.83	3780	3180		
5210	*4070	81.3	1250	81.3	1250	W 40x277	47.8	16.4	3.58	3750	*2930		
5210	5950	119	1250	119	1250	W 24x408	17.3	11.3	3.33	3750	4280		
5170	5400	108	1240	108	1240	W 27x368	22.0	12.2	3.46	3720	3890		
5080	*3940	78.8	1220	78.8	1220	W 40x268	52.5	16.5	4.09	3660	*2840		
4960	4790	95.7	1190	95.7	1190	W 30x326	28.4	13.2	3.61	3570	3450		
4920	8100	162	1180	162	1180	W 14x550	8.5	7.63	4.49	3540	5830		
4880	*4120	82.4	1170	82.4	1170	W 36x280	41.3	15.1	3.81	3510	2970		
4790	*3640	72.8	1150	72.8	1150	W 44x248	50.4	17.2	2.44	3490	*2620		
4790	4280	85.6	1150	85.6	1150	W 33x291	36.3	14.4	3.69	3450	3080		
4710	4940	98.7	1130	98.7	1130	W 27x336	23.8	12.1	3.45	3390	3550		
4710	5900	118	1130	118	1130	W 21x402	15.0	10.2	3.27	3390	4250		
4670	*3670	73.3	1120	73.3	1120	W 40x249	52.5	16.3	3.56	3360	*2640		
4670	5400	108	1120	108	1120	W 24x370	18.4	11.1	3.28	3360	3890		
4580	*3590	71.7	1100	71.7	1100	W 40x244	55.0	16.4	4.04	3300	*2580		
4500	*3830	76.5	1080	76.5	1080	W 36x260	43.2	15.0	3.78	3240	*2750		
4420	4290	85.7	1060	85.7	1060	W 30x292	31.4	13.2	3.56	3180	3090		
4390	7350	147	1050	147	1050	W 14x500	8.9	7.48	4.43	3150	5290		
4330	*3770	75.4	1040	75.4	1040	W 36x256	39.0	14.9	2.65	3120	2710		
4330	*3870	77.4	1040	77.4	1040	W 33x253	39.7	14.3	3.66	3120	2790		
4290	*3290	65.8	1030	65.8	1030	W 44x224	55.0	17.1	2.44	3090	*2370		
4250	4510	90.2	1020	90.2	1020	W 27x307	25.5	12.0	3.42	3060	3250		
4250	4920	98.4	1020	98.4	1020	W 24x335	19.9	11.0	3.23	3060	3540		
4210	*3610	72.1	1010	72.1	1010	W 36x245	45.1	15.0	3.75	3030	*2600		
4210	5350	107	1010	107	1010	W 21x364	16.0	10.0	3.23	3030	3850		

\* Check shape for compliance with Equation (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

**Z<sub>x</sub>**  
PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE  
For W and M shapes

$F_y = 50 \text{ ksi}$		$F_y = 36 \text{ ksi}$		$r_x$ In.	$r_y$ In.	$\frac{d}{t_w}$	Shape	$Z_x$ In. <sup>3</sup>	A In. <sup>2</sup>
$M_p$ Kip-ft	$P_p$ Kip	$M_p$ Kip-ft	$P_p$ Kip						
—	—	2900	*2330	16.0	3.90	54.5	W 40x221	967	64.8
4010	*3170	2890	*2280	16.2	3.54	60.0	W 40x215	963	63.3
3930	*3380	2830	*2430	14.9	3.73	47.2	W 36x230	943	67.6
3920	3840	2820	2760	13.1	3.54	34.0	W 30x261	941	76.7
3910	*3550	2820	2550	14.1	3.63	41.2	W 33x241	939	70.9
3900	*3410	2810	2450	14.8	2.62	42.7	W 36x232	936	68.1
3900	6700	2810	4820	9.4	4.38	9.4	W 14x455	936	134
3890	4130	2800	2970	12.0	3.40	27.6	W 27x281	933	82.6
3840	4490	2770	3230	10.9	3.20	21.5	W 24x306	922	89.8
3810	4900	2750	3520	9.91	3.19	17.1	W 21x333	915	97.9
3760	*2900	2710	*2090	16.9	2.41	60.5	W 44x198	902	58.0
3620	6250	2610	4500	7.26	4.34	10.0	W 14x426	869	125
—	—	2600	*2100	16.0	3.45	59.5	W 40x199	868	58.4
3560	*3250	2570	*2340	14.1	3.59	43.8	W 33x221	855	65.0
3540	3790	2550	2730	11.9	3.37	29.6	W 27x258	850	75.7
3520	*3450	2540	2480	13.0	3.52	37.7	W 30x235	845	69.0
3480	4100	2510	2950	10.8	3.17	23.0	W 24x279	835	82.0
3470	*3090	2500	*2220	14.6	2.58	44.2	W 36x210	833	61.8
3400	4410	2450	3180	18.6	9.81	18.6	W 21x300	816	88.2
3340	5850	2400	4210	7.16	4.31	10.3	W 14x398	801	117
3250	*2690	2340	*1930	15.7	2.50	60.0	W 40x183	781	53.7
3220	*2960	2320	*2130	14.0	3.56	47.1	W 33x201	772	59.1
3200	3460	2310	2490	11.8	3.33	31.5	W 27x235	769	69.1
3200	*2850	2300	*2050	14.6	2.56	47.7	W 36x194	767	57.0
3140	4580	2260	3290	8.72	2.95	14.7	W 18x311	753	91.5
3120	*3100	2230	2230	12.9	3.49	39.9	W 30x211	749	62.0
3100	3680	2230	2650	10.7	3.14	25.3	W 24x250	744	73.5
3090	4040	2220	2910	9.71	3.12	19.8	W 21x275	741	80.8
3070	5450	2210	3920	7.07	4.27	10.8	W 14x370	736	109
2990	*2680	2150	*1930	14.5	2.55	50.1	W 36x182	718	53.6
2950	3190	2120	2300	11.8	3.32	34.3	W 27x217	708	63.8

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE  
For W and M shapes

**Z<sub>x</sub>**

$F_y = 50 \text{ ksi}$		$F_y = 36 \text{ ksi}$		$r_x$ In.	$r_y$ In.	$\frac{d}{t_w}$	Shape	$Z_x$ In. <sup>3</sup>	A In. <sup>2</sup>
$M_p$ Kip-ft	$P_p$ Kip	$M_p$ Kip-ft	$P_p$ Kip						
2880	*2460	2080	*1770	15.3	2.40	59.4	W 40x167	692	49.1
2820	3360	2030	2420	10.7	3.11	27.1	W 24x229	676	67.2
2820	4160	2030	3000	8.61	2.91	15.6	W 18x283	676	83.2
2800	*2805	2020	*2020	12.8	3.46	43.2	W 30x191	673	56.1
2800	5050	2020	3640	11.4	4.24	11.4	W 14x342	672	101
2780	*2500	2000	*1800	14.5	2.53	53.2	W 36x170	668	50.0
2760	3640	1990	2620	9.63	3.09	21.6	W 21x248	663	72.8
2620	*2480	1890	*1780	13.7	2.50	50.5	W 33x169	629	49.5
2620	*2850	1880	2050	11.7	3.29	37.5	W 27x194	628	57.0
2600	*2350	1870	*1690	14.4	2.50	55.4	W 36x160	624	47.0
2550	3800	1830	2730	8.53	2.88	16.8	W 18x258	611	75.9
2530	3040	1820	2190	10.6	3.08	29.6	W 24x207	606	60.7
2520	*2540	1820	*1830	12.7	3.43	46.5	W 30x173	605	60.5
2510	4570	1810	3290	6.88	4.20	12.1	W 14x311	603	91.4
2510	4940	1810	3560	6.41	3.47	9.5	W 12x336	603	98.8
—	—	1790	*1580	14.9	2.29	60.6	W 40x149	597	43.8
2450	3270	1770	2350	9.54	3.05	23.4	W 21x223	589	65.4
2420	*2210	1740	*1590	14.3	2.47	57.4	W 36x150	581	44.2
2360	*2620	1700	1880	11.6	3.26	38.4	W 27x178	567	52.3
2330	*2240	1680	*1610	13.5	2.47	52.7	W 33x152	559	44.7
2330	2820	1680	2030	10.5	3.07	31.4	W 24x192	559	56.3
2290	3440	1650	2480	8.44	2.85	18.2	W 18x234	549	68.8
2260	4170	1630	3000	6.79	4.17	13.0	W 14x283	542	83.3
2240	4480	1610	3230	6.29	3.42	10.0	W 12x305	537	89.6
2210	2960	1590	2130	9.47	3.02	25.3	W 21x201	530	59.2
2140	*2080	1540	*1500	13.4	2.43	55.0	W 33x141	514	41.6
2130	*2370	1540	1710	11.5	3.24	41.8	W 27x161	512	47.4
2130	2590	1530	1860	10.5	3.04	33.7	W 24x176	511	51.7
2080	*2180	1530	*1430	14.0	2.38	59.3	W 36x135	509	39.7
2040	3110	1500	1570	12.4	2.28	47.2	W 30x148	500	43.5
2040	3780	1470	2240	8.35	2.82	19.5	W 18x211	490	62.1
2030	3780	1460	2720	6.71	4.13	13.9	W 14x257	487	75.6
2000	4100	1440	2950	6.16	3.38	10.4	W 12x279	481	81.9
1980	2680	1430	1930	9.40	3.00	27.4	W 21x182	476	53.6
1950	2390	1400	1720	10.4	3.05	35.5	W 24x162	468	47.7

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

### Z<sub>x</sub>

#### PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE For W and M shapes

f <sub>y</sub> = 50 ksi		f <sub>y</sub> = 36 ksi	
M <sub>p</sub> Kip-ft	P <sub>y</sub> Kip	M <sub>p</sub> Kip-ft	P <sub>y</sub> Kip
1950	*1920	1400	*1380
1840	2820	1360	*1540
1820	*1950	1330	2030
1820	3430	1310	*1400
1800	2440	1310	2470
1780	*3710	1280	2670
1740	*2150	1250	1550
1700	*1830	1250	*1250
1660	2570	1220	*1310
1650	*1890	1190	1850
1630	3100	1190	*1360
1610	3390	1160	2230
1580	*1710	1130	2440
1550	2160	1120	*1230
1540	*1930	1110	1560
1480	2320	1070	1390
1480	2840	1070	1670
1450	3090	1040	2040
1440	*1590	1040	2220
1430	*1680	1030	*1140
1390	1940	999	*1210
1340	*2110	981	1400
1330	2590	966	*1240
1300	2760	960	1520
1280	1800	936	1860
1270	*1500	933	*1050
1210	1910	921	2010
1200	2340	915	1290
1180	2640	873	*1080
1160	2940	867	1380
1140	3240	861	*1100
1120	3540	861	1630

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

### Z<sub>x</sub>

#### PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE For W and M shapes

f <sub>y</sub> = 50 ksi		f <sub>y</sub> = 36 ksi	
M <sub>p</sub> Kip-ft	P <sub>y</sub> Kip	M <sub>p</sub> Kip-ft	P <sub>y</sub> Kip
1170	*1520	849	*950
1160	*1390	837	*1090
1150	2500	834	*997
1090	1760	825	1800
1060	*1390	800	1260
1060	1770	782	*997
1010	2240	759	1070
958	1560	732	*893
933	*1240	729	1610
921	*1370	702	1400
892	2000	690	1120
879	1430	672	*889
833	*1120	663	983
825	1470	642	1440
817	*1220	636	1270
775	1770	633	1030
729	*1310	600	*806
717	*1080	594	1060
683	1560	588	875
667	*1000	576	1150
638	*910	558	911
625	1130	558	1270
613	1410	531	*724
613	1650	525	*843
604	*1040	516	*774
604	1040	492	1120
604	1040	489	803
604	1040	480	*720
604	1040	459	*655
604	1040	450	814
604	1040	441	1020
604	1040	441	1180
604	1040	435	749

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

**Z<sub>x</sub>**  
PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE  
For W and M shapes

$F_y = 50 \text{ ksi}$		$F_y = 36 \text{ ksi}$		Shape	$\frac{d}{t_w}$	$r_x$	$r_y$	A	$Z_x$	$M_p$	$P_y$
$M_p$	$P_y$	$M_p$	$P_y$								
Kip-ft	Kip	Kip-ft	Kip			In.	In.	In. <sup>2</sup>	In. <sup>3</sup>		
600	* 915	432	* 659	W 21 x 62	52.5	8.54	1.77	18.3	144	432	* 659
579	1210	417	868	W 14 x 182	28.1	6.05	2.48	24.1	139	417	868
558	* 810	402	* 583	W 24 x 55	59.7	9.11	1.34	16.2	134	402	* 583
554	* 955	399	688	W 18 x 65	40.8	7.49	1.69	19.1	133	399	688
—	—	396	922	W 12 x 87	24.3	5.38	3.07	25.6	132	396	922
—	—	390	709	W 16 x 67	41.3	6.96	2.46	19.7	130	390	709
542	—	390	1060	W 10 x 100	16.3	4.60	2.65	29.4	130	390	1060
538	* 835	387	* 601	W 21 x 57	52.0	8.36	1.35	16.7	129	387	* 601
525	1090	378	785	W 14 x 74	31.5	6.04	2.48	21.8	126	378	785
513	* 880	369	* 634	W 18 x 60	44.0	7.47	1.89	17.6	123	369	* 634
—	—	357	835	W 12 x 79	26.3	5.34	3.05	23.2	119	357	835
479	1000	345	720	W 14 x 68	33.8	6.01	2.46	20.0	115	345	720
471	1300	339	932	W 10 x 88	17.9	4.54	2.63	25.9	113	339	932
467	* 810	336	* 583	W 18 x 55	46.4	7.41	1.67	16.2	112	336	* 583
458	* 735	330	* 529	W 21 x 50	54.8	8.18	1.30	14.7	110	330	* 529
438	* 840	315	605	W 16 x 57	38.2	6.72	1.60	16.8	105	315	605
—	—	306	644	W 14 x 61	37.0	5.98	2.45	17.9	102	306	644
421	* 735	303	* 529	W 18 x 50	50.7	7.38	1.65	14.7	101	303	* 529
407	1130	293	814	W 10 x 77	20.0	4.49	2.60	22.6	97.6	293	814
—	—	286	* 468	W 21 x 44	59.0	8.06	1.26	13.0	95.4	286	* 468
383	* 735	276	529	W 16 x 50	42.8	6.68	1.59	14.7	92.0	276	529
378	* 675	272	* 486	W 18 x 46	50.2	7.25	1.29	13.5	90.7	272	* 486
363	* 780	261	562	W 14 x 53	37.6	5.89	1.92	15.6	87.1	261	562
—	—	259	612	W 12 x 58	33.9	5.28	2.51	17.0	86.4	259	612
355	1000	256	720	W 10 x 68	22.1	4.44	2.59	20.0	85.3	256	720
343	* 665	247	* 479	W 16 x 45	46.8	6.65	1.57	13.3	82.3	247	* 479
327	* 590	235	* 425	W 18 x 40	56.8	7.21	1.27	11.8	78.4	235	* 425
327	* 705	235	508	W 14 x 48	40.6	5.85	1.91	14.1	78.4	235	508
—	—	224	634	W 10 x 60	24.3	4.39	2.57	17.6	74.6	224	634
304	* 590	219	* 425	W 15 x 40	52.5	6.63	1.57	11.8	72.9	219	* 425
302	735	217	529	W 12 x 50	32.9	5.18	1.96	14.7	72.4	217	529
293	985	211	709	W 8 x 67	15.8	3.72	2.12	19.7	70.2	211	709
—	—	209	* 454	W 14 x 43	44.8	5.82	1.89	12.6	69.5	209	* 454
—	—	200	569	W 10 x 54	27.3	4.37	2.56	15.8	66.6	200	569

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE  
For W and M shapes

**Z<sub>x</sub>**

$F_y = 50 \text{ ksi}$		$F_y = 36 \text{ ksi}$		Shape	$\frac{d}{t_w}$	$r_x$	$r_y$	A	$Z_x$	$M_p$	$P_y$
$M_p$	$P_y$	$M_p$	$P_y$								
Kip-ft	Kip	Kip-ft	Kip			In.	In.	In. <sup>2</sup>	In. <sup>3</sup>		
270	660	432	* 659	W 18 x 35	59.0	7.04	1.22	10.3	66.5	432	* 659
—	—	417	868	W 12 x 45	36.0	5.15	1.94	13.2	64.7	417	868
256	560	402	* 583	W 16 x 36	53.8	6.51	1.52	10.6	64.0	402	* 583
249	855	399	688	W 14 x 38	45.5	5.87	1.55	11.2	61.5	399	688
—	—	390	709	W 8 x 58	17.2	3.65	2.10	17.1	59.8	390	709
228	665	387	* 601	W 12 x 40	40.5	5.13	1.93	11.8	57.5	387	* 601
—	—	380	634	W 10 x 45	28.9	4.32	2.01	13.3	54.9	380	634
—	—	378	785	W 14 x 34	49.1	5.83	1.53	10.0	54.6	378	785
225	456	378	* 583	W 16 x 31	57.7	6.41	1.17	9.12	54.0	378	* 583
213	515	378	* 601	W 12 x 35	41.7	5.25	1.54	10.3	51.2	378	* 601
204	705	378	785	W 8 x 48	21.3	3.61	2.08	14.1	49.0	378	785
—	—	357	835	W 10 x 39	31.5	4.27	1.98	11.5	46.8	357	835
—	—	345	720	W 16 x 26	62.8	6.26	1.12	7.68	44.2	345	720
—	—	339	932	W 12 x 30	47.5	5.21	1.52	8.79	43.1	339	932
169	385	336	* 583	W 14 x 26	54.5	5.65	1.08	7.69	40.2	336	* 583
—	—	330	* 529	W 8 x 40	22.9	3.53	2.04	11.7	39.8	330	* 529
153	442	315	605	W 12 x 26	53.1	5.17	1.51	7.65	37.2	315	605
—	—	306	644	W 10 x 30	34.9	4.38	1.37	8.84	36.6	306	644
—	—	303	* 529	W 8 x 35	26.2	3.51	2.03	10.3	34.7	303	* 529
130	381	303	* 529	W 14 x 22	59.7	5.54	1.04	6.49	33.2	303	* 529
—	—	293	814	W 10 x 26	39.7	4.35	1.36	7.61	31.3	293	814
122	324	286	* 468	W 12 x 22	47.3	4.91	0.847	6.48	29.3	286	* 468
113	413	276	529	W 8 x 28	28.3	3.45	1.62	8.25	27.2	276	529
—	—	272	* 486	W 10 x 22	42.4	4.27	1.33	6.49	26.0	272	* 486
—	—	261	562	M 14 x 18	65.1	5.38	0.719	5.10	24.9	261	562
—	—	259	612	W 12 x 19	51.7	4.82	0.822	5.57	24.7	259	612
103	279	256	720	W 8 x 24	32.4	3.42	1.61	7.08	23.2	256	720
—	—	247	* 479	W 10 x 19	41.0	4.14	0.874	5.62	21.6	247	* 479
90	281	247	* 479	W 8 x 21	33.1	3.49	1.26	6.16	20.4	247	* 479
85	303	235	508	W 12 x 16	54.5	4.67	0.773	5.90	20.1	235	508
—	—	224	634	W 6 x 25	19.9	2.70	1.52	7.34	18.9	224	634
—	—	219	* 425	W 10 x 17	42.1	4.05	0.844	7.9	18.7	219	* 425
—	—	217	529	W 8 x 18	35.4	3.43	1.23	8.78	18.7	217	529
—	—	209	* 454	W 10 x 18	35.4	3.43	1.23	8.78	17.0	209	* 454
—	—	200	569	W 8 x 18	35.4	3.43	1.23	8.78	17.0	200	569

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.

**Z<sub>x</sub>**  
**PLASTIC DESIGN SELECTION TABLE**  
 For W and M shapes

$F_y = 50$ ksi		$F_y = 36$ ksi	
$M_p$ Kip-ft	$P_y$ Kip	$M_p$ Kip-ft	$P_y$ Kip
—	—	48	*159
—	—	45	211
—	—	44	212
60	*174	43	*125
—	—	41	160
—	—	40	*114
—	—	—	—
49	237	35	171
48	277	35	199
—	—	34	138
46	278	33	200
—	—	—	—
40	234	29	168
38	*133	28	*95
—	—	25	128
—	—	25	*85
—	—	23	*80
26	192	19	138
23	*96	16	*69
12	*65	8	*46

\* Check shape for compliance with Equations (N7-1) or (N7-2), Sect. N7, AISC ASD Specification, as applicable, when subjected to combined axial force and bending moment at ultimate loading.