

TUGAS AKHIR
STUDI PUSTAKA

ANALISIS DAN PERENCANAAN
BALOK NONPRISMATIS PADA GELAGAR
PELAT



DIUSUSUN OLEH :

Fatkhurrakhman Asmar Fauzi

No. Mhs. : 92 310 247

NIRM : 920051013114120247

Mas Ali

No. Mhs. : 92 310 327

NIRM : 920051013114120326

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

TUGAS AKHIR
STUDI PUSTAKA

ANALISIS DAN PERENCANAAN
BALOK NONPRISMATIS PADA GELAGAR
PELAT

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil

DIUSUSUN OLEH :

Fatkhurrakhman Asmar Fauzi

No. Mhs. : 92 310 247
NIRM : 920051013114120247

Mas Ali

No. Mhs. : 92 310 327
NIRM : 920051013114120326

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

TUGAS AKHIR
STUDI PUSTAKA

ANALISIS DAN PERENCANAAN
BALOK NONPRISMATIS PADA GELAGAR
PELAT

DIUSUSUN OLEH :

Fatkhurrakhman Asmar Fauzi

No. Mhs. : 92 310 247

NIRM : 920051013114120247

Mas Ali

No. Mhs. : 92 310 327

NIRM : 920051013114120326

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. M. Samsudin, MT

Dosen Pembimbing I

Ir. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II

Fatkhurrakhman Asmar Fauzi

Tanggal : 10/5 - 99

Charyatmo

Tanggal : 10-5-1999

" Bacalah dengan menyebut nama Robb-mu, yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah ! dan Robb-mu yang paling pemurah. Yang telah mengajar dengan perantaraan kalam. Dia telah mengajarkan pada manusia apa tidak diketahuinya. "

Q.S. Al-'Alaq 1-5

.....Katakanlah : " Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui,?. Sesungguhnya orang-orang yang berakalah yang dapat menerima pelajaran".

Q.S. Az-Zumar 9

.....Allah meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi pengetahuan beberapa derajat

Q.S. Mujaadalah 11

Tugas akhir ini kami persembahkan kepada :

- Allah , sebagai ujud penghambaan kami kepada-Nya,
- Kedua orangtua kami yang tercinta, adik-adikku yang lucu-lucu
- Embah yang selalu memberi kami dorongan semangat

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan Kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kami, sehingga Kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "*Analisa Dan Perencanaan Balok Nonprismatis pada Gelagar Pelat*". Sholawat serta salam kami sampaikan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad S.A.W atas risalah yang beliau bawa, sehingga sampai saat ini, kita mengenal *Ad-Dienul Islam*.

Tugas Akhir ini merupakan studi literatur yang diajukan untuk melengkapi persyaratan dalam memperoleh derajat kesarjanaan Strata I pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusun menyadari dalam menyusun Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. mengingat keterbatasan pengetahuan dan ilmu yang penyusun miliki, untuk itu segala saran dan kritik demi kesempurnaan Tugas Akhir ini, sangat penyusun harapkan.

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, tak lupa penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, Msc, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

2. Bapak Ir. H. Tadjuddin, BMA, MS. selaku Ketua Jurusan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

3. Bapak Ir. H. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.

4. Bapak Ir. Suharyatno, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.

5. Semua Pihak yang telah membantu hingga terselesainya Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT, membahagiakan amal baik saya dan akhirnya penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini bisa ikut memperkaya khasanah keilmuan, khususnya dalam bidang teknik sipil.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Januari 1999

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGANTAR PENGERTIAN	ii
PENGANTAR PERUMPAHANGAN	iii
DAFTAR PUSTAKA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Manfaat	4
1.3 Maksud dan Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN UMUM	7
2.1 Pengertian Balok Menerus Nonprismatis pada Gelagar Pelat	7
2.2 Macam- Macam Gelagar Pelat	8
2.3 Elemen- Elemen Dasar Gelagar Pelat	9
2.3.1 Badan	9

2.3.2 Sayap	9
2.3.3 Pengaku	9
2.4 Konsep Umum yang Dipakai dalam Perencanaan	9

BAB III ANALISIS BALOK MENERUS NONPRISMATIS PADA GELAGAR

PELAT	10
3.1 Analisis Momen Rencana	10
3.1.1 Analisis pembebanan	10
3.1.2 Perhitungan momen rencana	16
3.2 Analisis dan Persyaratan Gelagar	16
3.2.1 Analisis dan persyaratan pelat badan	16
3.2.2 Analisis dan persyaratan sayap gelagar	20
3.2.3 Analisis dan persyaratan pengaku	21
3.3 Analisis terhadap Lendutan	30
3.4 Perencanaan Gelagar Nonprismatis	33
3.5 Analisis Kekuatan Struktur	35
3.5.1 Kontrol kapasitas	36
3.5.2 Kontrol lendutan	41

BAB IV PERENCANAAN GELAGAR PELAT NONPRISMATIS PADA

GELAGAR MENERUS	42
4.1 Data Perencanaan	42
4.2 Momen Rencana	42
4.2.1 Pembebanan	43
4.2.2 Perhitungan momen	45

4.3 Perhitungan Penampang Prarencana	46
4.4 Perencanaan Penampang Nonprismatis	47
4.4.1 Bentang A - B	49
4.4.2 Setengah bentang B -C	50
4.5 Perencanaan Momen dan Gaya Geser yang Terjadi Berdasarkan Bentuk Sebenarnya	51
4.5.1 Perhitungan momen	54
4.5.2 Perhitungan gaya geser	57
4.5.3 Kontrol tegangan lentur yang terjadi	59
4.6 Perencanaan Pengaku Landasan dan Pengaku Antara	64
4.6.1 Perencanaan pengaku landasan	64
4.6.2 Perencanaan pengaku antara	68
4.7 Kontrol Lendutan	75
4.7.1 Bentang A - B	75
4.7.2 Bentang B - C	77
4.8 Perhitungan Material yang Terpakai	84
4.8.1 Gelagar plat prismatis	84
4.8.2 Gelagar plat nonprismatis	85
4.8.3 Rekapitulasi volume material terpakai antara gelagar prismatis dengan nonprismatis	90
BAB V PEMBAHASAN	91
5.1 Balok Menerus Prismatis	91
5.2 Balok Menerus Nonprismatis	91

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	93
6.1 Kesimpulan	93
6.2 Saran-Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

			Halaman
Gambar	1.1	Bentangan gelagar plat	6
Gambar	1.2	Penampang lintang jembatan	6
Gambar	2.1	Gelagar box	8
Gambar	2.2	Gelagar delta	8
Gambar	2.3	Gelagar campuran	8
Gambar	3.1	Penampang lintang gelagar dan perkerasan	12
Gambar	3.2	Beban 'D'	14
Gambar	3.3	Beban 'D'	15
Gambar	3.4	Letak beban "P" pada gelagar	16
Gambar	3.5	Tegangan desak yang terjadi akibat lenturan pada sayap	17
Gambar	3.6	Penampang lintang gelagar	20
Gambar	3.7	Aksi medan tarik pada gelagar berpengaku	22
Gambar	3.8	Perilaku plat akibat aksi medan tarik	24
Gambar	3.9	Mekanisme penyaluran beban pada gelagar	27
Gambar	3.10	Diagram momen lentur untuk balok menerus dengan beban merata	31
Gambar	3.11	Balok-balok konjugasi	31
Gambar	3.12	Penampang lintang gelagar	33
Gambar	3.13	Balok nonprismatis parabolik	34
Gambar	3.14	Pengaruh inersia pada sayap dan badan	36

Gambar	3.15	Penampang bagian plat yang memberikan kontribusi terhadap tegangan yang terjadi	38
Gambar	4.1	Rencana penampang gelagar	42
Gambar	4.2	Rencana perhitungan momen	43
Gambar	4.3	Penampang lintang gelagar dan perkerasan	43
Gambar	4.4	Penampang gelagar prismatis	45
Gambar	4.5	Penampang prarencana	47
Gambar	4.6	Balok nonprismatis parabolik	49
Gambar	4.7	SFD	58
Gambar	4.8	Penampang pengaku ujung	66
Gambar	4.9	Diagram momen akibat beban luar pada gelagar sederhana	75
Gambar	4.10	Diagram momen jepit kanan	76
Gambar	4.11	Diagram momen akibat beban luar pada gelagar sederhana	78
Gambar	4.12	Diagram momen jepit kanan	79
Gambar	4.13	Diagram momen jepit kiri	81

DAFTAR TABEL

		Halaman	
Tabel	4.1	Momen rencana setengah bentang	45
Tabel	4.2	Nilai 'h' berdasarkan momen yang terjadi	48
Tabel	4.3	Perhitungan tinggi plat badan untuk bentang ujung	50
Tabel	4.4	Perhitungan tinggi plat badan untuk bentang tengah	51
Tabel	4.5	Perhitungan untuk menentukan Stiffness, Carry -Over Factor, dan Fixed End Momen bentang A - B	52
Tabel	4.6	Perhitungan untuk menentukan Stiffness, Carry -Over Factor, dan Fixed End Momen bentang B - C	53
Tabel	4.7	Perhitungan momen	56
Tabel	4.8	Gaya geser dan superposisi momen setengah bentang	58
Tabel	4.9	Perhitungan tegangan lentur yang terjadi	64
Tabel	4.10	Perhitungan tegangan lentur ijin	65
Tabel	4.11	Perhitungan pengaku dukungan	72
Tabel	4.12	Perhitungan pengaku antara	73
Tabel	4.13	Kontrol kemampuan pengaku	74
Tabel	4.14	Perhitungan lendutan bentang A-B akibat momen pada sistem gelagar sederhana	76
Tabel	4.15	Perhitungan lendutan bentang A-B akibat momen jepit kanan	77

Tabel 4.16	Perhitungan lendutan bentang B-C akibat momen pada sistem gelagar sederhana	79
Tabel 4.17	Perhitungan lendutan bentang B-C akibat momen jepit kanan	80
Tabel 4.18	Perhitungan lendutan bentang A-B akibat momen jepit kiri	82
Tabel 4.19	Perhitungan lendutan yang sebenarnya	83
Tabel 4.20	Perhitungan volume pengaku dukungan	88
Tabel 4.21	Rekapitulasi perbandingan volume material antara gelagar prismatis dengan nonprismatis	90

INTISARI

Untuk memenuhi kebutuhan akan material konstruksi yang semakin meningkat baik kuantitas maupun kualitasnya, diperlukan rekayasa agar kebutuhan material konstruksi tersebut dapat dipenuhi walaupun tidak didapatkan dalam fabrikasi. Pemakaian plate girders dalam suatu konstruksi adalah satu alternatif untuk memenuhi tuntutan akan suatu profil yang tidak didapatkan dipasaran tersebut, dimana dituntut suatu profil dengan tampang yang biasanya relatif besar. Dengan menggabungkan plat-plat baja menjadi profil I ataupun profil yang lain melalui proses pengelasan atau dengan keling maka didapat profil dengan spesifikasi sesuai yang diharapkan, dengan demikian akan terpenuhi kebutuhan konstruksi.

Namun dalam kenyataannya dilapangan setelah melalui berbagai pengamatan dirasa masih perlunya rekayasa untuk lebih mengefisienkan penggunaan material yang ada maka dibuat profil yang non-prismatis, dimana untuk sepanjang bentang akan ditemui dimensi tampang yang tidak konstan. Dalam penulisan ini, perencanaan penampang non-prismatis didekati dengan menggunakan persamaan parabola.

Dari hasil perhitungan menunjukkan adanya efisiensi bahan sampai $\pm 16\%$, hal ini menunjukkan ternyata penggunaan penampang non-prismatis lebih ekonomis dari segi material yang dipakai.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada masa sekarang ini kebutuhan akan material konstruksi khususnya material untuk balok atau gelagar semakin meningkat dibandingkan dengan masa-masa yang lalu, hal ini disebabkan semakin tingginya tuntutan akan fasilitas yang bersifat fisik bagi kesejahteraan manusia. Tingginya tuntutan tersebut diikuti dengan tuntutan bahwa penggunaan material harus pula ekonomis dan efisien. Namun yang ditemui dilapangan bahwa setiap tuntutan tersebut belum tentu dapat dipenuhi dengan memakai material fabrikasi dikarenakan spesifikasi yang diperlukan belum tentu bisa ditemui pada baja fabrikasi. Berbagai usaha untuk memenuhi tuntutan tersebut dapat dilakukan, salah satu usaha untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah dengan menggunakan bahan konstruksi dengan mutu tinggi, sehingga didapatkan struktur dengan dimensi penampang yang lebih kecil tetapi mempunyai kemampuan yang besar dalam menerima beban. Disamping itu dapat pula menggabungkan material-material yang ada hingga didapat bahan dengan spesifikasi seperti yang diharapkan, yang dalam hal ini disebut dengan Gelagar Plat. Gelagar plat adalah suatu elemen struktur lentur tersusun yang didisain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang gelagar biasa yang dibuat dari elemen-elemen plat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien

dibanding bila tetap menggunakan balok tempa. Gelagar plat, termasuk balok gilas dengan plat penutup yang disebut balok tersusun yang terdiri sayap atas dan sayap bawah.

Gelagar plat cukup ekonomis bila bentangnya cukup panjang sehingga memungkinkan penghematan biaya dengan cara memproposionalkan terhadap persyaratan-persyaratan tertentu. Gelagar plat dapat berupa konstruksi keling, baut, atau las. Diawali dengan pembuatan jembatan-jembatan kereta api pertama selama periode tahun 1870- 1900, gelagar plat keling yang tersusun dari profil siku yang dihubungkan dengan plat badan, dengan atau tanpa plat penutup, telah digunakan secara umum di Amerika Serikat pada bentang sekitar 15 sampai 50 meter. Pada dekade 1950 ketika pengelasan mulai banyak dipakai, gelagar plat yang dilas di bengkel yang terdiri dari tiga plat secara bertahap menggantikan gelagar yang dikeling. Pada periode ini, baut kekuatan tinggi juga mulai menggantikan paku keling dalam konstruksi dilapangan. Pada dekade 1970, gelagar plat umumnya selalu dilas dibengkel dengan menggunakan dua plat sayap dan satu plat badan untuk membentuk penampang lintang profil I.

Umumnya gelagar yang dikeling menggunakan bahan plat baja yang mempunyai kekuatan sama, namun gelagar plat yang menggunakan las pada saat ini menggunakan bahan yang berbeda-beda kekuatannya sehingga bahan dengan kekuatan yang lebih tinggi ditempatkan pada daerah momen atau daerah geser yang lebih besar, sehingga gelagar menjadi lebih efisien dan ekonomis.

Dalam pekerjaan konstruksi yang berskala relatif besar maka apabila terjadi pemborosan pada suatu material walaupun dalam jumlah yang relatif kecil akan terakumulasi menjadi suatu jumlah yang besar dan ini akan sangat merugikan

secara ekonomi. Suatu gelagar plat dapat direkayasa agar dengan menggunakan tampang yang relatif kecil namun dapat secara optimal menahan beban-beban yang ada, namun permasalahannya adalah kebutuhan material untuk sepanjang bentang adalah tidak sama, salah satu usaha untuk lebih mengekonomiskan penggunaan baja adalah dengan cara menggunakan bahan-bahan baja yang mempunyai kekuatan yang berbeda-beda untuk masing-masing pias, sehingga dengan demikian akan didapatkan suatu profil yang ekonomis. Suatu cara lain adalah dengan cara menggunakan profil yang mempunyai luas tampang yang berbeda-beda atau profil dengan inersia yang beragam dalam satu bentang. Sebagaimana kita ketahui bahwa dimensi penampang yang lebih kecil akan meningkatkan faktor tekuk pada badan, sehingga perlu menjadikan perhatian yang serius dalam usaha memperkecil tampang pada gelagar, dan hal yang harus diperhatikan adalah sejauh mana batasan yang efektif untuk mengurangi atau menambah tinggi badan agar nilai inersia yang ada menjadi bervariasi sesuai dengan kebutuhan yang ada dengan menggunakan baja yang bermutu sama.

Sebagaimana diketahui bahwa perencanaan ukuran/dimensi suatu balok gelagar menerus adalah tergantung dari besar momen yang terjadi (Schodek, Daniel L, 1991). Besar momen yang terjadi pada balok bentang menerus adalah bervariasi, dan hal inilah yang dimanfaatkan untuk mendisain balok yang efisien. Penggunaan gelagar plat pada struktur balok menerus nonprismatis diharapkan akan mampu untuk mengurangi material yang digunakan. Dengan bentang yang relatif besar maka secara keseluruhan akan terjadi pengurangan material yang relatif besar pula, disamping itu besar kecilnya tampang yang digunakan tergantung dari besar dan kecilnya momen yang terjadi dan ini sangat tergantung

dari jumlah, letak dan jenis tumpuan dari balok. Momen pada balok dengan bentangan yang panjangnya sama diatas tumpuan sederhana akan berbeda dengan momen pada balok menerus. Balok menerus akan menghasilkan momen yang lebih kecil dibanding dengan pada balok tumpuan sederhana dikarenakan pada tumpuan menerus akan timbul pengurangan momen yang disebabkan oleh adanya momen tumpuan dan dengan berkurangnya momen ini tentu saja disain gelagar plat akan relatif lebih efisien belum lagi adanya pengurangan dimensi pada daerah dengan momen yang lebih kecil maka hal ini tentu akan menjadikan struktur relatif lebih ekonomis.

Berdasarkan pertimbangan diatas maka dibuatlah struktur balok menerus nonprismatis gelagar plat yang mempunyai beberapa keuntungan, yaitu bentangan balok dapat dibuat lebih panjang, material yang digunakan lebih ekonomis.

1.2 Manfaat

Harapan kami manfaat yang bisa diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah memberikan alternatif lain dalam merencanakan balok gelagar plat khususnya untuk bentangan yang panjang

1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan diadakannya analisa terhadap variasi tinggi efektif tampang suatu profil gelagar plat adalah sebagai berikut :

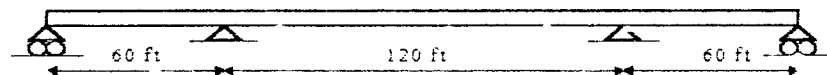
1. menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada balok menerus nonprismatis pada gelagar plat,
2. menganalisis tampang balok hyperstatis nonprismatis pada gelagar plat sehingga diketahui kapasitas tahanannya,

3. mengetahui sejauh mana pengurangan bahan yang mungkin dilakukan dengan tetap masih mempertimbangkan keamanan struktur, sehingga terjadi ekonomisasi bahan,
4. membandingkan material yang dipakai apabila menggunakan profil non-prismatis dengan apabila menggunakan balok prismatis,

1.4. Batasan Masalah

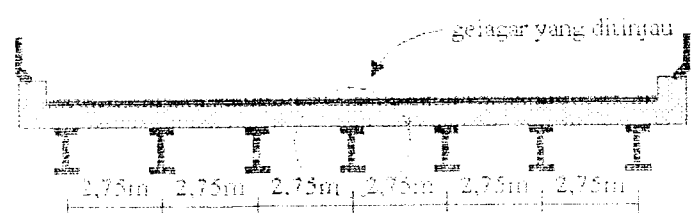
Dalam penulisan tugas akhir ini dibatasi sebagai berikut :

1. gelagar plat yang dianalisa adalah gelagar plat bentang menerus nonprismatis,
2. perhitungan menggunakan metode ASD,
3. mutu baja yang digunakan adalah baja dengan tegangan leleh 36 KSI,
4. perhitungan hanya dilakukan untuk beban vertikal saja,
5. bentangan yang dianalisa adalah diambil sepanjang 240 ft yang terletak diatas 4 perletakan seperti pada gambar berikut,



Gambar 1.1 Bentangan gelagar plat

6. gelagar yang dianalisa adalah gelagar tengah pada jembatan dengan gelagar plat, sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 1.2 sebagai berikut,



Gambar 1.3. Persegi panjang girder beton

- 7. perhitungan kapasitas balok dibagi persegi panjang dengan panjang = segmen
- 6.0
- 8. slab beton dianggap sebagai beban mati

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1 Pengertian Balok Menerus Nonprismatis pada Gelagar Pelat

Balok statis tak tentu adalah suatu balok yang mempunyai reaksi, gaya geser dan momen lentur yang tidak dapat ditentukan hanya dengan menggunakan persamaan keseimbangan statika dasar yaitu $\Sigma H = 0$, $\Sigma V = 0$, dan $\Sigma M = 0$ (Ghali, A dan Neville, A M, 1990). Nonprismatis adalah istilah untuk penampang struktur yang tidak konstan dimensinya sepanjang bentangnya.

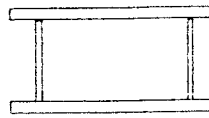
Gelagar plat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen plat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien dibanding yang mungkin diperoleh dengan balok tempa atau karena balok tempa tidak bisa ditemui dilapangan.

Pengertian dari balok menerus nonprismatis gelagar plat adalah balok menerus yang mempunyai variasi dimensi penampang disepanjang bentangan. Sehingga akan dijumpai tampang yang bervariasi disepanjang bentangnya, variasi tinggi badan akan dijumpai sesuai dengan besar momen yang terjadi pada gelagar tersebut, dimana pada daerah yang menahan momen besar maka penampang akan didisain dengan tinggi badan yang besar dan demikian sebaliknya, pada daerah yang menahan momen yang relatif kecil maka tinggi badan didisain berdasarkan kebutuhan yang diperlukan saja, dengan kata lain penampangnya diperkecil sesuai momen yang terjadi.

2.2 Macam-Macam Gelagar Pelat

Ada tiga jenis gelagar pelat yang umum digunakan antara lain :

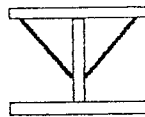
1. Gelagar Pelat Boks



Gambar 2.1 Gelagar boks

Gelagar ini biasanya didisain untuk menahan beban torsi yang besar yang biasanya digunakan pada jembatan dengan bentang panjang.

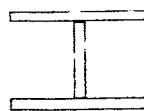
2. Gelagar Pelat Delta



Gambar 2.2 Gelagar delta

Gelagar dengan kekakuan lateral yang besar untuk bentang tanpa sokongan samping (lateral support)

3. Gelagar I



Gambar 2.3 Gelagar I

Gelagar ini dibuat dengan menggabungkan plat badan dan sayap, dalam beberapa kasus untuk memenuhi tuntutan akan kekuatan yang dibutuhkan maka dipakai bahan yang berlainan untuk plat sayap maupun badannya sesuai tegangan yang terjadi akibat momen yang ada.

Dalam tugas akhir ini, gelagar plat yang akan dianalisis adalah gelagar plat biasa (I)

2.3 Elemen-Elemen Dasar Gelagar Pelat

2.3.1 Badan

Berupa pelat baja yang diletakkan memanjang vertikal, umumnya plat badan relatif tipis yang diperkaku dengan plat sayap dan pengaku transversal. Dalam studi literatur ini bagian inilah yang akan difariasikan tingginya berdasarkan besar momen yang terjadi.

2.3.2 Sayap

Pelat baja ini terdiri dari dua bagian diletakkan pada posisi memanjang horizontal, yang dilas pada bagian atas dan bawah badan. Lebar dan tebal plat sayap dapat berubah-ubah disepanjang bentangnya, tetapi nilai ekonomis terhadap perubahan tersebut masih harus dikaji.

2.3.3 Pengaku

Pengaku landasan digunakan pada titik beban terpusat atau pada reaksi untuk menyalurkan beban terpusat keseluruhan tinggi badan sedangkan pengaku transversal yang diletakkan disepanjang balok dalam jarak tertentu yang berfungsi untuk memperbesar kemampuan badan dalam menahan beban kombinasi geser dan momen.

2.4 Konsep Umum yang Dipakai Dalam Perencanaan

Dalam Tugas Akhir ini konsep perencanaan yang dipakai adalah Perencanaan tegangan kerja AISC. Disebut juga Perencanaan Tegangan ijin, metoda ini didasarkan pada kondisi beban kerja (menganggap struktur bersifat elastis) yang memenuhi syarat keamanan untuk struktur. Namun tegangan ijin yang diberikan dalam spesifikasi AISC didasarkan pada kekuatan yang bisa dicapai bila struktur dibebani dengan beban yang lebih dari semestinya.

BAB III
ANALISIS BALOK MENERUS NONPRISMATIS
PADA GELAGAR PLAT

3.1 Analisis Momen Rencana

Untuk menentukan dimensi penampang suatu struktur ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain penentuan besar momen rencana. Untuk perhitungan awal dilakukan dengan menganggap bahwa penampang adalah berbentuk prismatis 2 dimensi, dengan memberikan beban-beban luar dan asumsi beban sendiri serta jenis perletakan gelagar maka perhitungan momen dapat dilakukan. Dalam hal ini perhitungan analisis pembebanan berdasarkan "*Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*", SKBI-1.3.28.1987, DPU.

3.1.1 Analisis pembebanan

Perencanaan suatu struktur memerlukan kriteria-kriteria perencanaan tertentu. Kriteria yang dimaksud adalah berupa standar spesifikasi yang diperoleh dari suatu kajian pustaka. Hasil dari perencanaan yang berdasarkan kriteria-kriteria yang ada harus dievaluasi terhadap kondisi yang ada dilapangan sehingga perlu adanya asumsi-asumsi yang lebih sesuai dengan kondisi dilapangan. Demikian pula perencanaan suatu gelagar jembatan selalu berdasarkan suatu kajian pustaka sesuai dengan pedoman perencanaan yang tertuang dalam peraturan pembangunan jembatan, dimana perencanaan suatu jembatan akan sangat erat kaitannya dengan

kondisi lingkungan dan evaluasi lalu-lintas rencana jalan tersebut, karena kondisi lalu lintas rencana akan menentukan kelas rencana jembatan, tingkat pelayanan, dan kebutuhan jalur.

Sesuai batasan masalah yang disampaikan pada bagian awal penulisan ini maka standar yang dipakai adalah : "Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya", SKBI-1.3.28.1987.DPU. Sedangkan tinjauan pembebanan hanya dilakukan pada beban primer (beban mati dan beban hidup yang terdiri dari beban "D" dan beban "P"), adapun beban-beban lain tidak dianalisis.

Beban primer adalah beban utama (pokok) yang digunakan dalam perhitungan komponen struktur setiap perencanaan jembatan, dimana beban primer terdiri dari tiga macam beban.

Yang termasuk beban primer adalah sebagai berikut :

- a. beban mati
- b. beban hidup
- c. beban kejut

Adapun persyaratan pemakaian beban primer adalah sebagai berikut :

a. beban mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan tetap yang dianggap sebagai satu kesatuan tetap dengannya. Sehingga beban mati bersifat tidak bertambah dan tidak berkurang atau dengan kata lain bersifat tetap selama masa pemakaian dari struktur yang bersangkutan.

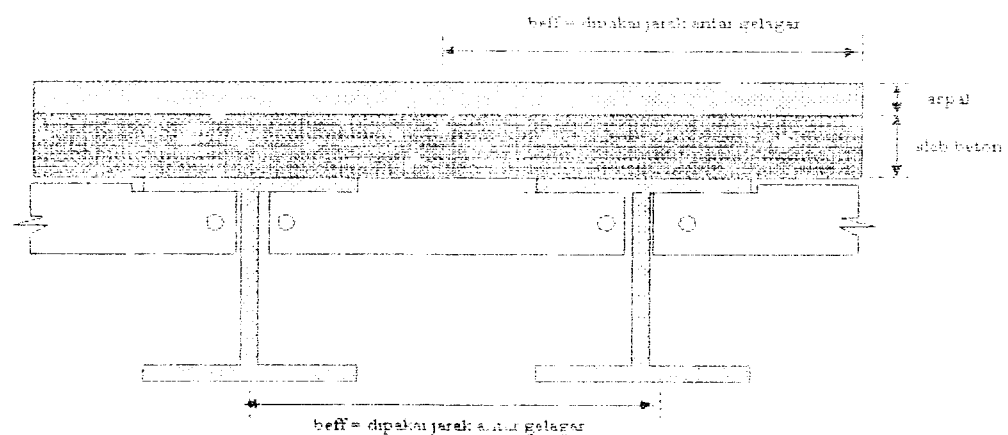
Untuk menentukan muatan digunakan nilai berat volume untuk bahan-bahan sebagai berikut :

- a. perkerasan jalan beraspal : 2200 kg/m^3
- b. beton bertulang : 2400 kg/m^3

Dalam penulisan ini analisis terhadap pembebanan yang berupa beban mati diasumsikan terdiri dari :

1. slab beton bertulang
2. beton perkerasan (perkerasan aspal beton)
3. berat sendiri

Sedangkan metode pembebanannya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Penampang lintang gelagar dan perkerasan

b. beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang keberadaannya tidak tetap dan berasal dari berat kendaraan-kendaraan yang bergerak atau berat orang yang bekerja pada jembatan.

Beban hidup pada jembatan yang harus ditinjau dinyatakan dalam dua macam, yaitu :

- a. Beban "T", yaitu beban terpusat yang digunakan dalam perencanaan pelat lantai untuk kendaraan pada jembatan.
- b. Beban "D", yaitu beban jalur yang digunakan dalam perencanaan gelagar jembatan

Sesuai batasan masalah pada awal penulisan ini beban "T" tidak dianalisis karena analisis hanya dilakukan pada gelagar, sedangkan lantai tidak termasuk dalam kajian ini. Namun perlu juga ditinjau lebar lantai sebagai dasar penentuan beban "D". Sesuai dalam peraturan yang dipakai maka lantai kendaraan pada jembatan dibagi menjadi beberapa jalur lalu lintas. Setiap jalur lalu lintas mempunyai lebar minimum 2,75 m dan lebar maksimum 3,75 m. Lebar jalur minimum ini harus digunakan untuk menentukan beban "D" per jalur. Jumlah jalur lalu lintas untuk lantai kendaraan dengan lebar 5,5, m atau lebih ditentukan menurut tabel 1 dan 5 (*Buku Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*). Untuk jumlah jalur lalu lintas pada lantai kendaraan yang lebar kurang dari 5,5 meter ditentukan dengan rumus :

$$n = \text{Lebar lantai kendaraan (m)} / 3$$

n = jumlah jalur lalu lintas yang mempunyai nilai maksimum satu

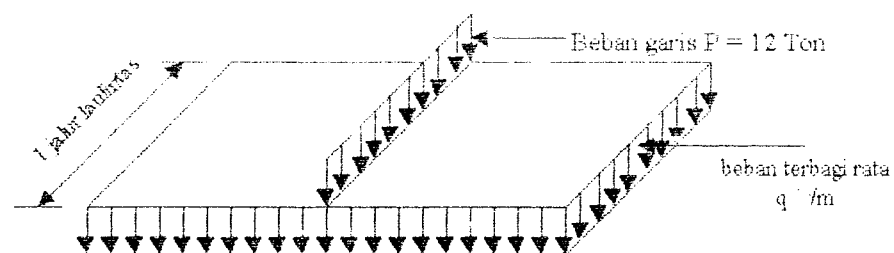
Muatan "D" seperti tertera pada gambar 3.2 yang dipergunakan untuk perhitungan kekuatan gelagar- gelagar. Muatan "D" atau beban jalur yaitu susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi merata sebesar "G" ton per meter panjang per-jalur dan beban garis "P" ton per jalur lalu lintas tersebut.

Adapun besar “ q ” ditentukan sebagai berikut:

$$q = 2,2 \text{ ton/meter} \dots\dots\dots \text{ untuk } L < 30 \text{ meter.} \quad (3.1)$$

$$q = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (L - 30) \text{ ton/meter} \dots\dots\dots \text{ untuk } 30 \text{ m} < L < 60 \text{ meter} \quad (3.2)$$

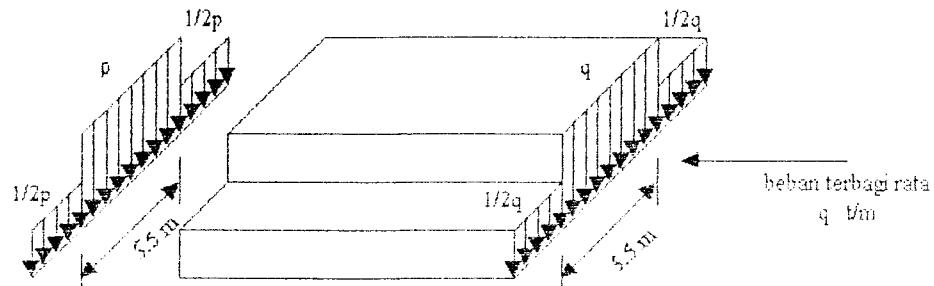
$$q = 1,1 \left(1 + \frac{30}{L} \right) \text{ ton/meter} \dots\dots\dots \text{ untuk } L > 60 \text{ meter.} \quad (3.3)$$



Gambar 3.2 Beban “D”

Dengan notasi L = Panjang dalam meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan sesuai tabel III PPPJJR. Ketentuan penggunaan beban “ D ” dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut:

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,5 meter, beban “ D ” sepenuhnya (100 %) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 meter, beban “ D ” sepenuhnya (100%) di bebaskan pada lebar jalur 5,5 meter, sedangkan lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban “ D ”(50%), sebagaimana tercantum dalam gambar (3.3)



gambar 3.3 Beban "D"

Dalam menentukan beban hidup (beban terbagi merata dan beban garis) perlu diperhatikan ketentuan bahwa :

1. Panjang bentang (L) untuk muatan terbagi rata pada beban "D" adalah sesuai dengan ketentuan dalam perumusan koefisien kejut.
2. Beban hidup per-meter lebar jembatan menjadi sebagai berikut

$$\text{Beban terbagi rata} = \frac{q \cdot \text{ton} / \text{meter}}{2,75 \cdot \text{meter}} \quad (3.4)$$

$$\text{Beban garis} = \frac{P \cdot \text{ton}}{2,75 \cdot \text{meter}} \quad (3.5)$$

Angka pembagi 2,75 meter pada formula (3.4) dan (3.5) diatas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu lintas.

c. beban kejut

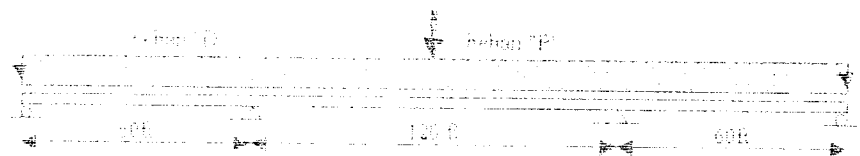
Untuk memperhitungkan pengaruh getaran-getaran dan pengaruh dinamis lainnya, tegangan akibat beban garis "P" harus dikalikan dengan koefisien kejut yang akan memberikan hasil maksimum, sedangkan beban merata q dan beban "T" tidak dikalikan dengan koefisien kejut. Koefisien kejut ditentukan dengan formula:

$$K = 1 + \frac{20}{(50 + L)} \quad (3.6)$$

dinana:

K = Koefisien kejut

L = Panjang bentang dalam meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan (kondisi statis) dan kedududukan naungan garis "P" sesuai tabel III pada UPTUR. Dalam penulisan ini hanya dipakai gelagar menerus dengan 4 penutupnya, maka letak beban "P" adalah seperti terlihat dalam gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Letak beban "P" pada gelagar

3.1.2 Perhitungan momen rencana

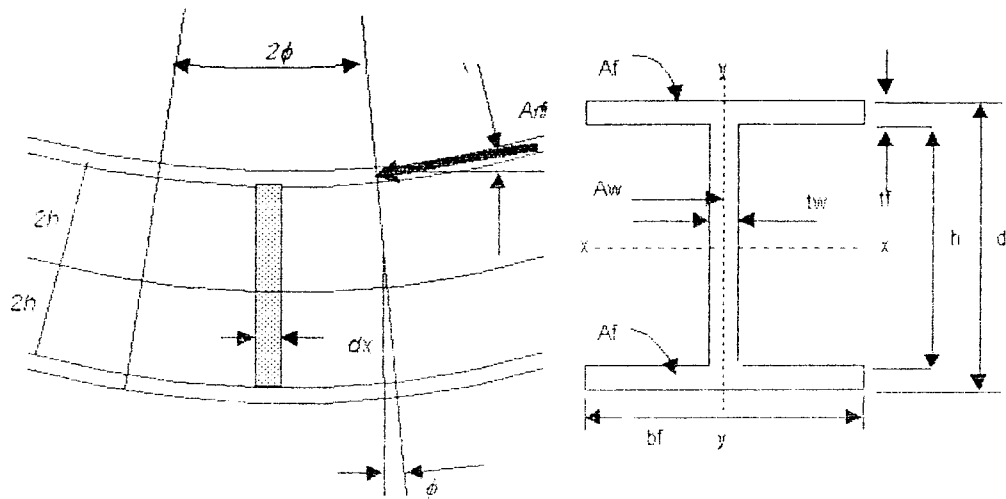
Perhitungan momen rencana dilakukan dengan bantuan program komputer, dalam hal ini program yang digunakan adalah "Microfeap".

3.2 Analisis dan Persyaratan Gelagar

Berdasarkan momen rencana yang telah dihitung, maka dapat direncanakan penampang gelagar berdasarkan persyaratan dan peraturan yang dipakai sebagai berikut.

3.2.1 Analisis dan persyaratan plat badan

Penentuan dimensi plat badan pertama-tama diasumsikan bahwa gelagar adalah prismatis dengan mengambil tinggi plat badan (h) sekitar 1/12 sampai dengan 1/8 bentang gelagar. Selanjutnya untuk menganalisa perilaku badan dan sayap akibat beban lentur, diperlihatkan dalam gambar sebagai berikut



gambar 3.5
tegangan desak yang terjadi akibat lenturan
pada sayap

Berdasarkan dari persamaan teori plat yang telah diusulkan oleh para ahli bahwa

$$F_{cr} = \frac{Kc\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/tw)^3} \quad (3.7)$$

gaya yang bekerja pada badan dari segmen yang ditinjau pada badan adalah :

$$A_f f_f \sin \phi \cong A_f f_f \phi \quad (a)$$

karena sudutnya sangat kecil maka setiap f_f harus mampu untuk mengatasi setiap tegangan residu F_r yang muncul pada badan, jadi regangan yang terjadi

$$e_f = e_r + e_y = \frac{F_y + F_r}{E} \quad (b)$$

dengan sudut ϕ adalah

$$\phi = e_f \frac{dx}{h/2} = \frac{2(F_r + F_y) dx}{E h} \quad (c)$$

sebagaimana kita ketahui pada saat badan mengalami luluh maka gaya yang terjadi,

$$A_f f_t \tan \phi \cong A_f f_f \phi \quad (d)$$

untuk sudut yang sangat kecil, dan ϕ dalam radian maka,

$$A_f f_f \phi = 2F_y(F_y + F_r) \frac{dx}{Eh} \quad (e)$$

dan nilai ini harus tidak boleh lebih besar dari gaya tekukan kritis sebesar,

$$F_c t dx = \frac{K_C \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{h}\right)^2 (t) dx \quad (f)$$

dengan mempersamakan persamaan (e) dan (f) maka didapat nilai :

$$\frac{h}{t} = \left[\frac{K_C \pi^2 E}{24(1 - \mu^2)} \frac{A_w}{A_f} \frac{1}{F_y(F_y + F_r)} \right]^{1/2} \quad (g)$$

maka dengan mensubstitusikan nilai-nilai $F_r = f_y/2 = 33/2 = 16,5 \text{ Ksi}$ dan nilai ini sekarang dipakai untuk semua nilai F_y baja. Dan dengan mengasumsikan bahwa $A_w \cong 1/2$ sedang nilai banding Poisson untuk baja $\mu = 0,3$, $E = 29000 \text{ Ksi}$ maka didapat

$$\frac{h}{t} = \frac{13784}{[F_y(F_y + F_r)]^{1/2}} \quad (h)$$

AISC membulatkan nilai ini untuk mendapatkan nilai pembatas h/t sebagai :

$$\frac{h}{t} = \frac{14.000}{[F_y(F_y + F_r)]^{1/2}} \quad (3.8)$$

AISC memperbolehkan sebuah perbandingan h/t_w yang agak lebih besar jika dipakai $a/h \leq 1,5$ sebesar :

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{2000}{\sqrt{F_y}} \quad (3.9)$$

pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan para ahli, menunjukkan bahwa plat badan didalam daerah desak akan sedikit menyimpang secara lateral pada tahap lentur yang sangat dini, sehingga terjadi perpindahan tegangan yang dihasilkan dari bagian badan desak ke satap desak. Hal ini menyebabkan tegangan sayap juga akan bertambah. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka harus ada reduksi terhadap tegangan desak yang diijinkan, sehingga tegangan yang sebenarnya dikembangkan tidak menyebabkan keruntuhan pada sayap. Maka berdasarkan persamaan momen ultimit adalah :

$$Mu = My \left[1 - 0,0005 \frac{Aw}{Af} \left(\frac{h}{t} - \beta_0 \right) \right] \quad (i)$$

karena $Mu/My = Fu/Fy = F'b/Fb$, maka setelah disubstitusikan dalam persamaan kembali selama L/rt dan d/A_f cukup stabil. Dengan menganggap bahwa β_0 adalah dikekang parsial dan diambil $5,7 \sqrt{E/F_{cr}}$ (Basler dan Thurliman, "Strength of Plate Girders in Bending", Journal of Structural Division, ASCE, Agustus 1961). Sedangkan nilai F_{cr} diambil $1,65 Fb$, maka didapat :

$$F'b = Fb \left[1 - 0,0005 \frac{Aw}{Af} \left(\frac{h}{tw} - \frac{760}{\sqrt{Fy}} \right) \right] \quad (3.10)$$

hal ini dilakukan agar ada pembatasan tegangan maksimum yang diperbolehkan pada Fb sebagaimana didefinisikan pada AISC pers. (1.5-6) dan atau (1.5-7).

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa bila nilai :

$$\frac{h}{tw} < \frac{760}{\sqrt{Fb}} \quad (i)$$

sehingga pada kondisi tersebut tidak memerlukan reduksi tegangan ($F'b = Fb$).
 Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan awal plat badan yang relatif ekonomis dapat didekati dengan :

$$\frac{760}{\sqrt{Fb}} < \frac{h}{tw} \leq \frac{2000}{\sqrt{Fy}} \quad (3.11)$$

3.2.2 Analisis dan persyaratan sayap gelagar

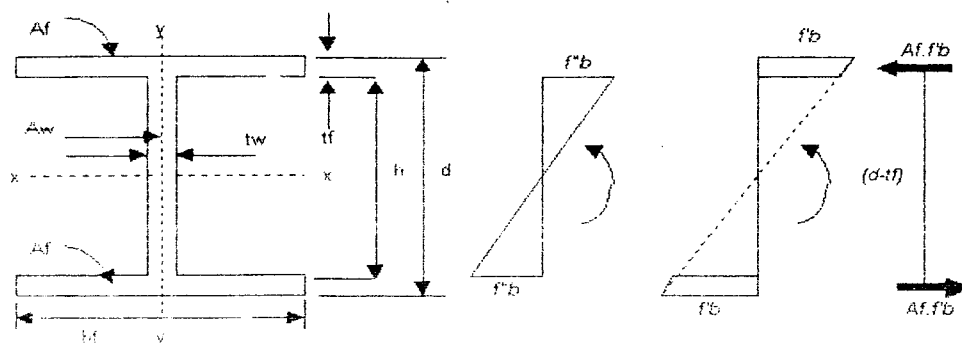
Luas sayap perlu ditentukan dengan menganalisis terhadap kontribusi badan dan sayap didalam lenturan, dimana momen total yang harus diangkat oleh penampang suatu gelagar adalah merupakan jumlah dari momen terhadap sumbu x-x yang harus ditahan oleh badan dan oleh sayap. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

$$M = Mf + Mw \quad (k)$$

dimana :

$$Mf = Af \cdot f'b(d - tf) \quad (l)$$

$$Mw = Af \cdot Sxw = f''b \frac{tw \cdot h}{6} \quad (m)$$



Gambar 3.6. Penampang lintang gelagar

jika dianggap bahwa nilai $f'_{cb} = f'_{cb} \cong F'_{cb} \cong 0,6 F_y$, dan mengambil $d - t_f = h$, maka

$$M_f = M - M_w \quad (n)$$

setelah disubstitusikan didapat nilai :

$$A_f \cdot f'_{cb} \cdot h = M - F'_{cb} \left[\frac{t_w \cdot h^2}{6} \right] \quad (o)$$

maka didapat nilai :

$$A_{f_{\text{perlu}}} = \frac{M}{F_{cb} \cdot h} - \frac{t_w \cdot h}{6} \quad (3.12)$$

setelah luas sayap ditentukan maka dapat ditentukan lebar sayap dan tebal sayap.

Penentuan dimensi sayap dapat juga didekati dengan menggunakan momen inersia penampang. Agar tidak terjadi tekuk setempat (lokal buckling) menurut AISC perbandingan antara b dan $2t_f$ dibatasi sebagai berikut:

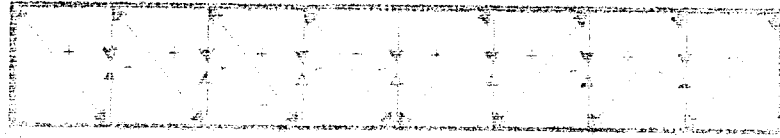
$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{95}{\sqrt{F_y}} \quad (3.13)$$

dimana untuk baja A-36 bila $f_{cb} = F_{cb} = 0,6 F_y$

3.2.3 Analisis dan persyaratan pengaku

Gelagar plat yang mengalami lentur dan diperkaku dengan plat pengaku akan berperilaku dimana gaya tarik ditahan oleh badan sedangkan gaya tekan ditahan oleh plat pengaku. Dengan adanya sayap dan pengaku transversal maka suatu plat memiliki kekuatan pasca tekuk yang besar. *"kekuatan gelagar plat untuk berperilaku seperti rangka batang (truss) telah diketahui sejak tahun 1898"* (Besler), perilaku dimana gaya tarik ditahan oleh aksi membran badan gelagar, sedangkan gaya tekan dipikul oleh pengaku transversal ini disebut sebagai *"aksi medan tarik"*.

Adapun perilaku aksi medan tarik yang terjadi pada gelagar plat dapat dilihat pada gambar 3.7 sebagai berikut :



Gambar 3.7.

Aksi medan tarik pada gelagar berperilaku:

Tahanan geser ultimate (V_u) adalah sebuah nilai badan tumpuan dimana dan pengaku) adalah jumlah dari dua kontribusi gaya lintang yaitu gaya lintang akibat reaksi pada balok (V_D) dan akibat medan tarik (V_T)

$$V_u = V_D + V_T \quad (p)$$

dimana : V_D = gaya geser pada balok akibat reaksi tumpuan

V_T = gaya geser akibat aksi medan tarik

$$\text{gaya lintang} = V_D = F_y / (2s_e) = F_y s_e \quad (q)$$

menurut gaya geser ultimate sebuah gelagar pada kondisi plastis adalah

$$V_D = F_y s_e \quad (r)$$

menurut kriteria von Mises adalah

$$F_{ys} = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (s)$$

maka didapat,

$$V_u = \frac{\sqrt{3}(F_y) F_y s_e}{F_y} \quad (t)$$

tapi untuk nilai $F'_{cr} \leq 0,8F_{ys}$, maka dari persamaan (3.1) yang diulangi disini adalah sebagai berikut :

$$F'_{cr} = \frac{Kc\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/tc)^3} \quad (3.1)$$

sedangkan untuk $F'_{cr} > 0,8F_{ys}$, maka tegangan kritis diambil sebagai rata-rata dari persamaan (3.1)

$$F'_{cr} = \sqrt{0,8F_{ys} \cdot \frac{Kc\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{tw}{h}\right)^2} \quad (3.14)$$

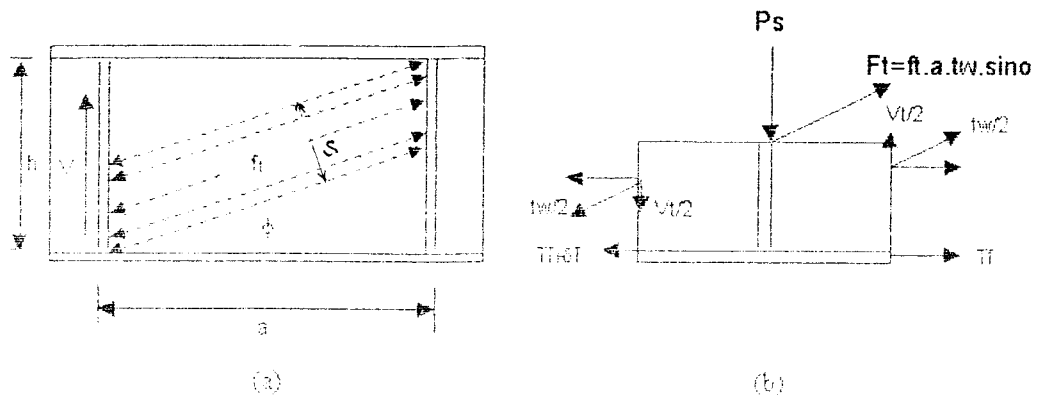
dengan nilai k

$$k = 4,00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad a/h \leq 1,0 \quad (3.15)$$

$$k = 5,34 + \frac{4,00}{(a/h)^2} \quad a/h > 1,0 \quad (3.16)$$

Kita ketahui bahwa badan pada gelagar plat tidak bisa runtuh bila sayap dan pengaku yang mengelilinginya tidak runtuh, tegangan akan didistribusikan akibat tekuk badan tersebut. Sehingga bila sayap dan pengaku mampu menahan beban yang bertambah besar, maka gelagar tidak runtuh. Pengaku terdiri dari dua macam yaitu pengaku landasan/dukungan dan pengaku antara.

Untuk menganalisa perilaku aksi medan tarik yang terjadi pada gelagar plat dapat dilihat dalam gambar 3.8 berikut :



Gambar 3.8 Perilaku plat akibat aksi "medan tarik"

dari gambar terlihat bahwa

$$s = h \cos \phi - a \sin \phi \quad (u)$$

dengan gaya tarik badan

$$T_w = f_t s t_w \quad (v)$$

sedangkan komponen vertikal

$$V_t = T_w \sin \phi = f_t s t_w \sin \phi \quad (w)$$

nilai V_t terbesar didapat dengan mengambil turunan $\frac{dV_t}{d\phi} = 0$

dengan mensubstitusikan pers. (u) kedalam pers. (w) dan mengambil turunan =0,

maka didapatkan :

$$\tan \phi = \left[1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{a}{h} \quad (x)$$

apabila diambil nilai a/h antara 0,5 sampai dengan 3, maka akan didapat nilai ϕ berkisar antara $9,2^\circ$ sampai $31,75^\circ$. Dengan menggunakan benda bebas dari Gambar 3.8 maka perubahan gaya sayap ΔT_f adalah

$$\Delta T_f = F_t \cos \phi = f_t a t_w \sin \phi \cos \phi \quad (y)$$

dengan mengambil $\Sigma M = 0$ terhadap titik 0 dari gambar maka didapat :

$$\Delta T_f = V_t a / h \quad (z)$$

dengan mempersamakan pers.(y) dan pers.(z) dan dengan menggunakan identitas bahwa

$$\sin \phi \cos \phi = \frac{1}{2} \sin 2\phi = \frac{1}{2} \frac{\tan \phi}{1 + \tan^2 \phi} = \frac{1}{2} \frac{1}{\left[1 + (a/h)^2\right]^{1/2}}$$

maka didapat

$$V_t = f_t h t_w \frac{1}{2 \left[1 + (a/h)^2\right]^{1/2}} \quad (a.a)$$

apabila kita substitusikan pers. (1) dan pers.(e) dan dengan mengambil

$$h t_w = V_p / F_{ys} = \sqrt{3} V_p / F_y \text{ maka didapat .}$$

$$V_u = V_p \left\{ \frac{F_{cr}}{F_{ys}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{f_t}{F_y} \frac{1}{\left[1 + (a/h)^2\right]^{1/2}} \right\} \quad (a.b)$$

suatu aproksimasi

$$\frac{f_t}{F_y} = 1 - \frac{F_{cr}}{F_{ys}} \quad (a.c)$$

maka didapat :

$$V_v = V_p \left\{ \frac{F_{cr}}{F_{ys}} + \frac{1 - \frac{F_{cr}}{F_{ys}}}{1.1 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right\}$$

(3.16)

dengan :

- memakai faktor keselamatan 1,67
- $F_{ys} = F_y / 1.67$
- membagi A_w
- $C_v = F_{cr} / F_y$

maka didapatkan persamaan AISC (pers.1.10-2)

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left\{ C_v + \frac{1 - C_v}{1.1 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right\} \text{ untuk } C_v < 1 \quad (3.17)$$

dimana $\frac{1 - C_v}{1.1 \sqrt{1 + (a/h)^2}}$ merupakan kontribusi medan tarik.

jadi jika tegangan yang terjadi $f_v \leq \frac{F_y C_v}{2.89}$ maka terlihat bahwa tidak memerlukan

pengaku. Apabila $C_v > 1$ maka hanya digunakan suku pertama dari persamaan (3.23) untuk mendapatkan tegangan lintang ijin.

$$F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \leq 0.4 F_y \quad \text{pers. (1.10-1) AISC} \quad (3.18)$$

suku C_v dihitung dengan substitusi kedalam pers. (3.1) atau pers. (3.14)

untuk nilai :

$$\bullet C_{v, \text{maks}} < 0,8$$

$$C_v = \frac{45.000k}{F_y (h/t_w)^2}$$

$$\bullet C_{v, \text{maks}} > 0,8$$

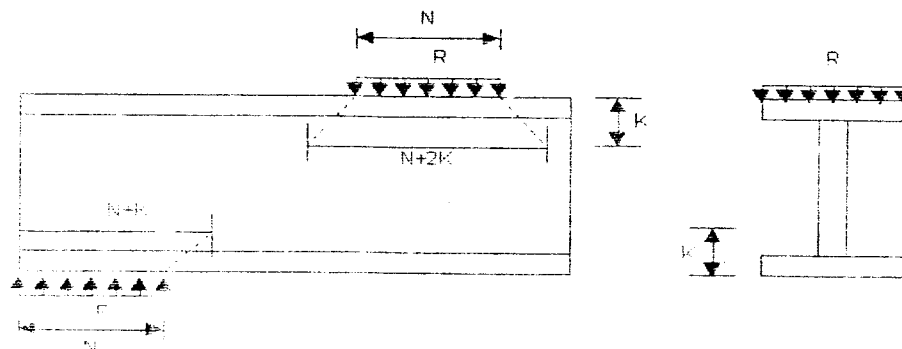
$$C_v = \frac{190}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_y}}$$

(3.19)

dimana nilai k dapat dicari dengan menggunakan pers.(3.14) atau (3.15)

a. pengaku dukungan landasan

Pengaku dukungan hampir selalu dipakai dalam perencanaan AISC antara lain pada tiap tumpuan dan pada tempat-tempat yang menahan beban terpusat. Untuk mengetahui perlu atau tidaknya suatu gelagar memerlukan pengaku dukungan atau tidak maka perlu dilihat tagangan tekan yang terjadi disekitar beban terpusat. Adapun mekanisme penyaluran beban dan tegangan yang terjadi pada gelagar adalah sebagai berikut :



gambar 3.9 Mekanisme penyaluran beban pada gelagar

sehingga tegangan yang terjadi disekitar landasan :

$$f_c = \frac{R}{tw(N + 2K)} \leq 0,75F_y \quad \text{untuk beban dibentangan} \quad (3.20)$$

$$f_c = \frac{R}{tw(N + K)} \leq 0,75F_y \quad \text{untuk reaksi ujung} \quad (3.21)$$

dengan :

N : panjang pendukung

k : jarak muka sayap terluar kekaki lengkungan badan

R : beban terpusat yang disalurkan kegelagar

dengan demikian apabila $f_c > 0,75F_y$ maka harus dipasang pengaku dukungan baik itu pada bagian ujung maupun pada bagian tengah bentangan. Maka direncanakan penampang pengaku dukungan. AISC memberikan batasan pengaku dukung sebagai berikut :

$$\frac{bs}{ts} \leq \frac{95}{\sqrt{F_y}} \quad (3.22)$$

Jika ternyata nilai $f_c < 0,75F_y$ maka tidak diperlukan pengaku dukung dan harus dicek terhadap tekuk pada badan.

b. pengaku antara (*intermediate stiffener*)

AISC menentukan bahwa pengaku antara tidak diperlukan apabila dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

$$\frac{h}{tw} \leq 260 \quad (3.23)$$

$$\text{dan} \quad f_v \leq \frac{F_y C_v}{2,89} \leq 0,4F_y \quad (3.24)$$

apabila salah satu dari kedua syarat tersebut tidak terpenuhi maka harus ada pengaku antara. Perencanaan pengaku antara didasarkan pada cara untuk mendapatkan gaya pengaku yang didasarkan pada $P_v = 0$ dari gambar tersebut. Untuk mendapatkan : pers.(1.10-3) AISC

$$A_x = \frac{1 - C_v}{2} \left\{ \frac{a}{h} \frac{(a/h)^2}{[1 + (a/h)^2]^{1/2}} \right\} Y D h t_w \quad (3.25)$$

dimana :

$Y = F_{yc}/F_{yw}$; untuk memperhitungkan kemungkinan penggunaan mutu baja yang berbeda

$D =$ faktor untuk memperhitungkan efisiensi yang direduksi untuk sebuah plat pengaku.

$D = 1,$ untuk plat pengaku pada kedua sisi plat badan.

$D = 1,8$ untuk plat pengaku dari profil siku pada satu sisi plat badan.

$D = 2,4$ untuk plat pengaku pada satu sisi plat badan.

Pada umumnya luas pengaku relatif sangat kecil, maka disyaratkan agar inersia minimal sebagai berikut.

$$I_x \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4 \quad (3.26)$$

c. jarak antar pengaku

disamping itu AISC memberikan syarat untuk jarak antar pengaku :

$$a/h \leq \left(\frac{260}{h/t} \right)^2 \quad (3.27)$$

dengan jarak maksimum $a \leq 3h$

prosedur perencanaannya adalah pertama ditentukan dahulu letak pengaku pertama dari ujung gelagar, selanjutnya ditentukan jarak pengaku lainnya. Perencanaan jarak pengaku dapat didekati dengan syarat berikut :

$$1. \text{ bila } \frac{h}{t} \leq \frac{14.000}{[F_y(F_y + F_r)]^{1/2}} \quad \text{jarak pengaku } a > 1,5h \quad (3.28)$$

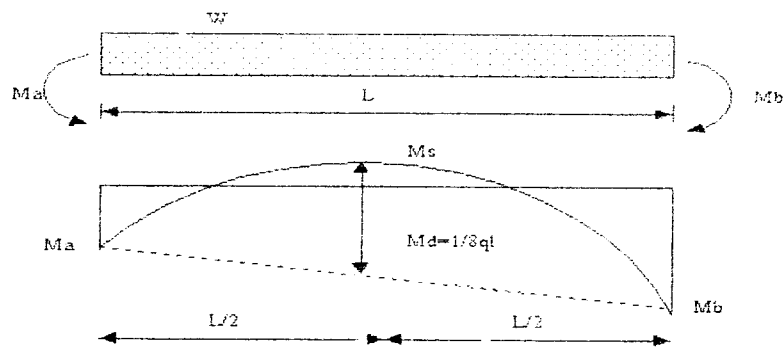
$$2. \text{ bila } \frac{h}{t} > \frac{14.000}{[F_y(F_y + F_r)]^{1/2}} \quad \text{jarak pengaku } a < 1,5h \quad (3.29)$$

3.3 Analisa terhadap Lendutan

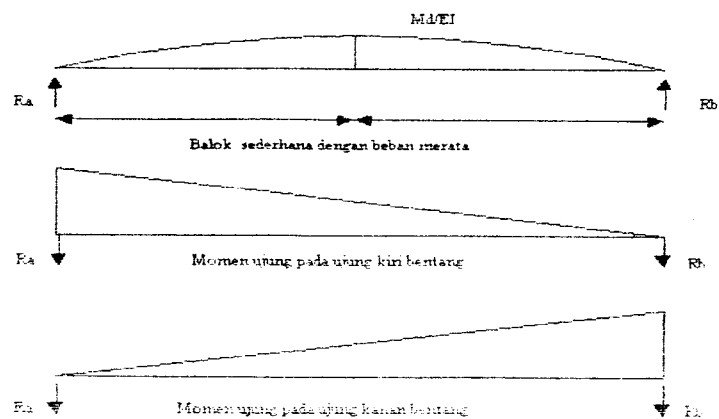
Lendutan terjadi jika suatu balok menahan beban yang menyebabkan lentur maka suatu balok akan mengalami lendutan. Meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok akan tidak layak apabila terlalu fleksibel. Dengan demikian tinjauan terhadap lendutan merupakan bagian dari proses perancangan. Defleksi yang berlebihan harus dihindari karena beberapa alasan antara lain, efek elemen nonstruktural yang dipasang pada struktur bersangkutan, misalnya fungsi yang benar dari sistem drainasi. Selain itu lendutan yang terlihat dengan mata akan mengurangi keyakinan seseorang terhadap kekuatan struktur, sehingga secara psikologis akan mengganggu. Perhitungan lendutan menggunakan metode balok konjugasi (Wang, Chu-Kia dan Solmon, Charles G, 1989).

Adapun penggunaan dari metode ini dapat dijelaskan dengan menggunakan contoh sebuah balok yang dibebani beban terbagi merata dan momen ujung yang tidak sama, seperti terlihat pada gambar (3.10), dan dari keadaan tersebut dibuat balok-balok konjugasi gambar (3.11)

Dalam metode balok konjugasi ini lendutan pada suatu titik tertentu sama dengan momen lentur pada titik tersebut untuk balok yang dibebani dengan diagram M/EI . Sistem dalam gambar (3.10) dapat dianggap terdiri dari tiga balok konjugasi terpisah yang diperlihatkan dalam gambar (3.11).



Gambar 3.10
Diagram momen lentur untuk balok menerus dengan beban merata



Gambar 3.11 Balok-balok konjugasi

Lendutan di titik tengah pada ketiga balok konjugasi tersebut adalah :

beban merata,

$$\delta_s = \frac{2}{3} \left(\frac{l}{2} \right) \left(\frac{M_a}{EI} \right) \left[\frac{l}{2} - \frac{3}{8} \left(\frac{l}{2} \right) \right] = \frac{5M_a l^2}{48EI} \quad (3.30)$$

momen ujung kiri

$$\delta_a = \frac{1}{3} \left(\frac{-M_a}{EI} \right) \left(\frac{l}{2} \right) \left(\frac{l}{2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{-M_a}{2EI} \right) \left(\frac{l}{2} \right) \left(\frac{1}{3} \right) \left(\frac{l}{2} \right) = \frac{M_a l^2}{16EI} \quad (3.31)$$

momen ujung kanan

$$\delta_b = \frac{1}{3} \left(\frac{-M_b}{EI} \right) \left(\frac{l}{2} \right) \left(\frac{l}{2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{-M_b}{2EI} \right) \left(\frac{l}{2} \right) \left(\frac{1}{3} \right) \left(\frac{l}{2} \right) = \frac{M_b l^2}{16EI} \quad (3.32)$$

Lendutan total yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} \delta_s &= \delta_a + \delta_b \\ &= \frac{5M_a l^2}{48EI} - \frac{M_a l^2}{16EI} - \frac{M_b l^2}{16EI} \\ &= \frac{l^2}{48EI} [5M_a - 3(M_a + M_b)] \end{aligned} \quad (3.33)$$

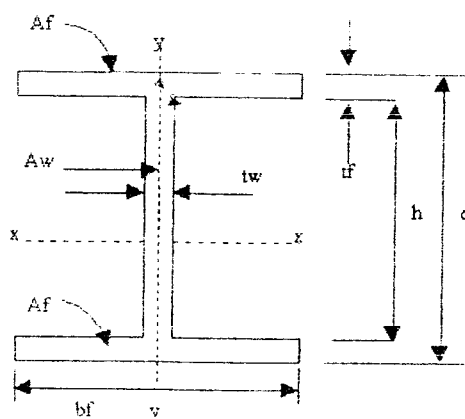
Persamaan ini digunakandengan hasil yang cukup memuaskan untuk semua balok prismatis (yaitu dengan kekakuan lentur tetap). Untuk balok menerus dengan kekakuan lentur yang bervariasi disepanjang bentangan, maka perubahan yang demikian harus ditinjau sewaktu melakukan analisis tak tentu didalam mendapatkan momen ujung (Wang, Chu-Kia Solmon, Charles G,1989).

3.4 Perencanaan Gelagar Nonprismatis

Untuk merencanakan gelagar nonprismatis, mula-mula didisain tebal badan dan luas sayap gelagar berdasarkan persyaratan yang telah ditetapkan oleh AISC untuk gelagar prismatis berdasarkan asumsi awal terhadap tinggi badan, selanjutnya tinggi gelagar difariasi dengan memasukkan pengaruh momen yang terjadi. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. mula-mula ditentukan tinggi plat badan sebesar $1/8-1/12$ panjang bentang,
2. dari nilai tersebut ditentukan tebal badan,
3. kemudian ditentukan luas sayap yang diperlukan,
4. kemudian dengan mengulangi perhitungan, dengan menganggap bahwa tinggi badan belum diketahui.

Dari Inersia penampang maka tinggi badan yang akan difariasi berdasarkan pendekatan, dengan menganggap bahwa momen inersia penampang total terhadap sumbu x-x adalah sebagai berikut : dapat dianalisa sebagai berikut :



Gambar 3.12 Penampang lintang

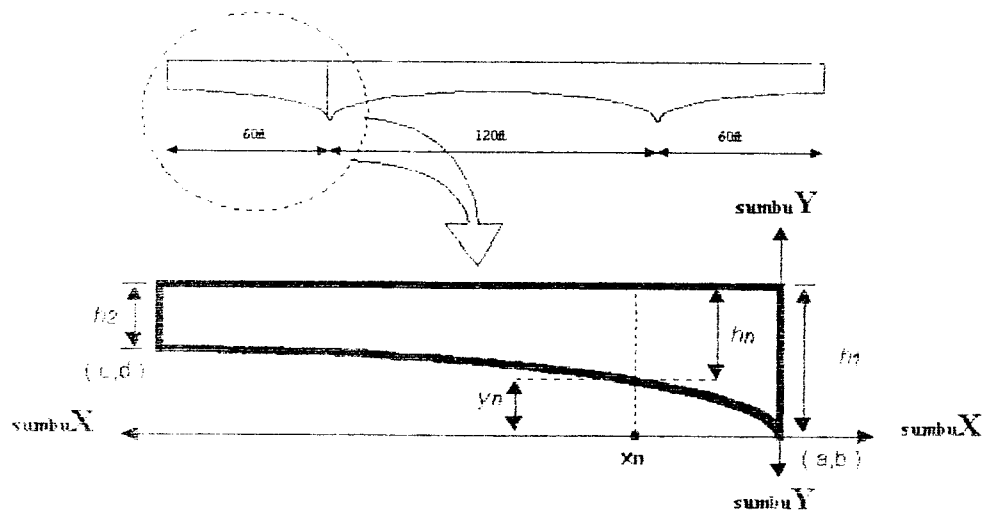
dengan menganggap bahwa $d = h$, maka modulus penampang S adalah :

$$\begin{aligned} S_x &= \frac{tw \cdot h^3 / 12}{h / 2} + \frac{2Af(h / 2)^2}{h / 2} \\ &= \frac{tw \cdot h^2}{6} + Af \cdot h \end{aligned}$$

disamping itu kita ketahui bahwa $S_x = M/Fb$, maka :

$$\begin{aligned} \frac{M}{Fb} &= \frac{tw \cdot h^2}{6} + Af \cdot h \\ \frac{tw \cdot h^2}{6} + Af \cdot h - \frac{M}{Fb} &= 0 \end{aligned} \quad (3.34)$$

ini merupakan persamaan parabola, karena nilai $tw, hf, tf, M, dan Fb$ sudah diketahui maka akan didapatkan nilai ekstrim maksimum dan nilai ekstrim minimum, sehingga variasi nilai tinggi gelagar dapat ditentukan berdasarkan besar momen yang terjadi pada setiap pias yang ditinjau. Berdasarkan momen yang terjadi akan didapat tinggi balok minimum pada masing-masing ujung, sehingga dapat direncanakan balok nonprismatis dengan menggunakan persamaan parabola sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3.13 dibawah ini :



Gambar 3.13 Balok nonprismatis parabolik

Dari gambar 3.13 tersebut merupakan balok nonprismatis parabolik dimana sisi bawah balok merupakan persamaan parabola dengan puncak (a,b) dan melalui titik (c,d), sehingga didapat persamaan :

$$(y - b)^2 = 4.p(x - a) \quad (a.l)$$

dengan memasukkan nilai pada titik (c,d) maka akan didapat nilai p, kemudian dengan mensubstitusikan nilai-nilai x akan didapat nilai y yang bervariasi sesuai perubahan x yang terjadi. Pada kasus ini dianggap nilai a dan b sama dengan nol, sehingga persamaan menjadi :

$$(y - 0)^2 = 4.p(x - 0) \quad (a.m)$$

$$(y)^2 = 4.p(x) \quad (a.n)$$

kemudian nilai y_n dicari dengan memasukkan nilai x_n yang merupakan jarak segmen yang ditinjau dari titik nodal 1.

$$(y_n)^2 = 4.p(x_n) \quad (3.35)$$

Selanjutnya nilai h_n dicari dengan persamaan :

$$h_n = h_1 - y_n \quad (3.36)$$

3.5 Analisis Kekuatan Struktur

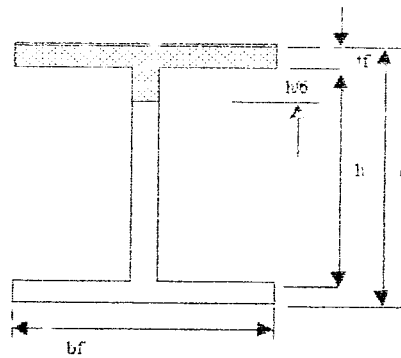
Setelah dilakukan perencanaan mengenai penampang, maka untuk meninjau apakah struktur balok sudah layak atau belum, diperlukan sistem kontrol. Sistem kontrol yang dimaksud adalah pemeriksaan hasil perencanaan terhadap seluruh tegangan yang timbul, momen lentur, kemampuan geser, dan lendutan.

3.5.2 Kontrol kapasitas

a. kontrol kapasitas gelagar

Penampang yang telah didisain harus dicek kemampuannya terhadap tegangan lentur yang terjadi sehingga tegangan yang terjadi tidak lebih dari tegangan ijin sesuai persyaratan yang ditentukan. Tegangan yang terjadi diformulasikan sebagai $f_b = M_{yang\ ditinjau} / S_x$

Tegangan lentur ijin dihitung menurut prosedur sebagai berikut.



Gambar 3.14
Pengaruh inersia pada sayap
ambadan

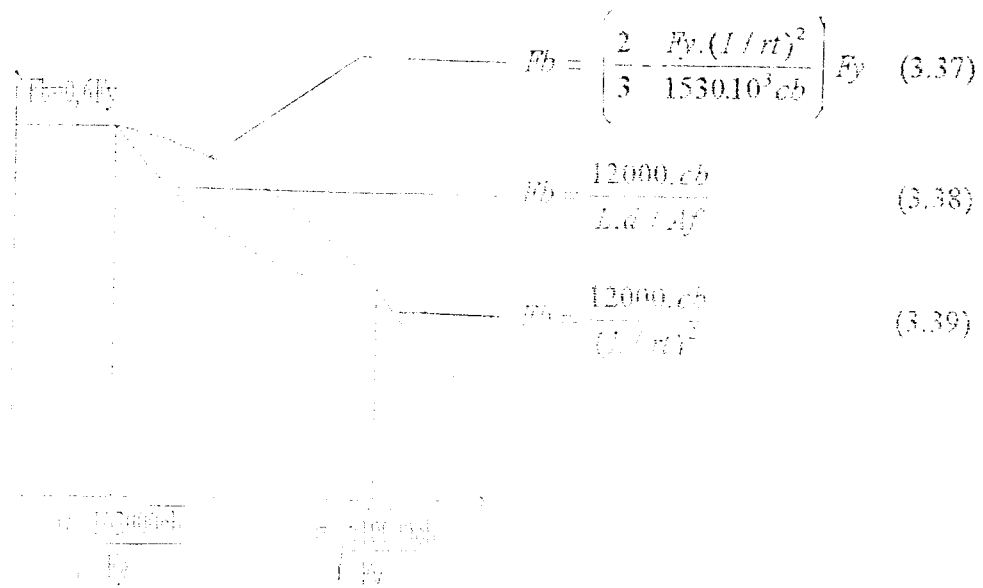
$I_y = \text{Inersia sayap} + 1/6 \text{ badan}$

$$I_y = (1/12)t_f b_f^3 + (1/12) \cdot (h/6) \cdot t_w^3 \quad (\text{a.o})$$

selanjutnya dihitung jari-jari inersia bagian yang tertekan

$$r_i = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (\text{a.p})$$

selanjutnya nilai F_b dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :



Grafik 1
Tegangan-puntir tarik

dimana :

$$cb = 1.75 + 1.05M_1/M_2 + 0.3(M_1/M_2)^2 \quad (3.40)$$

dengan :

M_1/M_2 positif untuk lengkung ganda

M_1/M_2 negatif untuk lengkung tunggal

seperti yang disampaikan diawal bahwa apabila dipakai h/tw seperti dibawah ini :

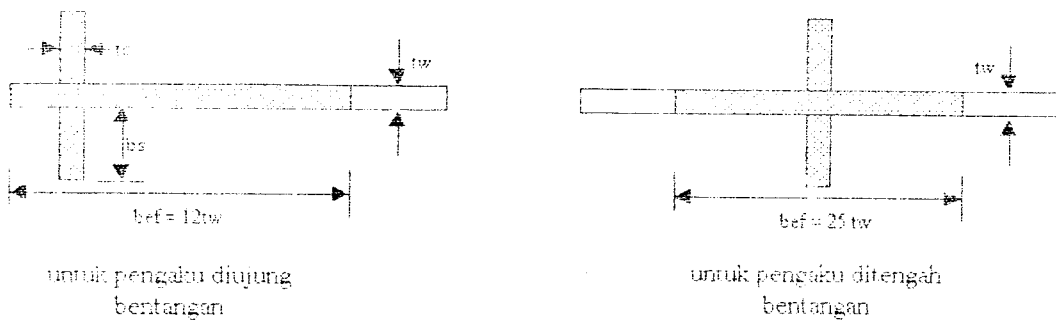
$$\frac{760}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{tw} < \frac{2000}{\sqrt{F_y}}$$

maka tegangan ijin tersebut harus direduksi sesuai pers.(3.4)

b. Pengaku Dukung

b.1 kontrol pengaku sebagai kolom

Pengaku ini dirancang sebagai kolom-kolom dengan perkiraan penampang sebagaimana diatur pada bagian awal disain pengaku ini. Dengan menggunakan sebuah luas seperti yang diperlihatkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 3.15
Penampang bagian plat yang memberikan kontribusi terhadap tegangan yang terjadi

luas efektif yang memberikan kontribusi terhadap tegangan yang terjadi adalah :

$$A_{ef} = \text{luas pengaku} + \text{luas efektif badan } (12tw^2) \quad \text{untuk pengaku ujung}$$

$$A_{ef} = \text{luas pengaku} + \text{luas efektif badan } (25tw^2) \quad \text{untuk pengaku tengah}$$

dengan demikian tegangan yang terjadi pada pengaku = $\frac{\text{beban(terpusat)}}{A_{ef}}$

karena pengaku diasumsikan sebagai batang desak maka pengecekan terhadap tegangan yang terjadi harus dicek terhadap tegangan ijin kolom :

- jika $\frac{kl}{r} \leq Cc$

$$\text{maka } Fa = \frac{Fy}{FS} \left[1 - 0,5 \frac{(kl/r)^2}{Cc^2} \right] \quad (3.41)$$

$$\text{dengan } FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{(kl/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \frac{(kl/r)^3}{Cc^3} \quad (3.42)$$

- jika $\frac{kl}{r} > Cc$

$$\text{maka } Fa = \frac{\pi^2 E}{1,92(kl/r)^2} \quad (3.43)$$

dimana :

$$Fa < 0,9 Fy \quad (\text{AISC bagian 1-5.1.5.1})$$

$$kl = 0,75 h$$

$$r = (I/A)^{1/2}$$

dimana tegangan yang terjadi harus < tegangan ijin.

b. 2. kontrol pengaku terhadap tegangan tumpu

Pengaku laudasan harus mempunyai kontak yang erat dengan sayap, dan harus diteruskan kira-kira ke tepi sayap. Panjang kolom efektif harus diambil tidak kurang dari 3/4 panjang pengaku dalam menghitung angka kelangsingan l/r (AISC, Bab 1.10.5.1).

Pengaku dukung harus dikontrol terhadap tegangan tumpu lokal. Hanya bagian pengaku yang terletak diluar las sayap ke badan saja yang ditinjau sebagai luas efektif dalam memikul beban. Tegangan tumpu tidak boleh melebihi $0,9Fy$.

$$A_{\text{eff}} = (b_c - t_{\text{web}}) \cdot t_s \cdot 2 \quad (\text{a.q})$$

$$f_y = P/A_{\text{eff}} \leq 0,9Fy \quad (\text{a.r})$$

dimana :

$$A_{\text{eff}} = \text{luas efektif pangaku}$$

$$b_c = \text{lebar pengaku}$$

P = beban terpusat / reaksi

f_p = tegangan tumpu yang terjadi

b.3 Kontrol Tegangan Lipat

AISC juga memberikan kriteria bahwa apabila tidak ada pengaku landasan, tekuk badan harus dikontrol sebagai akibat dari tekanan beban terdistribusi merata yang bekerja secara langsung pada sayap gelagar. Apabila sayap tekan secara menerus ditahan terhadap rotasi maka tegangan lipat badan yang diijinkan adalah sebagai berikut :

$$\left[5,5 + \frac{4}{(a/h)^2} \right] \frac{10.000}{(h/t_w)^2} \quad \text{AISC rumus 1.10-10} \quad (3.44)$$

bila sayap tak ditahan terhadap rotasi, tegangan lipat badan ijin

$$\left[2,0 + \frac{4}{(a/h)^2} \right] \frac{10.000}{(h/t_w)^2} \quad \text{AISC rumus 1.10-11} \quad (3.45)$$

dalam penulisan ini tegangan aktual yang terjadi pada sisi tekan badan dapat dihitung sebagai :

1. untuk beban terpusat

$$f_{\text{lipat}} = \frac{\text{beban}}{t_w * (\text{nilai terkecil antara } d \text{ dengan panjang panel})} \quad (3.46)$$

2. Untuk beban terdistribusi

$$f_{\text{lipat}} = \frac{\text{beban terbagi rata}}{\text{tebal badan } (t_w)} \quad (3.47)$$

c. kontrol terhadap pengaku transversal

Kontrol terhadap gaya yang bekerja pada pengaku diperlukan dimana tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan ijin.

$$f_{v\text{maksimum}} = \frac{V_{\text{maks}}}{ht_w} = \frac{V_{\text{maks}}}{ht_w} \leq F_v = \frac{F_y C_v}{2,89} \leq 0,4 F_y \quad (3.48)$$

3.4.3 Kontrol lendutan

Dalam pemisahan ini lendutan yang terjadi tidak boleh lebih besar dari 1/360 kali panjang bentang.

$$\Delta_{\text{yang terjadi}} \leq \frac{1}{360} \text{panjang bentang.} \quad (3.49)$$

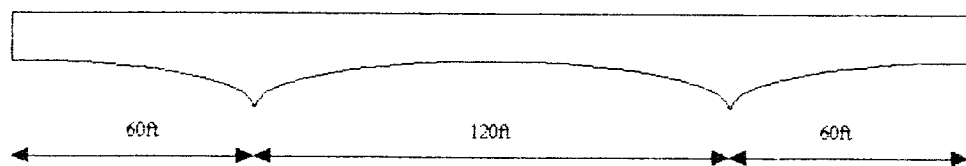
BAB IV
PERENCANAAN GELAGAR PLAT NONPRISMATIS
PADA GELAGAR MENERUS

Dalam perencanaan ini tinjauan dilakukan dengan beban yang bekerja, disain mutu baja telah diketahui. Selanjutnya proses perhitungan disain balok menerus dengan penampang nonprismatis dilakukan dengan beberapa tahap, sebagai berikut.

4.1. Data Perencanaan

Direncanakan gelagar suatu jembatan dengan data-data sebagai berikut :

- bentang gelagar : 240 ft
- jarak antar gelagar : 108,3 in \cong 2,75 m
- sistem gelagar : gelagar plat

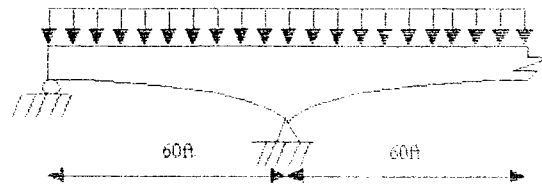


Gambar.4.1 Rencana penampang bujur gelagar

4.2. Momen Rencana

Perhitungan momen rencana didapatkan dengan menganggap bahwa penampang berbentuk prismatis dua dimensi, selanjutnya untuk mendapatkan momen pada titik-titik yang ditinjau maka panjang bentangan dibagi menjadi segmen-segmen dengan panjang tiap segmen 6 feet. Karena panjang bentangan dan sistem tumpuan adalah simetris maka perhitungan dilakukan hanya pada setengah

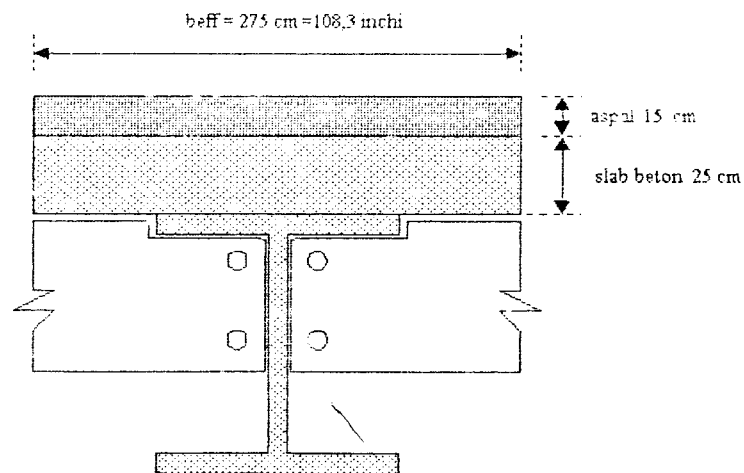
bentang keseluruhan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2, berikut ini.



Gambar. 4.2 Rencana perhitungan momen

4.2.1. Pembebanan

Berdasarkan batasan masalah pada bagian awal penulisan ini bahwa gelagar yang ditinjau adalah gelagar tengah memanjang pada jembatan gelagar plat, maka diasumsikan tebal perkerasan lentur dan slab beton adalah sebagai berikut



Gambar 4.3. Penampang lintang gelagar dan perkerasan

a. beban mati :

- beban perkerasan : $0,15 \times 2,75 \times 2200 = 907,5 \text{ kg/m}$ = 50,77 lb/in
 - beban slab beton : $0,25 \times 2,75 \times 2400 = 1650 \text{ kg/m}$ = 92,32 lb/in
 - perkiraan berat gelagar dan pengaku = 850 lb/ft = 71 lb/in
- Jumlah** = 214,09 lb/in

b. beban hidup / beban D

Kita ketahui bahwa bentang gelagar adalah 240 ft dengan 4 perletakan, dimana menurut PPPJIR SKBI 1.3.28/1987 pembebanan berdasarkan muatan "D" dengan spesifikasi sebagai berikut, untuk satu jalur, bentang jembatan dibagi menjadi :

1. bentang tengah : 120 ft
2. bentang tepi : 60 ft

Berdasarkan PPPJIR maka panjang bentang dipakai panjang bentang $L_1 = 120$ ft maka untuk perencanaan beban hidup untuk satu jalur dipakai q_l dengan bentang $L = 120$ ft = 36,6 m, dengan nilai $q_l = 2,2 - 1,1 / 60 \cdot (36,6 - 30)$ ton/meter = 2,197 t/m untuk $30 < L < 60$ m.

- Faktor distribusi (α) = 1.0 dianggap pengaku vertikal tidak diperhitungkan.
- Faktor kejut (K) = $1 + \frac{20}{50 + L} = 1 + \frac{20}{50 + 36,6} = 1,23$
- maka beban garis $P_L = \frac{P \cdot \alpha \cdot s \cdot K}{2,75} = \frac{12,1 \cdot 2,75 \cdot 1,23}{2,75} = 14,76 \text{ ton}$
- air hujan (L) = $0,05 \cdot 2,75 \cdot 1000 = 137,5 \text{ kg/m}$
- beban terbagi merata = $q_l = \frac{q \cdot \alpha \cdot s}{2,75} = \frac{2,197 \cdot 1,23}{2,75} = 2,197 \text{ ton/meter}$

maka beban yang bekerja pada gelagar : beban terbagi rata = $(2,197 + 0,1375) \text{ t/m}$

$$\text{Jumlah} = 2,34 \text{ t/m}$$

$$= 130,6 \text{ lb/in}$$

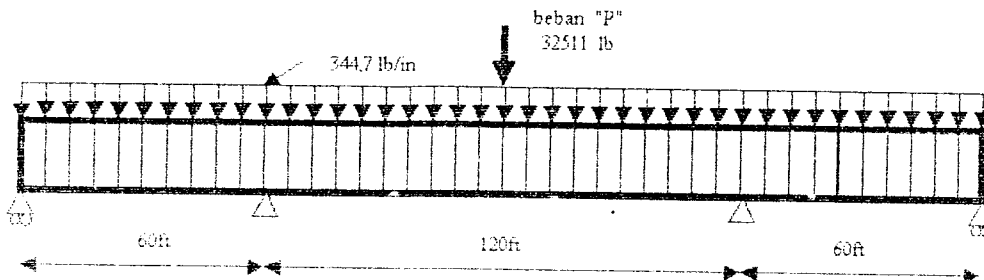
Jadi beban terbagi rata seluruhnya termasuk beban mati = $(214,09 + 130,6) \text{ lb/in}$

$$= 344,7 \text{ lb/in}$$

$$\text{beban titik} = 14,76 \text{ t} = 32511 \text{ lb}$$

4.2.2. Pehitungan Momen

Skema pembebanan ditunjukkan dalam gambar 4.4 sebagai berikut :



Gambar.4.4 Penampang gelagar prismatis

Dengan memberikan beban luar berupa :

1. beban terbagi merata yang terdiri dari :
 - beban sendiri sebesar : 71,0 lb/in
 - beban perkerasan (beban mati) sebesar : 143,09 lb/in
 - beban hidup sebesar : 130,6 lb/in.
2. beban "P" yang terletak pada bentang tengah sebesar : 32,511 Kips

dengan menggunakan program Microfeap, maka momen setengah bentang adalah :

Tabel.4.1
Momen Rencana Setengah Bentang

Segmen	Jarak Dari Perletakan Ujung (in)	Momen Rencana (lb-in)
1	0	0
2	72	2.576.500
3	144	3.366.100
4	216	2.368.800
5	288	-415.400
6	360	-4.986.600
7	432	-11.345.000
8	504	-19.490.000
9	576	-29.422.000
10	648	-41.140.000
11	720	-54.646.000
12	792	-36.500.000
13	864	-20.141.000
14	936	-5.568.500
15	1008	7.216.900
16	1080	18.215.000
17	1152	27.427.000
18	1224	34.852.000
19	1296	44.890.000
20	1368	44.340.000
21	1440	46.404.000



4.3. Perhitungan Penampang Prarencana

Berdasarkan persyaratan yang telah ditentukan oleh AISC maka penentuan penampang prarencana adalah sebagai berikut :

- diambil tinggi prarencana sstinggi: $1/12 \times 12000 = 1000$
- penentuan tebal badan minimum agar tegangan ijin tak perlu reduksi :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{760}{\sqrt{27}} = \frac{10.12}{t_w}$$

$$t_{w \text{ minimum}} = \frac{\sqrt{27} \cdot 10.12}{760} = 0.74 \text{ inch}$$

$$\text{dianggap tebal plat badan (} t_w \text{)} = 0.75 \text{ in}$$

$$\text{menurut pers (3.2) maka } \frac{h}{t} = \frac{14.000}{\left[F_y (F_y + 16.5) \right]^{0.5}} = 322$$

maka tebal badan minimum bila direncanakan plat badan dengan pengaku adalah :

$$t_w = h/322 = 120/322 = 0.373 \text{ dipakai } 0.75 \text{ in}$$

$$\text{dipakai ukuran badan } 0.75 \times 120 = 90 \text{ in}^2$$

$$\text{perbandingan } h/t_w = 120/0.75 = 160 < 162$$

jadi tegangan ijin tidak direduksi.

- penentuan penampang sayap :

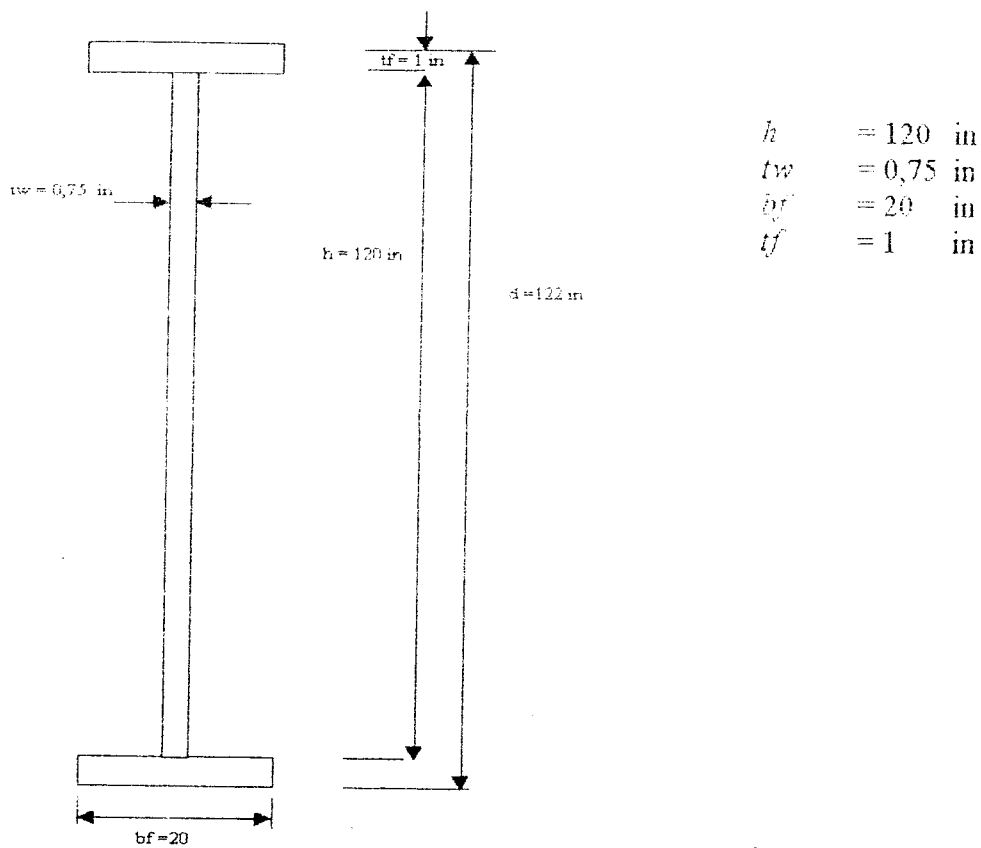
$$\text{penentuan luas sayap } A_{f \text{ reqd}} = \frac{M_f}{F_b \cdot h} = \frac{t_w \cdot h}{6}$$

$$A_{f \text{ reqd}} = \frac{54646.000}{22000 \cdot 120} = \frac{0.75 \cdot 120}{6} = 6.082 \text{ in}^2$$

dipakai ukuran sayap $1 \times 20 \text{ in}^2$

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{20}{2 \cdot 1} = 10 < \frac{95}{\sqrt{36}} = 15.8 \quad (\text{bag.1-9.1.2 AISC})$$

maka penampang rencana adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5 Penampang prarencana

dari nilai tersebut dapat direncanakan tinggi h yang variatif.

4.4 Perencanaan Penampang Nonprismatis

Dengan menganggap bahwa nilai h belum ada maka untuk perhitungan selanjutnya disain penampang nonprismatis ditentukan dengan memakai persamaan

(3.34)

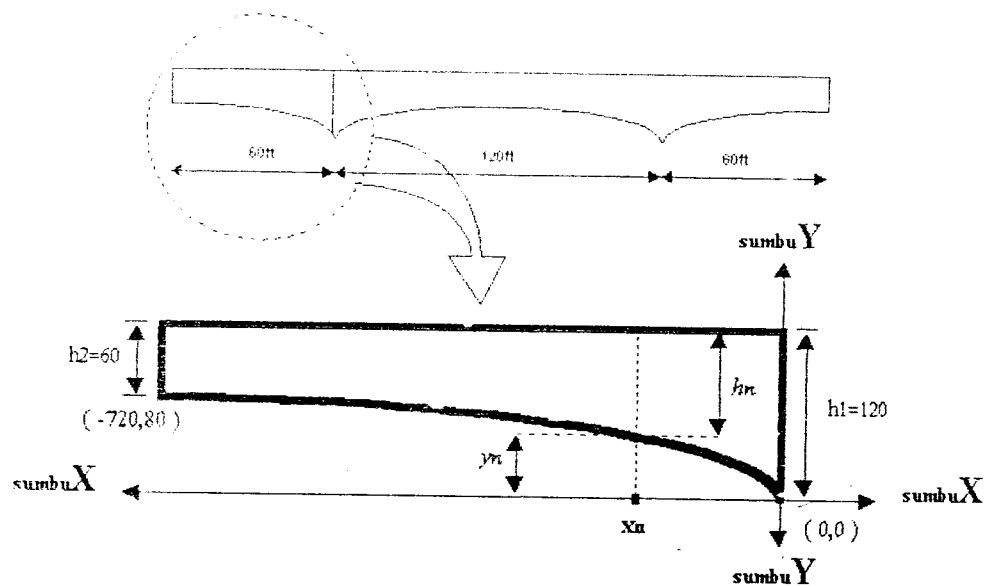
$$= \frac{tw \cdot h^2}{6} + A_f \cdot h - \frac{M}{F_b} = 0$$

$$= \frac{0,75 \cdot h^2}{6} + 20 \cdot h - \frac{M}{22} = h^2 + 160 \cdot h - \frac{8M}{22}$$

Dari data tersebut diatas maka dipakai nilai h minimal sebagai berikut :

- h ujung = 60 inchi
- h tumpuan = 120 inchi
- h tengah bentang = 80 inchi

Selanjutnya ditentukan bentuk plat badan yang berbentuk parabolik, dengan demikian penentuan persamaan parabola ditentukan sebagai berikut.



Gambar 4.6 Balok nonprismatis parabolik

Dari gambar (4.6) merupakan balok nonprismatis parabolik dimana sisi bawah balok merupakan persamaan parabola dengan puncak (0,0) dan melalui titik (-720,80), sehingga didapat persamaan :

$$(y - 0)^2 = 4p(x - 0)$$

4.4.1. Bentang A-B

Dari persamaan tersebut disubstitusikan nilai (-720,80) sehingga didapat nilai P

$$(y)^2 = 4p(x)$$

$$(60)^2 = 4p(-720)$$

$$4p = -5$$

sehingga didapat persamaan parabola sebagai berikut :

$$(y)^2 = (-5)(x) = -5(x)$$

Selanjutnya nilai h dicari dengan persamaan :

$$h_v = h_1 - y_v$$

$$h_n = 120 - y_n$$

- untuk absis $x = -72$ inchi,

$$(y)^2 = -5(-72) = 360$$

$$y = 18,9 \text{ inchi}$$

$$h = 120 - 18,9 = 101,01 \text{ inchi}$$

Untuk selanjutnya perhitungan ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.3
Perhitungan tinggi plat badan untuk bentang ujung

titik	absis (x)	ordinat (y)	h terpakai	keterangan
1	0	0	120,00	h terpakai > h minimum
2	-72	18,97366596	101,03	h terpakai > h minimum
3	-144	26,89281573	93,17	h terpakai > h minimum
4	-216	32,86533345	87,14	h terpakai > h minimum
5	-288	37,94733192	82,05	h terpakai > h minimum
6	-360	42,42640687	77,57	h terpakai > h minimum
7	-432	46,47580015	73,52	h terpakai > h minimum
8	-504	50,19960159	69,80	h terpakai > h minimum
9	-576	53,66563146	66,33	h terpakai > h minimum
10	-648	56,92099788	63,08	h terpakai > h minimum
11	-720	60	60,00	h terpakai > h minimum

4.4.2. Setengah bentang B-C

Selanjutnya penentuan tinggi plat badan pada bagian tengah adalah sebagai berikut. Parabola yang akan dibentuk adalah parabola dengan puncak (0,0) dan

melalui titik (720,40), dengan cara yang sama akan didapat persamaan parabola sebagai berikut.

$$(y)^2 = 2,222(x)$$

Selanjutnya nilai h dicari dengan persamaan :

$$h_n = 120 - y_n$$

dan hasilnya ditabelkan dalam tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4
Perhitungan tinggi plat badan untuk bentang tengah

titik	absis (x)	ordinat (y)	h terpakai	keterangan
1	0	0.00	120.00	h terpakai > h minimum
2	-72	12.64	107.36	h terpakai > h minimum
3	-144	17.88	102.12	h terpakai > h minimum
4	-216	21.90	98.10	h terpakai > h minimum
5	-288	25.29	94.71	h terpakai > h minimum
6	-360	28.27	91.73	h terpakai > h minimum
7	-432	30.97	89.03	h terpakai > h minimum
8	-504	33.45	86.55	h terpakai > h minimum
9	-576	35.76	84.24	h terpakai > h minimum
10	-648	37.93	82.07	h terpakai > h minimum
11	-720	39.98	80.02	h terpakai > h minimum

4.5. Perencanaan Momen Dan Gaya Geser Yang Terjadi Berdasarkan Bentuk

Sebenarnya

Dari penampang tersebut kemudian dilakukan perhitungan momen yang terjadi sesuai bentuk yang sebenarnya. Akibat beban luar, perhitungan momen dilakukan dengan menggunakan metode momen distribusi. Adapun perhitungan nilai Fixed End Momen, Stiffness dan Carry Over Faktor dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini. (J.S. Kinney).

Tabel 4.5
Perhitungan untuk menentukan Stiffness, Carry Over Factor dan Fixed End Moment

pias (1)	H (2)	L (3)	Inersia (4)	d (5)	A (6)	x (7)	I (8)	A*x (9)	x ² (10)	A*x ² (11)	M _s (12)	w (13)	M _y (14)
1	63.08	72	56751.3221	1.00	72.00	36	2239488.00	2592.00	286.2651165	4509735.25	-4243946.00	305564112.00	-76473530309.02
2	64.68	72	60059.5003	0.94	68.03	108	2116133.24	7347.68		2162137.42	11351646.00	772299234.42	-137677784520.49
3	68.04	72	67351.8221	0.84	60.67	180	1887015.09	10920.23		685141.84	16752420.00	1016334535.45	-108005871082.56
4	71.63	72	75716.1441	0.75	53.97	252	1678557.54	13599.42		63370.41	20326270.00	1096926884.68	-37591684337.95
5	75.50	72	85431.1884	0.66	47.83	324	1487675.72	15496.62		68687.23	23113194.00	1057653736.57	39905275480.61
6	79.75	72	96912.0746	0.59	42.16	396	1311435.19	16696.51		507669.52	23113194.00	932356633.61	102307493405.87
7	84.50	72	110826.015	0.51	36.87	468	1146787.65	17254.91		1217643.11	20326270.00	749418575.84	136191837787.87
8	90.00	72	128375.833	0.44	31.83	540	990014.25	17187.75		2049126.85	16752420.00	533215489.44	135292766135.34
9	96.76	72	152201.006	0.37	26.85	612	835039.85	16430.18		2848436.07	11351646.00	304754268.12	99267607754.68
10	106.58	72	191420.39	0.30	21.35	684	663951.76	14600.79		3176735.02	-4243946.00	90592059.18	36031179697.76
Jumlah								461.55	132126.10	17488082.02		6859115529.30	189247290012.11

- keterangan :
- kolom (1) : nomor pias yang ditinjau
 - kolom (2) : tinggi badan pada tengah pias yang ditinjau
 - kolom (3) : jarak antar pias
 - kolom (4) : inersia pias tengah bentang/inersia pias yang ditinjau
 - kolom (5) : kolom (4) x kolom (3)
 - kolom (6) : jarak pias terhadap titik A
 - kolom (7) : kolom (5) x kolom (3)³/12
 - kolom (8) : kolom (5) x kolom (6)²
 - kolom (9) : kolom (9)
 - kolom (10) : kolom (10)
 - kolom (11) : kolom (11)
 - kolom (12) : kolom (12)
 - kolom (13) : kolom (13)
 - kolom (14) : kolom (14)
 - Σ kolom (8) / Σ kolom (5) : kolom (6) x kolom (9)
 - kolom (5) x kolom (10) : Momen tiap pias akibat beban merata pada balok sederhana
 - kolom (12) x kolom (5) : kolom (12) x kolom (5)
 - kolom (10) x kolom (13) : kolom (10) x kolom (13)

Tabel 4.6
Perhitungan menentukan SF, COF, FEM

pias (1)	H (2)	L (3)	Inersia (4)	d (4)	A (5)	x (6)	I (7)	A*x ² (8)	Ms (9)	w (10)	My (11)
11	111.06	72	211175.98	0.48	34.27	684	1065795.170	16031335.68	9296456.4	318543043.04	217886861442.40
12	104.51	72	182665.48	0.55	39.61	612	1232144.903	14837078.21	26549175.6	1051711400.39	643647377038.08
13	100.00	72	164517.23	0.61	43.98	540	1368065.446	12825613.56	42014970	1847969029.32	997903275831.55
14	96.34	72	150628.13	0.67	48.04	468	1494211.836	10521741.68	55693839.6	2675488499.73	1252128617875.72
15	93.17	72	139226.55	0.72	51.97	396	1616576.254	8150238.61	67585781.4	3512653490.52	1391010782247.85
16	90.34	72	129503.00	0.78	55.88	324	1737954.558	5865596.63	77690804.4	4341020048.37	1406490495671.39
17	87.75	72	121007.30	0.83	59.80	252	1859973.235	3797445.36	66008899.6	3947234650.01	994703131803.70
18	85.36	72	113458.61	0.89	63.78	180	1983721.912	2066376.99	92540070	5901934303.32	1062348174596.88
19	83.12	72	106667.91	0.94	67.84	108	2110009.822	791253.68	97284315.6	6599500431.53	712746046604.87
20	81.01	72	100500.80	1.00	72.00	36	2239488.004	93312.00	100241636.4	7217397833.66	259826322011.71
21	81.01	72	100500.80	1.00	72.00	36	2239488.004	93312.00	100241636.4	7217397833.66	259826322011.71
22	83.12	72	106667.91	0.94	67.84	108	2110009.822	791253.68	97284315.6	6599500431.53	712746046604.87
23	85.36	72	113458.61	0.89	63.78	180	1983721.912	2066376.99	92540070	5901934303.32	1062348174596.88
24	87.75	72	121007.30	0.83	59.80	252	1859973.235	3797445.36	66008899.6	3947234650.01	994703131803.70
25	90.34	72	129503.00	0.78	55.88	324	1737954.558	5865596.63	77690804.4	4341020048.37	1406490495671.39
26	93.17	72	139226.55	0.72	51.97	396	1616576.254	8150238.61	67585781.4	3512653490.52	1391010782247.85
27	96.34	72	150628.13	0.67	48.04	468	1494211.836	10521741.68	55693839.6	2675488499.73	1252128617875.72
28	100.00	72	164517.23	0.61	43.98	540	1368065.446	12825613.56	42014970	1847969029.32	997903275831.55
29	104.51	72	182665.48	0.55	39.61	612	1232144.903	14837078.21	26549175.6	1051711400.39	643647377038.08
30	111.06	72	211175.98	0.48	34.27	684	1065795.170	16031335.68	9296456.4	318548043.04	217886861442.40
Jumlah								1074.33	149959984.81	74826015459.79	17877382170248.30

keterangan :
 kolom (1) : nomor pias yang ditinjau
 kolom (2) : tinggi badan pada tengah pias yang ditinjau
 kolom (3) : jarak antar pias
 kolom (4) : inersia pias tengah bentang/inersia pias yang ditinjau
 kolom (5) : kolom (3) x kolom (3)
 kolom (6) : jarak pias terhadap tengah bentang
 kolom (7) : kolom (5) x kolom (3)³/12
 kolom (8) : kolom (5) x kolom (6)²
 kolom (9) : momen yang terjadi pada gelagat sederhana
 kolom (10) : kolom (9) x kolom (5)
 kolom (11) : kolom (6) x kolom (10)

4.5.1 Perhitungan momen

a. Bagian A - B

Untuk menentukan besar momen yang terjadi pada masing-masing pias maka dipakai prosedur sebagai berikut.

1. Penentuan Fixed End Momen

$$M_a = \frac{\sum w}{\sum A} + \frac{\sum My(-x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{6,859116.10^9}{461,55} + \frac{1,89248.10^{11}(-286,26)}{14356098 + 17488082} = 13159820$$

$$M_b = \frac{\sum w}{\sum A} + \frac{\sum My(L-x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{6,859116.10^9}{461,55} + \frac{1,89248.10^{11}(720 - 286,26)}{14356098 + 17488082} = 17428734$$

2. Carry Over Factor (COF)

- COF dititik A (C_A)

$$f'_a = \frac{1}{\sum A} + \frac{-x_o \cdot -x_o}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{1}{461,55} + \frac{(-286,26) \cdot (-286,26)}{14356098 + 17488082} = 0,0047399$$

$$f'_b = \frac{1}{\sum A} + \frac{-x_o \cdot (L-x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{1}{461,55} + \frac{(-286,26) \cdot (720 - 286,26)}{14356098 + 17488082} = -0,0017324$$

$$C_A = \frac{f'_b}{f'_a} = \frac{-0,0017324}{0,0047399} = 0,3655$$

- COF dititik B (C_B)

$$f'_b = \frac{1}{\sum A} + \frac{(L-x_o) \cdot (L-x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{1}{461,55} + \frac{(720 - 286,26) \cdot (720 - 286,26)}{14356098 + 17488082} = 0,00807$$

$$f'_a = \frac{1}{\sum A} + \frac{(L-x_o) \cdot (-x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{1}{461,55} + \frac{(720 - 286,26) \cdot (-286,26)}{14356098 + 17488082} = -0,0017324$$

$$C_B = \frac{f'_a}{f'_b} = \frac{-0,0017324}{0,00807} = 0,2146$$

3. Stiffness Coefficient (K)

Koeffisien kekakuan dapat dicari dengan :

$$K_A = f^a \cdot \text{Inersia pias 1} \cdot E_o = 0,00474 \cdot 56751,322 \cdot 29 \cdot 10^6 = 7,8008 \cdot 10^9$$

$$K_B = f^b \cdot \text{Inersia pias 1} \cdot E_o = 0,00807 \cdot 56751,322 \cdot 29 \cdot 10^6 = 1,3281 \cdot 10^{10}$$

Perletakan di A sesungguhnya rol, sehingga K_B perlu disesuaikan,

$$\begin{aligned} S'_{BA} &= S_{BA} \cdot (1 - C_{AB} \cdot C_{BA}) \\ &= 1,3281 \cdot 10^9 (1 - 0,3655 \cdot 0,2146) = 1,2239759 \cdot 10^{10} \end{aligned}$$

b. Bagian B - C

1. Penentuan Fixed End Momen

$$M_B = \frac{\sum w}{\sum A} + \frac{\sum My(-x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{7,482691510^{10}}{1074,33} + \frac{0 \cdot (-720)}{33415882 + 149959984,8} = 69649828$$

$$M_C = \frac{\sum w}{\sum A} + \frac{\sum My(L - x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{7,482691510^{10}}{1074,33} + \frac{0 \cdot (1440 - 720)}{33415882 + 149959984,8} = 69649828$$

2. Carry Over Factor (COF)

- COF dititik B (C_B)

$$f^b = \frac{1}{\sum A} + \frac{-x_o \cdot -x_o}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{1}{1074,33} + \frac{(-720) \cdot (-720)}{33415882 + 149959984,8} = 0,0037577$$

$$f^c = \frac{1}{\sum A} + \frac{-x_o \cdot (L - x_o)}{\sum I + \sum Ax^2} = \frac{1}{1074,33} + \frac{(-720) \cdot (1440 - 720)}{33415882 + 149959984,8} = -0,001896$$

$$C_B = \frac{f^c}{f^b} = \frac{-0,0018961}{0,0037557} = -0,504877$$

- COF dititik C (C_C)

$$C_C = C_B = -0,504877$$

3. Stiffness Coefficient (K)

Koeffisien kekakuan dapat dicari dengan :

$$K_B = f^b \cdot \text{Inersia pias} \cdot E_o = 0,0037577 \cdot 100500 \cdot 8.29 \cdot 10^6 = 1,095 \cdot 10^{10}$$

$$K_C = f^c \cdot \text{Inersia pias} \cdot E_o = 0,0037577 \cdot 100500 \cdot 8.29 \cdot 10^6 = 1,095 \cdot 10^{10}$$

kekakuan batang BC perlu disesuaikan,

$$S_{BC} = S_{BC} \cdot (1 - C_{BC})$$

$$= 1,095 \cdot 10^{10} (1 - 0,504877) = 5,4225 \cdot 10^9$$

Perhitungan momen pada tumpuan dengan menggunakan metode momen distribusi akibat beban luar dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7
Perhitungan Momen

	A	B	
	ab	ba	bc
sf	7800800000	12239759000	5422500000
df	1	0.710081	0.289919
cof	0.3655	0.2146	504877
fem	-13159820	17428734	-69649828
	7957626.947	37081206.65	15139887.35
	5202193.053	2908512.649	
	-443208.9958	-2065279.57	-843233.0787
	443208.9958	161992.888	
	-24685.02423	-115028.0719	-46964.81609
	24685.02423	9022.376354	
	-1374.860228	-6406.618024	-2615.75833
	1374.860228	502.5114133	
	-76.57438896	-356.8238069	-145.6876064
	76.57438896	27.98793916	
	-4.264896842	-19.87370383	-8.114235334
	4.264896842	1.558819796	
	-0.237538233	1.106888319	-0.451931476
	0.237538233	0.086820224	
	-0.013229959	-0.061649392	-0.025170833
	0.013229959	0.00483555	
	-0.000736857	-0.003433632	-0.001401918
	0.000736857	0.000269321	
	-4.10401E-05	-0.00019124	-7.80814E-05
	4.10401E-05	1.50002E-05	
		-1.06513E-05	-4.34883E-06
Jumlah	-4.61328E-10	55402908.58	-55402908.58

Dari tabel 4.7 terlihat bahwa momen yang terjadi pada tumpuan A=D=0 dan pada tumpuan B=C=55402908,58 lb-in. Maka momen yang terjadi pada tiap pias dapat dicari dengan melakukan superposisi dengan momen akibat beban sendiri. Sehingga momen total akibat beban luar yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.8. Sedangkan gaya geser yang terjadi dihitung sebagai berikut.

4.5.2 Perhitungan gaya geser

a. tumpuan A = D

1. reaksi akibat beban vertikal pada balok sederhana

$$R_a = \frac{wL}{2} = \frac{344,7 \cdot 720}{2} = 124092 \text{ lb}$$

2. reaksi akibat momen yang bekerja

$$R_a = -\frac{Mb}{L_1} + \frac{Ma}{L_1} = -\frac{55402908,58}{720} + \frac{0}{720} = -76948,48 \text{ lb}$$

maka reaksi sesungguhnya :

$$R_a = \frac{wL}{2} - \frac{Mb}{L_1} + \frac{Ma}{L_1} = \frac{344,7 \cdot 720}{2} - \frac{55402908,58}{720} + \frac{0}{720} = 47143,52 \text{ lb}$$

$$R_{B/KANAN} = \frac{wL}{2} + \frac{Mb}{L_1} - \frac{Ma}{L_1} = \frac{344,7 \cdot 720}{2} + \frac{55402908,58}{720} - \frac{0}{720} = 201040 \text{ lb}$$

b. tumpuan B = C

1. reaksi akibat beban vertikal pada balok sederhana

$$R_b = \frac{(wL) + P}{2} = \frac{(344,7 \cdot 1440) + 32511}{2} = 264439,5 \text{ lb}$$

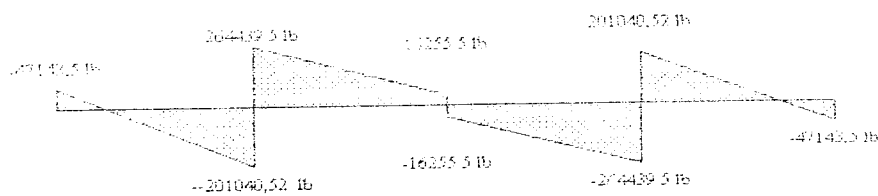
2. reaksi akibat momen yang bekerja

$$R_{B/KANAN} = \frac{Mb}{L_2} - \frac{Mc}{L_2} = \frac{55402908,58}{1440} - \frac{55402908,58}{1440} = 0 \text{ lb}$$

maka reaksi sesungguhnya :

$$R_{H_{KANAN}} = \frac{(w \cdot L) - P}{2} + \frac{M_b}{L_2} - \frac{M_c}{L_2}$$

$$= \frac{(344,7 \cdot 1440) + 32511}{2} - \frac{55402908,58}{1440} - \frac{55402908,58}{1440} = 264439,5 \text{ lb}$$



Gambar 4.7 SFD

selanjutnya reaksi pada masing-masing pias dapat dicari dengan menggunakan perbandingan segitiga.

Tabel 4.8
Gaya Geser Dan Superposisi Momen Setengah Bentang

titik	jarak dari A	Ms (lb-in)	Mj (lb-in)	Mt (lb-in)	gaya geser (lb)
1	0	0.00	0.00	0.00	47143.50
2	72	8041161.60	-5540290.86	2500870.74	22325.10
3	144	14295398.40	-11089581.72	3214816.68	-2493.30
4	216	18762710.40	-16620872.57	2141837.83	-27311.71
5	288	21443097.60	-22161163.43	-718065.83	-52130.14
6	360	22336560.00	-27701454.29	-5364894.29	-76948.51
7	432	21443097.60	-33241745.15	-11798647.55	-101766.91
8	504	18762710.40	-38782036.01	-20019325.61	-126585.31
9	576	14295398.40	-44322326.86	-30026928.46	-151403.72
10	648	8041161.60	-49862617.72	-41821456.12	-176222.12
11	720	0.00	-55402908.58	-55402908.58	-201040.52
					264439.50
12	792	18140181.60	-55402908.58	-37256726.98	239621.10
13	864	34505438.40	-55402908.58	-20897470.18	214802.70
14	936	49077770.40	-55402908.58	-6525138.18	189964.30
15	1008	61863177.60	-55402908.58	6460269.02	165165.90
16	1080	72861660.00	-55402908.58	17458751.42	140347.50
17	1152	82073217.60	-55402908.58	26670309.02	115529.10
18	1224	89497850.40	-55402908.58	34094941.82	90710.70
19	1296	9513558.40	-55402908.58	39732649.82	65892.30
20	1368	98960341.60	-55402908.58	43583433.02	41073.90
21	1440	101050200.00	-55402908.58	45647291.42	16255.50

$$\frac{L}{r} = \frac{72}{4,924} = 14,62$$

$$cb = 1,75 + 1,05 \frac{M_1}{M_2} = 0,3 \left[\frac{M_1}{M_2} \right]^2 = 1,75 + 1,05 \frac{-0}{2500,87} + 0,3 \left[\frac{-0}{2500,87} \right]^2$$

(angle curvature)

$$= 1,75$$

$$L_1 = 11 \sqrt{\frac{102000cd}{F_y}} = 1,924 \sqrt{\frac{102000 * 1,75}{36}} = 70,1124 \text{ in}$$

$$L_2 = 11 \sqrt{\frac{510000cd}{F_y}} = 1,924 \sqrt{\frac{510000 * 1,75}{36}} = 157,422 \text{ in}$$

$$L = 72 \dots\dots\dots L_1 < L < L_2$$

dipakai

$$F_b = \left(\frac{2}{5} - \frac{F_y (L/r)^2}{15 \cdot 4530 \cdot 10^3 cb} \right) F_y \quad (3.37)$$

$$F_b = 23,897 \text{ Ksi}$$

$$F_b = \frac{12000 \cdot cb}{L \cdot d^3 \cdot A} \quad (3.38)$$

$$F_b = 89,63 \text{ Ksi}$$

nilai F_b terbesar $89,63 \text{ Ksi} > 0,6 F_y = 21,61 \text{ Ksi}$

sedangkan perbandingan $\frac{h}{2t} = \frac{60}{0,75} = 80 < 162$ ini berarti tegangan ijin

tidak perlu direduksi, maka dipakai $F_b = 21,61 \text{ Ksi}$

- pada pias 2

$$M_1 = 2500870,74 \text{ Kips-Inch}$$

$$I_y = \frac{1}{12} (20)(10)^3 + \frac{1}{12} \left(\frac{h}{6}\right) (20)^3 + \frac{1}{12} (120)^3 + \frac{1}{12} \left(\frac{63,08}{6}\right) (10)^3$$

$$= 607,04 \text{ in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{607,04}{62208 * 0,28}} = 1,30$$

$$r_1 = \frac{72}{4,89} = 14,72$$

$$c_1 = 1,75 - 1,05 \frac{A_1}{A_2} = 0,3 \frac{A_1}{A_2} = 1,75 - 1,05 \frac{2500,87}{3214,816} = 0,3 \frac{2500,87}{3214,816}$$

(sing e curvature)

$$= 1,11$$

$$L_1 = n \sqrt{\frac{102000cd}{F_y}} = 4,8909 \sqrt{\frac{102000 * 1,11}{36}} = 58,9579 \text{ in}$$

$$L_2 = n \sqrt{\frac{51000cd}{F_y}} = 4,8909 \sqrt{\frac{51000 * 1,11}{36}} = 125,641 \text{ in}$$

$$L = 72 \dots\dots\dots L_1 < L < L_2$$

$$\text{dipakai } F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (L/r)^2}{1530,10^3 c^2 h} \right] F_y \quad (3.37)$$

$$F_b = 23,84 \text{ Ksi}$$

$$F_b = \frac{12000 c^2 h}{L^2 F_y} \quad (3.38)$$

$$F_b = 55,489 \text{ Ksi}$$

nilai F_b terbesar = $61,72562 \text{ Ksi} > 0,6 F_y = 21,61 \text{ Ksi}$

sedangkan perbandingan $\frac{h}{tw} = \frac{63,08}{0,75} = 84,1067 < 162$ ini berarti tegangan

ijin tidak perlu direduksi, maka dipakai $F_b = 21,61 \text{ Ksi}$

d. Kontrol tegangan

- pada pias 1

$$f_b = 0,00 \text{ Ksi} < F_b = 21,6 \text{ Ksi} \quad (\text{aman})$$

- pada pias 2

$$f_b = 1.434 \text{ Ksi} < F_b = 21,6 \text{ Ksi} \quad (\text{aman})$$

selanjutnya untuk perhitungan berikutnya ditabelkan dalam tabel 4.9.

Dari perhitungan tegangan yang terjadi tersebut terlihat tidak ada bagian pias yang tidak memenuhi syarat kapasitasnya hal tersebut dapat dikatakan bahwa plat gelagar memenuhi syarat kekuatan lenturnya.

e. Tegangan lentur yang terjadi bersamaan dengan gaya geser

Tegangan ini di cek pada bagian yang menahan beban terpusat akibat gaya geser maksimum yang terjadi.

- tegangan geser maksimum yang terjadi

$$f_v = \frac{V}{h.tw} = \frac{P + \frac{1}{2}q.l}{h.tw} = \frac{32511 + \frac{1}{2}344,71440}{120 \cdot 0,75} = 3118,833 \text{ lb/in}^2$$

- perhitungan mencari F_v :

$$a/h = 72/80 = 0,9 < 3 \text{ (syarat)}$$

$$0,9 < \frac{260}{h/tw} = \frac{260}{120/0,75} = 1,64^2 = 2,64 \text{ OK}$$

Tabel 4.9
Perhitungan tegangan lentur yang terjadi

titik	jarak (in)	M _i (lb-in)	h (in)	tw (in)	bf (in)	tf (in)	inersia (in ⁴)	S _x (in ³)	f _b =M/S _x (lb/in ²)
1	0	0.00	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	0.00
2	20	30997.174	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	1.85
3	44	117410.28	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	7.01
4	74	219137.32	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	13.12
5	109	346070.38	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	20.67
6	149	498201.47	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	29.77
7	194	675531.57	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	40.36
8	244	878061.68	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	53.47
9	299	1105691.74	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	69.11
10	359	1358321.84	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	87.37
11	424	1635951.97	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	108.26
12	494	1938582.13	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	131.67
13	569	2266212.32	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	157.61
14	649	2718842.54	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	195.77
15	734	3306472.79	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	247.54
16	824	4029103.07	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	312.51
17	919	4886733.38	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	392.27
18	1019	5879363.72	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	487.42
19	1124	7007004.09	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	600.57
20	1234	8270654.49	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	742.32
21	1349	9670314.92	65.00	0.75	20	1.00	50713.33	167.43	914.27

4.6. Perencanaan Pengaku Landasan dan Pengaku Antara

4.6.1. Perencanaan pengaku landasan

Pengaku dukungan dipasang pada tiap-tiap tumpuan dan pada tempat yang menahan gaya "P". Dianggap tahanan ujung 1/2 inchi bawah ke las sayap.

a. Perencanaan pengaku pada tumpuan

Pengaku tumpuan diperlukan pada tumpuan A, B, C, dan D, namun karena simetris maka hanya pengaku pada tumpuan A dan B saja yang dihitung.

1. pengaku tumpuan A=D

$$f_c = \frac{K}{tw(N - K)} \leq 0.75 F_y$$

$$f_c = \frac{47143.5}{0.75(0 - 1.375)} = 48980.26 \text{ lb/in} \geq 75 F_y \dots \dots \dots \text{perlu pengaku dukungan}$$

karena a/h kurang dari 1 maka, $k = 4,00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad a/h \leq 1,0$

$$k = 4,00 + \frac{5,34}{(0,9)^2} = 10,59$$

$$C_p = \frac{45.000k}{F_y (h/t_w)^2} = 1,16 \quad \text{karena } C_p = \frac{45.000k}{F_y (h/t_w)^2} > 1, \text{ maka :}$$

$$F_c = \frac{F_y C_p}{2,89} = 0,4 F_y = 14,44982698962 \text{ Ksi}$$

Tegangan tarik lentur ijin yang terjadi pada badan adalah :

$$F_b = \left(0,825 - 0,375 \frac{f_v}{F_v} \right) \cdot F_y < 0,6 \cdot F_y$$

$$F_b = 0,825 - 0,375 \frac{3,1188}{14,4498} \cdot 36 = 26,786 > 0,6 \cdot F_y = 21,6 \text{ Ksi}$$

dipakai dipakai tegangan ijin 21,6 Ksi

tegangan lentur aksial pada lokasi beam terpusat adalah

$$f_b = 13,284 \text{ Ksi (tabel 4.12)} < 21,6 \text{ Ksi} \quad (\text{ aman })$$

Tabel 4.9
Perhitungan tegangan lentur yang terjadi

no.	jarak (in)	M _i (lb-in)	h (in)	t _w (in)	I _x (in ⁴)	t _f (in)	inersia (in ⁴)	S _x (in ³)	f _b =M/S _x (lb/in ²)
1	0	0.00	85.20	0.75	300	1.00	45713.33	1637.91	0.00
2	25	7087.50	85.04	0.75	300	1.00	45743.33	1744.11	4.04
3	50	28350.00	84.88	0.75	300	1.00	45773.33	1869.85	15.17
4	75	63112.50	84.72	0.75	300	1.00	45803.33	1988.41	31.98
5	100	108075.00	84.56	0.75	300	1.00	45833.33	2128.71	50.00
6	125	164237.50	84.40	0.75	300	1.00	45863.33	2264.07	70.81
7	150	231600.00	84.24	0.75	300	1.00	45893.33	2402.02	94.82
8	175	310162.50	84.08	0.75	300	1.00	45923.33	2570.98	122.51
9	200	400925.00	83.92	0.75	300	1.00	45953.33	2724.94	153.22
10	225	503887.50	83.76	0.75	300	1.00	45983.33	2871.97	187.78
11	250	619050.00	83.60	0.75	300	1.00	46013.33	3017.71	222.28
12	275	746412.50	83.44	0.75	300	1.00	46043.33	3141.12	256.66
13	300	886975.00	83.28	0.75	300	1.00	46073.33	3244.56	290.01
14	325	1040737.50	83.12	0.75	300	1.00	46103.33	3321.29	321.89
15	350	1207700.00	82.96	0.75	300	1.00	46133.33	3387.68	350.00
16	375	1387862.50	82.80	0.75	300	1.00	46163.33	3449.20	375.82
17	400	1581125.00	82.64	0.75	300	1.00	46193.33	3507.93	399.43
18	425	1787487.50	82.48	0.75	300	1.00	46223.33	3564.40	421.51
19	450	2006950.00	82.32	0.75	300	1.00	46253.33	3617.45	441.16
20	475	2239512.50	82.16	0.75	300	1.00	46283.33	3667.30	458.26
21	500	2485175.00	82.00	0.75	300	1.00	46313.33	3714.61	472.17

4.6. Perencanaan Pengaku Landasan dan Pengaku Antara

4.6.1. Perencanaan pengaku landasan

Pengaku dukungan dipasang pada tiap-tiap tumpuan dan pada tempat yang menahan gaya "F". Dianggap tahanan ujung 1/2 inchi bawah ke las sayap.

a. Perencanaan pengaku pada tumpuan

Pengaku tumpuan diperlukan pada tumpuan A, B, C, dan D, namun karena simetris maka hanya pengaku pada tumpuan A dan B saja yang dihitung.

i. pengaku tumpuan A=D

$$f_b = \frac{R}{tw(L^2 + E)} \leq 0.75 F_y$$

$$\frac{47143.6}{0.75(0 - 1.375)} = 48980.26 \text{ lb/in} \geq 75 F_y \dots\dots\dots \text{perlu pengaku dukungan}$$

Tabel 4.10

Perhitungan tegangan lentur (mm)

jarak (mm)	Mt (kNm)	$I_{y_{sum}}$ (mm ⁴)	rt	l	Ir	cb	cb normal	σ	ε	ε _{max}	ε _{min}	σ _{max}	σ _{min}	per. 3.37 (kNm ²)	per. 4.35 (kNm ²)	IR = 0,6HY (kNm ²)	IR = ΔI.Sx (kNm ²)
1	0	667,02	4.924957699	72	14,62	1,75	1,75	70	1124	152,412	152,412	per. 3.37 667,338	per. 4.35 59,63124	23,99	59,63124	21,6	0,000
2	7	667,04	4.892990697	72	14,72	1,11	1,11	85	9579	125,341	125,341	per. 3.37 667,339	per. 4.35 55,19906	23,86	55,19906	21,6	1,434
3	144	667,06	4.855733662	72	14,83	0,85	0,85	48	8594	109,09	109,09	per. 3.37 667,338	per. 4.35 41,13811	23,79	41,13811	21,6	1,728
4	216	667,08	4.819006651	72	14,94	2,14	2,14	77	1851	173,969	173,969	per. 3.37 667,338	per. 4.35 48,99360	23,66	48,99360	21,6	1,077
5	288	667,10	4.780546998	72	15,06	1,61	1,61	67	3594	151,221	151,221	per. 3.37 667,338	per. 4.35 71,27631	23,81	71,27631	21,6	-0,337
6	360	667,12	4.739707692	72	15,19	1,33	1,33	61	2279	137,474	137,474	per. 3.37 667,338	per. 4.35 55,90831	23,82	55,90831	21,6	-2,348
7	432	667,15	4.695732603	72	15,33	1,24	1,24	58	9081	132,265	132,265	per. 3.37 667,338	per. 4.35 48,99360	23,84	48,99360	21,6	-4,791
8	504	667,18	4.647229915	72	15,39	1,13	1,13	57	6533	129,478	129,478	per. 3.37 667,338	per. 4.35 44,14998	23,85	44,14998	21,6	-7,498
9	576	667,21	4.591673375	72	15,68	1,15	1,15	56	8559	127,959	127,959	per. 3.37 667,338	per. 4.35 40,30578	23,82	40,30578	21,6	-10,262
10	648	667,26	4.52217	72	15,92	1,13	1,13	56	2984	126,406	126,406	per. 3.37 667,338	per. 4.35 36,50995	23,81	36,50995	21,6	-12,782
11	720	667,37	4.366688715	72	16,49	1,18	1,18	57	5623	136,244	136,244	per. 3.37 667,338	per. 4.35 32,24874	23,80	32,24874	21,6	-13,384
12	792	667,40	4.368440196	72	16,11	1,26	1,26	59	3845	133,336	133,336	per. 3.37 667,338	per. 4.35 38,36610	23,82	38,36610	21,6	-9,959
13	864	667,27	4.51279304	72	15,95	1,45	1,46	61	6140	143,772	143,772	per. 3.37 667,338	per. 4.35 45,75034	23,85	45,75034	21,6	-6,049
14	936	667,24	4.54707322	72	15,33	3,31	2,40	80	3785	189,172	189,172	per. 3.37 667,338	per. 4.35 21,66	21,66	21,66	21,6	-1,945
15	1008	667,12	4.57802446	72	15,73	1,40	1,46	62	2674	169,931	169,931	per. 3.37 667,338	per. 4.35 48,34194	23,82	48,34194	21,6	2,092
16	1080	667,10	4.604758669	72	15,64	1,19	1,19	53	8456	129,880	129,880	per. 3.37 667,338	per. 4.35 42,26322	23,83	42,26322	21,6	5,970
17	1152	667,19	4.629599035	72	15,55	1,11	1,11	55	8948	135,503	135,503	per. 3.37 667,338	per. 4.35 40,2733	23,82	40,2733	21,6	9,434
18	1224	667,17	4.652774238	72	15,47	1,07	1,07	54	2388	123,880	123,880	per. 3.37 667,338	per. 4.35 33,27416	23,81	33,27416	21,6	12,547
19	1296	667,16	4.674677799	72	15,40	1,01	1,04	54	1042	121,479	121,479	per. 3.37 667,338	per. 4.35 30,27912	23,81	30,27912	21,6	15,180
20	1368	667,15	4.695539079	72	15,33	1,02	1,02	53	5251	120,241	120,241	per. 3.37 667,338	per. 4.35 28,43932	23,80	28,43932	21,6	17,359
21	1440	667,14	4.715508137	72	15,27	1,75	1,15	70	1124	152,412	152,412	per. 3.37 667,338	per. 4.35 11,25606	23,89	11,25606	21,6	19,167

maka disain pengaku adalah sebagai berikut :

menurut AISC. Bab1.9.1.2 maka perbandingan lebar dengan tebal pengaku maksimum adalah :

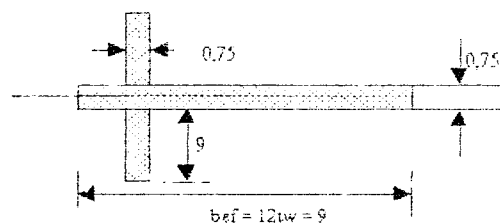
$$\frac{95}{\sqrt{F_y}} = \frac{95}{\sqrt{36}} = 15,8 \quad (3.22)$$

dan pengaku kira-kira harus mendekati tepi plat sayap, maka dicoba tinggi plat 9 in sehingga kebutuhan tebal plat dukung adalah sebagai berikut :

$$t_{\text{perlu}} = \frac{\text{lebar}}{15,8} = \frac{9}{15,8} = 0,56 \text{ in} \text{ dipakai } t = 0,75 \text{ in}$$

momen inersianya adalah :

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 0,75 \cdot 2,9 + 0,75 \cdot 3 = 411,987 \text{ in}^4$$



Gambar 4.8 Penampang pengaku ujung

luas efektif adalah :

$$A = 2,9 \cdot 0,75 + 12 \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 20,25 \text{ in}^2$$

jari-jari girasi adalah :

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{411,98}{20,25}} = 4,51 \text{ in}$$

panjang efektif kl diambil sebesar $0,75 \cdot 60 = 45 \text{ in}$.

maka angka kelangsingannya adalah :

$$\frac{37}{131} = \frac{45}{131} - 10 \quad \text{maka terdapat ijimca selama beribnt :}$$

• bentuk layang-layang

• $2 \times (2 \times \text{alas belah ketupat})$

$$A_{\text{layang-layang}} = \frac{1}{2} \times (2 \times \text{alas belah ketupat}) = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times d_1 \times d_2)$$

maka :

$$A_{\text{layang-layang}} = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times d_1 \times d_2) = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times 10^2) = 100 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{layang-layang}} = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times d_1 \times d_2) = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times 10^2) = 100 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{layang-layang}} = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times d_1 \times d_2) = \frac{1}{2} \times (2 \times \frac{1}{2} \times 10^2) = 100 \text{ cm}^2$$

2. cek tegangan tumpu pada pengaku

$$f_p = 0,9 f_y = 0,9 \times 36 = 32,4 \text{ Ksi}$$

dimensi dan hubungan sayap ke balok menggunakan las 3/4 in. Dengan

demikian luas efektif untuk landasan pengaku pada sayap adalah :

$$A_e = 2 \times (\text{lebar pencah} + \text{lebar las}) \times \text{tebal pengaku} \\ = 2 \times (9 + 0,75) \times 0,75 = 12,75 \text{ in}^2$$

tegangan tumpu adalah

$$f_p = \frac{17.143,5}{12,75} = 1.343,5 \text{ Ksi} > f_p \quad \text{(ok)}$$

4. cek lipat badan

karena pada tengah bentang B-C ada gaya terpusat yang berarti pada tempat tersebut harus direncanakan pengaku landasan maka prosedur pengecekan tekuk badan tidak berlaku disini.

Untuk perbitungan pengaku dukungan yang lain (dukungan B=C, dan pada tengah bentang) disajikan dalam tabel.

4.6.2 Perencanaan pengaku antara

Pada pemlisan ini pengaku antara direncanakan dengan jarak yang tetap sebesar jarak antar titik yang menjadi tinjauan analisis gelagar ini yaitu 72 inchi, maka perlu dicek apakah dalam jarak panel 72 inchi tersebut masih perlu pengaku tambahan atau tidak, maka prosedur perencanaannya adalah sebagai berikut :

a. Cek pengaku antara pada panjang panel 720 in (bentang A-B)

beberapa kriteria yang harus dicek adalah :

$$\frac{h}{tw} = \frac{120}{0,75} = 160 < 260$$

$$\frac{a}{h} = \frac{720}{120} = 6$$

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(6)^2} = 5,45$$

tegangan geser maksimum

$$V = 465480,02 \text{ lb}$$

maka tegangan geser yang terjadi adalah :

$$f_v = \frac{V}{h.tw} = \frac{465480,02}{120.0,75} = 5172 \text{ lb / in}^2 \therefore 0,4 F_y = 14,4 \text{ Ksi}$$

selanjutnya ditentukan besarnya Cv_{perlu}

$$Cv_{\text{perlu}} = \frac{2,89 \cdot fV_{\text{actual}}}{Fy} = \frac{2,89 \cdot 5,172}{36} = 0,42 < 0,8$$

karena nilai tersebut $< 0,8$ maka nilai Cv dihitung berdasarkan persamaan

sebagai berikut :

$$Cv = \frac{45000 \cdot k}{Fy(h/tw)^2}$$

$$Cv = \frac{45000 \cdot 5,45}{36 \cdot (160)^2} = 0,27$$

$$FV = \frac{Fy \cdot Cv}{2,89} = \frac{36 \cdot 0,27}{2,89} = 3,36 \text{ Ksi} < fV = 5,172 \text{ Ksi}$$

maka perlu direncanakan ada pengaku antara.

• perhitungan a_{maksimum}

karena $Cv_{\text{perlu}} = 0,42 < 0,8$ maka dari persamaan :

$$Cv = \frac{45000 \cdot k}{Fy(h/tw)^2} \text{ didapat nilai } k_{\text{perlu}}$$

$$k_{\text{perlu}} = \frac{Cv \cdot Fy \cdot (h/tw)^2}{45000}$$

$$k_{\text{perlu}} = \frac{0,42 \cdot 36 \cdot (160)^2}{45000} = 8,60$$

dengan mengasumsikan bahwa $a/h < 1$ maka :

$$k_{\text{perlu}} = 4 + \frac{5,34}{(a/h)^2}$$

maka :

$$\frac{a}{h} = \sqrt{\frac{5,34}{8,6 - 4}} = 1,08$$

maka $a_{\text{maksimum}} = 1,08h$, jadi bila direncanakan jarak pengaku secara seragam dengan jarak masing-masing antar pengaku sama dengan 72 inchi adalah memenuhi syarat.

b. Perencanaan pengaku antara

- titik 2 perencanaan pengaku antara pada panel 72 in

$$\frac{a}{h} = \frac{72}{63,08} = 1,14 \text{ nilai ini } > 1,00 \text{ maka nilai } k \text{ adalah :}$$

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(1,14)^2} = 8,1$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{63,08}{0,75} = 84,1$$

gaya geser pada titik ini adalah :

$$V = 22325,1 \text{ lb}$$

maka tegangan geser yang terjadi adalah :

$$f_v = \frac{V}{h \cdot tw} = \frac{22325,1}{63,08 \cdot 0,75} = 471,9 \text{ lb / in}^2$$

selanjutnya ditentukan besarnya $C_{v_{\text{perlu}}}$

$$C_{v_{\text{perlu}}} = \frac{2,89 \cdot (0,4719)}{36} = 0,038$$

maka luas pengaku yang diperlukan :

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left\{ \frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right\} YDhtw$$

$$A_{st} = 5,7317 \text{ in}^2$$

dipakai dua plat $2 \times \frac{3}{4} \times 6 = 9 \text{ inchi}^2$

c. Kontrol kemampuan pengaku

3. menurut (AISC, BAB 1.10.5.4) reduksi ijin Ast

$$A_{st\text{paku aktual}} = \frac{f_v}{f_y} A_{st} = \frac{0,4719}{3,36} 5,7317 = 0,805/n^2 \text{ in}^2$$

2. cek perbandingan lebar tebal (AISC Bab. 1.9.1.2)

$$\frac{6}{0,75} = \frac{95}{\sqrt{47}} = 15,8 \text{ ksi} \quad (\text{oke})$$

3. cek momen inersia (AISC Bab. 1.10.5.4)

$$I_{\text{tetapan}} = \left[\frac{h}{50} \right]^4 = \left[\frac{63,08}{50} \right]^4 = 2,533/n^4$$

$$I_{\text{tersedia}} = 0,75 \cdot (2,6 + 0,75)^3 \cdot 1/12 = 13,96/n^4 \quad (\text{oke})$$

4. panjang minimum pengaku yang diperlukan

$$= h - 6 \cdot (\text{tebal badan}) - \text{ukuran las diasumsikan}$$

$$= h - 6 \cdot (0,75) - 0,75$$

$$= 63,08 - 6 \cdot 0,75 - 0,75 = 57,83 \text{ in}$$

jadi digunakan pengaku antara 2 x 3/4 x 6 x 57,83 in

untuk perhitungan selanjutnya termasuk untuk bentang B - C dapat dilihat pada tabel

sebagai berikut :

Tabel 4.12
Perhitungan pengaku antara

titik	gaya geser (lb)	tw (in)	a (in)	h (in)	afu	l/rw	k	fv (lb/in)	Cv(p/mb)	Art (in ²)	dipakai
1	47143.5	0.75	72	60.0	1.20000	80.000	8.118	1047.633	0.0841	5.731715	2x6x3/4 in
2	22325.1	0.75	72	63.1	1.14141	84.107	8.410	471.890	0.0179	6.438122	2x6x3/4 in
3	2493.304	0.75	72	66.3	1.08548	88.440	8.735	50.119	0.0040	7.113489	2x6x3/4 in
4	27311.71	0.75	72	69.8	1.03152	93.067	9.099	591.714	0.0419	7.295343	2x6x3/4 in
5	52130.11	0.75	72	73.5	0.97933	98.027	9.568	945.414	0.0769	7.493162	2x6x3/4 in
6	76948.51	0.75	72	77.6	0.92819	103.427	10.198	1322.651	0.1067	7.715309	2x6x3/4 in
7	101766.9	0.75	72	82.1	0.87751	109.400	10.935	1653.738	0.1328	7.971252	2x6x3/4 in
8	126585.3	0.75	72	87.1	0.82676	116.187	11.822	1936.888	0.1555	8.277983	2x6x3/4 in
9	151403.7	0.75	72	93.2	0.77278	124.227	12.942	2166.702	0.1739	8.635555	2x6x3/4 in
10	176222.1	0.75	72	101.0	0.71266	134.707	14.514	2325.674	0.1867	9.214896	2x6x3/4 in
11	465480.0	0.75	72	120.0	0.60000	160.000	18.833	5172.000	0.4152	7.665961	2x6x3/4 in
12	239621.1	0.75	72	107.4	0.67064	143.147	15.873	2975.920	0.2389	9.19386	2x6x3/4 in
13	214802.7	0.75	72	102.1	0.70505	136.160	14.742	2804.579	0.2251	8.895711	2x6x3/4 in
14	189934.3	0.75	72	98.1	0.73394	130.800	13.913	2582.186	0.2073	8.739228	2x6x3/4 in
15	165165.9	0.75	72	94.7	0.76022	126.280	13.240	2325.216	0.1867	8.670022	2x6x3/4 in
16	140347.5	0.75	72	91.7	0.78491	122.307	12.668	2040.009	0.1638	8.637742	2x6x3/4 in
17	115529.1	0.75	72	89.0	0.80872	118.707	12.185	1730.190	0.1389	8.729894	2x6x3/4 in
18	90710.7	0.75	72	85.6	0.83189	115.400	11.716	1397.430	0.1122	8.646838	2x6x3/4 in
19	65892.3	0.75	72	84.2	0.85470	112.320	11.310	1042.930	0.0837	8.655572	2x6x3/4 in
20	41073.9	0.75	72	82.1	0.87730	109.427	10.938	667.299	0.0536	8.701444	2x6x3/4 in
21	16255.5	0.75	72	80.0	0.89978	106.693	10.596	270.857	0.0217	8.74804	2x6x3/4 in

Tabel 4.13
Kontrol kemampuan pengaku

urut	pengaku terpakai	Ast perlu aktual (m ²)	cek perbandingan lebar tebal	luas (m ²)	metan pada (m ²)	panjang tabungam (m)
1	2x6x3/4 in	1.7871	8 < 95/√Fy	129.542	2.074	54.75
2	2x6x3/4 in	0.9042	8 < 95/√Fy	129.542	2.533	57.83
3	2x6x3/4 in	0.1061	8 < 95/√Fy	129.542	3.097	61.08
4	2x6x3/4 in	1.1328	8 < 95/√Fy	129.542	3.798	61.55
5	2x6x3/4 in	2.1084	8 < 95/√Fy	129.542	4.675	63.27
6	2x6x3/4 in	3.0371	8 < 95/√Fy	129.542	5.793	72.32
7	2x6x3/4 in	3.9233	8 < 95/√Fy	129.542	7.252	76.60
8	2x6x3/4 in	4.7719	8 < 95/√Fy	129.542	9.226	81.99
9	2x6x3/4 in	5.5880	8 < 95/√Fy	129.542	12.06	87.92
10	2x6x3/4 in	6.3782	8 < 95/√Fy	129.542	16.67	95.78
11	2x6x3/4 in	11.8001	8 < 95/√Fy	129.542	33.38	111.75
12	2x6x3/4 in	8.0637	8 < 95/√Fy	129.542	21.29	103.11
13	2x6x3/4 in	7.4002	8 < 95/√Fy	129.542	17.4	93.97
14	2x6x3/4 in	6.7162	8 < 95/√Fy	129.542	14.87	92.85
15	2x6x3/4 in	5.9999	8 < 95/√Fy	129.542	12.87	89.46
16	2x6x3/4 in	5.2444	8 < 95/√Fy	129.542	11.37	86.48
17	2x6x3/4 in	4.4439	8 < 95/√Fy	129.542	10.07	83.78
18	2x6x3/4 in	3.5938	8 < 95/√Fy	129.542	8.68	81.30
19	2x6x3/4 in	2.6898	8 < 95/√Fy	129.542	8.057	78.69
20	2x6x3/4 in	1.7281	8 < 95/√Fy	129.542	7.159	76.82
21	2x6x3/4 in	0.7050	8 < 95/√Fy	129.542	6.50	74.77

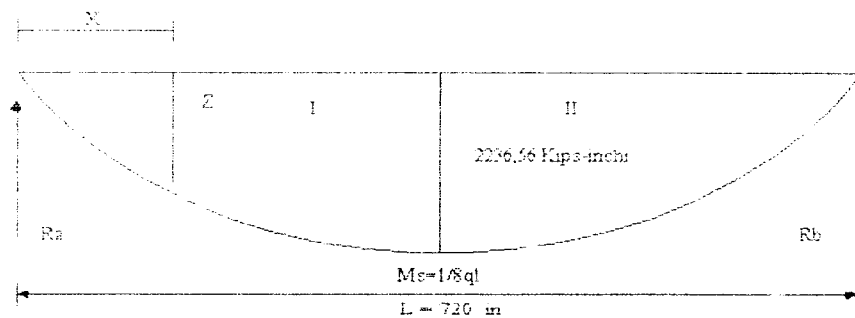
4.9 Kontrol Lendutan

Lendutan yang terjadi dihitung berdasarkan besar momen yang terjadi akibat beban vertikal yaitu akibat berat sendiri, beban hidup, maupun beban mati. Perhitungan lendutan pada penulisan ini menggunakan metode balok konjugasi. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut.

4.9.1 Batang A - B

a. Akibat momen berat sendiri

Dengan menganggap bidang momen sebagai beban maka dapat ditentukan lendutan yang terjadi.



Gambar 4.8 Diagram momen akibat beban luar pada gelagar sederhana

$$R'a = \text{Luas bidang I} = \frac{2}{3} \cdot \frac{720}{2} \cdot 2236,56 = 5360774,4 \text{ Kips}$$

$$\delta_z = \frac{R'a \cdot X - (\text{Luas bidang sepanjang X}) \cdot (\text{titik berat bidang tersebut ketitik Z})}{E \cdot I_x}$$

- untuk titik 1 ($x = 0$)

$$\delta_1 = 0$$

- untuk titik 2 ($x = 72$ inchi)

$$\delta_2 = \frac{5360774,4 \cdot 72 - 2 / 3 \cdot 72 \cdot 8041,16 \cdot 3 / 8 \cdot 72}{29.000.56753,35} = 0,228183 \text{ inchi}$$

- untuk titik 3 ($x = 144$)

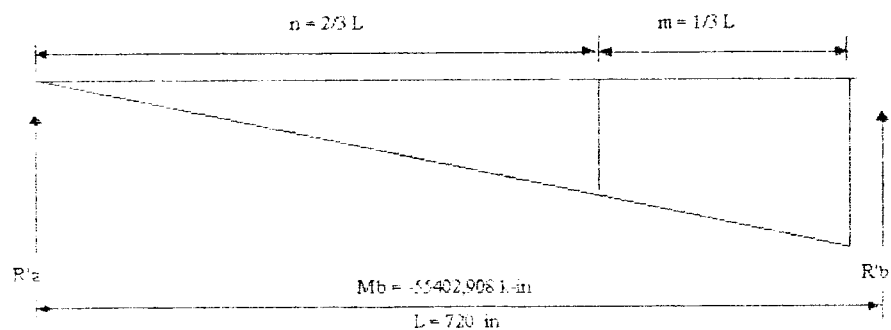
$$\delta_z = \frac{5360774,4 \cdot 144 - 2 / 3 \cdot 144 \cdot 14295,398 \cdot 3 / 8 \cdot 144}{(29.000) \cdot 63576} = 0,3785 \text{ inchi}$$

untuk titik yang lain perhitungannya ditabelkan.

tabel 4.14
perhitungan lendutan bentang A-B akibat momen pada sistem gelagar sederhana

Bentang A-B	jarak dari tumpuan (in)	inersia (in ⁴)	M _s (lb-in)	R'a	lendutan (in)
1	0	50713.33	0	5360774.4	0
2	72	56753.35	8041161.6	5360774.4	0.228185
3	144	63576.00	14295398.4	5360774.4	0.378501
4	216	71384.01	18762710.4	5360774.4	0.453832
5	288	80372.49	21443097.6	5360774.4	0.471623
6	360	90907.46	22336560	5360774.4	0.457623
7	288	103499.93	21443097.6	5360774.4	0.366237
8	216	119045.37	18762710.4	5360774.4	0.272014
9	144	139231.73	14295398.4	5360774.4	0.172831
10	72	168555.75	8041161.6	5360774.4	0.07683
11	0	254413.33	0	5360774.4	0

b. Akibat momen jepit kanan



Gambar 4.9 Diagram momen jepit kanan

$$R'a = \text{Luas seluruh bidang} \times \frac{m}{L} = \frac{1}{2} \cdot 55402,908 \cdot 720 \cdot \frac{240}{720} = 6648349$$

$$\delta_x = \frac{R'a \cdot X - (\text{Luas bidang sepanjang } X) \cdot (\text{titik berat bidang tersebut ketitik } Z)}{E \cdot I_x}$$

- untuk titik 1 ($x = 0$)

$$\delta_1 = 0$$

- untuk titik 2 ($x = 72$ inchi)

$$\delta_2 = \frac{6648349.72 - 1/2.72.5540.29.1/3.72}{(29.000).56753,33} = 0,287933 \text{ inchi}$$

- untuk titik 3 ($x = 144$)

$$\delta_3 = \frac{6648349.144 - 1/2.144.11080,58.1/3.144}{(29.000).63576} = 0,498189 \text{ inchi}$$

untuk titik yang lain perhitungannya ditabelkan.

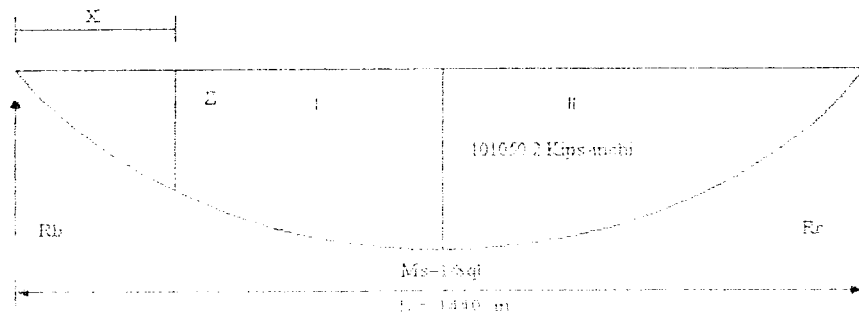
tabel 4.15
perhitungan lendutan bentang A-B akibat momen jepit kanan

Bentang A-B	jarak dari tumpuan (in)	inersia (in ⁴)	Mj (lb-in)	R'a	lendutan (in)
1.	0	50713.33	0.00	6648349	0
2.	72	56753.35	-5540290.86	6648349	0.2879334
3.	144	63576.00	-11080581.72	6648349	0.4981899
4.	216	71384.01	-16620872.57	6648349	0.6312626
5.	288	80372.49	-22161163.43	6648349	0.6900494
6.	360	90907.46	-27701454.29	6648349	0.6808949
7.	288	103499.93	-33241745.15	6648349	0.4848214
8.	216	119045.37	-38782036.01	6648349	0.3286125
9.	144	139231.73	-44322326.86	6648349	0.1991679
10.	72	168555.75	-49862617.72	6648349	0.089114
11.	0	254413.33	-55402908.58	6648349	0

4.9.2 Bentang B - C

a. Akibat momen pada gelagar sederhana

Seperti halnya pada bentang A-B maka prosedur analisis untuk bentang B-C adalah sebagai berikut.



Gambar 4.10 Diagram momen batang B-C akibat beban luar pada gelagar sederhana

$$R'b = \text{Luas bidang I} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1440}{2} \cdot 101050.2 = 48504096 \text{ Kips}$$

$$\delta_x = \frac{R'a \cdot X - (\text{Luas bidang sepanjang X}) \cdot (\text{titik berat bidang tersebut ketitik Z})}{E \cdot I_x}$$

- untuk titik 1 ($x = 0$)

$$\delta_1 = 0$$

- untuk titik 2 ($x = 72 \text{ inchi}$)

$$\delta_2 = \frac{48504096 \cdot 72 - 2 / 3 \cdot 72 \cdot 18146.2 \cdot 3 / 3 \cdot 72}{(29.000) \cdot 194762,83} = 0,614147 \text{ inchi}$$

- untuk titik 3 ($x = 144$)

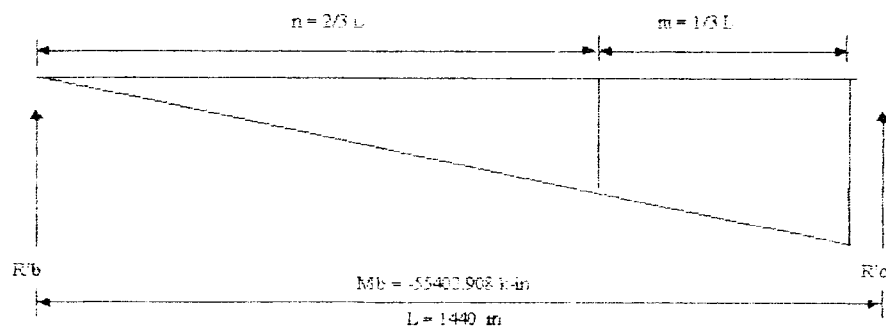
$$\delta_3 = \frac{48504096 \cdot 144 - 2 / 3 \cdot 144 \cdot 34505,438 \cdot 3 / 3 \cdot 144}{(29.000) \cdot 172900,54} = 1,3573108 \text{ inchi}$$

untuk titik yang lain perhitungan selanjutnya ditabelkan pada tabel 4.13

tabel 4.16
perhitungan lendutan bentang B-C akibat momen pada sistem gelagar sederhana

Bentang A B	jarak dari tumpuan (in)	inersia (in ⁴)	Ms (lb-in)	R'a	lendutan (in)
1.	0	254413.33	0	48504096	0
2.	72	194762.83	18146181.6	48504096	0.6141471
3.	144	172900.54	34505438.4	48504096	1.3573108
4.	216	157216.19	49077770.4	48504096	2.1723746
5.	288	144704.07	61863177.6	48504096	3.023146
6.	360	134232.63	72861660	48504096	3.879204
7.	432	125162.48	82073217.6	48504096	4.7178846
8.	504	117174.46	89497850.4	48504096	5.5215613
9.	576	110024.34	95135558.4	48504096	6.2830724
10.	648	103558.41	98986341.6	48504096	7.0056962
11.	720	97669.74	101050200	48504096	7.7060638
12.	648	103558.41	98986341.6	48504096	7.0056962
13.	576	110024.34	95135558.4	48504096	6.2830724
14.	504	117174.46	89497850.4	48504096	5.5215613
15.	432	125162.48	82073217.6	48504096	4.7178846
16.	360	134232.63	72861660	48504096	3.879204
17.	288	144704.07	61863177.6	48504096	3.023146
18.	216	157216.19	49077770.4	48504096	2.1723746
19.	144	172900.54	34505438.4	48504096	1.3573108
20.	72	194762.83	18146181.6	48504096	0.6141471
21.	0	254413.33	0	48504096	0

b. Akibat momen jepit kanan



Gambar 4.11 Diagram momen jepit kanan batang B-C

$$R'b = \text{Luas seluruh bidang} \times \frac{m}{L} = \frac{1}{2} \cdot 55402,908 \cdot 1440 \cdot \frac{480}{1440} = 13296698$$

$$\delta_x = \frac{R'b \cdot X - (\text{Luas bidang sepanjang } X) \cdot (\text{titik berat bidang tersebut ketitik } Z)}{E \cdot I_x}$$

- untuk titik 1 ($x = 0$)

$$\delta_1 = 0$$

- untuk titik 2 ($x = 72$ inchi)

$$\delta_2 = \frac{13296698.72 - 1/2 \cdot 72 \cdot 2770,145429 \cdot 1/3 \cdot 72}{(29.000) \cdot 194762,83} = 0,1690772 \text{ inchi}$$

- untuk titik 3 ($x = 144$)

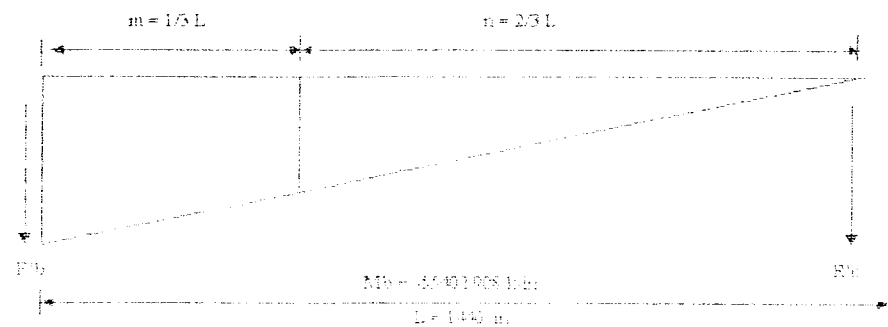
$$\delta_3 = \frac{13296698,144 - 1/2 \cdot 144 \cdot 5540,290858 \cdot 1/3 \cdot 144}{(29.000) \cdot 172900,543} = 0,3780482 \text{ inchi}$$

untuk titik yang lain perhitungannya ditabelkan.

Tabel 4.17
Perhitungan lendutan bentang B-C akibat momen jepit kanan

Bentang B-C	jarak dari tumpuan (in)	inersia (in ⁴)	Mj (lb-in)	R'b (lb)	lendutan (in)
1.	0	254413,333	0,000	13296698	0
2.	72	194762,827	-2770145,429	13296698	0,1690772
3.	144	172900,543	-5540290,858	13296698	0,3780482
4.	216	157216,192	-8310436,287	13296698	0,6157707
5.	288	144704,074	-11000581,716	13296698	0,8760497
6.	360	134232,629	-13850727,145	13296698	1,15282
7.	432	125162,475	-16620872,574	13296698	1,4401138
8.	504	117174,459	-19391018,003	13296698	1,7305753
9.	576	110024,337	-22161163,432	13296698	2,016317
10.	648	103558,410	-24931308,861	13296698	2,2880533
11.	720	97669,743	-27701454,290	13296698	2,5350091
12.	792	92358,410	-30471599,719	13296698	2,744585
13.	864	87624,337	-33241745,148	13296698	2,9043623
14.	936	83474,459	-36011890,577	13296698	2,1151476
15.	1008	79824,475	-38782036,006	13296698	1,8832257
16.	1080	76674,629	-41552181,435	13296698	1,6139479
17.	1152	74024,074	-44322326,864	13296698	1,3140746
18.	1224	71874,192	-47092472,293	13296698	0,9905877
19.	1296	70224,543	-49862617,722	13296698	0,6529923
20.	1368	69074,827	-52632763,151	13296698	0,3140000
21.	1440	68424,333	-55402908,580	13296698	-1,155E-06

c. Akibat momen jepit kiri



Gambar 4.12 Diagram momen jepit kiri

$$R'c = \text{Luas seluruh bidang} \times \frac{m}{L} = \frac{1}{2} \cdot 55402,908 \cdot 1440 \cdot \frac{480}{1440} = 13296698$$

$$\delta_x = \frac{R'c \cdot X - (\text{Luas bidang sepanjang } X) \cdot (\text{titik berat bidang tersebut ketitik } Z)}{E \cdot I_x}$$

- untuk titik 1 ($x = 0$)

$$\delta_1 = 0$$

- untuk titik 2 ($x = 72$ inchi)

$$\delta_2 = \frac{13296698,72 - 1/2 \cdot 72 \cdot 2770,145429 \cdot 1/3 \cdot 72}{(29.000) \cdot 194762,83} = 0,1690772 \text{ inchi}$$

- untuk titik 3 ($x = 144$)

$$\delta_3 = \frac{13296698,144 - 1/2 \cdot 144 \cdot 5540,290858 \cdot 1/3 \cdot 144}{(29.000) \cdot 172900,543} = 0,3780482 \text{ inchi}$$

untuk titik yang lain perhitungannya ditabelkan pada tabel 4.18.

Tabel 4.18
Perhitungan lendutan bentang B-C akibat momen jepit kiri

Bentang C-B	jarak dari tumpuan (m)	Inersia (m ⁴)	Mj (lb-m)	R ^c (lb)	lendutan (m)
1	1440	254413.333	-55402908.580	13296698	-1.16E-08
2	1368	194762.827	-52632763.151	13296698	0.3140006
3	1296	172900.543	-49862617.722	13296698	0.6529923
4	1224	157216.192	-47092472.293	13296698	0.9905877
5	1152	144701.073	-44322326.864	13296698	1.3140746
6	1080	134232.629	-41552181.435	13296698	1.6169479
7	1008	125162.475	-38782036.006	13296698	1.8832257
8	936	117174.459	-36011890.577	13296698	2.1151476
9	864	110024.337	-33241745.148	13296698	2.3043623
10	792	103558.410	-30471599.719	13296698	2.44585
11	720	97669.743	-27701454.290	13296698	2.5350091
12	648	93558.410	-24931308.861	13296698	2.2880533
13	576	110024.337	-22161163.432	13296698	2.016317
14	504	117174.459	-19391018.003	13296698	1.7305753
15	432	125162.475	-16620872.574	13296698	1.4401138
16	360	134232.629	-13850727.145	13296698	1.15282
17	288	144704.074	-11080581.716	13296698	0.8760497
18	216	157216.192	-8310436.287	13296698	0.6157707
19	144	172900.543	-5540290.858	13296698	0.3780482
20	72	194762.827	-2770145.429	13296698	0.1690772
21	0	254413.333	0.000	13296698	0

Tabel 4.19
Perhitungan lendutan yang sebenarnya

No.	Lendutan akibat momen simple beam (in)	Lendutan akibat momen jepit kiri (in)	Lendutan akibat momen jepit kanan (in)	Lendutan yang terjadi sebenarnya (in)
1.	0	0.00000000	0.00000000	0.00000000
2.	0.2281831	-0.28793339	0.00000000	-0.05975033
3.	0.3785012	-0.49848987	0.00000000	-0.11998867
4.	0.4536315	-0.63126255	0.00000000	-0.17763105
5.	0.4716226	-0.69004939	0.00000000	-0.21842679
6.	0.4575226	-0.68089436	0.00000000	-0.22337226
7.	0.3662368	-0.43482144	0.00000000	-0.11858467
8.	0.2729147	-0.32861254	0.00000000	-0.05659331
9.	0.1728312	-0.19916792	0.00000000	0.02633688
10.	0.0768301	-0.08911404	0.00000000	-0.01228396
11.	0	0.00000000	0.00000000	0.00000000
12.	0.6141471	-0.16907721	0.31400057	0.75907036
13.	1.3573108	-0.37804817	-0.65299228	0.32627039
14.	2.1723746	-0.61577074	-0.99056771	0.56601620
15.	3.023146	-0.87604975	-1.31407461	0.83302165
16.	3.879204	-1.15281997	-1.61394794	1.11243610
17.	4.7178846	-1.44011377	-1.88322569	1.39454517
18.	5.5215613	-1.73057534	-2.11514763	1.67583835
19.	6.2830724	-2.01631701	-2.30436230	1.96239312
20.	7.0056962	-2.28805326	-2.44585004	2.27179289
21.	7.7360688	-2.53500908	-2.53500908	2.63605067
22.	7.0056962	-2.44585004	-2.28805326	2.27179289
23.	6.2830724	-2.30436230	-2.01631701	1.96239312
24.	5.5215613	-2.11514763	-1.73057534	1.67583835
25.	4.7178846	-1.88322569	-1.44011377	1.39454517
26.	3.879204	-1.61394794	-1.15281997	1.11243610
27.	3.023146	-1.31407461	-0.87604975	0.83302165
28.	2.1723746	-0.99056771	-0.61577074	0.56601620
29.	1.3573108	-0.65299228	-0.37804817	0.32627039
30.	0.6141471	-0.31400057	-0.16907724	0.13106925
31.	0	0.00000001	0.00000000	0.00000001

Dari tabel terlihat bahwa nilai lendutan terbesar yang terjadi adalah pada titik 21 sebesar : 2.63605067 inchi yang terletak pada bentang B-C. Maka kontrol lendutan :

$$\delta = 2.63605067 \text{ inchi} < \frac{1}{360} * L = \frac{1}{360} * 1440 \text{ inchi} = 4 \text{ inchi} \quad (\text{aman})$$

4.10 Perhitungan Material Terpakai

Dengan persyaratan perencanaan gelagar prismatis adalah sama dengan persyaratan perencanaan awal gelagar nonprismatis, sehingga didapat data-data hasil perencanaan sebagai berikut :

4.10.1. Gelagar plat prismatis

a. Perhitungan volume material

$$\begin{aligned} \text{badan gelagar} &: h \times t_w \times L \\ &(120 \times 0,75 \times 2880) \text{ in}^3 = 259200 \text{ in}^3 \\ \text{sayap gelagar} &: 2 \times b_f \times t_f \times L \\ &(2 \times 20 \times 1 \times 2880) \text{ in}^3 = 115200 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

untuk pengaku dipakai jarak dan tinggi pengaku seperti pada pengaku pertama, maka didapat :

$$\begin{aligned} \text{pengaku tumpuan A-D} &: 2 \times \text{lebar} \times \text{tebal} \times \text{tinggi badan} \times n \text{ pengaku} \\ &2 \times 9 \times 0,75 \times 120 \times 2 = 3240 \text{ in}^3 \\ \text{pengaku tumpuan B-C} &: 2 \times \text{lebar} \times \text{tebal} \times \text{tinggi badan} \times n \text{ pengaku} \\ &2 \times 9 \times 0,75 \times 120 \times 2 = 3240 \text{ in}^3 \\ \text{pengaku beban titik} &: 2 \times \text{lebar} \times \text{tebal} \times \text{tinggi badan} \times n \text{ pengaku} \\ &2 \times 9 \times 0,75 \times 120 \times 1 = 1620 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

pada pengaku antara dianggap panjang, ukuran dan jarak antar pengaku adalah seragam :

$$\begin{aligned} \text{pengaku antara} &: 2 \times \text{lebar} \times \text{tebal} \times h \text{ pengaku} \times n \text{ pengaku} \\ &2 \times 6 \times 0,75 \times 57,83 \times 72 = 37473,84 \text{ in}^3 \\ \hline \text{Jumlah} &= 419973,8 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan berat material

Direncanakan memakai berat volume baja $500 \text{ lb/ft}^3 = 0,28935 \text{ lb/in}^3$

berat material : volume x berat volume

$$(119973,8 \times 0,28935) \text{ lb} = 121519,4 \text{ lb/gelagar}$$

$$= 121519,4 \text{ Kips/gelagar}$$

4.10.2. Gelagar plat nonprismatis

a. Perhitungan volume material

a.1. Perhitungan volume badan

- bentang A - B = C - D

persamaan matematika sisi bawah badan adalah : $y = \sqrt{5x}$, dengan batasan

$x_1 = 0$, $x_2 = 720 \text{ in}$ maka didapat luas gelagar bentang A-B adalah sebagai

berikut :

$$L = \text{luas badan gelagar prismatis} - 2x \int_0^{720} (\sqrt{5x}) dx$$

$$L_{\text{badan}} = 2 \times h \times t w \times L$$

$$(2 \times 120 \times 720) \text{ in}^2 = 172800 \text{ in}^2$$

$$L_{\text{paratola}} = 2 \times \int_0^{720} (\sqrt{5x}) dx = 2 \times \left[\frac{2}{15} [5x]^{3/2} \right]_0^{720}$$

$$= 2 \times \left[\frac{2}{15} [5 \times 720]^{3/2} - \frac{2}{15} [5 \times 0]^{3/2} \right] = 2 (28800 - 0) = 57600 \text{ in}^2$$

$$L = (172800 - 57600) \text{ in}^2 = 115200 \text{ in}^2$$

- beniang B - C

persamaan matematika sisi bawah badan sampai tengah bentang adalah :

$y = \sqrt{2,222x}$, dengan batasan $x_1 = 0$, $x_2 = 720$ in maka didapat luas

gelagar bentang B - C adalah sebagai berikut :

$$L = \text{luas badan gelagar prismatis} - 2x \int_0^{720} (\sqrt{2,222x}) dx$$

$$L_{\text{badan}} = 2 \times h \times tw \times L$$

$$2 \times 120 \times 720 \text{ in}^3 = 172800 \text{ in}^3$$

$$L_{\text{parabola}} = 2x \int_0^{720} (\sqrt{2,222x}) dx = 2x \left[\frac{2}{15} [2,222x]^{3/2} \right]_0^{720}$$

$$= 2x \left[\frac{2}{15} [2,222 * 720]^{3/2} - \frac{2}{15} [2,222 * 0]^{3/2} \right]$$

$$= 2x (8532,05 - 0)$$

$$= 17064,1 \text{ in}^3$$

$$L = (172800 - 17064,1) \text{ in}^3 = 155735,89 \text{ in}^3$$

$$\text{Luas total seluruh beniang} = 115200 + 155735,89 = 270935,89 \text{ in}^2$$

$$\text{Volume gelagar nonprismatis} = L \times tw$$

$$= (270935,89 \times 0,75) \text{ in}^3$$

$$= 203201,92 \text{ in}^3$$

a.2. Perhitungan volume sayap

- sayap gelagar sisi atas : $bf \times tf \times L$

$$(20 \times 1 \times 2880) \text{ in}^3 = 57600 \text{ in}^3$$

- sayap sisi bawah : $bf \times tf \times L_{\text{parabola}}$

dimana $L_{\text{parabolik}}$ terdiri dari $2xL_{\text{parabolik bentang A-B}}$ dan $2xL_{\text{parabolik bentang B-C}}$

$$L_{\text{parabolik bentang A-B}} = 2 \times \text{panjang busur A - B}$$

$$= \int_0^{60} \sqrt{1 - \left(\frac{2x}{75}\right)^2} dy = \int_0^{60} \sqrt{1 - \left(\frac{2y}{75}\right)^2} = 725 \text{ in}$$

$$L_{\text{parabolik bentang B-C}} = \text{panjang busur B - C}$$

$$= \int_0^{90} \sqrt{1 - \left(\frac{2x}{67}\right)^2} dy = \int_0^{90} \sqrt{1 - \left(\frac{2y}{67}\right)^2} = 722 \text{ in}$$

$$\text{jadi volume sayap bawah} = 20 \times 1 \times (2 \times 722 + 725) = 57880 \text{ in}^3$$

a.3. Perhitungan volume pengaku

- volume pengaku dukungan

pengaku tumpuan A-D : 2 x lebar x tebal x tinggi badan x n pengaku

$$2 \times 9 \times 0,75 \times 60 \times 2 = 1620 \text{ in}^3$$

pengaku tumpuan B-C : 2 x lebar x tebal x tinggi badan x n pengaku

$$2 \times 9 \times 0,75 \times 120 \times 2 = 3240 \text{ in}^3$$

pengaku beban titik : 2 x lebar x tebal x tinggi badan x n pengaku

$$2 \times 9 \times 0,75 \times 80 \times 1 = 1080 \text{ in}^3$$

$$\text{Jumlah} = 5940 \text{ in}^3$$

- volume pengaku antara

untuk pengaku antara, pada titik 2 dipakai pengaku $2 \times 3/4 \times 6$

volume pengaku : 2 x $3/4$ x 6 x panjang pengaku

$$2 \times 3/4 \times 6 \times 57,83 = 520,47 \text{ in}^3$$

untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan pada tabel 4.20

Tabel 4.20
Perhitungan volume pengaku dukungan

titik	tinggi pengaku (m)	pengaku terpakai	volume pengaku (m ³)	berat pengaku (lb)
1		pengaku dukungan		
2	57.83	2x6x3/4 in	520.47	150.598
3	61.08	2x6x3/4 in	549.72	159.061
4	64.55	2x6x3/4 in	580.95	168.098
5	68.27	2x6x3/4 in	614.43	177.785
6	72.32	2x6x3/4 in	650.88	188.332
7	76.80	2x6x3/4 in	691.20	199.999
8	81.89	2x6x3/4 in	737.01	213.254
9	87.92	2x6x3/4 in	791.28	228.957
10	95.78	2x6x3/4 in	862.02	249.425
11		pengaku dukungan		
12	102.11	2x6x3/4 in	918.99	265.910
13	96.87	2x6x3/4 in	871.83	252.264
14	92.85	2x6x3/4 in	835.65	241.795
15	89.46	2x6x3/4 in	805.14	232.967
16	86.48	2x6x3/4 in	778.32	225.207
17	83.78	2x6x3/4 in	754.02	218.176
18	81.30	2x6x3/4 in	731.70	211.717
19	78.99	2x6x3/4 in	710.91	205.702
20	76.82	2x6x3/4 in	691.38	200.051
21		pengaku dukungan		
22	76.82	2x6x3/4 in	691.38	200.051
23	78.99	2x6x3/4 in	710.91	205.702
24	81.30	2x6x3/4 in	731.70	211.717
25	83.78	2x6x3/4 in	754.02	218.176
26	86.48	2x6x3/4 in	778.32	225.207
27	89.46	2x6x3/4 in	805.14	232.967
28	92.85	2x6x3/4 in	835.65	241.795
29	96.87	2x6x3/4 in	871.83	252.264
30	102.11	2x6x3/4 in	918.99	265.910
31		pengaku dukungan		
32	95.78	2x6x3/4 in	862.02	249.425
33	87.92	2x6x3/4 in	791.28	228.957
34	81.89	2x6x3/4 in	737.01	213.254
35	76.80	2x6x3/4 in	691.20	199.999
36	72.32	2x6x3/4 in	650.88	188.332
37	68.27	2x6x3/4 in	614.43	177.785
38	64.55	2x6x3/4 in	580.95	168.098
39	61.08	2x6x3/4 in	549.72	159.061
40	57.83	2x6x3/4 in	520.47	150.598
41		pengaku dukungan		
		Jumlah volume =	26191.80	7578.597

b. Perhitungan berat gelagar

b.1. Berat plat badan

$$\begin{aligned} \text{Luas total seluruh bentang} &= 115200 + 155735,89 = 270935,89 \text{ in}^2 \\ \text{Volume gelagar nonprismatis} &= L \times tw \\ &= (270935,89 \times 0,75) \text{ in}^3 \\ &= 203201,92 \text{ in}^3 \\ \text{berat gelagar nonprismatis} &= \text{volume} \times \text{berat volume} \\ &= (203201,92 \times 0,28935) \text{ lb} \\ &= 58796,476 \text{ lb} \end{aligned}$$

b.2. Plat sayap

$$\begin{aligned} \text{volume sayap bawah} &= 20 \times 1 \times (2 \cdot 722 + 725) = 57880 \text{ in}^3 \\ \text{sayap gelagar sisi atas : } bf \times tf \times L \\ &= (20 \times 1 \times 2880) \text{ in}^3 = 57600 \text{ in}^3 \\ \text{maka berat sayap atas dan bawah} &= 57880 + 57600 \times 0,28935 \\ &= 33414,138 \text{ lb} = 33,414 \text{ kips} \end{aligned}$$

b.3. Plat pengaku

Pengaku terdiri dari pengaku antara dan pengaku dukungan maka perhitungan beratnya sebagai berikut.

- Volume pengaku dukungan = 5940 in^3
 maka berat pengaku dukungan = $5940 \times 0,28935 = 1718,739 \text{ lb}$
- Volume pengaku antara = $29191,8 \text{ in}^3$
 maka berat pengaku antara = $29191,8 \times 0,28935 = 7578,597 \text{ lb}$

4.10.3. Rekapitulasi volume material terpakai antara gelagar prismatis dengan nonprismatis

Dari perhitungan berat material yang dipakai dapat dibuat perbandingan volume antara gelagar prismatis dengan gelagar nonprismatis yang tertera dalam tabel 4.21 sebagai berikut :

tabel 4.21
Rekapitulasi perbandingan volume material antara gelagar prismatis dengan nonprismatis

No	Jenis	berat material gelagar prismatis (lb)	berat material gelagar nonprismatis (lb)	pengurangan berat material (lb)
1.	badan	74999,52	58796,48	16203,04
2.	sayap	33333,12	33414,14	-81,02
3.	pengaku dukungan	2343,74	1718,74	625
4.	pengaku antara	10843,04	7578,59	3264,45
	jumlah	121519,4	101508	20011,47

keterangan :

- pengurangan berat = berat gelagar prismatis - berat gelagar nonprismatis

nilai efisiensi harga didapat dari :

$$\% \text{ efisiensi berat material} = \frac{\text{berat material prismatis} - \text{berat material nonprismatis}}{\text{berat material prismatis}}$$

$$\% \text{ efisiensi berat material} = \frac{20011,47}{121519,4} \times 100\% = 0,164677 \times 100\% = 16,467\%$$

BAB V

PEMBAHASAN

Dari analisis dan perencanaan yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya dalam penulisan ini, dapat diambil beberapa hal yang perlu dibahas.

5.1. Balok Menerus Prismatis

Perencanaan dimensi penampang dibuat sama disepanjang bentang dengan penentuan dimensi penampang berdasarkan momen maksimum yang terjadi. Hal ini berakibat terjadinya inefisiensi penggunaan bahan karena penggunaan material yang sebenarnya tidak diperlukan, sebagaimana kita lihat pada bagian gelagar yang menahan momen yang kecil sebenarnya cukup diberikan dengan material dengan penampang yang kecil pula, namun pada balok prismatis hal itu tidak dilakukan, sehingga terjadilah pemborosan.

5.2. Balok Menerus Nonprismatis

Perencanaan dimensi penampang bervariasi disepanjang bentangan dengan penentuan dimensi penampang berdasarkan momen yang terjadi pada tiap-tiap segmen yang ditinjau. Dimensi penampang yang disesuaikan dengan momen yang terjadi pada tiap-tiap segmen yang ditinjau menyebabkan berkurangnya dimensi penampang secara keseluruhan, ini menyebabkan momen yang terjadi akibat berat sendiri juga akan berkurang. Penggunaan balok menerus pada penulisan ini ternyata menyebabkan berkurangnya momen yang terjadi, hal ini dapat dijelaskan bahwa pada balok menerus akan terjadi momen negatif pada tumpuan, dengan demikian

momen positif pada daerah lapangan akan berkurang. Pengurangan momen yang terjadi ini menyebabkan dimensi penampang dapat direncanakan lebih kecil.

Perencanaan dimensi penampang yang dilakukan pada tugas akhir ini ternyata menunjukkan bahwa dimensi penampang terbesar berada pada daerah tumpuan dan bukan pada tengah bentang, hal ini dikarenakan momen terbesar terjadi pada daerah tumpuan bukan pada daerah lapangan, sedangkan pendimensian balok *simple beam* akan memberikan penampang yang lebih boros. Dengan membandingkan berat untuk setiap material terpakai antara gelagar prismatis dengan nonprismatis terlihat terjadi pengurangan sebesar 16,467% merupakan nilai yang akan memberikan kontribusi yang relatif besar untuk pengurangan biaya struktur secara umum, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan penampang nonprismatis adalah lebih ekonomis, namun perlu menjadi catatan bahwa biaya untuk membuat gelagar tersebut menjadi nonprismatis sangat dipertimbangkan, jangan sampai penggunaan gelagar nonprismatis irit dari sisi material namun dilain pihak biaya pelaksanaannya sangat tinggi, hal ini jangan sampai terjadi karena aspek ekonomisasi yang menjadi tujuan utama pendimensian gelagar nonprismatis tidak akan tercapai, yang artinya juga pemborosan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan balok menerus nonprismatis pada gelagar plat, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. perencanaan dimensi penampang berdasarkan momen yang ada pada sepanjang bentang dengan cara meninjau pada pias-pias yang ditentukan sendiri akan menghasilkan struktur yang relatif lebih ekonomis ditinjau dari penggunaan materialnya terlebih lagi pada bentang-bentang menerus,
2. kapasitas, dan lendutan yang terjadi merupakan hal yang vital untuk menjadi bahan pertimbangan dan harus dikontrol terhadap persyaratan yang telah ditetapkan oleh peraturan yang ada,
3. dengan menggunakan gelagar plat akan lebih memungkinkan dilakukannya pendisainan gelagar nonprismatis dibandingkan dengan menggunakan penampang giras yang telah ada,
4. dengan menggunakan balok menerus maka ekonomisasi bahan akan relatif lebih besar bila dibanding dengan balok dengan dua tumpuan,
5. pertimbangan ekonomisasi bahan harus pula mempertimbangkan ekonomisasi pelaksanaan secara umum,
6. pada perencanaan mungkin menghasilkan tegangan yang terjadi jauh lebih besar dari tegangan ijin, hal ini dapat diatasi dengan menggunakan bahan yang

berbeda kekuatannya yang ditempatkan pada daerah yang tidak aman tersebut, atau dengan memperbesar penampang plat sayap, namun hal ini perlu dipertimbangkan efisiensi pelaksanaan dilapangan apabila menggunakan gelagar prismatis.

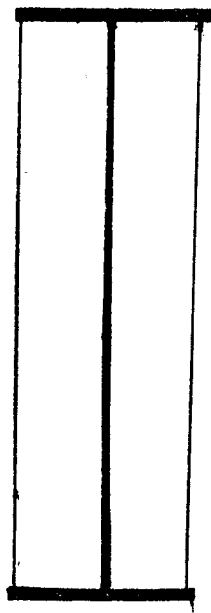
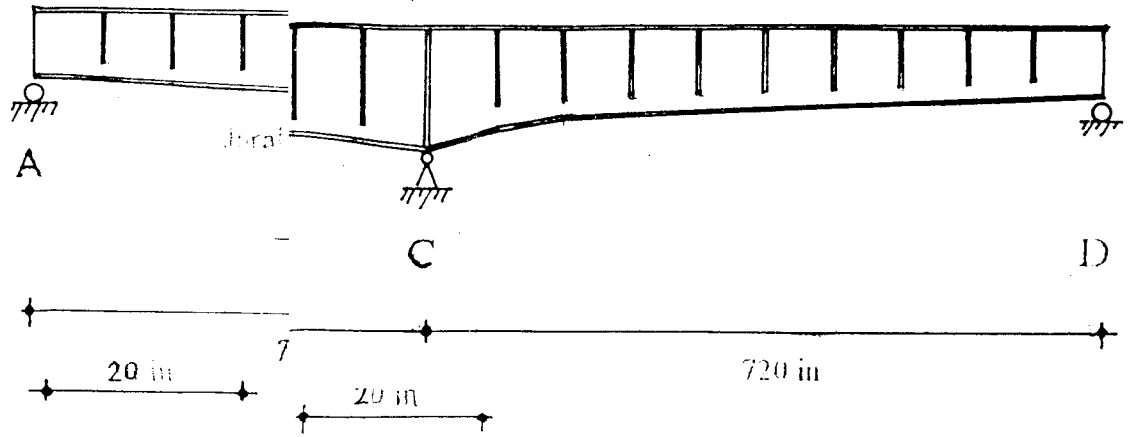
6.2. Saran-saran

1. untuk mendapatkan hasil yang relatif optimal dan efisien, dalam pendimensian balok menerus nonprismatis dilakukan dengan mencoba berbagai macam penampang.
2. agar lebih menjamin ketelitian hitungan dapat dilakukan dengan membuat jarak pias lebih kecil, namun perlu diperhitungkan efisiensi pelaksanaannya dilapangan,
3. kiranya ada pihak lain yang bisa mengkaji lebih mendalam tentang optimasi pengurangan material terhadap kekuatan struktur secara umum.

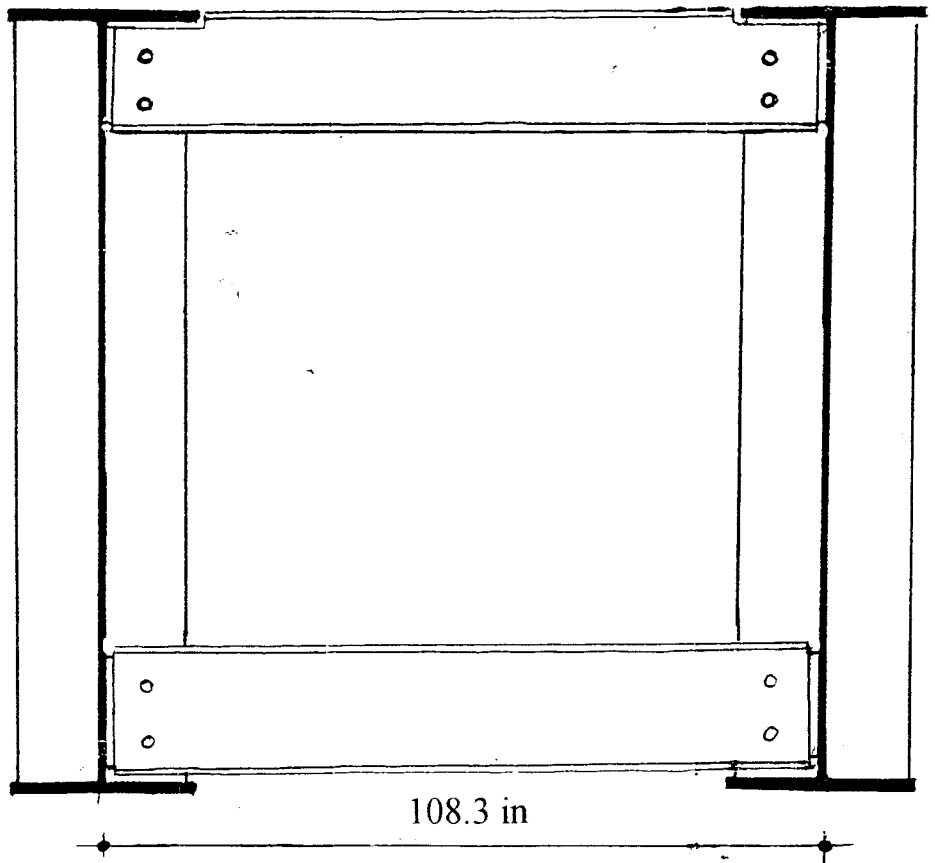
DAFTAR PUSTAKA

1. Colin O'Connor, DESIGN OF BRIDGE SUPER STRUCTUR , New York, London, Sydney.
2. Departemen Pekerjaan Umum, 1987, PEDOMAN PERENCANAAN PEMBIBANAN JEMBATAN BAJA LAYAN.
3. Ghali, A. dan Neville, A.M. ANALISA STRUKTURAL, edisi kedua, Penerbit Erlangga Jakarta.
4. Irwan Kibarlah, Ir. 1983. KAMUS TEKNIK SUTU. Penerbit Iden Diruena Bandung
5. Inch, C., M. C. Corino. 1981. STRUKTUR STEEL DESIGN, New York.
6. J.D. Todd dan The Honuz Liong, Ph.D, 1991, TEORI DAN ANALISA STRUKTUR, edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
7. Josep E. Bowles, 1985, DESAIN BAJA KONSTRUKSI, Penerbit Erlangga, Jakarta.
8. James M. Gere, dan S.Timoshenko, 19987, MEKANIKA BAHAN, edisi kedua, jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta.
9. Finney, J.S, 1957 INDETERMINATE STRUKTURAL ANALYSIS, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA.
10. Leonard Spiegel, PE dan George E. Imbrunner , 1991. DESAIN BAJA STRUKTUR TERAPAN, Penerbit PT. Eresco, Jakarta
11. Behodok, D1, 1991, STRUKTUR, Penerbit PT Eresco, Jakarta.
12. S. Timoshenko, 1976 STRENGTH OF MATERIAL PART I END II, New York
13. S. Timoshenko dan D.H. Young, 19987 MEKANIKA TEKNIK, edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
14. -----, MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION, 1991, Ninth edition, AISC, USA.

LAMPIRAN 1 :



Potongan melintang gelagar
Skala 1 :



Potongan melintang antar gelagar
Skala 1 : 20

Potongan melintang
Skala :

```
=====
MICROFEAP-P1                      DATE: 02-10-1999                      <DATA> P.1
PROJECT : Plate girder              FILENAME: te'aku
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986    ENGINEER: fauzi
=====
```

```
*****
*
*   STRUCTURE DATA   *
*
*****
```

```
**COORDINATE DATA (in)**          **BOUNDARY DATA**
NODE      1-COOR      2-COOR      1-B      2-B      3-B
-----
1          0.00          0.00          F          L          F
2          720.00          0.00          L          L          F
3          2100.00          0.00          L          L          F
4          2880.00          0.00          F          L          F
```

```
**ELEMENT DATA**
ELEM      1-NODE      2-NODE      HINGE      MATERIAL
-----
1          1          2          .          1
2          2          3          .          1
3          3          4          .          1
```

```
**MATERIAL DATA**
MATE      E-MODULUS      AXIAL-AREA      INERTIA
          (lb/in^2)          (in^2)          (in^4)
-----
1          2.9401+04          7.0001+01          7.0001+04
```

LOAD CASE #1 : beban vertikal

```
**CONCENTRATED LOAD DATA**
ELEM      1-POINT L.      2-POINT L.      DISTANCE
          (lb)          (lb)          (in)
-----
2          0.0000+00          -8.2510+04          7.2001+02
```

LOAD CASE #1 : beban vertikal

```
**UNIFORM LOAD DATA**
ELEM      1-UNIFORM      2-UNIFORM
          (lb/in)          (lb/in)
-----
1          0.0001+00          -8.4471+02
2          0.0001+00          -8.4471+02
3          0.0001+00          -8.4471+02
```

```

=====
MICROFEAP-P1                DATE: 02-10-1999                <COMB> P.1
JECT : plate girder          FILENAME: te'aku
ORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986    ENGINEER: fauzi
=====

```

```

*****
*
* COMBINATION *
*
*****

```

RESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
AD FACTOR : 1

MEM	MEM HINGE	SECTION (in)	AXIAL F. (lb)	SHEAR (lb)	MOMENT (lb-in)
1	1	0.00	0.0000D+00	4.8194D+04	0.0000D+00
		72.00	0.0000D+00	2.3378D+04	2.5765D+06
		144.00	0.0000D+00	-1.4424D+03	3.3661D+06
		216.00	0.0000D+00	-2.6281D+04	2.3683D+06
		288.00	0.0000D+00	-5.1079D+04	-4.1540D+05
		360.00	0.0000D+00	-7.5898D+04	-4.9866D+06
		432.00	0.0000D+00	-1.0072D+05	-1.1345D+07
		504.00	0.0000D+00	-1.2553D+05	-1.9490D+07
		576.00	0.0000D+00	-1.5035D+05	-2.9422D+07
		648.00	0.0000D+00	-1.7517D+05	-4.1140D+07
		720.00	0.0000D+00	-1.9999D+05	-5.4646D+07
2	1	0.00	0.0000D+00	2.6444D+05	-5.4646D+07
		72.00	0.0000D+00	2.3962D+05	-3.6500D+07
		144.00	0.0000D+00	2.1480D+05	-2.0141D+07
		216.00	0.0000D+00	1.8998D+05	-5.5685D+06
		288.00	0.0000D+00	1.6517D+05	7.2169D+06
		360.00	0.0000D+00	1.4035D+05	1.8215D+07
		432.00	0.0000D+00	1.1553D+05	2.7427D+07
		504.00	0.0000D+00	9.0711D+04	3.4852D+07
		576.00	0.0000D+00	6.5892D+04	4.0489D+07
		648.00	0.0000D+00	4.1074D+04	4.4340D+07
		720.00	0.0000D+00	-1.6256D+04	4.6404D+07
		792.00	0.0000D+00	-4.1074D+04	4.4340D+07
		864.00	0.0000D+00	-6.5892D+04	4.0489D+07
		936.00	0.0000D+00	-9.0711D+04	3.4852D+07
		1008.00	0.0000D+00	-1.1553D+05	2.7427D+07
		1080.00	0.0000D+00	-1.4035D+05	1.8215D+07
		1152.00	0.0000D+00	-1.6517D+05	7.2169D+06
		1224.00	0.0000D+00	-1.8998D+05	-5.5685D+06
		1296.00	0.0000D+00	-2.1480D+05	-2.0141D+07
		1368.00	0.0000D+00	-2.3962D+05	-3.6500D+07
		1440.00	0.0000D+00	-2.6444D+05	-5.4646D+07
3	1	0.00	0.0000D+00	1.9999D+05	-5.4646D+07
		72.00	0.0000D+00	1.7517D+05	-4.1140D+07

MICROFEAP-P1

DATE: 02-10-1999

<COMB> P.2

OBJECT : plate girder

FILENAME: te'aku

THORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

ENGINEER: fauzi

RESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

AD FACTOR : 1

EM	MA	HINGE SECTION (in)	AXIAL F. (lb)	SHEAR (lb)	MOMENT (lb-in)
1	1	144.00	0.0000D+00	1.5085D+05	-2.9422D+07
		216.00	0.0000D+00	1.2558D+05	-1.9490D+07
		288.00	0.0000D+00	1.0073D+05	-1.1345D+07
		360.00	0.0000D+00	7.5899D+04	-4.9866D+06
		432.00	0.0000D+00	5.1879D+04	-4.1540D+06
		504.00	0.0000D+00	2.8191D+04	2.3615D+06
		576.00	0.0000D+00	1.4404D+04	3.6883D+06
		648.00	0.0000D+00	-2.3378D+04	2.5765D+06
		720.00	0.0000D+00	-4.9194D+04	0.0000D+00

LAMPIRAN 2.4 Perhitungan Microfeap

=====

MICROFEAP-P1	DATE: 02-10-1999	<COMB> P.1
PROJECT : plate girder		FILENAME: te'ak
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986		ENGINEER: fauzi

=====

*
* **COMBINATION** *
*

SUPPORT REACTIONS <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 1

NODE	1-REACTION (lb)	2-REACTION (lb)	3-REACTION (lb-in)
1	0.0000D+00	4.8194E+04	0.0000E+00
2	0.0000E+00	4.8448E+05	0.0000E+00
3	0.0000E+00	4.8448E+05	0.0000E+00
4	0.0000E+00	4.8194E+04	0.0000E+00