

**TUGAS AKHIR
PERILAKU GELAGAR PELAT KANTILEVER DENGAN
VARIASI RASIO JARAK DUKUNGAN LATERAL
TERHADAP JARI-JARI GIRASI**



Disusun Oleh :

NURUL LEILYANI
No. Mhs : 97 511 043
Nirm : 970051013114120038

PRAPUSPITA INDRIANI
No.Mhs : 97 511 065
Nirm : 97 0051013114120373

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

LEMBAR PENGESAHAN

**TUGAS AKHIR
PERILAKU GELAGAR PELAT KANTILEVER DENGAN
VARIASI RASIO JARAK DUKUNGAN LATERAL
TERHADAP JARI-JARI GIRASI**

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk Memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil



Disusun Oleh :

Nama : Nurul Leiliyani

No.Mhs : 97 511 043

Nirm : 970051013114120038

Nama : Prapuspita Indriani

No.Mhs : 97 511 065

Nirm : 97 0051013114120373

السلامة والسلامة والسلامة
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman N, MT

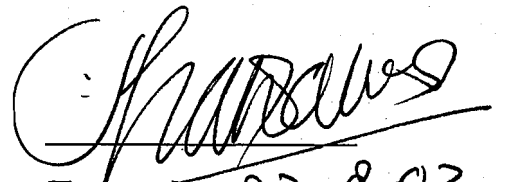
Dosen Pembimbing I

Ir.H. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 23/8-2002



Tanggal : 22-8-02

MOTTO dan Persembahan

" Ikutilah yang terbaik yang diturunkan oleh Tuhanmu kepadamu, sebelum kamu kedatangan siksa yang tiba-tiba, dan kamu tidak menyadarinya" (Q.S Az Zumar:55)

" Tanyakanlah kepada orang yang mengerti bila kamu tidak tahu" (Q.S An Nahl :43)

"Jangan pernah merasa dirimu yang paling hebat karena sesungguhnya ada yang Maha Hebat "

Persembahan

Rasa syukur yang sedalam-dalamnya kepada Allah SWT, kupersembahkan Laporan Tugas Akhir ini untuk orang-orang yang dekat dihatiku

LELY MATURNUWUN DHATENG

- Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir ini. Alhamdulillah aku dilahirkan sebagai salahsatu hambaMu dan akan selalu bersujud di hadapanMu, serta kembali kepadaMu.
- Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan bagi junjungan hamba, Rasulullah Muhammad SAW penyampai ajaran Islam, ajaran yang bebar dan dirahmati Allah. Semoga aku selalu menganutnya.
- Bapak Machfudz dan Almarhumah bunda Hindun Yati tersayang, memperlihatkan aku kedunia, merawat, membesarkan, memdidik, membiayaiku serta mendoakanku.

Bunda dalam doaku aku selalu memohon " Ya Allah ampunilah dosa bunda waktu didunia dan berikanlah tempat yang mulia di sisiMu, dan jadikanlah aku sebagai anak yaang soleh sehingga doa dan pengharapanku adalah merupakan jembatan bunda menuju kemuliaanMu" Amin. Meskipun sekarang kedudukanmu telah tergantikan, Bunda engkau selalu dihatiku.

- Almarhumah mbah Nok Suarti, semoga Allah mengampuni dosa dan memberi tempat yang mulia serta nyaman disisiNya.
- Mbakku yang cuma satu, mbak Yati terimakasih atas semuanya, support dan "duit"nya.

Masku pasangannya mbakku, mas Yanto terimakasih ya.....

- Keponakanku, Mirza jangan nakal ya, ekarang kamu udah punya adik to, Ariq giginya tumbuh dua ya
- Bapak Ir. Fathurrohman N, MT dan Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT selaku dosen pembimbing terimakasih atas bimbingannya. Bapak Ir. Helmi Arbar Bale, MT yang telah menjadi dosen tamu, terimakasih bapak dapat hadir sewaktu sidang dan pendadaran.
- Mas Afid maturnuwun bantuannya, mas Hidrolika dan mas BKT terimakasih juga, mas Heri dan pak Basuki maturnuwun, tapi mbok jangan "lelet"

- Prapuspita ?, Siapanya ?, Oh iya temen TA Ku. Selamat yasekarang kowe jadi mbak "Sarjana ". Tapi mbok jangan ngecengin orang banyak-banyak, pilih satu jadiin suami OKe.....! Sukses selalu yach.....
- Temen-temen TA seangkatan, mas Wahyu&dik Agus wah senengnya udah keluar nilainya terimakasih ya bantuannya, Firri&Pipit, Tatit&Wulan, Tony&Ayati, terimakasih atas supportnya dan bantuannya, Mas pinter (Budi) & mas pendiam (Noval), mas Castela (A'An&Jawad) gimana pendadarannya?, satu lagi mas cakep (Joko) kapan seminarnya?
- Sepecial for my D'97 Class Yuning, Evi, Mbak-mbak ST, Wiwid, ST, terimakasih supportnya, Ayoh pie TA mu ?, Ainun, Inka, Elsa dimana kau berada?, Ayati beri aku keponakan donk, Inmed , Pipi, Lika, Dede, kecret, Gembux, Arif, Adit, Zigate, Mas Boy, Alif, Heri, jadi sarjana duluan nih, Wahyu, Thomas, Adi, Daus, Joko, Muklis, Arif, Mamat, Didik, Rizal, semua yang tak bisa aku sebutkan satu-satu soalnya banyak kalian semua yang ter
- Teten-temenku dikampus FTSP terimakasih atas atas dukungannya semangat, Agung&Ervan, Agung makasih boleh ngeprint di tempatmu, Rani, Eri, Beti terimakasih atas pinjaman kartu perpusnya, Beti sepatunya makasih ya dan semua yang tidak bisa aku sebut satu persatu.
- Anak-anak kost kenanga, catur putri kost terimakasih atas dukungan supportnya (kalian banyak sih jadi enggak aka sebutin satu satu maaf)
- Si hitam maniz yang selalu menemaniku kemanapun aku pergi AA 5341 PB
- Semua pihak yang telah memberi semangat dukungan dan doa untuk keberhasilanku semoga Allah SWT memberi pahala yang berlipat atas amal baik mereka. AMIN

Alhamdulillah Aku lulus Aku jadi sarjana

Lely

IDJOEucapin makacih buanget boeat :

- Allah SWT yang telah membemberikan kepada daku banyak kemudahan dalam segala hal dari dulu ampe sekarang dan "semoga Engkau tak akan pernah meninggalkanku".
- Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan bagi junjungan hamba Rosululloh Muhammad SAW penyampai ajaran Islam. Inshaallah dengan mengikuti ajaran Beliau akan membawa kebenaran, ketenangan dan kebahagiaan dunia-akhirat.
- Papah Tikto, mamah Papip tersayang yang sudah melahirkan daku, sudah susah payah membesarkan daku, membiayai pendidikanku selama ini dan juga sudah mendoakan segala keinginan daku hingga daku mencapai banyak keberhasilan.
- Adikku Ci'ku bong-bong tersayang yang udah mau ngaterin kemana-mana, yang udah banyak ngasih nasehat yang bermanfaat buat daku, serta memberikan semangat dalam penyelesaian TA aku.
- Bude Yah, pakde Kardi, mas Wibi, Bule' Sorya dan anak-anaknya, Om Timur sekeluarga, Kakung Wiryo dan Uti Tarjo serta seluruh keluarga besar Soetarjo, Pak Afan Gafar sekeluarga yang udah banyak memberikan bantuan dalam segala hal.
- Sahabat baikku Agoeng Lopez sorri banget kalau sering menggagu bobo' siangmu, saudara-saudaranya (mas Dedy yang jauh, mbak Rita&Galihnya, mbak Retno&Lintangnya), papahnya (pak Salip), yang udah mau aku ganggu setiap hari karena aku sering numpang ngetik dan ngeprint.
- Mbak Lely temen TA daku senasip seperjuangan yang udah banyak menyadarkan daku untuk bangkit dari kemalasan dan juga Alfanya yang sangat mengerti dengan postur tubuh kami dan selau setia nyanterin kemana-mana.

- Anak-anak Civil D'97 : Ayoh, Iin medan, Iin Kalimantan, Evy, Yuning, Elsa, Ainun, Dede, Pipi, Wiwit, Ayati, Lika, Gembux, Kecret, Nji'un, Sigit, Heri, Tomas, Rizal, Berbagai Budi, Muklis, Adit, Joko, Alif, Arif, Irul dan masih banyak lagi pokokke kabeh anak D Civil'97 "semoga kita tetep kompak meskipun nantinya udah pada sampe S banyak pokokke mangan ora mangan seng penting kumpul".
- Sahabaatku Ervan, Dudi hidrolika, mas Agungnya mbak Rupi yang udah memberikan semangat dalam penyelesaian TA daku, Beti, Rani, Eri '98 yang udah mau minjemmin kartu perpusnya.
- Pak Fathur, Pak Atmo yang udah bersedia bersusahpayah membimbing dari awal hingga terselesaikannya TA Kami, Pak Helmi yang sangat baik sebagai dosen Tamu.
- Rekan-Rekan TA seangkatan : Dek Agus&Mas Wahyu Tatit&Wulan, Fitri&Pipit, Ayati&masTony, Mas AAN&Mas Jawad, Mas Budi&temennya, Lira&Yoyo' pokoknya semua anak bimbingannya Pak Fathur yang udah banyak memberikan informasi dan bimbingan "semoga kita tetep saling kenal meskipun enggak antri konsultasi lagi di rumah Pak Fathur dan juga kalau udah dapet kerjaan duluan jangan lupakan teman-temanmu yang lainnya".
- Mas Havid (karyawan Lab Struktur) yang udah banyak banget ngetantuin waktu daku masuk Lab. Struktur.

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah memberikan bantuan dalam segala hal yang tidak dapat daku sebutkan satu-persatu semogga Allah memberikan balasan yang sebesar-besarnya atas segala kebaikan kalian. Amin

Hai orang-orang sejagat raya peng-ngu-mu-man Idjoe alias Iin Djogja alias Prapuspita Indriani udah jadi sarjana bo'.....!!!!!!!

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohim

Maha suci Allah, segala puji bagi Allah Tuhan Semesta Alam. Berkat irodah, rahmat dan karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, yang merupakan salah satu syarat kelengkapan untuk menyelesaikan program S1 Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi materi maupun susunan bahasanya yang membuat tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik yang membangun dan saran yang dapat memberikan manfaat dan dorongan bagi peningkatan kemampuan penulis.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan serta pengarahan-pengarahan untuk membimbing penulis dalam penulisan tugas akhir sebagai berikut :

1. Bapak Ir. Fathurrohman N, MT, selaku dosen pembimbing I.
2. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku dosen pembimbing II.
3. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku dosen tamu.

4. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak DR. Ir. H. Lutfi Hasan , MS, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
6. Kedua Orang tua dan saudara-saudara kami tercinta yang dengan kasih sayangnya telah membekali penulis dengan do'a dan semangat.
7. Sahabat-sahabat Civil D'97 dan rekan-rekan TA seangkatan di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan bantuan dalam berbagai hal.
8. Semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu tugas akhir ini hingga selesai.

Akhir kata penulis mohon maaf dengan segala ketulusan hati seandainya dalam menuliskan tugas akhir ini terdapat kekhilafan, semoga Allah SWT, selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, dan segala sesuatu yang telah kita laksanakan akan menjadi bekal yang berguna dan bermanfaat kelak dikemudian hari. Amin.

Alhamdulillahirobil'alamin

Jogjakarta, Juli 2002

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI	xxii
DAFTAR KONFERSI SATUAN	xxvi
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
ABSTRAKSI	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Lokasi Penelitian	5

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
2.1	Tinjauan Umum	6
2.2	Macam-Macam Tekuk Pada Gelagar Pelat	7
BAB III	LANDASAN TEORI	
3.1	Gelagar Pelat	9
3.1.1	Tekuk Akibat Geser	12
1.	Tekuk Elastis Akibat Geser Murni	12
2.	Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni	15
3.	Kekuatan Geser	16
a.	Geser Nominal	16
b.	Kekuatan Geser Dalam Rentang Beban Layanannya	16
c.	Kekuatan Geser Nominal Termasuk aksi Medan Tarik	17
4.	Kekuatan Pasca Tekuk Pada Elemen Pelat	19
3.1.2	Tekuk Akibat Tekanan Merata	20
1.	Tekuk Elastis Akibat Tekanan Merata ..	20
2.	Kekuatan Pelat yang Memikul Tekanan Tepi Merata	22
3.1.3	Lentur Pada Bidang Badan	29
3.2	Tekuk Puntir Lateral Gelagar Pelat Kantilever	32

3.2.1	Tekuk Puntir Lateral Elastis	33
3.2.2	Tekuk Puntir Lateral Tak Elastis ($M_p > M_n > M_r$)	38
3.3	Perencanaan Pengaku	39
3.3.1	Pengaku Dukung/Landasan	40
3.3.2	Pengaku Antara	42
3.3.3	Penempatan Pengaku Lateral	43
3.4	Hubungan Momen dengan Kelengkungan	45
3.5	Hubungan Beban dengan Lendutan	51
3.6	Daktilitas	53
3.7	Pengelompokan Baja Berdasar Tegangan Leleh	54

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1	Metode Penelitian	56
4.2	Persiapan Bahan dan Alat	57
4.2.1	Bahan	57
	a. Pelat Baja	57
	b. Profil Siku	57
	c. Baut	57
4.2.2	Peralatan Penelitian	57
	a. Mesin Uji Kuat Tarik	58
	b. Loading Frame	58
	c. Dukungan Sendi dan Rol	59

d. Hindraulic Jack	60
e. Dial Gauge	61
4.3 Model Benda Uji	61
4.4 Pembuatan Benda Uji	62
4.5 Pengujian Benda Uji	63
4.5.1 Pengujian Kuat Tarik Baja	63
4.5.2 Pengujian Kuat Lentur	63

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	66
5.2 Hasil Pengujian Lentur Gelagar Pelat Kantilever	66
5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)	67
5.2.2 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan (vertikal)	68
5.2.3 Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)	69
5.2.4 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)	70
5.2.5 Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)	71
5.2.6 Analisa Data Hubungan Momen-	

	Kelengkungan Lentur (vertikal)	72
5.2.7	Perbandingan Lendutan secara Teoritis dengan Lendutan Pengujian	73
5.2.8	Analisa Perbandingan Lendutan secara Teoritis dengan Lendutan Pengujian	78
5.2.9	Hubungan Rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y	79
5.2.10	Analisa Rasio M_{cr}/M_y dengan I/r_y	79
5.3	Analisa Kerusakan Pada Benda Uji	80
5.4	Pembahasan	81
5.4.1	Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	81
5.4.2	Kuat Lentur Vertikal Gelagar Pelat Kantilever Berdasarkan Hubungan beban Lendutan Lentur (vertikal)	81
5.4.3	Daktilitas ditinjau dari Hubungan Beban- Lendutan Lentur (vertikal)	82
5.4.4	Kuat Lentur Horisontal Gelagar Pelat Kantilever Berdasarkan Hubungan Beban- Lendutan Lateral (horisontal)	83
5.4.5	Daktililitas ditinjau dari Hubungan Beban- Lendutan Lateral (horisontal)	83
5.4.6	Kuat Lentur Gelagar Pelat Katilever	

	Ditinjau dari Hubungan Momen- Kelengkungan	84
5.4.7	Daktilitas Gelagar Pelat Kantilever ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan	84
5.4.8	Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban- Lendutan Pengujian	85
5.4.9	Hubungan Rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y	85
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan	87
6.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		90
LAMPIRAN		91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Komponen tipikal gelagar pelat (Bowles,1985)	10
Gambar 3.2	Tegangan pada pelat badan (Salmon dan Johnson, 1986)	12
Gambar 3.3	Teori geser klasik (Salmon dan Johson,1986); (a) Elemen yang mengalami geser murni, (b) tegangan utama pada elemen yang mengalami geser murni, (c) tegangan utama pada panil yang mengalami geser murni	13
Gambar 3.4	Dua keadaan dari jarak pengaku antara (Salmon dan Johson, 1986); (a) $a/h < 1$, (b) $a/h > 1$	13
Gambar 3.5	Kapasitas geser yang tersedia dengan memperhatikan kekuatan pasca tekuk (Salmon dan Johson, 1992)	18
Gambar 3.6	Aksi medan tarik (Salmon dan Johson, 1986)	18

Gambar 3.7	Elemen-elemen pelat dibawah tekanan aksial memperhatikan distribusi tegangan dan sisten ekifalen (Salmon dan Johson, 1992); (a)(b) elemen berpengaku, (c)(d) elemen tanpa pengaku	19
Gambar 3.8	Pelat dengan tekanan merata (Salmon dan Johson, 1986)	21
Gambar 3.9	Koefisien tekuk untuk pelat yang mendapat tekanan merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana (Salmon dan Johson, 1992)	22
Gambar 3.10	Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (Salmon dan Johson, 1996)	24
Gambar 3.11	Perilaku gelagar akibat tekanan tepi (Salmon dan Johson, 1996)	25
Gambar 3.12	Perbandingan antara tekuk pelat dengan tekuk kolom	27
Gambar 3.13	Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-bebas) (Salmon dan Johson, 1992)	28
Gambar 3.14	Defleksi tekuk pelat pada badan (jepit-jepit) (Salmon dan Johson, 1992)	29
Gambar 3.15	Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni	30

Gambar 3.16	Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada pelat badan ; baja A36	31
Gambar 3.17	Balok profil I dalam posisi sedikit tertekuk (Englekirk,1993) (a) tampak atas, (b) tampak samping, (c) potongan A-A	35
Gambar 3.18	Keadaan batas tekuk puntir lateral (Salmon dan Johson, 1992)	38
Gambar 3.19	Penampang lintang efektif pengaku tumpu (Salmon dan Johson, 1992) (a) pengaku ujung, (b) pengaku interior	41
Gambar 3.20	Tegangan balok dengan lateral support pada jarak tertentu	44
Gambar 3.21	Deformasi segmen balok dalam lenturan (a) tampak samping, (b) potongan melintang	46
Gambar 3.22	Momen kelengkungan	48
Gambar 3.23	Grafik momen kelengkungan	51
Gambar 3.24	Hubungan beban dan lendutan pada balok	52
Gambar 4.1	Bagan alir metode penelitian	56
Gambar 4.2	Universal testing material Shimatzu UMH 30	58
Gambar 4.3	Bentuk fisik loading frame	59
Gambar 4.4	Dukungan sendi dan rol	60
Gambar 4.5	Hidraulic jack	60

Gambar 4.6	Dial gauge	61
Gambar 4.7	Perletakan dukungan sendi-rol gelagar pelat kantilever	62
Gambar 4.8	Penampang gelagar pelat	62
Gambar 4.9	Benda uji untuk uji kuat tarik baja	63
Gambar 4.10	Gelagar pelat kantilever dengan $L_b = 1000$ mm	64
Gambar 4.11	Gelagar pelat kantilever dengan $L_b = 1500$ mm	64
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) keempat benda uji	67
Gambar 5.2	Grafik hubungan beban-lendutan lateral (horisontal) keempat benda uji	69
Gambar 5.3	Grafik hubungan momen-kelengkungan lentur (vertikal) keempat benda uji	72
Gambar 5.4	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 1 ($P_{TEORITIS} = P_{PENGUJIAN}$)	74
Gambar 5.5	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 2 ($P_{TEORITIS} = P_{PENGUJIAN}$)	75
Gambar 5.6	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 3 ($P_{TEORITIS} = P_{PENGUJIAN}$)	75

Gambar 5.7	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 4 ($P_{\text{TEORITIS}} = P_{\text{PENGUJIAN}}$)	76
Gambar 5.8	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 1 ($P_{\text{TEORITIS}} \neq P_{\text{PENGUJIAN}}$)	76
Gambar 5.9	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 2 ($P_{\text{TEORITIS}} \neq P_{\text{PENGUJIAN}}$)	77
Gambar 5.10	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 3 ($P_{\text{TEORITIS}} \neq P_{\text{PENGUJIAN}}$)	77
Gambar 5.11	Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dengan hubungan beban-lendutan pengujian benda uji 4 ($P_{\text{TEORITIS}} \neq P_{\text{PENGUJIAN}}$)	78
Gambar 5.12	Grafik hubungan rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y untuk keempat benda uji	80

DAFTAR TABEL

Tabel	5.1	Hasil pengujian kuat lentur baja	66
Tabel	5.2	Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)	68
Tabel	5.3	Analisa daktilitas lentur dan hubungan beban lendutan lentur (vertikal)	69
Tabel	5.4	Analisa kekakuan dari hubungan beban lendutan lateral (horisontal)	70
Tabel	5.5	Analisa daktilitas lateral dari hubungan beban lendutan lateral (horisontal)	71
Tabel	5.6	Analisa kekakuan dari hubungan momen- kelengkungan lentur (vertikal)	72
Tabel	5.7	Analisa daktilitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan lentur (vertikal)	73
Tabel	5.8	Analisa perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan pengujian ($P_{\text{teoritis}} = P_{\text{pengujian}}$)	78
Tabel	5.9	Analisa perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan pengujian ($P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$)	79
Tabel	5.10	Analisa rasio M_{cr}/M_y dan rasio L/r_y	80

DAFTAR NOTASI

- a = jarak antar pengaku
- A_b = A_{bruto} = luas penampang lintang bruto
- A_e = A_{eff} = luas efektif
- A_f = luas bruto sebuah flens
- A_{pb} = luas kontak pengaku
- A_w = luasan badan
- b = lebar, lebar flens
- b_E = lebar efek dimana tegangan maksimum dapat dianggap merata yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat
- b_f = lebar flens
- C_b = faktor untuk menghitung gradien momen kekuatan balok, nilainya 1,0-2,3, dan untuk kantilever nilainya 1,0
- C_c = rasio kerampingan KL/r yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek menurut ASD
- C_v = rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh = $\frac{\tau_{cr}}{\tau_y}$
- C_w = konstanta kelengkungan puntir
- d = tinggi gelagar
- d_w = kedalaman badan
- D = nilai geser maksimum pada $\tau = \frac{D.S}{I.b}$
- e = eksentrisitas badan
- E = modulus elastisitas
- f = tegangan karena geser langsung

- f_a = tegangan tarik aksial beban layanan
- f_b = tegangan lentur dalam layanan
- f_c = tegangan merata beban layanan
- f_v = tegangan geser beban layanan
- F_a = tegangan aksial beban layanan yang diijikan dalam ASD
- F_b = tegangan lentur yang diijinkan
- F_{cr} = tegangan kritis
- F_s = faktor keamanan
- F_u = kekuatan tarik baja stuktur
- F_v = tegangan geser yang diijinkan
- F_y = tegangan leleh
- F_{yw} = tegangan leleh untuk badan
- G = modulus elastisitas geser
- h = kedalaman, tinggi pelat badan
- I = momen inersia
- I_x = momen inersia sumbu X
- I_y = momen inersia sumbu Y
- J = konstanta puntiran
- k = koefisien tekukan pelat
- L = panjang bentang
- L_b = panjang tanpa penopang lateral
- L_c = ASD, panjang tanpa penopang lateral maksimal untuk penggunaan F_b
- L_u = ASD, panjang tanpa penopang lateral untuk digunakan pada tegangan ijin $F_b = 0,60F_y$ bila $C_b = 1,0$
- m = momen puntir beban layanan terdistribusi merata
- M_{cr} = kekuatan momen tekuk puntir lateral elastik
- M_p = kekuatan momen elastis
- M_r = kekuatan momen bila serat terluar mencapai $(F_y - F_r)$

M_u	=	momen beban layanan terfaktor
M_x	=	momen menurut sumbu x
M_y	=	momen menurut sumbu y bila lentur biaksial diperhitungkan
M_z	=	momen lentur/momen puntir pada arah z menurut sumbu batang
n	=	jumlah baut
N	=	pajang pikulan
P	=	beban aksial layanan
P_n	=	kekuatan nominal batang tekan yang dibebani secara aksial
P_u	=	beban aksial terfaktor
r	=	jari-jari girasi
r_t	=	jari-jari girasi sebuah penampang yang mencakup flens tekan plus sepertiganya luas badan tekan yang diambil menurut sebuah sumbu dalam bidang badan, ASD
r_y	=	jari-jari girasi arah y
R	=	beban layanan perbaut
R_n	=	kekuatan nominal pada sub penyambung dalam tarik geser atau pikul; kekuatan reaksi nominal
S_x	=	modulus penampang elastis
t	=	ketebalan
t_f	=	tebal flens (sayap)
t_s	=	tebal penyambung
t_w	=	tebal badan
v	=	tegangan geser
V_n	=	kekuatan geser nominal
V_u	=	gaya geser terfaktor
y	=	defleksi pada sumbu lokasi z sepanjang bentang
z	=	modulus elastik
Z_x	=	modulus elastik sumbu X
γ	=	istilah umum untuk faktor kelebihan beban

ε	=	regangan
ε_t	=	regangan total
ε_x	=	regangan arah X
ε_y	=	regangan pada saat tegangan leleh
Δ	=	defleksi/lendutan
Δ_y	=	lendutan pada saat beban maksimum
Δ_{total}	=	lendutan total
λ	=	rasio kerampingan untuk pelat
λ_c	=	parameter kerampingan
λ_p	=	rasio kerampingan maksimum untuk elemen kompak
μ	=	rasio poison, daktilitas
ϕ	=	koefisien resistensi = 0,85
τ	=	tegangan geser
τ_{cr}	=	tegangan tekuk geser
τ_y	=	tegangan leleh geser
θ	=	sudut rotasi
ρ	=	rasio luas penampang lintang badan A_w terhadap luas penampang A_f salah satu flens
σ	=	tegangan
π	=	konstanta = 3,14

FAKTOR KONVERSI SATUAN

Dari	Ke	Faktor Konversi
m	mm	1000
ton	kg	1000
Mpa	N/mm ²	1
Mpa	kg/cm ²	10
Mpa	ksi	0,1450
ksi	Mpa	6,895

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Lembar Konsultasi
- Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja
- Lampiran 3 Perhitungan Benda Uji
- Lampiran 4 Hasil Pembebanan Benda Uji
- Lampiran 5 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lentur dan Lateral
- Lampiran 6 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur
- Lampiran 7 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-lendutan Pengujian serta contoh hitungan
- Lampiran 8 Grafik Hubungan Rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y
- Lampiran 9 Gambar-gambar

ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah salah satu jenis komponen struktur lentur yang digunakan untuk memenuhi keterbatasan profil pabrikan. Gelagar pelat ini merupakan balok penampang langsing dengan rasio tinggi terhadap tebal (h/t) cukup besar sehingga pokok permasalahan yang terjadi adalah instabilitas atau tekuk, terutama untuk struktur kantilever yang memiliki lendutan yang cukup besar. Gelagar pelat yang tipis dan langsing serta berpengaku lebih disukai sebab lebih ringan dan ekonomis serta memiliki kekuatan pasca tekuk.

Penelitian ekperimental terhadap gelagar pelat dengan panjang total 3500 mm dan memiliki panjang kantilever 1500 mm, menggunakan pelat dengan tebal 2 mm dan tinggi 400 mm sebagai badan gelagar serta Profil L 30x30x3 sebagai sayap gelagar yang kemudian dirangkai membentuk profil I dengan alat sambung baut dengan diameter 5mm. Dalam penelitian ekperimental ini dibuat empat buah benda uji dengan dua variasi yaitu panjang kantilever dengan $L_b = 1000$ mm dan panjang kantilever dengan $L_b = 1500$ mm, bertujuan untuk mencari hubungan beban dengan lendutan, momen dengan kelengkungan, beban secara teoritis dengan beban pengujian, rasio momen kritis terhadap momen lapangan (M_{cr}/M_y) dengan rasio jarak dukungan lateral terhadap jari-jari girasi (L/r_y) gelagar pelat kantilever.

Hasil dari penelitian ekperimental ini diperoleh bahwa panjang kantilever dengan $L_b = 1500$ mm mempunyai kuat lentur vertikal lebih besar dari pada $L_b = 1000$ mm dengan daktilitas berbanding terbalik dengan kuat lenturnya. Dan untuk kuat lentur horisontal panjang kantilever dengan $L_b = 1000$ mm lebih besar dibanding dengan panjang kantilever dengan $L_b = 1500$ mm serta untuk daktilitasnya juga berbanding terbalik dengan kuat lenturnya. Untuk momen kelengkungan nilai EI untuk panjang kantilever dengan $L_b = 1500$ mm lebih besar dibanding dengan $L_b = 1000$ mm dan daktilitas kelengkungannya berbanding lurus dengan nilai EI momen kelengkungan. Untuk $L_b = 1000$ mm memiliki beban teoritis lebih kecil dari beban pengujian, sedangkan untuk $L_b = 1500$ mm beban teoritisnya lebih besar dari beban pengujian. Gelagar pelat kantilever dengan $L_b = 1000$ mm memiliki rasio M_{cr}/M_y lebih besar dibanding $L_b = 1500$ mm sedangkan untuk rasio L/r_y $L_b = 1500$ mm lebih besar dibanding $L_b = 1000$ mm. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pemakaian dukungan lateral pada kantilever membuat gelagar lebih daktil.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang semakin canggih mengakibatkan manusia berfikir untuk mendapatkan kebutuhan material konstruksi khususnya material untuk balok atau gelagar yang dapat meningkatkan fasilitas bagi kesejahteraan manusia yang bersifat fisik. Karena keinginan inilah maka selalu dicari dan digunakan material yang bersifat efisien dan ekonomis.

Baja struktural adalah suatu jenis baja dengan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya cocok untuk pemikul beban, tetapi karena keterbatasan ukuran penampang baja struktur sehingga hanya digunakan untuk struktur lentur bentang pendek sedangkan untuk struktur bentang panjang digunakan struktur rangka atau batang tersusun, salah satu diantaranya adalah gelagar pelat yang merupakan balok penampang langsing dengan rasio tinggi terhadap tebal (h/t) cukup besar.

Gelagar pelat paling sederhana terdiri dari pelat sayap atas, pelat sayap bawah yang dihubungkan secara menerus oleh pelat badan. Pelat sayap berfungsi memikul sebagian besar momen yang bekerja pada gelagar pelat,

sedangkan pelat badan berfungsi menahan gaya geser dan menghubungkan sayap-sayap menjadi satu kesatuan.

Akibat momen sebagian penampang menerima tegangan tekan dan sebagian lagi menerima tarik. Bagian penampang gelagar pelat yang menerima tegangan tekan rawan terhadap bahaya tekuk yang dapat berupa tekuk lokal dan tekuk lateral, keduanya merupakan pola kegagalan dini yang dialami oleh gelagar pelat.

Ada tiga pola kegagalan (mode failure) dini yang mungkin dialami oleh gelagar pelat, yaitu :

1. Tekuk lokal pada sayap (*Flens Local Buckling* atau *FLB*)
2. Tekuk lokal pada badan balok (*Web Local Buckling* atau *WLB*)
3. Tekuk puntir lateral (*Lateral Torsional Buckling* atau *LTB*)

Ketiga pola kegagalan tersebut terjadi karena oleh instabilitas (tekuk). Tekuk lokal tersebut terjadi jika perbandingan rasio lebar terhadap tebal (b/t) besar. Pada bagian sayap dapat diproporsikan dengan mengubah penampang sehingga rasio lebar terhadap tebal menjadi kecil dan pada bagian badan agar tidak terjadi tekuk maka diberi pengaku.

Tekuk puntir lateral terjadi jika L/r_y yang besar atau bentang dukungan lateral relatif panjang.

Badan gelagar pelat yang tipis dan langsing lebih disukai daripada gelagar pelat dengan badan yang tebal sebab gelagar pelat yang berbadan tipis dan langsing serta diberi pengaku akan memiliki kekuatan pasca tekuk selain

itu gelagar pelat yang berbadan tipis lebih ringan dan ekonomis. Karena badan gelagar sangat langsing maka rawan terhadap tekuk.

Melihat kondisi tersebut timbul pemikiran untuk melakukan penelitian tentang tekuk puntir lateral gelagar pelat kantilever yang ditekankan pada momen batas atau momen kritis (M_{cr}) sebagai fungsi rasio jarak dukungan lateral terhadap jari-jari girasi minimum (L/r_y).

1.2 Rumusan Masalah

Menyelidiki kapasitas lentur pada gelagar pelat kantilever pada batang yang tidak didukung yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk lokal dan tekuk puntir lateral sehingga keruntuhan dini dapat terjadi tegangan leleh baja tercapai.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui perilaku gelagar pelat dengan variasi rasio jarak dukungan lateral terhadap jari-jari girasi pada sumbu y (L/r_y), yaitu :

1. Hubungan beban-lendutan pada gelagar pelat kantilever.
2. Hubungan momen-kelengkungan pada gelagar pelat kantilever.
3. Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan pada gelagar pelat kantilever.

4. Hubungan rasio momen kritis terhadap momen lapangan (M_{cr}/M_y) dengan rasio jarak dukungan lateral terhadap jari-jari girasi (L/r_y) pada gelagar pelat kantilever.

1.4 Manfaat Penelitian

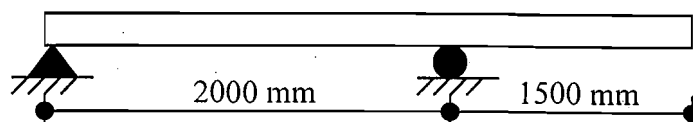
Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh momen kritis (M_{cr}) gelagar pelat kantilever dengan variasi rasio jarak dukungan lateral terhadap jari-jari girasi sumbu y (L/r_y).
2. Sebagai salah satu pertimbangan dalam perencanaan suatu bangunan struktur baja dengan menggunakan gelagar pelat.
3. Sebagai salah satu masukan bagi pembaca sehingga menambah pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.

1.5 Batasan Masalah

Supaya penelitian dapat terarah dan sesuai dengan maksud dan tujuan peneliti maka diperlukan batasan sebagai berikut :

1. Baja yang digunakan penampang I, $\frac{h}{t_f}$ konstan dengan $h = 400$ mm, panjang bentang kantilever konstan $L = 1500$ mm.
2. Pengujian lentur terhadap gelagar pelat kantilever.



3. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung baut, dengan diameter 5mm
4. Mutu baja yang digunakan adalah baja dengan tegangan leleh 240 Mpa
5. Untuk benda uji 1 dan 2, $L_b = 1000$ mm dengan $L/r_y = 111,1111$ dan untuk benda uji 3 dan 4, $L_b = 1500$ mm dengan $L/r_y = 166,6667$

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengujian sampel Gelagar Pelat di lakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia dan untuk pengujian sampel pendahuluan di lakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Spiegel, 1991 menyimpulkan bahwa girder (gelagar) adalah balok utama atau tinggi yang sering juga digunakan untuk menumpu balok-balok lain.

Gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien daripada yang mungkin diperoleh dengan balok tempa. (Salmon dan Johnson,1996).

Pelat baja merupakan lembaran baja dengan ketebalan relatif kecil dibanding ukuran panjang dan lebar lembaran tersebut (PADOSBAJAYO,1992).

Menurut Bowles, 1985 gelagar pelat pada pokoknya adalah bagian konstruksi rangka yang flensnya adalah batang tepi atas dan batang tepi bawah dan badan yang membentuk suatu bagian konstruksi.

Menurut Salmon dan Johnson,1992 semua penampang baik dari profil tempa maupun *built-up* terdiri dari elemen-elemen pelat. Sampai diperhatikannya kemungkinan tekuk batang berdasarkan rasio kerampingan untuk keseluruhan penampang lintang. Akan tetapi, mungkin saja tekuk lokal

terjadi lebih dahulu pada salah satu pelat pembentuk penampang tersebut. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang terbentuk tidak dapat lagi menanggung bagian beban yang harus diterimanya bila kolom menerima tambahan beban dengan kata lain efisiensi mengalami penurunan.

2.2 Macam-Macam Tekuk Pada Gelagar Pelat

Menurut Bowles, 1985 jika pelat badan terlalu tipis yang diukur dengan rasio h/t maka pelat badan tersebut akan mengalami tekuk.

Pada keadaan dimana pelat diberi beban tegak lurus sumbu Z maka pelat akan menerima gaya aksial dan hal ini akan menimbulkan tekuk pada pelat tersebut. (PADOSBAJAYO, 1992).

Akan tetapi sayap pada balok mungkin perlu mengalami regangan regangan plastik yang cukup besar tanpa terjadinya tekuk lokal. (Salmon dan Johnson, 1992).

Apabila jarak antara tumpuan lateral flens tekan semakin besar maka pada balok akan ada kecenderungan mengalami tekuk lateral (Spiegel, 1991).

Ada dua kategori tumpuan lateral yang memenuhi syarat :

1. Tumpuan lateral menerus yang membenamkan sayap tekan tersebut dalam slab lantai beton.
2. Tumpuan lateral dengan interval tertentu yang diberikan oleh balok lintang, rangka lintang, pengikat, atau strut, yang membentuk rangka secara lateral,

dimana sistem lateralnya itu sendiri sudah cukup kaku dan berpenopang (*bracing*). (Salmon dan Johnson,1996).

Tidak seperti kolom tiang bendera dimana panjang ujung bersendi efektif adalah dua kali panjang aktualnya, tekuk torsi balok kantilever tidak pernah seberat kondisi suatu segmen yang mendapat pembebanan momen seragam (Salmon dan Johnson,1996).

Tekuk puntir pada dasarnya adalah tekuk pada pelat dengan tekanan merata yang bebas sepanjang satu tepi dan berbeda pada tepi lainnya (Salmon dan Johnson,1996).

Kerapkali puntiran merupakan efek sekunder-kendati tidak mesti kecil- yang harus diperhitungkan dalam kombinasi dengan berbagai tipe perilaku lainnya.

Penampang berbentuk kotak atau silinder berdinding tipis lebih kuat menahan puntir ketimbang profil-profil lain yang berbentuk kanal, I, T, siku, Z meskipun dengan luas penampang yang sama (Salmon dan Johnson,1996).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gelagar Pelat

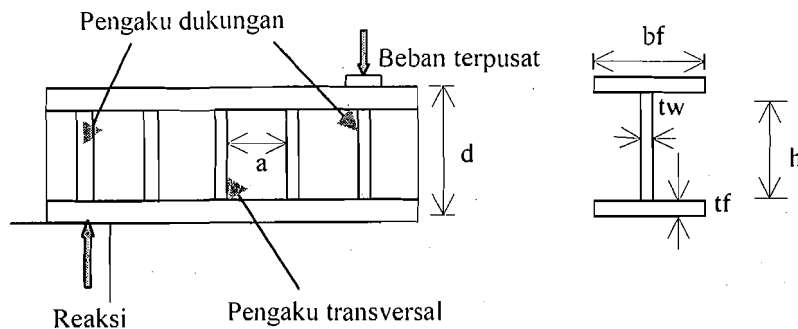
Menurut Salmon dan Johnson, 1996, gelagar pelat mempunyai bentuk yang mirip dengan profil I yang bukan bentukan hanya saja perilaku pada gelagar pelat sangat berbeda dengan profil I yang bukan bentukan. Sebagian besar profil I termasuk penampang kompak karena memenuhi persyaratan

$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y(\text{ksi})}} \quad \text{atau} \quad \frac{b}{2t_f} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y(\text{Mpa})}}.$$

Sedangkan pada gelagar pelat mempunyai badan yang sangat tipis sehingga menyebabkan profil tersebut tidak kompak. Karena tidak kompak inilah maka instabilitas menjadi persoalan yang utama pada gelagar pelat.

Bila perencana bebas untuk mencapai pemikulan beban yang paling efisien, maka jelaslah bahwa untuk momen lentur hampir seluruhnya dipikul oleh sayap, penampang yang tinggi lebih disukai. Badan diperlukan agar sayap-sayap bekerja sebagai satu kesatuan dan untuk memikul gaya geser, tetapi tebal badan yang berlebihan menambah berat gelagar. Bila ditinjau dari sudut bahan, badan yang tipis dengan pengaku akan menghasilkan gelagar yang paling ringan. Dengan demikian instabilitas pelat badan yang tipis menjadi masalah utama (Salmon dan Johnson, 1986).

Secara umum elemen-elemen gelagar pelat dapat digambarkan sebagai berikut (Bowles,1985).



Gambar 3.1 Komponen tipikal gelagar pelat (Bowles, 1985)

dari gambar tersebut menerangkan bahwa bf = lebar sayap, tf = tebal sayap, tw = tebal badan, h = tinggi badan, d = tinggi gelagar, a = jarak antar penguaku.

Ada tiga elemen dasar gelagar pelat antara lain :

1. Badan

Berupa pelat baja yang diletakkan memanjang verikal, umumnya pelat badan relatif tipis yang diperkaku dengan pelat sayap dan penguaku tranfersal (Salmon dan Johnson,1996).

2. Sayap

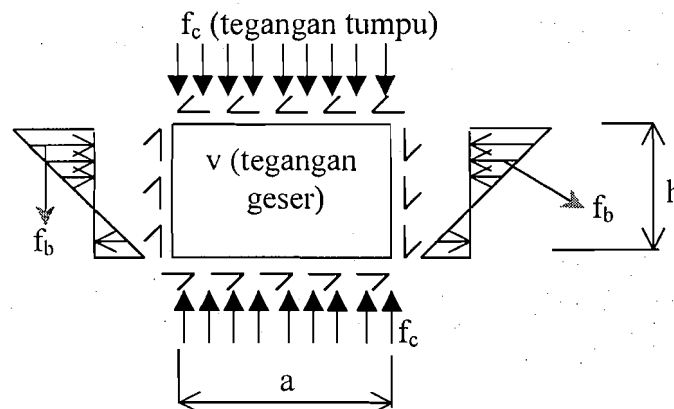
Pelat baja ini terdiri dari dua bagian yang diletakkan pada posisi memanjang horisontal, yang dibaut pada bagian atas dan bagian bawah badan (Salmon dan Johson,1996)

3. Pengaku

Pengaku umumnya dipergunakan bila pelat badan sangat tipis, rasio h/tw besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. Pengaku hampir selalu dipergunakan oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi dan pada reaksi gelagar pelat (Boeles, 1985).

Pengaku dukungan diperlukan secara berpasangan dan diletakkan diatas reaksi-reaksi. Pengaku dukungan juga diperlukan dibawah beban terkonsentrasi yang diangkut oleh gelagar pelat (Salmon dan Johnson, 1996).

Pada Gambar 3.1, dengan a sebagai jarak antara pengaku-pengaku antara dan h sebagai tinggi bersih antara tumpuan-tumpuan pelat memanjang (yakni antara sayap-sayap, sayap dan pengaku memanjang/longitudinal, atau antara pengku-pengaku memanjang). Secara umum segmen plat ini memikul tegangan geser v sepanjang tepinya, tegangan formal f_b dengan variasi linier sepanjang tinggi h , dan tegangan tekan f_c akibat beban yang bertumpu langsung pada gelagar sepanjang jarak a .



Gambar 3.2 Tegangan pada pelat badan (Salmon dan Johnson, 1986)

Gambar 3.2 menunjukkan pelat badan dibebani oleh geser (v), lentur (f_b) dan tekanan merata (f_c).

3.1.1 Tekuk Akibat Geser

1. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Salmon dan Johnson, 1986, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan oleh Persamaan 3.1 sebagai

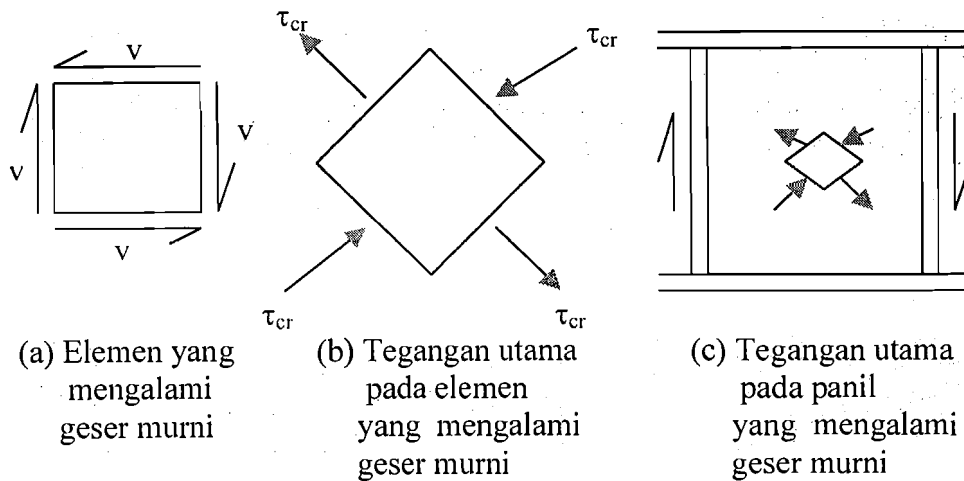
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.1)$$

Untuk kasus geser murni lihat Gambar 3.3 Persamaan 3.1 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti F dengan τ untuk tegangan geser)

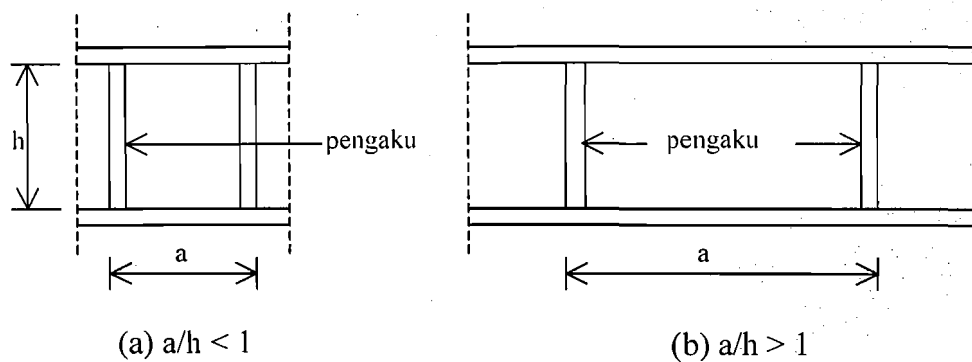
$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.2)$$

untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang),

$$k = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.3)$$



Gambar 3.3 Teori geser klasik (Salmon dan Johnson, 1986)



Gambar 3.4 Dua keadaan dari jarak pengaku antara (Salmon dan Johnson, 1986)

Untuk perencanaan, Persamaan 3.2 dan 3.3 biasanya dinyatakan dalam h (tinggi badan tanpa sokongan) dan a (jarak antara pengaku). Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau :

a. Jika $a/h \leq 1$ (lihat Gambar 3.4a), maka Persamaan 3.2 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1-\mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \quad (3.4)$$

b. Jika $a/h \geq 1$ (lihat Gambar 3.4b), maka Persamaan 3.2 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.5)$$

Jelaslah dari Persamaan 3.4 dan 3.5 bahwa jika kita hendak memakai h/t sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka dua persamaan untuk k diperlukan. Untuk semua harga a/h , Persamaan 3.4 dan 3.5 bisa dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.6)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.7)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.8)$$

tampak pada Persamaan 3.7 dan 3.8 bila a/h semakin kecil maka nilai k akan semakin besar.

Dalam **AISC-1.10.5**, Persamaan 3.6 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien C_v sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.9)$$

tampak bahwa C_v merupakan stabilitas elastis.

Substitusi nilai $E = 200000 \text{ MPa}$, $\mu = 0,3$, $\tau_y = 0,6 F_{yw}$ ke Persamaan 3.9 menjadi :

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw} (\text{Mpa})} \quad (3.10)$$

Nilai C_v dipengaruhi oleh nilai k . dan h/t diketahui 200 mm dengan $F_y = 240 \text{ Mpa}$ dan nilai $C_v = 1$ maka dengan menggunakan Persamaan 3.10 akan diperoleh nilai $k = 31,683$ dan disubstitusikan pada Persamaan 3.7 maka akan diperoleh nilai $(a/h) = 0,193$.

2. Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

Sebagaimana dalam situasi stabilitas, tegangan sisa dan ketaksempurnaan (*imperfection*) mengakibatkan tekuk tak elastik pada saat tegangan kritis mendekati tegangan leleh.

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{\text{batas proporsional}} \tau_{cr(\text{elastikideal})}} \quad (3.11)$$

Batas proporsional diambil sebagai $0,8\tau_y$, yang lebih besar daripada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.11 dengan τ_y untuk mendapatkan C_v dan tegangan menggunakan Persamaan 3.10 memberikan

$$C_v = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.12)$$

3. Kekutan Geser

a. Geser Nominal

Menurut Salmon dan Johnson, 1996, kekutan geser nominal V_n dari suatu gelagar berdasarkan tekuk tak-elstik atau elastik badan dapat dinyatakan

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.13)$$

atau dengan menggunakan $C_v = \tau_{cr} / \tau_y$ maka

$$V_n = C_v \tau_y A_w \quad (3.14)$$

jika $\tau_y = 0.6F_y$ dan $C_v = 1$ maka

$$V_n = (0.6F_y) A_w \quad (3.15)$$

b. Kekutan Geser dalam Rentang Beban Layanan

$$\left(\frac{V_n}{\gamma / \phi} = \frac{V_n}{FS} \right) \geq V \quad (3.16)$$

dimana : γ / ϕ = faktor-faktor kelebihan beban dibagi oleh faktor resistansi

$FS = 1.67$ = faktor keamanan nominal dalam desain balok

V = geser beban layanan

Untuk tegangan geser diuliskan sebagai berikut

$$\left(f_v = \frac{V}{A_w} \right) \leq \left(F_v = \frac{V_n}{(FS)A_w} \right) \quad (3.17)$$

dimana tegangan ijin F_v dapat diperoleh dengan menempatkan Persamaan 3.14

kedalam Persamaan 3.17 dan $\tau_y = F_y / \sqrt{3}$ sebagai ganti dari $0.6F_y$ sebagaimana

digunakan dalam LRFD, diambil $FS = 1.67$ dengan mengingat batas atas tradisional sebesar $0.40F_y$, untuk F_v

$$F_v = \frac{C_v \tau_y A_w}{(FS)A_w} = \frac{C_v \tau_y}{FS} \quad (3.18)$$

dimana untuk tekuk elastik $C_v \leq 0.8$

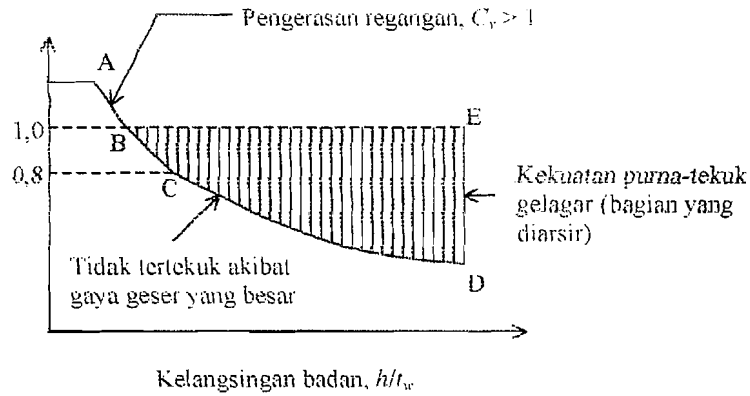
$$C_v = \frac{310000k}{F_{yw} \left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (3.19)$$

dan untuk tekuk tak elastik $C_v > 0.8$

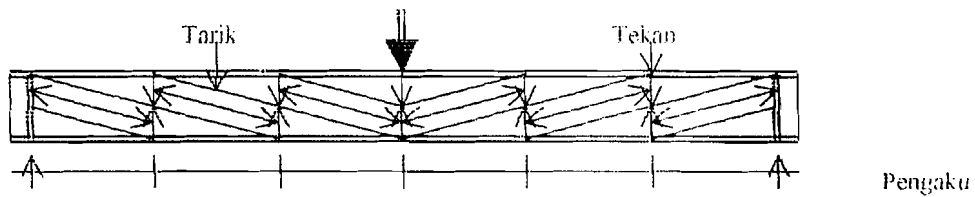
$$C_v = \frac{500}{\left(\frac{h}{t}\right)} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.20)$$

c. Kekuatan Geser Nominal Termasuk Aksi Medan Tarik

Kekuatan tekuk elastik dan tak elastik pada badan gelagar yang terkena geser diwakili oleh Gambar 3.5. Tampak pada Gambar 3.5 suatu pelat yang diperkaku oleh sayap dan pengaku transversal memiliki kekuatan pasca tekuk yang cukup besar sebab gaya-gaya tarik akan dipikul oleh pengaku transversal. Pemasukan aksi rangka batang memperbesar kekuatan geser dari kekuatan berdasarkan tekuk (ABCD pada Gambar 3.5) hingga mendekati kondisi yang sejalan dengan leleh dalam teori balok klasik (ABE dalam Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Kapasitas geser yang teredial dengan memperhitungkan kekuatan pasca tekuk (Salmon dan Johnson, 1992)



Gambar 3.6 Aksi medan tarik (Salmon dan Johnson, 1986)

Kekuatan geser nominal V_n dapat dinyatakan sebagai jumlah dari kekuatan tekuk V_{cr} dan kekuatan pasca tekuk V_{pr} dari aksi tarik lapangan,

$$V_n = V_{cr} + V_{pr} \tag{3.21}$$

Kekuatan tekuk nomil diberikan pada Persamaan 3.14 dengan $V_n = V_{cr}$ dimana $C_v = \tau_{cr}/\tau_y$ dan diberikan oleh Persamaan 3.10 dan 3.12 masing-masing untuk tekuk elastik dan tidak elastik.

Kekuatan geser V_{pr} berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu

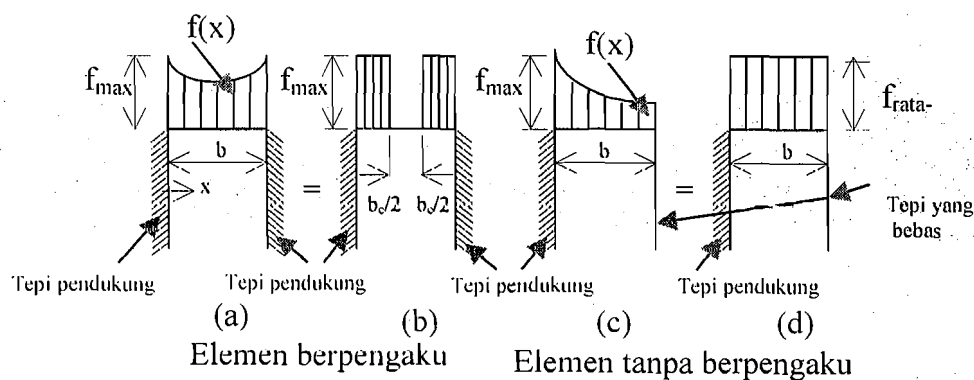
mengalami tekuk akibat tekan diagonal. Keseimbangan gaya dipertahankan melalui transfer gaya ke pengaku vertikal.

Kekuatan geser V_{ff} dinyatakan dalam Persamaan berikut ini

$$V_{ff} = \sigma_c \frac{h_{tw}}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.22)$$

4. Kekuatan Pasca Tekuk Pada Elemen Pelat

Menurut Salmon dan Johnson, 1992, elemen pelat dalam tekan baik dengan pengaku maupun tanpa pengaku masih memiliki kekuatan setelah terjadinya tekuk yakni kekuatan pasca tekuk. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Elemen-elemen pelat dibawah tekanan aksial, memperhatikan distribusi regangan dan sistem ekifalen (Salmon dan Johnson 1992)

Dari Gambar 3.7a jelaslah bahwa kekuatan nominal P_n dari sebuah elemen pengaku dapat diwujudkan sebagai:

$$P_n = t \int_0^b f(x) dx \quad (3.23)$$

yang melibatkan integrasi fungsi distribusi tegangan tak merata; atau alternatifnya, konsep lebar efektif (Gambar 3.7b) dan dapat pula digunakan :

$$P_n = t b_E f_{\text{maks}} A_{\text{eff}} f_{\text{maks}} \text{ (elemen pengaku)} \quad (3.24)$$

di mana b_E = Lebar efektif di mana tegangan maksimum dapat dianggap merata yang dapat memberikan kapasitas total yang tepat.

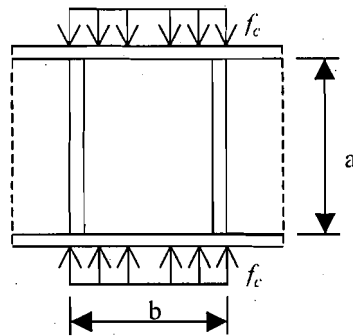
Gambar 3.7c menunjukkan bahwa Persamaan 3.24 sama validnya untuk elemen tanpa pengaku kecuali bila distribusi regangan tidak simetrik terhadap pusat elemennya. Bila digunakan tegangan reduksi rata-rata $f_{\text{rata-rata}} < f_{\text{maks}}$, kapasitas elemen tanpa pengaku dapat ditulis sebagai (Gambar 3.7d) :

$$P_n = t b f_{\text{rata-rata}} = A_{\text{bruto}} f_{\text{rata-rata}} \text{ (tanpa elemen pengaku)} \quad (3.25)$$

3.1.2 Tekuk Akibat Tekanan Merata

1. Tekuk Elastis Akibat Tekanan Merata

Beban transversal yang berat pada gelagar pelat biasanya dipikul oleh pengaku tumpuan (bearing stiffener) sehingga tegangan tekan f_c (seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2) umumnya kecil. Namun bila badan terbuat dari pelat yang tipis, beban merata sekalipun yang menimbulkan tegangan tekan yang cukup besar sehingga badan tertekuk secara vertikal.



Gambar 3.8 Pelat dengan Tekanan Merata (Salmon dan Johson, 1986)

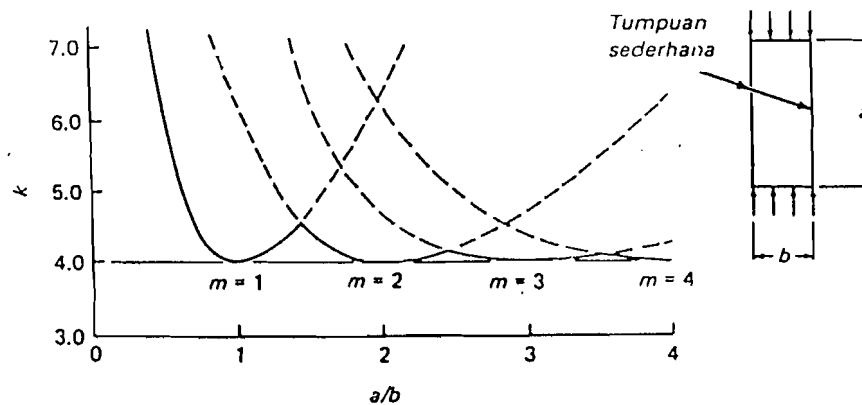
Tampak dalam Gambar 3.8 yaitu pelat dengan tekanan merata. Jarak antar pengaku adalah b (yaitu daerah yang bebannya bisa dianggap terbagi rata) dan tinggi badan tanpa sokongan adalah a pada gelagar pelat. sehingga tegangan yang terjadi adalah

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.26)$$

dengan

$$k = \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.27)$$

Koefisien k merupakan fungsi dari jenis tegangan dan kondisi tepi disamping rasio aspek a/b yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut. Bilangan m menunjukkan banyaknya pengaruh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk. Pada Gambar 3.9 menunjukkan bahwa harga minimum untuk jumlah pengaruh gelombang tertentu, yakni kondisi lemah ini terjadi pada saat sepanjang pelat kelipatan bulat dari lebarnya, dan bahwa kelipatan ini sama dengan banyaknya separuh gelombang .



Gambar 3.9 Koefisien tekuk untuk pelat yang mendapat tekanan merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana (Salmon dan Johnson,1992)

Menurut **Salmon dan Johnson,1992** dengan $a/b = m$ akan diperoleh $k = 4$. Selanjutnya bila m bertambah besar, persamaan k menjadi makin datar dan mendekati harga konstan 4 untuk rasio a/b yang besar. Hal ini memberikan persamaan tegangan tekuk elastik elemen pelat yang mengalami tekanan merata sepanjang dua tepi yang bertumpuan sederhana di sepanjang dua tepi yang sejajar beban :

$$F_{cr} = \frac{4\pi^2 E I^2}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{l}\right)^2} \quad (3.28)$$

2. Kekuatan Pelat Yang Memikul Tekanan Tepi Merata

Salmon dan Johnson,1992 menyatakan bahwa bila balok memiliki stabilitas lateral yang cukup pada sayap tekannya, satu-satunya keadaan batas

yang mungkin membatasi kekuatan momen adalah tekuk lokal pada tekan sayap dan atau elemen pelat yang membentuk penampang lintang balok itu.

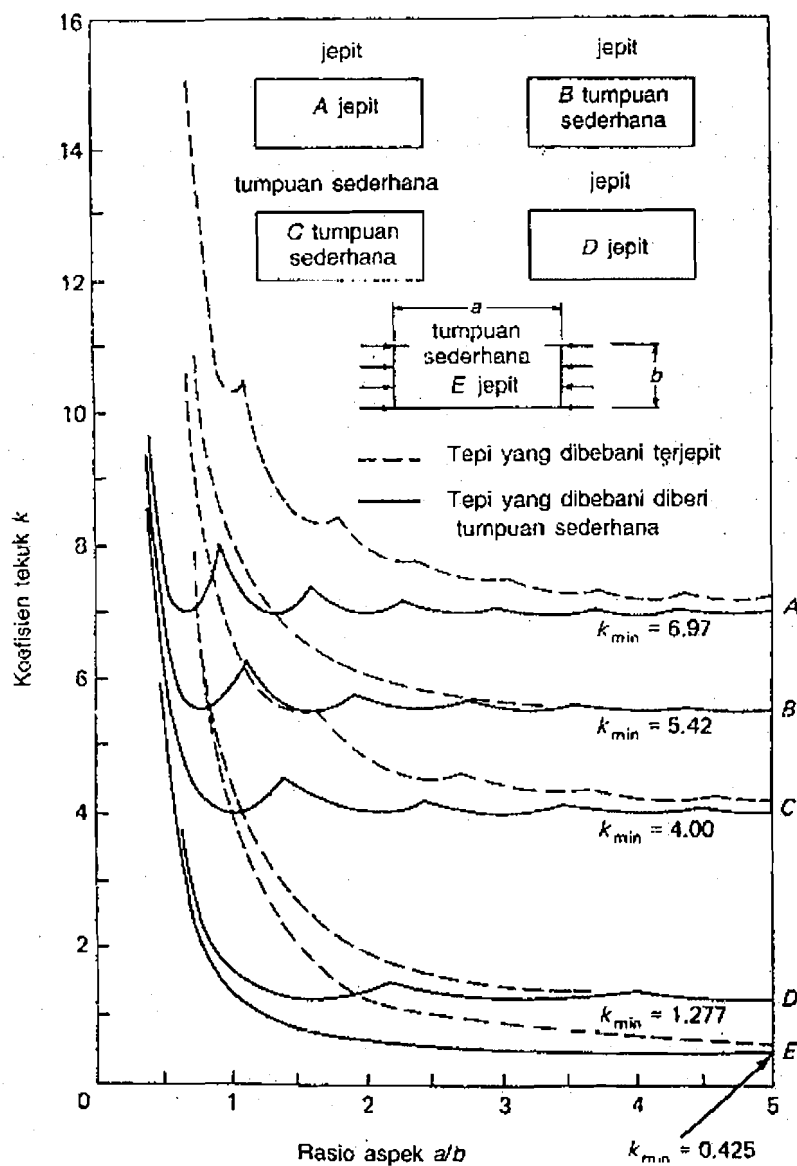
Menurut **Salmon dan Johnson, 1992** tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai b/t bila nilai b/t rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa menalami tekuk; sedang untuk harga b/t menengah, tegangan sisa dan ketidak sempurnan menyebabkan tekuk tak elastik atau masa transisi; dan untuk b/t besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk.

Persyaratan untuk mencapai tegangan leleh tanpa tekuk lokal adalah :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \geq F_y \quad (3.29)$$

dengan k adalah konstanta tekuk merupakan fungsi distribusi tegangan dan kondisi di tepi pelat.

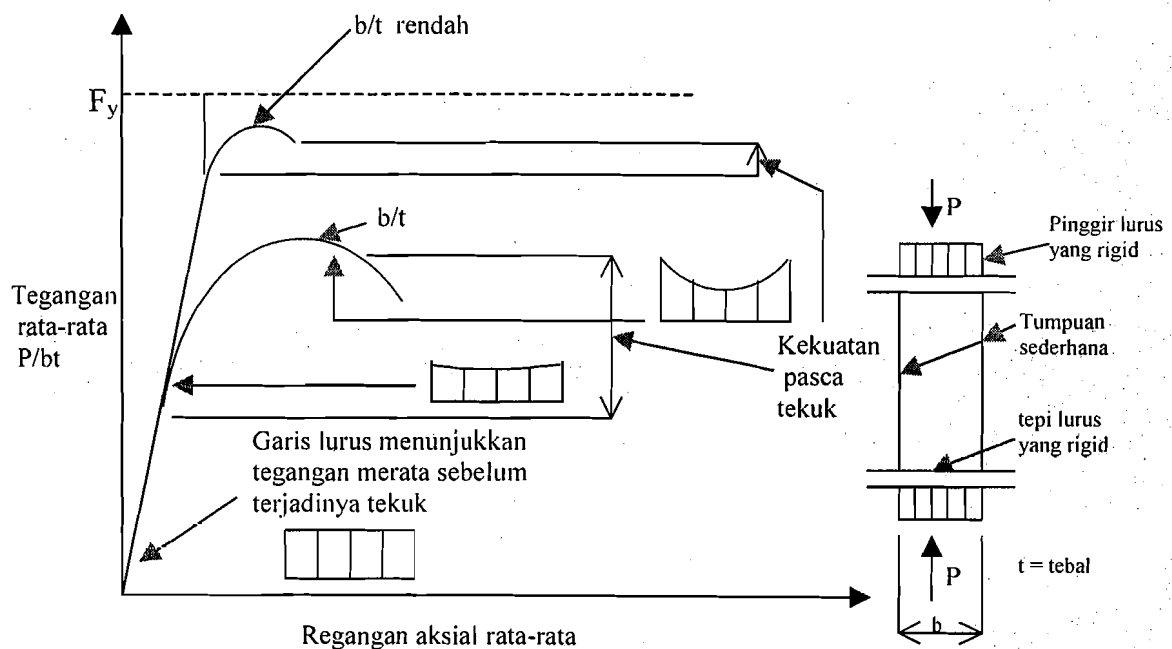
Nilai k dipengaruhi oleh rasio a/b dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai a/b maka nilai k akan mendekati konstan. Tampak bila (b/t) kecil nilai k mendekati 0.425 untuk pelat yang tidak diperkuat, dalam hal ini nilai tersebut dimiliki oleh sayap dan nilai k untuk pelat yang diperkuat adalah 4, dalam hal ini dimiliki oleh badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai k untuk pelat yang diperkuat naik sepuluh kali lipat dari nilai k untuk pelat yang tidak diperkuat. Nilai k ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (Salmon dan Johson, 1996)

Kekuatan pelat aktual dalam tekan tergantung pada banyak faktor yang sama seperti yang mempengaruhi kekuatan kolom secara keseluruhan, khususnya tegangan sisa pada Gambar 3.10 menunjukkan perilaku tipikal pelat tekan yang

dibebani sampai beban ultimitnya dengan mengasumsikan bahwa material bersifat elastik-plastik ideal dan tidak mengandung tegangan sisa, distribusi tegangan akan tetap merata sampai tegangan tekuk elastik F_{cr} tercapai. Peningkatan beban lebih lanjut dapat dilakukan, namun bagian pelat yang paling jauh dari sisi tumpuannya akan melendut keluar dari bidang asalnya. Defleksi keluar dari bidang ini akan menyebabkan distribusi tegangan menjadi tidak merata meskipun beban dikenakan melalui ujung-ujung rigid dan lurus sempurna.



Gambar 3.11 Perilaku Pelat Akibat Tekanan Tepi (Salmon dan Johson, 1986)

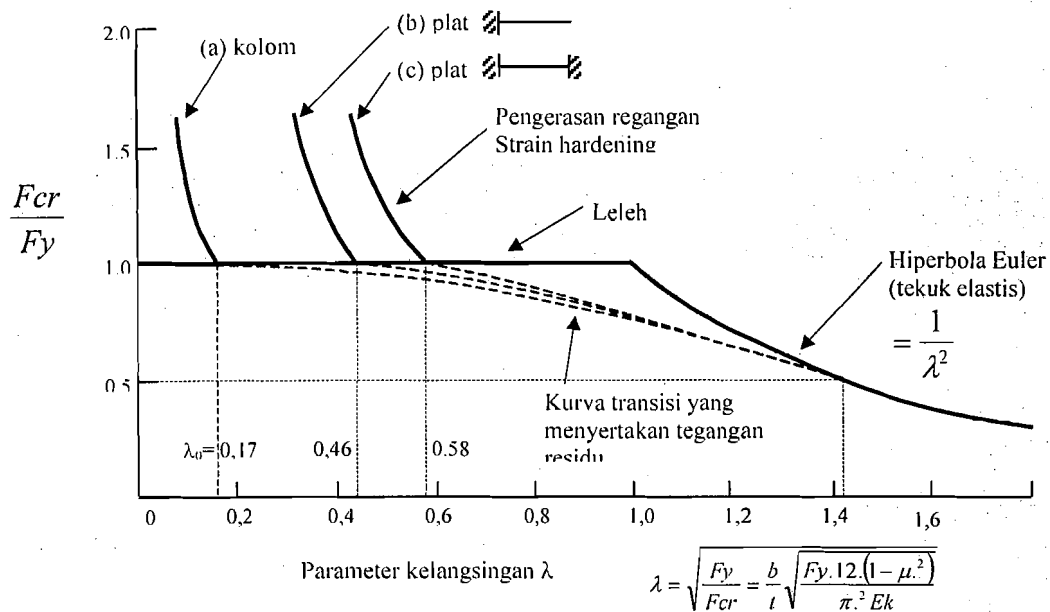
Gambar 3.11 menunjukkan bahwa kekuatan pelat yang menerima tekanan tepi terdiri dari jumlah kedua komponen (1) tegangan tekuk elastik atau tak elastik yang diwakili oleh Persamaan 3.29 dan (2) kekuatan pasca tekuk. Harus

diperhatikan pula bahwa kukutan pasca tekuk akan terjadi lebih tinggi pada saat rasio b/t bertambah besar. Untuk harga b/t yang rendah bukan hanya kekutan pasca tekuk yang akan hilang, melainkan keseluruhan pelat pun telah meleleh dan mencapai kondisi pengerasan regangan (*strain hardening*, sehingga F_{cr}/F_y akan menjadi lebih besar dari satu.

Bila F_{cr}/F_y didefinisikan sebagai $1/\lambda_c^2$, Persamaan 3.29 untuk pelat menjadi :

$$\lambda_c = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y(1-\mu^2)}{\pi^2 E k}} \quad (3.30)$$

dengan λ_c adalah parameter kerampingan dan F_y adalah tegangan leleh. E adalah modulus elastisitas, μ adalah rasio poisson dan b/t adalah rasio lebar terhadap tebal pelat. λ_c harus dibatasi agar tidak melampaui λ_0 bila dikendaki tercapainya pengerasan dengan tanpa adanya tekuk pelat. Dari Gambar 3.11 λ_c hendaknya tidak melampaui sekitar 0.46 untuk elemen tekan tanpa pengaku dan 0.58 untuk elemen tekan dengan pengaku.



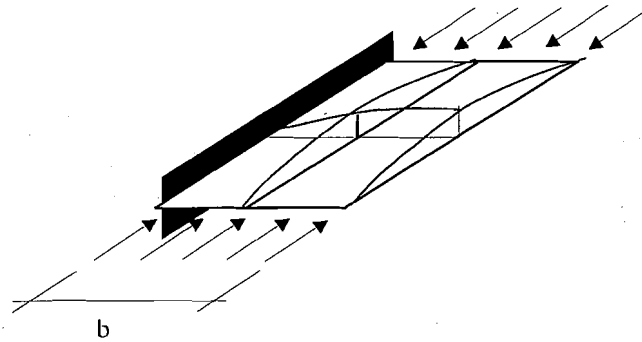
Gambar 3.12. Perbandingan antara tekuk plat dengan tekuk kolom

Dengan menggunakan $\mu = 0.3$ untuk baja dan $E = 200,000$ Mpa dan F_y dalam Mpa menurut **Salmon dan Johnson, 1992** :

$$\frac{b}{t} \leq 425 \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad (3.31)$$

λ_c harus dibatasi agar tercapai pengerasan regangan tanpa adanya tekuk pelat.

Untuk elemen tanpa pengaku (pelat dengan satu tepinya bebas) seperti ditunjukkan pada Gambar (3.13) harga $\lambda_c = 0,46$.



Gambar 3.13. Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-bebas).
(Salmon dan Johson, 1992)

Bila harga $\lambda_c = 0,46$ dimasukkan ke dalam Persamaan (3.29), maka

$$\frac{b}{t} = \left(\frac{(0,46)^2 \pi^2 2 \cdot 10^5}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \quad (3.32)$$

$$\frac{b}{t} = 195,6 \sqrt{\frac{k}{F_y (Mpa)}} \quad (3.33)$$

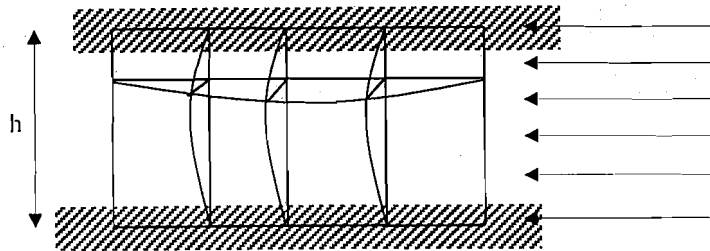
Mengambil keadaan batas yang sesuai, untuk nilai $k = 0,67$

$$\frac{b}{t} = 195,6 \sqrt{\frac{0,67}{F_y (Mpa)}} \quad (3.34)$$

$$\frac{b}{t} = \frac{171}{\sqrt{F_y (Mpa)}} \quad (3.35)$$

Batas rasio b/t pada sayap untuk menghindari tekuk adalah : $\frac{b}{t} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y (Mpa)}}$

Untuk pelat dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit, seperti ditunjukkan pada Gambar (3.14) harga $\lambda_c = 0,58$



Gambar 3.14. Defleksi tekuk pelat pada Badan (jepit-jepit)
(Salmon dan Johson, 1992)

Bila harga $\lambda_c = 0,58$ dimasukkan ke dalam Persamaan (3.30), maka

$$\frac{b}{t} = \left(\frac{(0,58)^2 \pi^2 2.10^5}{12F_y (1-0,3^2)} k \right)^{0,5} \quad (3.36)$$

$$\frac{b}{t} = 246,5 \sqrt{\frac{k}{F_y (Mpa)}} \quad (3.37)$$

batas rasio h/t pada badan untuk menghindari tekuk adalah: $\frac{h}{t} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y (Mpa)}}$

3.1.3 Lentur Pada Bidang Badan

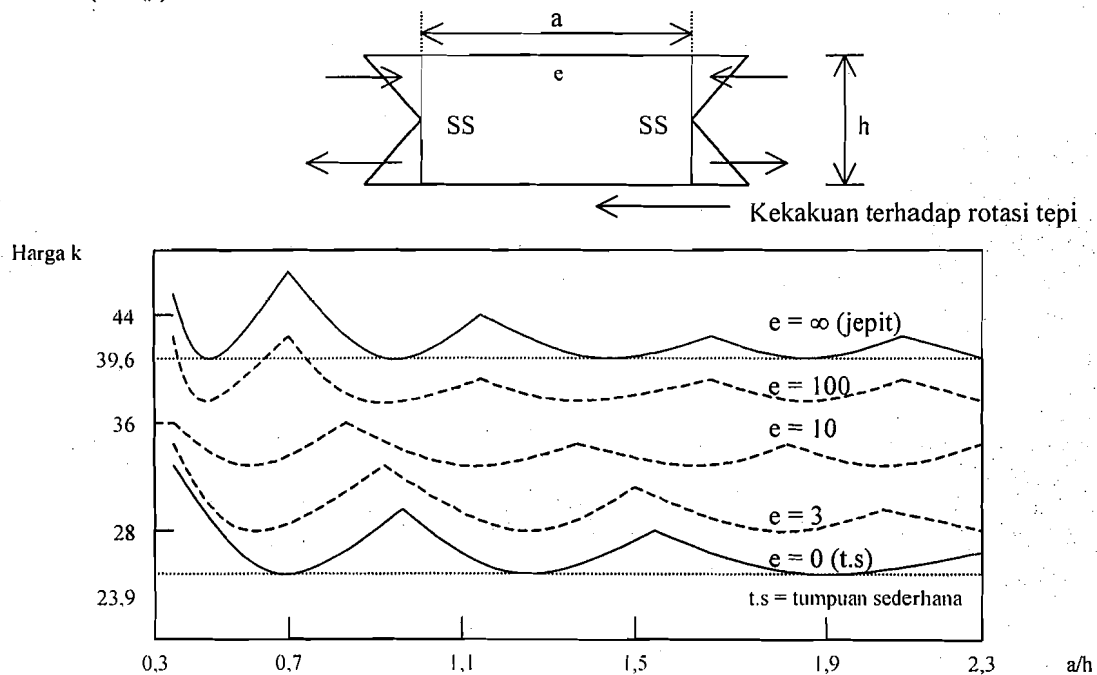
Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar h/t_w , tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan. Pada badan gelagar yang langsing dan diberi pengaku setelah terjadinya tekuk elastis masih ada kekutan pasca tekuk serti yang sudah di jelaskan di atas.

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959)**. Untuk sembarang jenis pembebanan nilai, k bergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. Variasi nilai k terhadap rasio a/h ditunjukkan pada Gambar 3.15.

Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)} \quad (3.38)$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \quad (3.39)$$



Gambar 3.15 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Berdasarkan penelitian **Salmon dan Johnson, 1996**, dengan bahan penelitian baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat adanya tegangan lentur.

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\}$$

h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

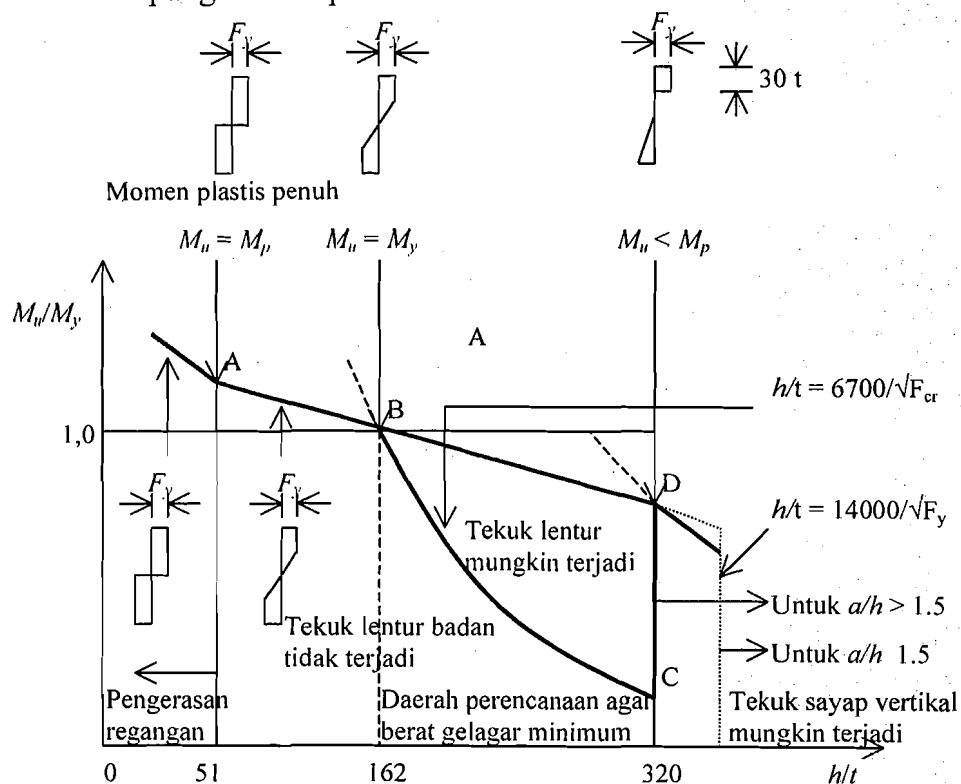
L/r_y = menentukan ketidak stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

b/t_f = menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh purna tekuk pada sayap

Tekuk badan tidak akan mengakhiri kemanfaatan gelagar. Gambar 3.16 memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal M_n vs h/t_w .

Bila kekuatan pasca tekuk gelagar diperhitungkan kekuatannya meningkat dari garis BC samapai garis BD pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36

3.2 Tekuk-Puntir Lateral Gelagar Pelat Kantilever

Bowles, 1985 menyatakan bahwa kebanyakan bagian konstruksi adalah kumpulan pelat-pelat datar (*flat plates*). Bila sebuah pelat dipengaruhi langsung oleh desakan, lenturan, atau tegangan geser maka pelat tersebut dapat menekuk secara setempat sebelum seluruh bagian konstruksi mengalami kegagalan.

Meskipun balok memiliki resistansi yang cukup dalam tekuk puntir-lateral dan terhadap tekuk lokal untuk mencapai kekuatan momen plastiknya. Dengan demikian, pencegahan keruntuhan akibat dari bentuk ketidak stabilan tersebut membutuhkan batasan jarak antara titik-titik tumpuan lateral, batas rasio lebar atau tebal sayap tekannya, serta batas rasio keadaan tebal badannya. (Salmon dan Johnson, 1992).

Dalam buku Salmon dan Johnson, 1996 menyatakan joint-venant menunjukkan bahwa bila batang yang tidak berpenampang lingkaran dipuntir maka penampang yang datar sebelum terpuntir menjadi tidak rata setelah terpuntir. Permukaan penampang lintang yang semula datar menjadi permukaan yang tertekuk.

Menurut Salmon dan Johnson, 1996 menyatakan bahwa tekuk torsi lateral pada suatu balok kantilever tidak pernah seberat kondisi suatu segmen yang mendapat pembebanan momen seragam. Karena momen pada ujung bebas dari kantilever adalah nol, gaya tekan pada sayap akan berkurang dari maksimum pada ujung yang satu hingga menjadi nol pada ujung bebas;

sehingga, pembebanannya kurang begitu berat bila dibandingkan jika gaya tekannya bekerja merata pada seluruh panjang bentang.

Sifat konservatif untuk menggunakan panjang-penuh sebagai panjang tak-berpenopang lateral efektif untuk tekuk torsi lateral balok-balok kantilever.

Akan tetapi sifat kekonservatifan penggunaan panjang aktual untuk suatu balok kantilever sangat bergantung pada adanya *kekangan torsi jepit (fixed torsional restraint)* pada ujung penumpu, serta adanya pembebanan yang bekerja pada pusat geser atau pada flens bawah. Karena penjepitan semacam itu jarang terjadi sehingga disarankan untuk menggunakan panjang kantilever aktual sebagai panjang tak berpenopang lateral efektif.

3.2.1 Tekuk Puntir Lateral Elastis

Menurut Salmon dan Johnson, 1996 dengan memperhatikan balok dalam suatu posisi tertekuk terlihat bahwa momen yang bekerja M_0 pada bidang yz akan meningkatkan komponen momen Mx' , My' , Mz' , masing-masing menurut sumbu x' , y' , dan z' . Ini berarti terdapat kurfatur lentur baik pada bidang xz' maupun yz' serta kurvatur puntir menurut sumbu z' . Dengan asumsi deformasi kecil, lentur pada bidang yz' (dengan memperhitungkan kosinus arahnya adalah 1 antara sumbu-sumbu y' dan y' , dan z' dan z') dapat ditulis :

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M_x = M_0 \quad (3.40)$$

di mana v adalah displesmen sentroid pada arah y (lihat Gambar 3.17).

Demikian pula, kurvatur pada bidang $x'z'$ adalah :

$$EI_y \frac{d^2 u}{dz^2} = M_{y'} = M_{0\phi} \quad (3.41)$$

seperti terlihat dari Gambar 3.16 dimana u merupakan pergeseran sentroid pada arah x , dengan persamaan difrensial sebagai berikut :

$$M_{z'} = GJ \frac{d\phi}{dz} - EC_w \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3.42)$$

Dari Gambar 3.17 dan kosinus arahnya, komponen puntir dari M_0 ketika balok tersebut sedikit tertekuk adalah sebanding dengan putaran sudut balok dalam bidang xz :

$$M_{z'} = -\frac{d_u}{d_z} M_0 \quad (3.43)$$

yang untuk persamaan diferensial puntir memberikan :

$$-\frac{d_u}{d_z} M_0 = GJ \frac{d\phi}{dz} - EC_w \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3.44)$$

Dua asumsi melekat dalam persamaan 3.40 dan 3.41 yang kedua-duanya berkaitan dengan asumsi deformasi kecil. Diasumsikan bahwa sifat-sifat $I_{x'}$ dan $I_{y'}$, masing masing sama dengan I_x dan I_y ; dan juga bahwa I_x adalah besar bila dibandingkan dengan I_y , sehingga Persamaan 3.40 tidak terkait dengan Persamaan 3.41 dan 3.44 Maka displesmen v dalam bidang lentur tidak dipengaruhi fungsi puntir ϕ .

Bila Persamaan 3.44 didiferensiasi trhadap z akan diperoleh :

$$-\frac{d^2 u}{dz^2} M_o = GJ \frac{d^2 \phi}{dz^2} - EC_w \frac{d^4 \phi}{dz^4} \tag{3.45}$$

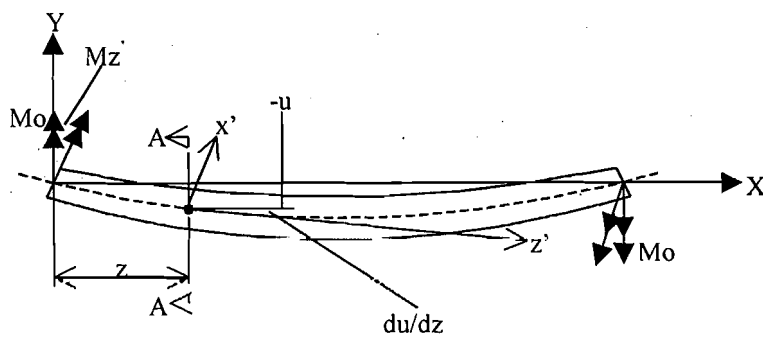
dari Persamaan 3.41

$$\frac{d^2 u}{dz^2} = \frac{M_o \phi}{EI_y}$$

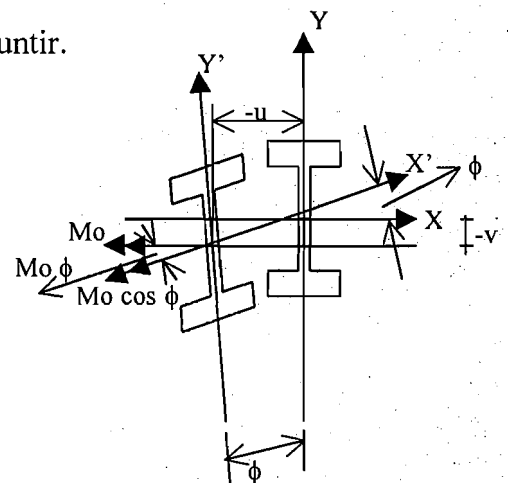
yang bila disubstitusikan kedalam Persamaan 3.45

$$EC_w \frac{d^4 \phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2 \phi}{dz^2} - \frac{M_o^2 \phi}{EI_y} = 0 \tag{3.46}$$

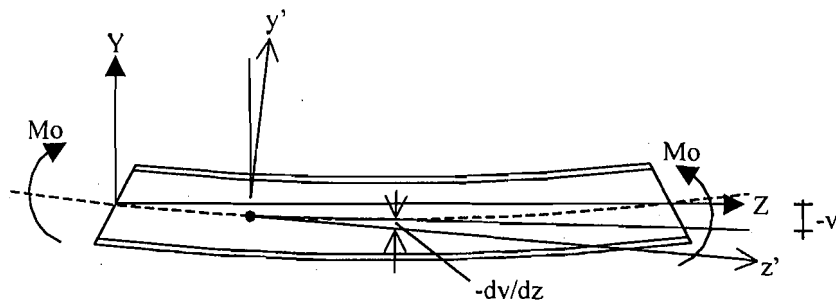
yang merupakan persamaan diferensial untuk sudut puntir.



(a) Tampak Atas



(c) Pot. A-A



(b) Tampak Samping

Kosinus Arah

	X	Y	Z
X'	1	ϕ	$-\frac{du}{dz}$
Y'	$-\phi$	1	$-\frac{dv}{dz}$
Z'	$\frac{du}{dz}$	$\frac{dv}{dz}$	1

Gambar 3.17 Balok profil I dalam posisi sedikit tertekuk (Englekirk,1993)

dan setelah melalui beberapa proses penurunan rumus yang dikemukakan oleh

Charles G. Salmon, John E. Johnson, 1996, maka :

Penyelesaian untuk $M_0 = M_{cr}$ memberikan :

$$M_{cr}^2 = E^2 C_w I_y \left[\left(\frac{\pi^2}{L^2} + \frac{GJ}{2EC_w} \right)^2 - \left(\frac{GJ}{2EC_w} \right)^2 \right] \quad (3.47)$$

$$M_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^4 E^2 C_w I_y}{L^4} + \frac{\pi^2 E I_y GJ}{L^2}} \quad (3.48)$$

Pemfaktoran π/L dari dalam tanda akar memberikan :

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L} \right)^2 C_w I_y + E I_y GJ} \quad (3.49)$$

Untuk menyesuaikan dengan gradien momen dapat dikalikan dengan suatu faktor C_b , dengan demikian secara umum rumus M_{cr} dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L} \right)^2 C_w I_y + E I_y GJ} \quad (3.50)$$

dimana :

C_b = Gradien momen yang nilainya antara 1.0 – 2.3 yang mempertimbangkan gradien momen diseluruh bentang dan berkurangnya kecenderungan tekuk lateral, ini dapat di lihat dalam tabel AISC Hal 1.5.14.5

atau dapat dirumuskan $C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$

L = Jarak antar penopang lateral, E = Modulus Elastisitas, C_w = Konstanta kelengkungan = $I_y h^2/4$, I_y = Momen inersia terhadap sumbu Y = $A r^2$, G =

Modulus Elastisitas geser = $\frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{E}{2.6}$, J = Konstanta torsi =

$$\frac{t_f^2}{3} \left[2b_f t_f + d_w t_w \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^2 \right]$$

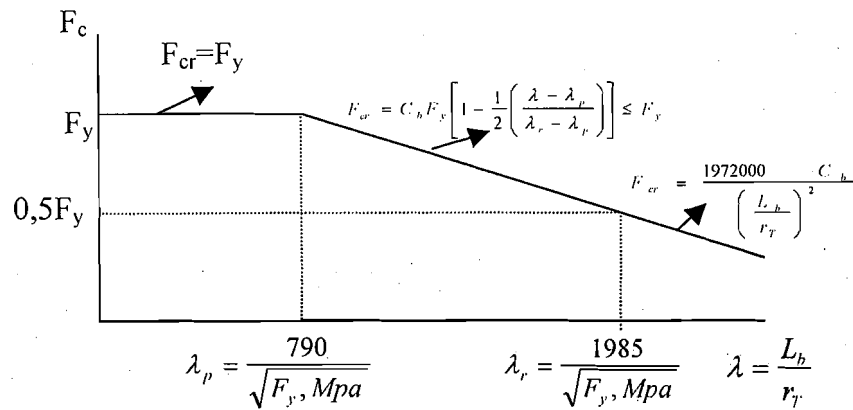
dimana t_f = tebal flens, b_f = lebar flens, t_w = tebal pelat badan, dan d_w = kedalaman badan.

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, gradien momen (C_b) untuk kantilever adalah 1.0 dan **Trahair dan Bradford, 1988** menyatakan rumus momen kritis menjadi berubah karena L sebagai pembagi dikalikan dua dan rumus C_b tidak berlaku pada kantilever, dengan demikian C_b harus diambil satu kesatuan. Sebenarnya gradien momen mempunyai beberapa efek. Akan tetapi suatu kantilever pasti memiliki momen yang bervariasi dari maksimum pada tumpuan hingga nol pada ujung bebas, sehingga M_{cr} dinyatakan sebagai berikut :

$$M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{(EI_y GJ)}}{2L} \sqrt{\left(1 + \frac{\pi^2 EC_w}{4GJL} \right)} \quad (3.51)$$

Dari berbagai penjelasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa variasi L dapat sangat mempengaruhi harga M_{cr} , jika harga L semakin besar maka tentu saja M_{cr} akan semakin kecil begitu pula sebaliknya.

3.2.2 Tekuk Puntir-Lateral Tak-Elastik ($M_p > M_n \geq M_r$)



Gambar 3.18 Keadaan batas tekuk puntir lateral (Salmon dan Johson, 1992)

Untuk tekuk lokal $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y (MPa)}} \quad (3.52)$$

$$\lambda_p = \frac{171}{\sqrt{F_y (MPa)}} \quad (3.53)$$

$$\lambda_r = \frac{390}{\sqrt{F_y (MPa)}} \quad (3.54)$$

Untuk tekuk puntir lateral $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$

$$\lambda_p = \frac{790}{\sqrt{F_y (MPa)}} \quad (3.55)$$

$$\lambda_r = \frac{1985}{\sqrt{F_y (MPa)}} \quad (3.56)$$

$$\lambda = \frac{L_b}{r_t} \quad (3.57)$$

dimana r_t adalah :

$$r_t = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} t_f b_f^3}{t_f b_f + \frac{1}{6} t_w (d - 2t_f)}} \quad (3.58)$$

Tegangan kritis untuk kasus ini adalah :

$$F_{cr} = C_b F_y \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (3.59)$$

Nilai koefisien C_b dihitung dengan Persamaan 3.60 :

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (3.60)$$

3.3 Perencanaan Pengaku

Pengaku umumnya diperlukan bila pelat badan sangat tipis, perbandingan h/t_w besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. Pengaku hampir selalu diperlukan oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi dan pada reaksi gelagar pelat (Bowles, 1985).

Bila kekuatan geser gelagar pelat tergantung pada keikutsertaan medan tarik maka untuk mencapai kesetimbangan diperlukan pengaku pada badan gelagar hingga sayap untuk memperkaku gelagar dan diketahui bahwa suatu pelat yang diperkaku oleh sayap dan pengaku transversal memiliki kekuatan pasca tekuk yang cukup besar.

3.3.1 Pengaku Dukung/Landasan

Pengaku dukungan diperlukan secara berpasangan dan diletakan diatas reaksi-reaksi. Pengaku dukungan juga diperlukan dibawah beban terkonsentrasi yang diangkat oleh gelagar pelat (Salmon dan Johnson,1996).

Pengaku tumpu yang mentransmisikan beban tekan didesain sebagai kolom. Panjang efektif KL menurut LRFD harus diambil sama dengan 0.75h. Rasio kelangsingan dihitung sebagai

$$\frac{KL}{r} = 0.75 \frac{h}{r} \quad (3.61)$$

dengan h = kedalaman pelat badan

$$r = \text{jari-jari girasi} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

luas efektif Ae yang dihitung dengan menggunakan kekuatan kolom Pn.

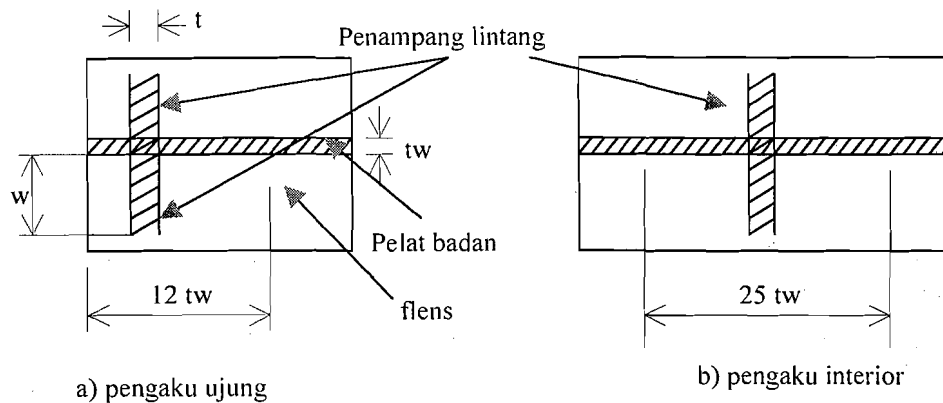
Persyaratan menurut LRFD adalah

$$\phi_c P_n \geq P_u \quad (3.62)$$

dengan ϕ = faktor resistansi = 0.85, $P_n = F_{cr} A_e$, P_u = beban tekan terpusat terfaktor, F_{cr} = tegangan tekuk kolom, A_e = luas kolom yaitu mencakup luas pelat pengaku dan luas pelat badan daerah pengaruhnya.

Menurut Salmon dan Johnson , 1996, luas efektif yang diperlukan adalah

$$A_{e\text{perlu}} = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} \quad (3.63)$$



Gambar 3.19 Penampang Lintang Efektif Pengaku Tumpu (Salmon dan Johson, 1992)

Persyaratan tumpu yang harus dipenuhi oleh LRFD adalah

$$\phi_c R_n \geq P_u \quad (3.64)$$

dengan $\phi = 0.75$, $R_n =$ kekuatan tumpu nominal $= 2.0F_y A_{pb}$, $A_{pb} =$ luas kontak pengaku yang menumpu pada sayap.

Persyaratan tegangan ijin adalah

$$f_a \leq F_a \quad (3.65)$$

dengan $f_a = P/A_e$, $P =$ beban terpusat layanan, $A_e =$ luas kolom yaitu mencakup luas pelat pengaku dan luas pelat badan daerah pengaruhnya, $F_a =$ tegangan kolom ijin.

untuk $\frac{KL}{r} < C_c$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{SF} \quad (3.66)$$

$$SF = \frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3} \quad (3.67)$$

untuk $\frac{KL}{r} > C_c$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad (3.68)$$

dimana
$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.69)$$

3.3.2 Pengaku Antara

Gelagar pelat biasanya didesain menggunakan pengaku antara. Pengaku antara tidak diperlukan apabila memenuhi syarat-syarat dibawah ini

$$\frac{h}{t_w} \leq 260 \quad (3.70)$$

dan
$$V_n \leq C_v(0,6F_y w) A_w \quad (3.71)$$

bila
$$\frac{1100}{\sqrt{F_{yw}, Mpa}} \leq \frac{h}{t_w} \leq \frac{1400}{\sqrt{F_{yw}, Mpa}}$$

maka
$$C_v = \frac{1100}{\frac{h}{t_w} \sqrt{F_{yw}, MPa}} \quad (\text{tekuk tak elastis}) \quad (3.72)$$

bila
$$\frac{h}{t_w} > \frac{1400}{\sqrt{F_{yw}, Mpa}}$$

maka
$$C_v = \frac{1516900}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{yw}, Mpa} \quad (\text{tekuk elastis}) \quad (3.73)$$

3.3.3 Penempatan Pengaku Lateral

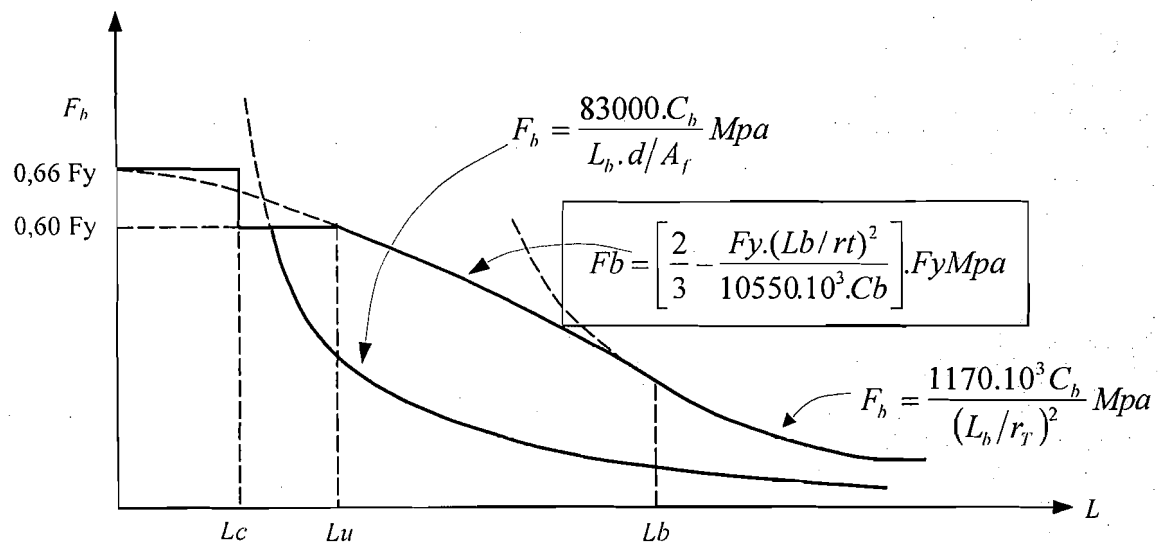
Berdasarkan asumsi bahwa beban transversal dikenakan secara vertikal melalui pusat geser maka perlu ditambahkan pengaku lateral dengan interval tertentu agar kegagalan akibat tekuk puntir lateral pada bagian yang tidak diinginkan dapat dicegah.

Pengaku lateral pada struktur dua tumpuan sederhana (*simple beam*) akan diperlukan bila syarat kompak pada struktur tersebut tidak terpenuhi. Adapun syarat kompak dari suatu struktur adalah apabila memenuhi persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\text{Sayap : } \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{F_y}} \text{ Mpa} \quad (3.74)$$

$$\text{Badan : } \frac{d}{tw} \leq \frac{1690}{\sqrt{F_y}} \text{ Mpa} \quad (3.75)$$

Apabila syarat kompak tersebut di atas tidak terpenuhi maka struktur tersebut harus diberi pengaku lateral, dengan ketentuan jarak sebagai berikut



Gambar 3.20. Tegangan pada balok dengan *lateral support* pada jarak tertentu

Dari Gambar (3.20) dapat dilihat bahwa :

1. Apabila : $L < L_c$

Maka tegangan ijin maksimal dipakai : $F_b = 0,66 F_y$

L_c diambil nilai terkecil dari :

$$L_c = \frac{200.bf}{\sqrt{F_y}} \text{ Mpa} \quad (3.76)$$

$$L_c = \frac{138000}{(d/A_f).F_y} \text{ Mpa} \quad (3.77)$$

2. Apabila : $L_c < L < L_u$

Maka tegangan ijin maksimal dipakai : $F_b = 0,60 F_y$

L_u diambil nilai terbesar dari :

$$L_u = \frac{2900}{(d/A_f).F_y} \text{ Mpa} \quad (3.78)$$

$$Lu = r_T \sqrt{\frac{14800.cb}{F_y}} Mpa \quad (3.79)$$

dimana : r_T seperti pada persamaan 3.58

$$3. \text{ Apabila : } Lu < L < rt \sqrt{\frac{510000.cb}{F_y}} Mpa$$

Maka tegangan Fb diambil nilai terbesar dari persamaan :

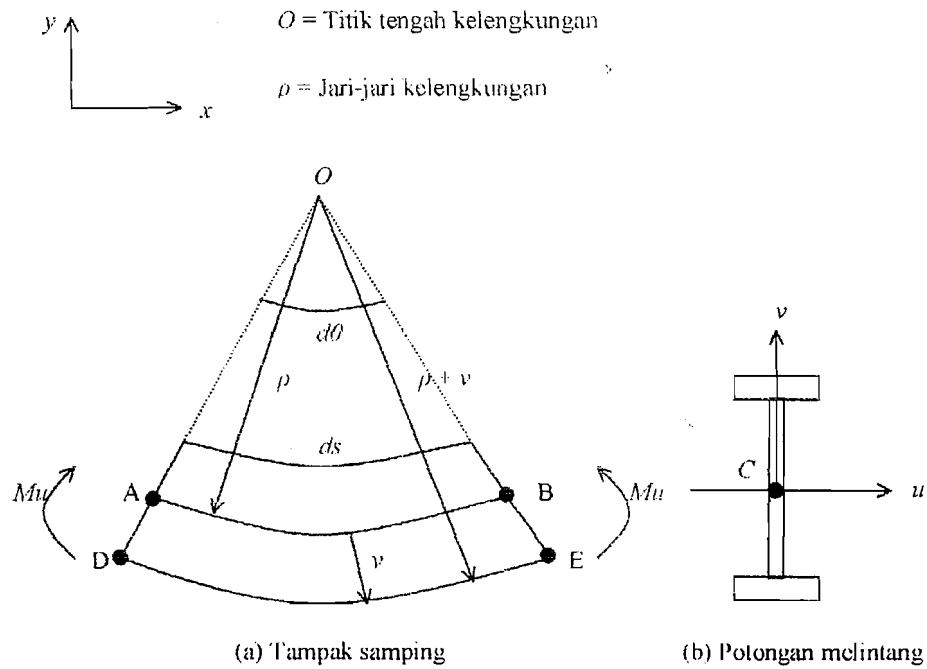
$$Fb = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y.(Lb/rt)^2}{10550.10^3.Cb} \right] .F_y Mpa \quad (3.80)$$

$$Fb = \frac{83000.Cb}{L.(d/Af)} Mpa \quad (3.81)$$

3.4 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis. Teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi.





Gambar 3.21 Deformasi segmen balok dalam lenturan

Elemen differensial balok untuk lentur murni ditunjukkan pada Gambar 3.21. Sumbu u dan v pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.21b. AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang. Regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan :

$$\epsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \quad (3.82)$$

Dengan substitusi didapat :

$$\epsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.83)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{-\varepsilon_x}{v} \quad (3.84)$$

Karena sifat beban tidak diperhitungkan maka hubungan ini digunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \quad (3.85)$$

sehingga :

$$\varepsilon_x = \frac{Mu_x}{EI_u} \quad (3.86)$$

Substitusi Persamaan 3.37 ke Persamaan 3.38 akan diperoleh :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{Mu_x}{EI_u} \quad (3.87)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \quad (3.88)$$

karena kemiringan dv/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka :

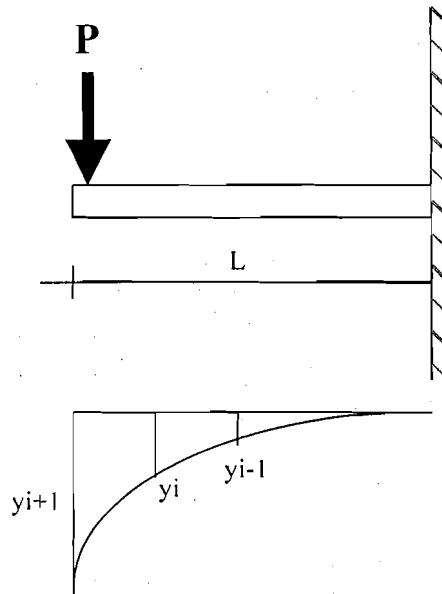
$$(dv/dx)^2 \approx 0 \quad (3.89)$$

Persamaan 3.88 disubstitusi dengan Persamaan 3.89 menjadi :

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI_u} \quad (3.90)$$

$$EI_u = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \quad (3.91)$$

Dari hasil pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik pembebanan pada ujung bentang.



Gambar 3.22 Momen kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.92)$$

turunan kedua Persamaan (3.92) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.93)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka

$$\frac{d}{dx}(2\Delta_x) = 0$$

sehingga Persamaan (3.92) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.94)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.94) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.95)$$

kemudian Persamaan (3.95) disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.96)$$

Mengacu pada Gambar 3.22 didapat momen (M) :

$$M = \frac{1}{4} PL \quad (3.97)$$

Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan mamadai, perencanaan balok didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Distribusi tegangan pada profil sayap lebar tipikal yang mengalami momen lentur yang semakin besar diperlihatkan pada Gambar 3.22. Kekakuan ini didasarkan pada bahan yang tetap elastis sampai titik leleh tercapai, setelah itu tambahan regangan tidak menimbulkan kenaikan tegangan. Pada saat tegangan leleh (F_y) tercapai diserat terluar (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai :

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.98)$$

tegangan. Pada saat tegangan leleh (f_y) tercapai diserat terluar (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai :

$$M_y = f_y \cdot S_x \quad (3.98)$$

Bila penampang berada dalam kondisi plastis, regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari $\epsilon_y = f_y/E_y$, dengan kata lain serat berada pada daerah plastis. Besarnya momen plastis yaitu dimana seluruh serat berada pada daerah plastis. Kapasitas momen disebut momen plastis (M_p) dan besarnya :

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \quad (3.99)$$

Dengan $z = \int y \cdot dA$ maka :

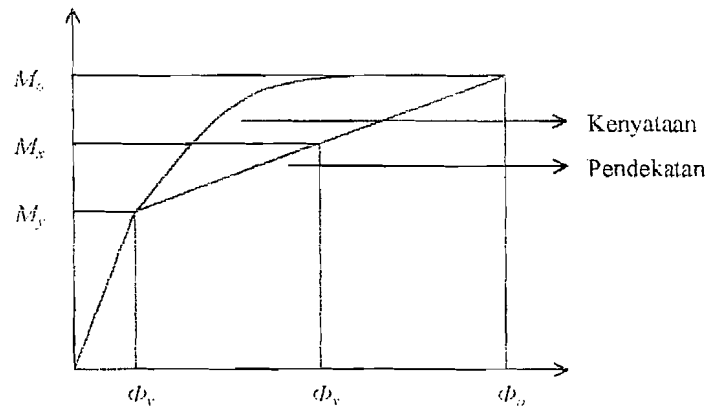
$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.100)$$

Dimana z = modulus plastis.

Terlihat bahwa rasio M_p/M_y adalah sifat bentuk penampang lintang dan tidak bergantung pada sifat bahan. Rasio ini disebut faktor bentuk f .

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \quad (3.101)$$

Hubungan Momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Grafik momen kelengkungan

3.5 Hubungan Beban-Lendutan

Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami lendutan. Meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila balok terlalu fleksibel. Defleksi yang terlalu berlebihan harus dihindari karena defleksi yang terlihat dengan mata dapat mengurangi keyakinan terhadap kekuatan struktur.

Lynn S. Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar.

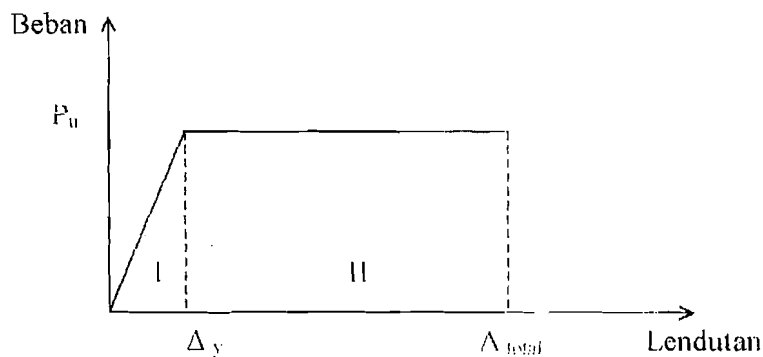
Hubungan beban-lendutan ditunjukkan :

$$\Delta = \frac{P.L^3}{3EI} \quad (3.102)$$

dengan :

- Δ = defleksi balok
- P = beban balok
- E = modulus elastis bahan
- L = panjang bentang balok
- I = momen inersia penampang

Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

Pada daerah I yaitu pada daerah praretak, balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada baja masih lebih kecil dari kuat tarik lentur baja, kekakuan lentur EI balok masih mengikuti modulus elastisitas (E_c) baja dan momen inersia penampang balok baja.

Pada daerah II atau daerah pasca layan, dimana tegangan pada daerah ini sudah mencapai tegangan maksimum, pada daerah ini diagram lendutan lebih landai dari pada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini karena semakin

berkurangnya kekakuan lentur akibat bertambahnya jumlah dan lebar retak di sepanjang bentang.

3.6 Daktilitas

Daktilitas suatu bahan dapat didefinisikan sebagai banyaknya regangan permanen (*permanent strain*). Daktilitas mengijinkan konsentrasi tegangan (*locally stress*) untuk didistribusikan. Prosedur dari suatu perencanaan biasanya selalu didasarkan pada kekuatan ultimit yang membutuhkan kesatuan daktilitas yang besar, terutama untuk memperbaiki tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang mendadak pada bentuk batang, seperti misalnya dalam perencanaan sambungan.

Kelakuan inelastis yang daktil bisa meningkatkan beban yang mampu dipikul batang dibanding dengan beban yang ditahan jika suatu struktur tetap dalam keadaan elastis. Bila seluruh tinggi balok meleleh, diperoleh batas atas dari kekuatan momen yang disebut kekuatan plastis. Proses pembebanan diluar daerah elastis akan menyebabkan perubahan pada daktilitasnya. Sedangkan daktilitas itu sendiri dirumuskan :

$$Daktilitas = \frac{\epsilon_{ult}}{\epsilon_y} \quad (3.103)$$

dengan :

ϵ_{ult} = regangan total

ϵ_y = regangan pada saat leleh pertama

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan dari hubungan beban lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dengan :

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.105)$$

dengan :

$\mu_{simpangan}$ = daktilitas simpangan

Δ_{tot} = lendutan total

Δ_y = lendutan pada beban maksimum

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan, yaitu perbandingan antara Φ_{tot} dan Φ_y , yang dirumuskan :

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.106)$$

dengan :

$\mu_{kelengkungan}$ = daktilitas kelengkungan

Φ_{tot} = kelengkungan total

Φ_y = kelengkungan pada momen maksimum

3.7 Pengelompokan Baja Berdasarkan tegangan Lelah

Berdasarkan besar tegangan leleh, PADOSBAJAYO,1992 membagi baja dalam empat kelompok, dengan kisaran tegangan leleh sebagai berikut :

- a. Carbon Steels, tegangan leleh 210-280 Mpa
- b. High-Strength Low-Alloy Steels, tegangan leleh 280-490 Mpa

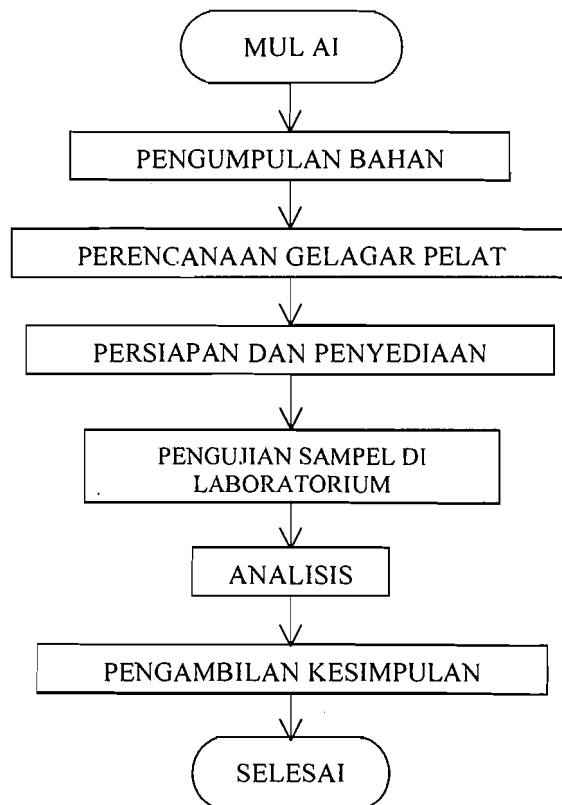
- c. Heat-Treated Carbon and High-Strength Low-Alloy Steels, tegangan leleh
322-700 Mpa
- d. Heat-Treated Constructional Alloy Steels, tegangan leleh 630-700 Mpa

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah suatu cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Jalannya penelitian dapat dilihat dari bagan alir pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagan Alir metode penelitian

4.2. Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum melaksanakan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian.

4.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a. Pelat baja

- Pelat baja tebal 2 mm digunakan sebagai badan dari gelagar pelat
- Pelat baja tebal 3 mm digunakan sebagai pelat pengisi

b. Profil siku

Profil siku L30x30x3 digunakan sebagai :

- sayap gelagar pelat
- pengaku pada dukungan, pengaku pada pembebanan, dan sebagai pengaku lateral

c. Baut

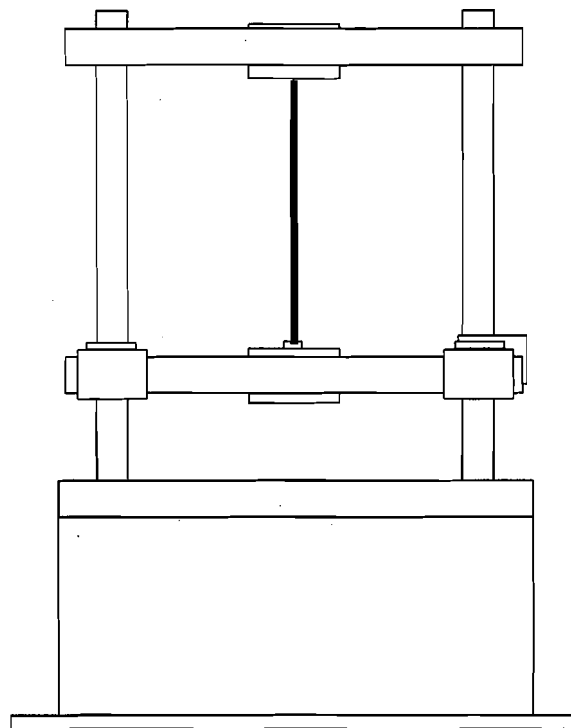
Baut ϕ 5mm digunakan sebagai alat sambung

4.2.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan. Adapun peralatan tersebut terdiri dari :

a. Mesin Uji Kuat Tarik

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu Universal Testing Material (UTM) merk Shimadzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar (4.2).

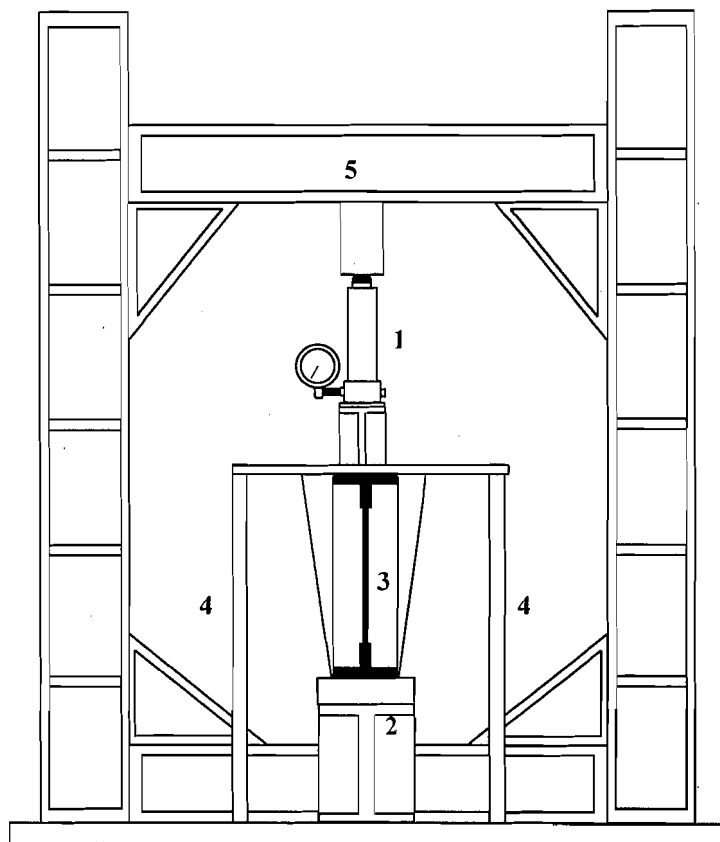


Gambar 4.2. Universal Testing Material Shimadzu UMH30

b. *Loading Frame*

Untuk keperluan uji pembebanan digunakan *loading frame*, dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, seperti pada Gambar (4.3). Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok

WF 450x200x9x14. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji.



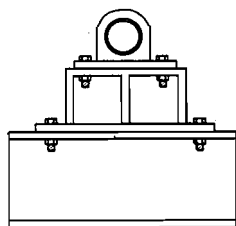
Gambar 4.3. Bentuk fisik *Loading Frame*

Keterangan :

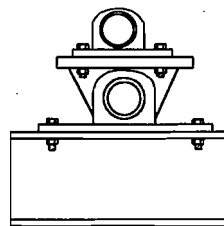
- | | |
|-------------------|-------------------------|
| 1. Hydraulic Jack | 4. Pengaku lateral |
| 2. Dukungan | 5. Baja WF 450x200x9x14 |
| 3. Benda uji | |

c. Dukungan sendi dan rol

Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan balok gelagar pelat dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar (4.4).



(a.) Dukungan Sendi

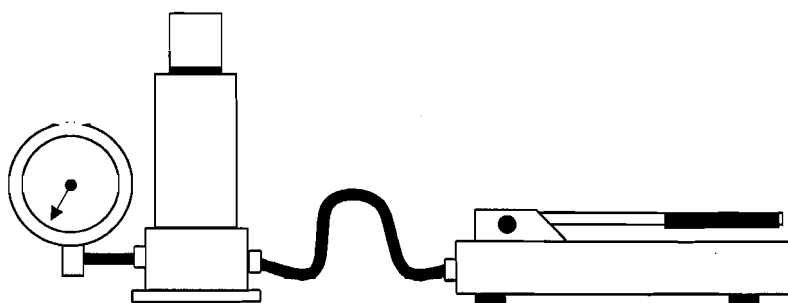


(b.) Dukungan Rol

Gambar 4.4. Dukungan Sendi dan Rol

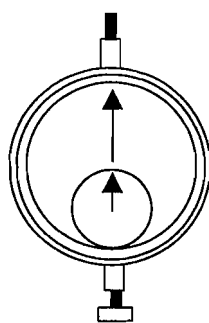
d. *Hydraulic Jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak gelagar pelat kantilever dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 20 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,3 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada gambar (4.5)

Gambar 4.5. *Hydraulic Jack*

e. *Dial Gauge*

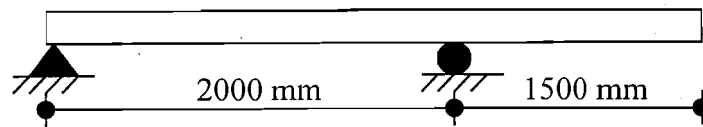
Dial Gauge digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan ketelitian pembacaan *dial* 0,01 mm, seperti pada Gambar (4.6). Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak enam buah.



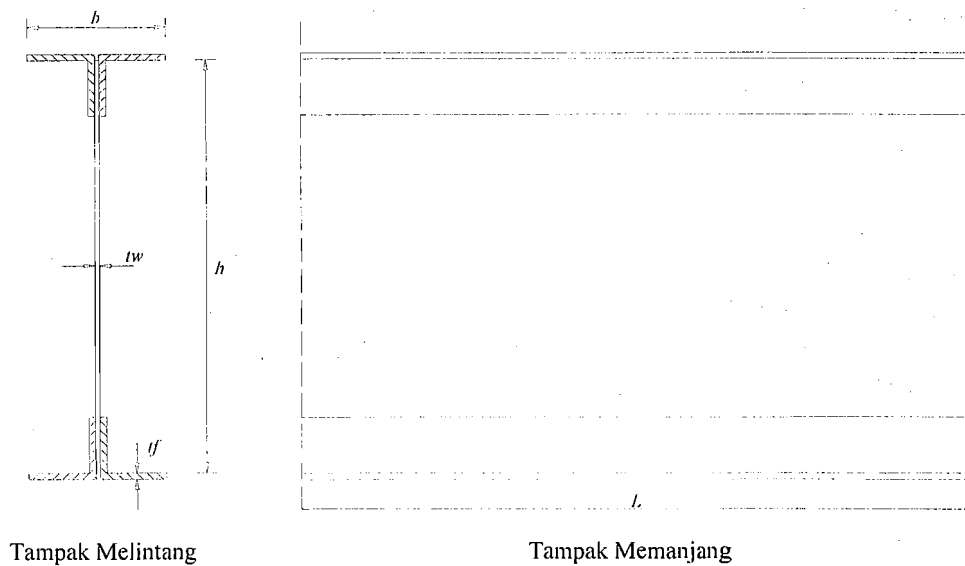
Gambar 4.6. *Dial Gauge*

4.3. Model Benda Uji

Model benda uji dalam penelitian ini berupa rangkaian profil I gelagar pelat dengan panjang 3,5 m dan perletakan tumpuan sendi rol sepanjang 2 m serta perletakan kantilever 1,5 m, merupakan gelagar pelat profil I yang disusun dari lempengan pelat dengan tebal 2 mm sebagai badan, pelat dengan tebal 3 mm sebagai pelat pengisi, profil siku L 30x30x3 sebagai sayap dan diperkuat dengan alat sambung baut. Benda uji dibuat sebanyak dua buah sampel untuk masing-masing variasi. Jadi jumlah seluruhnya ada empat buah benda uji. Bentuk model benda uji dapat dilihat pada Gambar (4.7) dan Gambar (4.8)



Gambar 4.7 Perletakan dukungan sendi-rol gelagar pelat kantilever



Tampak Melintang

Tampak Memanjang

Gambar 4.8 Penampang gelagar pelat

4.4 Pembuatan Benda Uji

Setelah persiapan bahan dan perhitungan dimensi profil I gelagar pelat, maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

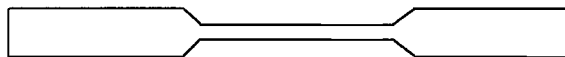
1. Bahan-bahan yang telah disiapkan diukur sesuai dengan rencana.
2. Profil I gelagar pelat dibentuk dari profil siku L 30x30x3 sebagai sayap serta pengaku yang diletakan pada dukungan dan pada pembebanan yang dipasang secara berpasangan, lempengan pelat dengan tebal 2mm sebagai

badan, lempengan pelat dengan tebal 3 mm sebagai pelat pengisi dan kemudian dirangkai dengan perkuatan alat sambung baut dengan ϕ 5mm.

4.5 Pengujian Benda Uji

4.5.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari luasan benda uji. Benda uji untuk kuat tarik baja dibuat seperti pada (Gambar 4.9).



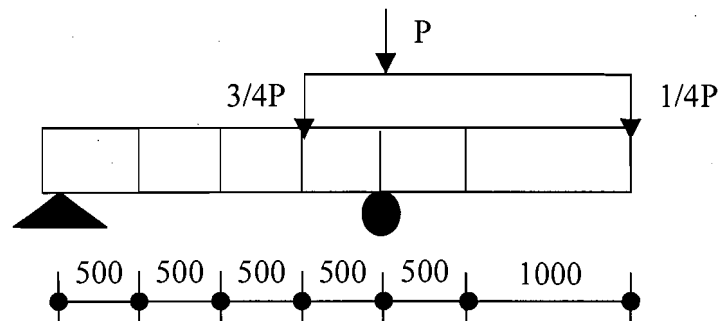
Gambar 4.9. Benda uji untuk uji kuat tarik baja

4.5.2 Pengujian Kuat Lentur

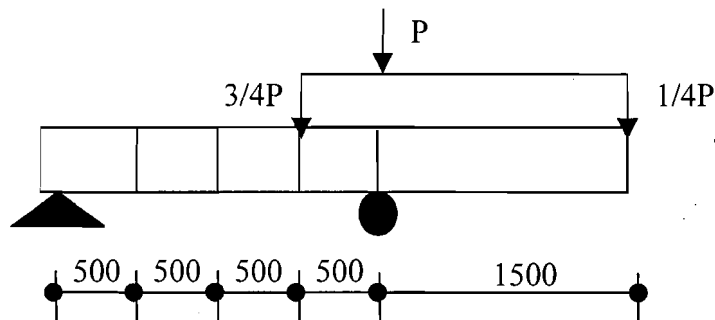
Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan *setting* terhadap peralatan yang akan digunakan, sebagai berikut :

Dukungan rol (Gambar 4.4b) diletakkan tepat di pusat *loading frame* (Gambar 4.3.) dan dukungan sendi (Gambar 4.4a) diletakkan pada *loading frame* (Gambar 4.3.) pada posisi 2 meter dari pusat *loading frame* digunakan untuk mendukung gelagar pelat sepanjang 2 m dan sisa gelagar pelat sepanjang 1,5 m tidak didukung (kantilever). Kemudian pengaku lateral ditempatkan pada sisi kiri dan kanan benda uji dengan jarak setiap 500 mm sesuai dengan

perencanaan pada gambar 4.10 dan 4.11 untuk menahan benda uji agar tidak mengalami tekuk lateral ke arah samping. Selanjutnya *Hidraulic Jack* (Gambar 4.5.) diletakkan diatas balok sepanjang 2 meter yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji, dan enam buah *Dial Gauge* (Gambar 4.6.) diletakkan di bawah benda uji.



Gambar 4.10. Gelagar Pelat kantilever dengan $L_b = 1000$ mm



Gambar 4.11. Gelagar Pelat kantilever dengan $L_b = 1500$ mm

Setelah proses *setting* peralatan selesai kemudian dilaksanakan pengujian kuat lentur pada benda uji. Proses pengujian dengan menggunakan *Hidraulic Jack* dilakukan untuk mendapatkan lendutan yang terjadi kemudian diukur dengan menggunakan *Dial Gauge*. Proses pelaksanaan pengujian ini yaitu : *Hidraulic Jack* dipompa untuk mendapatkan beban bertahap, yaitu kelipatan dari 300 kg. Pada setiap kelipatan beban 300 kg, pemompaan *Hidraulic Jack*

dihentikan dilanjutkan pembacaan dan pencatatan *Dial Gauge*. Proses ini dilakukan hingga pada batas kekuatan tertentu sampai dengan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami leleh sampai terjadi kerusakan pada benda uji.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Dilakukan pengujian kuat tarik baja berupa profil L 30x30x3 yang diambil bagian sayap dan pelat baja dengan tebal 2 mm masing-masing sebanyak 3 sampel yang hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 2. Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian tersebut mendapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

NO	Jenis Pengujian	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)
1.	Kuat Tarik Pelat	240	260
2.	Kuat Tarik Profil L (siku)	160	380

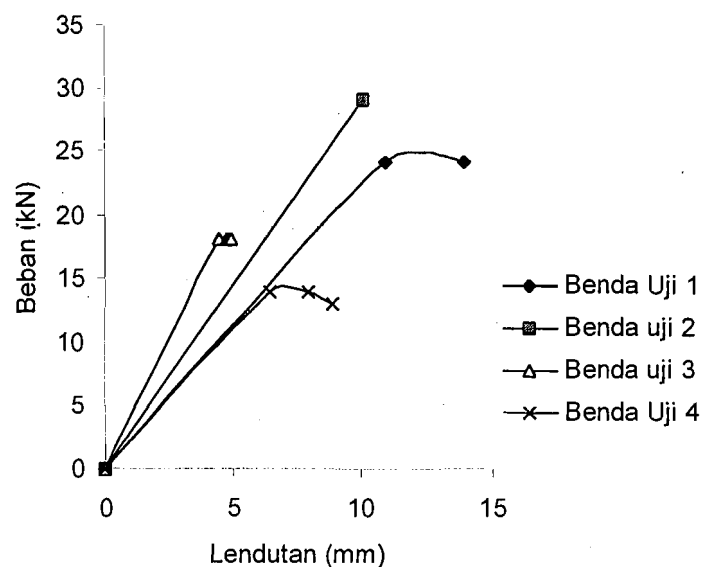
5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Kantilever

Pengujian kuat lentur gelagar pelat kantilever dilaksanakan di Laboratorim Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Foto-foto pelaksanaan pada Lampiran 9 dan hasil pembebanan benda uji dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari hasil pengujian

didapat grafik hubungan beban-lendutan baik arah vertikal ataupun arah horisontal dan momen kelengkungan vertikal.

5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)

Pengujian kuat lentur gelagar pelat kantilever ini diberikan dua beban yang terletak sepanjang 2,0 m terhitung dari ujung kantilever. Kemudian secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300. kg (3,0 kN), kemudian setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Data pengujian dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari data hasil pengujian keempat benda uji tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) seperti pada Gambar (5.1).



Gambar 5.1 Grafik hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal) Keempat Benda Uji

Tampak bahwa pada Gambar 5.1 setelah beban maksimum pembacaan dial yang menghasilkan besarnya lendutan terhenti hal ini dikarenakan dial sudah dilepas sebab benda uji semakin tertekuk dan rawan terhadap keruntuhan sehingga lendutan tidak terbaca.

5.2.2 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)

Dari data hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) pada Grafik (5.1) dapat disimpulkan tentang kekakuan gelagar pelat kantilever seperti pada Tabel (5.2) dan daktilitas lendutan pada Tabel (5.3).

Tabel 5.2 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)

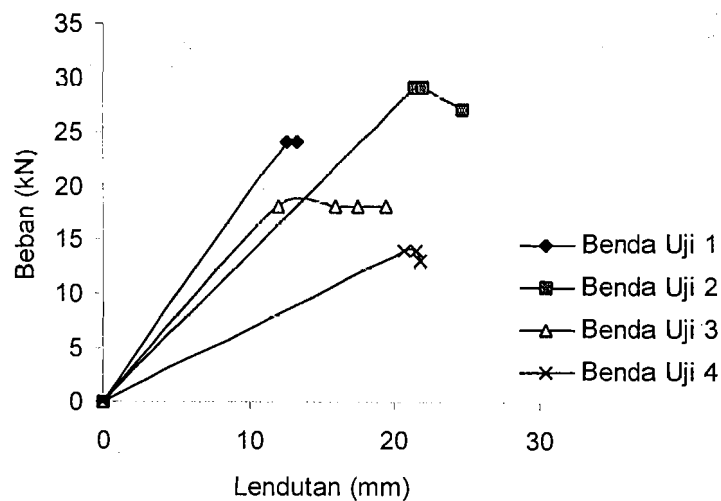
Benda Uji (mm)	Beban (P) kN	Lendutan (Δ) mm	Kekakuan (P/ Δ) kN/mm	Kekakuan Rata-rata kN/mm	Kekakuan Rata-rata (%)
Benda Uji 1 (Lb = 1000)	24	13,93	1,7229	2,30137	84,99
Benda Uji 2 (Lb = 1000)	29	10,07	2,87984		
Benda Uji 3 (Lb = 1500)	18	4,94	3,64372	2,70794	100
Benda Uji 4 (Lb = 1500)	14	7,90	1,77215		

Tabel 5.3 Analisa daktilitas lentur dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)

Benda Uji (mm)	Beban (P) kN	Lend (Δ_y) mm	Lend. maks. (Δ_u) mm	Daktilitas (Δ_u/Δ_y)	Daktilitas Rata-rata	Daktilitas Rata-rata (%)
Benda Uji 1 Lb=1000	24	10,93	13,93	1,27	1,165	100
Benda Uji 2 Lb=1000	29	9,51	10,07	1,06		
Benda Uji 3 Lb=1500	18	4,51	4,94	1,00	1,16	99,57
Benda Uji 4 Lb= 1500	14	6,47	7,90	1,22		

5.2.3 Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)

Pengujian kuat lentur gelagar pelat kantilever selain didapat grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) juga didapatkan grafik hubungan beban-lendutan lateral (horisontal) seperti pada Gambar (5.2)



Gambar 5.2 Grafik Hubungan-Beban Lendutan Lateral (horisontal) dari Keempat Benda Uji

Tampak bahwa lendutan tidak terbaca lebih panjang dikarenakan dial sudah dilepas pada saat beban sudah tidak dapat naik lagi dan benda uji sudah hampir rusak dan rawan terhadap keruntuhan.

5.2.4 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)

Dari hasil pengujian kuat lentur didapat grafik hubungan beban-lendutan lateral (horisontal) seperti pada Gambar (5.2) dan dapat disimpulkan tentang lendutan lateral (horisontal) gelagar pelat tersebut dalam Tabel (5.4) dan daktilitas lendutan pada Tabel (5.5).

Tabel 5.4 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan lateral (horisontal)

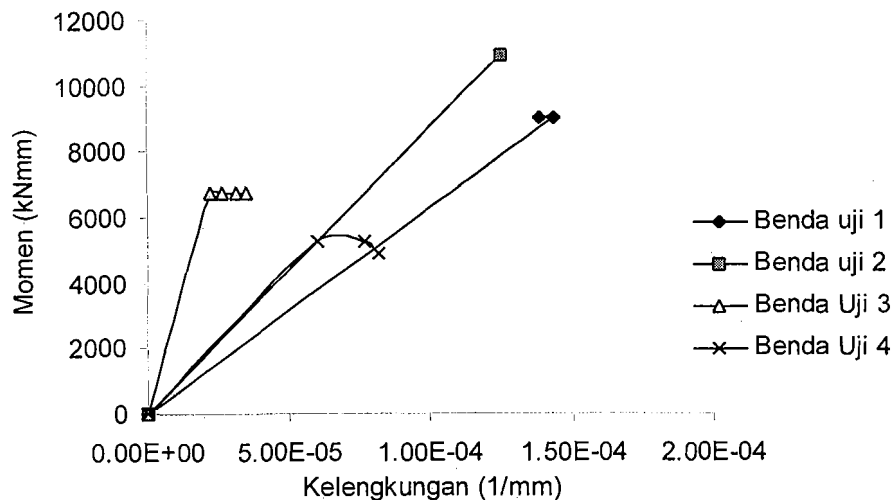
Benda uji (mm)	Beban (P) kN	Lendutan (Δ) mm	Kekakuan (P/Δ) kN/mm	Kekakuan Rata-rata kN/mm	Kekakuan Rata-rata (%)
Benda Uji 1 (Lb = 1000)	24	13,31	1,80316	1,56520	100
Benda Uji 2 (Lb = 1000)	29	21,85	1,32723		
Benda Uji 3 (Lb = 1500)	18	19,44	0,92593	0,78825	50,36
Benda Uji 4 (Lb = 1500)	14	21,52	0,65056		

Tabel 5.5 Analisa daktilitas lateral dari hubungan beban-lendutan lateral (horisontal)

Benda uji (mm)	Beban (P) kN	Lend (Δ_y) mm	Lend. maks. (Δ_u) mm	Daktalitas (Δ_u/Δ_y)	Daktalitas Rata-rata	Daktalitas Rata-rata (%)
Benda Uji 1 (Lb= 1000)	24	12,55	13,31	1,06	1,045	78,57
Benda Uji 2 (Lb= 1000)	29	21,30	21,85	1,03		
Benda Uji 3 (Lb= 1500)	18	12,01	19,44	1,62	1,33	100
Benda Uji 4 (Lb= 1500)	14	20,60	21,52	1,04		

5.2.5 Hubungan Momen Kelengkungan Lentur (vertikal)

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (ϕ). Hubungan grafik $M-\phi$ dapat digunakan untuk mencari nilai kekakuan. Dari hasil pengujian didapat grafik hubungan momen-kelengkungan Lentur (vertikal).



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal) dari Keempat Benda Uji

5.2.6 Analisa Data hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)

Hasil pengamatan seperti pada Gambar (5.3) dapat dicari kekakuan gelagar pelat kantilever seperti pada Tabel 5.6

Tabel 5.6 Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan lentur (vertikal)

Benda uji (mm)	Momen (M) kNmm	Kelengkungan (ϕ) 1/mm	$EI = M/\phi$ KNmm ²	EI Rata-rata	EI Rata-rata (%)
Benda uji 1 (Lb = 1000)	9000	0,00014371	6,25E+07	7,46E+07	57,65
Benda Uji 2 (Lb = 1000)	10875	0,000125528	8,66E+07		
Benda Uji 3 (Lb = 1500)	6750	0,000035419	1,91E+08	1,29E+08	100
Benda Uji 4 (Lb = 1500)	5250	0,000077093	6,81E+07		

Dari Gambar (5.3) juga dapat dicari daktilitas lentur (vertikal) kelengkungan seperti dalam Tabel (5.7)

Tabel 5.7 Analisa daktilitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan lentur(vertikal)

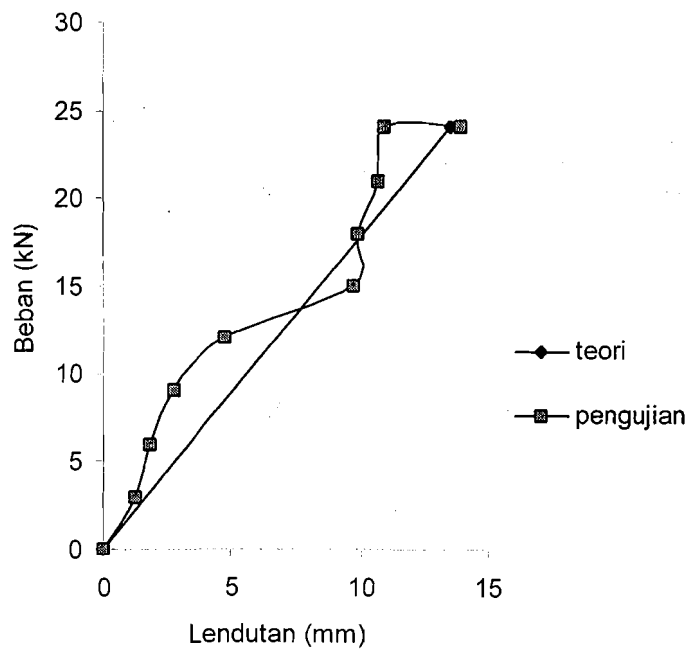
Benda Uji (mm)	M KNm	ϕ_y 1/m	ϕ_u 1/m	Daktilitas ϕ_u/ϕ_y	Daktilitas rata-rata	Daktilitas rata-rata (%)
Benda uji 1 (Lb = 1000)	9000	0,000138	0,000144	1,035	1,102	76,69
Benda Uji 2 (Lb = 1000)	10875	0,000107	0,000126	1,169		
Benda Uji 3 (Lb = 1500)	6750	0,022367	0,000035	1,603	1,437	100
Benda Uji 4 (Lb = 1500)	5250	0,000061	0,000077	1,270		

5.2.7 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan secara teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan pengujian

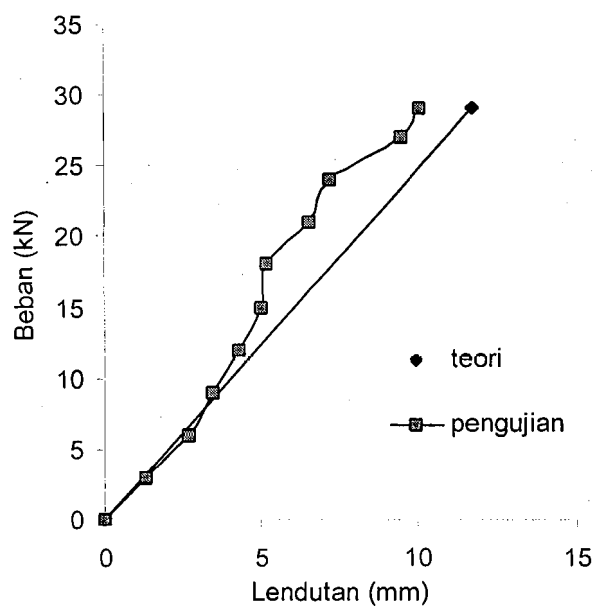
Dari hasil pengujian kuat lentur gelagar pelat kantilever diperoleh hubungan beban-lendutan yang terjadi selama penelitian atau hubungan beban-lendutan lapangan, untuk dapat mengetahui lendutan yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat kantilever tersebut maka dilakukan juga perhitungan lendutan secara teoritis yang dihitung dengan dua cara yaitu asumsi pertama dengan anggapan bahwa beban teoritis sama dengan beban yang terjadi pada pengujian dan asumsi yang kedua bahwa beban teoritis tidak sama dengan beban pengujian tetapi di peroleh akibat gaya geser maksimum yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat kantilever tersebut, contoh hitungan

dapat dilihat pada Lampiran 7. Berikut ini adalah grafik hasil perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dan hubungan beban-lendutan pengujian untuk masing-masing benda uji.

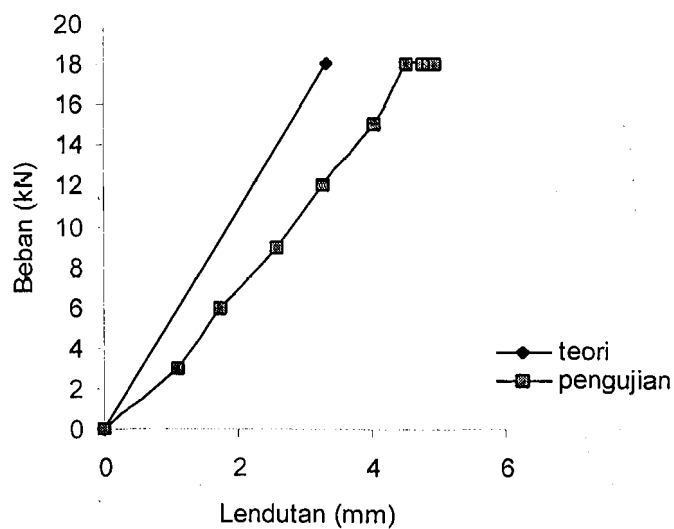
a) $P_{\text{teoritis}} = P_{\text{pengujian}}$



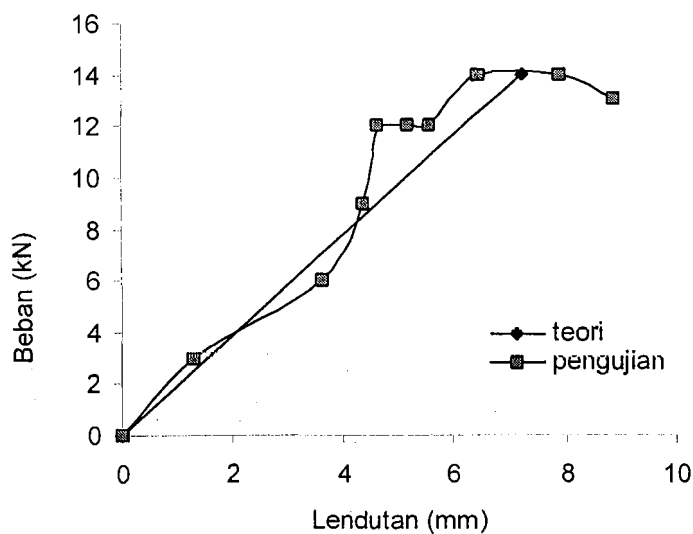
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 1



Gambar 5.5 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 2

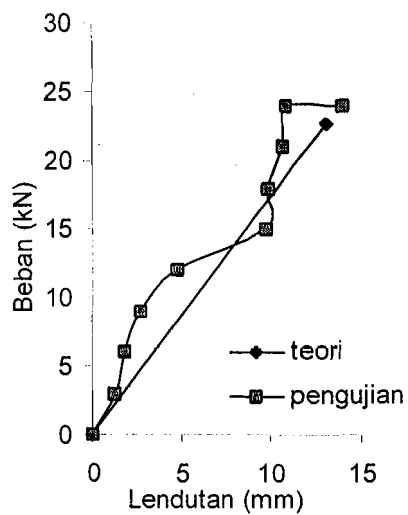


Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 3

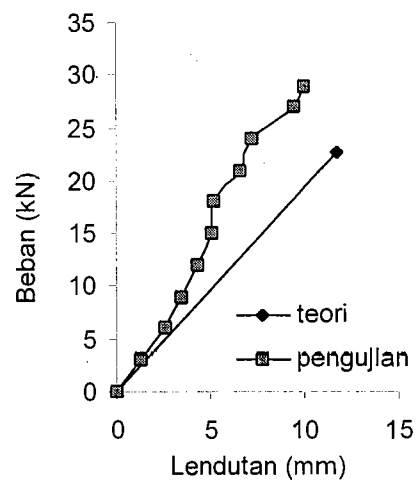


Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 4

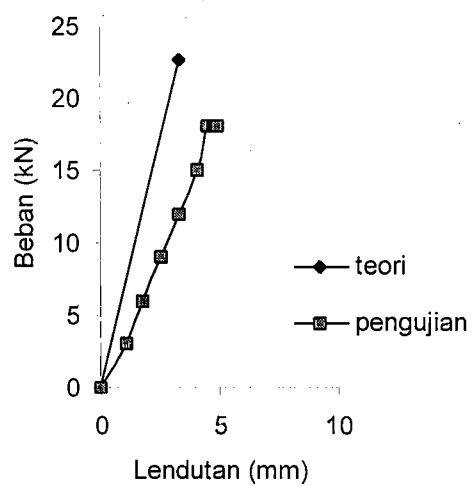
b) $P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$



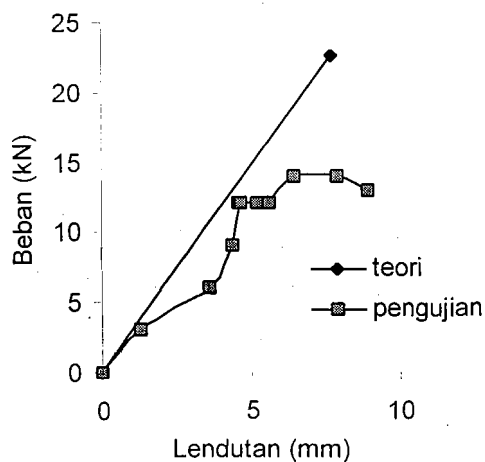
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 1



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teorisis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 2



Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teorisis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 3



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 4

5.2.8 Analisa Perbandingan Beban-Lendutan Secara Teoritis dengan Beban-Lendutan Pengujian

Dari Gambar (5.4),(5.5),(5.6),(5.7) maka dapat disimpulkan seperti pada Tabel (5.8).

Tabel 5.8 Analisa Perbandingan Beban-Lendutan Secara Teoritis dengan Beban-Lendutan Pengujian ($P_{\text{teoritis}} = P_{\text{pengujian}}$)

Benda Uji (mm)	$P_{\text{teoritis}} = P_{\text{pengujian}}$ (kN)	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Pengujian (mm)
Benda Uji 1 Lb=1000	24	13,5	13,93
Benda uji 2 Lb = 1000	29	11,768	10,07
Benda Uji 3 Lb = 1500	18	3,327	4,94
Benda uji 4 Lb = 1500	14	6,711	8,87

Beban teoritis diambil sama dengan beban yang terjadi pada saat pengujian dan dari Gambar (5.8),(5.9),(5.10),(5.11) maka dapat disimpulkan seperti pada Tabel (5.9).

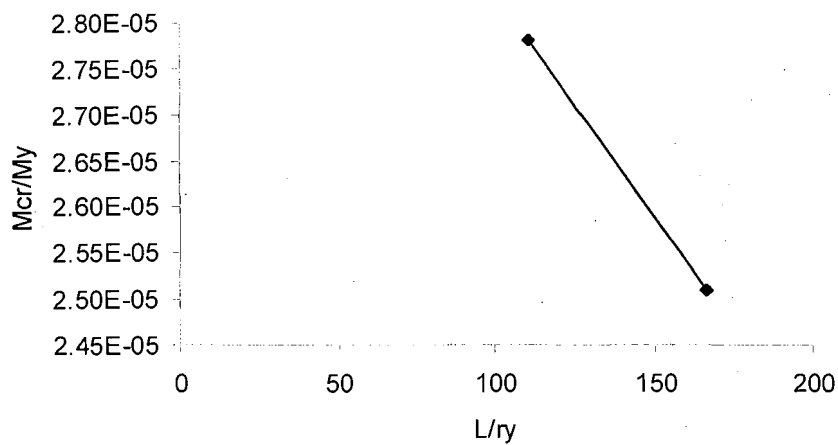
Tabel 5.9 Analisa Perbandingan Beban-Lendutan Secara Teoritis dengan Beban-Lendutan Pengujian ($P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$)

Benda Uji (mm)	P_{teoritis} (kN)	$P_{\text{pengujian}}$ (kN)	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Pengujian (mm)
Benda Uji 1 Lb=1000	22,587	24	13,01625	13,93
Benda uji 2 Lb = 1000	22,587	29	11,71875	10,07
Benda Uji 3 Lb = 1500	22,587	18	3,328125	4,94
Benda uji 4 Lb = 1500	22,587	14	7,66875	8,87

Beban teoritis diperoleh berdasarkan gaya geser maksimum yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat dan beban teoritis tersebut bukan berdasarkan beban yang terjadi pada saat pengujian.

5.2.9 Hubungan Rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y

Dari hasil penelitian diperoleh beban maksimum untuk setiap benda uji yang akan digunakan untuk menghitung besarnya momen kritis pada setiap benda uji tersebut. Berikut ini adalah grafik hasil perhitungan M_{cr}/M_y dan L/r_y untuk masing-masing benda uji.



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Rasio Mcr/My dengan L/ry Untuk Keempat Benda Uji

5.2.10 Analisa Rasio Mcr/My dan L/ry

Tabel 5.10 Analisa Rasio Mcr/My dan L/ry

Benda Uji	Mcr/My	L/ry	Mcr/My rata-rata	Mcr/My rata-rata %	L/ry %
Benda Uji 1 Lb = 1000 mm	2,51E-05	111,1111	2,78E-05	100	66,66665
Benda Uji 2 Lb = 1000 mm	3,04E-05	111,1111			
Benda Uji 3 Lb = 1500 mm	2,82E-05	166,6667	2,51E-05	90,45045	100
Benda Uji 4 Lb = 1500 mm	2,20E-05	166,6667			

5.3 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Dalam penelitian gelagar pelat kantilever ini terjadi kerusakan pada bagian kantilever yang menerima beban dan tidak diberi pengaku lateral seperti pada foto-foto dalam Lampiran 9.

Kerusakan yang terjadi adalah gelagar pelat tertekuk kesamping atau kearah lateral (horisontal) dan badan agak sedikit tertekuk vertikal dengan demikian sayap atas dan sayap bawah mengalami puntir.

Hal ini menunjukkan bahwa $h/t > 162$ rawan terhadap tekuk. Karena badan tertekuk maka sayap atas dan sayap bawah juga ikut mengalami kerusakan kearah lateral (horisontal) atau terjadi puntir.

5.4 PEMBAHASAN

5.4.1 Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik pelat baja maka baja dengan $F_y = 240$ Mpa dan $F_u = 260$ Mpa dapat digolongkan sebagai baja carbon, dan hasil pengujian kuat tarik Profil L (30x30x3) dengan $F_y = 160$ Mpa dan $F_u = 380$ Mpa maka baja dapat digolongkan sebagai baja carbon, dengan asumsi bahwa F_y kurang dari 210Mpa termasuk baja carbon.

5.4.2 Kuat Lentur Vertikal Gelagar Pelat Kantilever Berdasarkan Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)

Dengan mengamati hubungan beban-lendutan keempat benda uji pada Gambar (5.1) dapat dilihat bahwa keempatnya mempunyai perilaku yang hampir sama yaitu mulai dari titik awal sampai beban maksimum kemudian beban tetap maksimum dengan lendutan yang semakin bertambah besar.

Gelagar pelat dengan $L_b = 1500$ mm (benda uji 3 dan 4) mempunyai kuat lentur lebih baik 15,01% dari gelagar dengan $L_b = 1000$ mm (benda uji 1 dan 2). Gelagar pelat dengan $L_b = 1500$ mm dapat memikul beban maksimum rata-rata 16 kN sedangkan gelagar pelat dengan $L_b = 1000$ mm dapat memikul beban maksimum rata-rata 26,5 kN seperti pada Tabel (5.2). Jadi semakin panjang gelagar tidak diberi pengaku lateral (L_b) maka akan menerima beban yang semakin kecil tetapi untuk gelagar pelat yang memiliki L_b lebih panjang tersebut menghasilkan kekakuan yang lebih baik dibandingkan gelagar pelat yang memiliki L_b lebih pendek.

5.4.3 Daktilitas Ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)

Dari hasil pengamatan Gambar (5.1) selain didapat kekakuan juga dapat dianalisis untuk mencari daktilitas gelagar pelat kantilever seperti dalam Tabel (5.3).

Gelagar pelat dengan $L_b = 1000$ mm mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 1,65 sedangkan untuk gelagar pelat dengan $L_b = 1500$ mm mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 1,16. Gelagar pelat dengan $L_b = 1500$ mengalami penurunan daktilitas sebesar 0,005 dibanding dengan gelagar pelat dengan $L_b = 1000$ mm. Dengan demikian maka gelagar pelat kantilever dengan jarak tidak berpengaku lateral (L_b) yang lebih kecil memiliki daktilitas yang lebih besar dibanding dengan gelagar pelat kantilever dengan L_b yang lebih panjang.

5.4.4 Kuat Lentur Horisontal Gelagar Pelat Kantilever berdasarkan Hubungan Beban-lendutan Lateral (Horisontal)

Dengan mengamati Gambar (5.2) dapat dilihat bahwa keempat benda uji memiliki pola yang hampir sama yaitu mulai dari titik awal sampai beban maksimum kemudian beban tetap maksimum dengan lendutan yang semakin bertambah besar.

Dari Tabel (5.4) dapat dilihat besarnya kekakuan yang dimiliki oleh keempat benda uji. Gelagar pelat kantilever dengan $L_b = 1000$ mm mempunyai kekakuan rata-rata $1,56520$ kN/mm sedangkan gelagar pelat dengan $L_b = 1500$ mm mempunyai kekakuan rata-rata sebesar $0,78825$ kN/mm. Dapat dilihat dari hal tersebut bahwa kekakuan horisontal untuk gelagar pelat kantilever berbanding terbalik dengan kekakuan vertikal gelagar pelat kantilever. Tampak bahwa pada kekakuan horisontal gelagar pelat kantilever dengan L_b yang lebih pendek memiliki kekakuan yang lebih baik dibandingkan dengan L_b yang lebih panjang.

5.4.5 Daktilitas Ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)

Dari hasil pengamatan pada Gambar (5.2) didapat analisa untuk mencari daktilitas gelagar pelat kantilever seperti pada tabel (5.5).

Gelagar pelat dengan $L_b = 1000$ mm mempunyai daktilitas rata-rata 1,045 sedangkan untuk $L_b = 1500$ mm mempunyai daktilitas rata-rata 1,33. Seperti halnya kekakuan maka untuk daktilitas horisontal juga berbanding terbalik dengan daktilitas vertikal yaitu untuk daktilitas horisontal gelagar pelat kantilever dengan $L_b = 1500$ mm mengalami kenaikan sebesar 0,285. Jadi daktilitas untuk L_b yang lebih panjang akan lebih besar dibanding L_b yang lebih pendek.

5.4.6 Kuat Lentur Gelagar Pelat Kantilever ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Dengan mengamati Gambar (5.3) grafik hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat keempatnya memiliki perilaku yang hampir sama. Dari Tabel (5.6) dapat dilihat EI rata-rata untuk $L_b = 1000$ mm adalah 74567029 kN/mm^2 sedangkan untuk $L_b = 1500$ mm memiliki EI rata-rata = $129336942 \text{ kN/mm}^2$. Terlihat bahwa untuk L_b yang lebih pendek memiliki EI yang lebih kecil dibandingkan dengan L_b yang lebih panjang.

5.4.7 Daktilitas Gelagar Pelat Kantilever Ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Dengan mengamati Gambar (5.3) grafik hubungan momen-kelengkungan selain menghasilkan besarnya EI untuk masing-masing benda uji juga didapat analisa daktilitas kelengkungan seperti pada Tabel (5.7).

Terlihat bahwa daktilitas rata-rata untuk $L_b = 1000$ mm sebesar 1,02 dan untuk $L_b = 1500$ mm sebesar 1,437. Daktilitas untuk $L_b = 1000$ mm mengalami penurunan sebesar 0,335 dibandingkan dengan daktilitas untuk $L_b = 1500$ mm.

5.4.8 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

Dari Gambar (5.4),(5.5),(5.6),(5.7) serta (5.8),(5.9),(5.10),(5.11) dapat terlihat adanya persamaan perilaku antara lendutan teoritis dan lendutan pengujian hanya saja lendutan teoritis cenderung linier dan lendutan pengujian tidak dapat linier. Dari keempat benda uji dengan $P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$ tampak bahwa P_{teoritis} untuk benda uji dengan $L_b = 1000$ mm lebih kecil dibandingkan dengan $P_{\text{pengujian}}$ nya sedangkan untuk $L_b = 1500$ mm P_{teoritis} lebih besar dari $P_{\text{pengujian}}$ nya. Hal ini disebabkan pada $L_b = 1000$ mm adanya tambahan pengaku lateral pada bagian kantilever sebesar 500 mm sehingga gelagar pelat kantilever dapat menerima beban yang lebih besar daripada P_{teoritis} , sedangkan untuk $L_b = 1500$ mm tidak ada tambahan pengaku lateral pada bagian kantilever.

5.4.9 Hubungan Rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y

Dari Gambar (5.8) grafik hubungan rasio M_{cr}/M_y dengan L/r_y dan Tabel (5.9) tampak bahwa benda uji dengan $L_b = 1000$ mm memiliki rasio M_{cr}/M_y yang lebih besar dibanding dengan benda uji dengan $L_b = 1500$ mm, hal ini

karena pada benda uji yang memiliki $L_b = 1000$ mm dapat menerima beban jauh lebih besar dibandingkan benda uji dengan $L_b = 1500$ mm. Karena itu benda uji dengan $L_b = 1000$ mm memiliki kenaikan nilai rasio M_{cr}/M_y sebesar 9,54955% dibanding dengan benda uji dengan $L_b = 1500$ mm. Sedangkan untuk rasio L/r_y berbanding terbalik dengan rasio M_{cr}/M_y yaitu untuk $L_b = 1000$ mm mengalami penurunan nilai sebesar 33,334 % dibanding benda uji dengan $L_b = 1500$ mm.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan :

- 1) Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja yang digunakan sebagai bahan untuk gelagar pelat kantilever memiliki tegangan leleh = 240 Mpa, baja tersebut termasuk baja carbon.
- 2) Pada benda uji dengan $L_b = 1500$ mm kekakuan lentur vertikal lebih baik sebesar 15,01 % dari pada benda uji dengan $L_b = 1000$ mm, sedangkan untuk kekakuan lentur horisontal adalah kebalikannya yaitu benda uji dengan $L_b = 1000$ mm lebih baik 49,64 % dari pada benda uji dengan $L_b = 1500$ mm.

Untuk daktilitas lentur vertikal pada benda uji dengan $L_b = 1000$ mm lebih baik sebesar 0,43 % dibanding benda uji dengan $L_b = 1500$ mm sedangkan untuk daktilitas lentur horisontal benda uji dengan $L_b = 1500$ mm lebih baik 21,43 % dibanding benda uji dengan $L_b = 1000$ mm.

- 3) Untuk momen kelengkungan EI yang diperoleh pada benda uji dengan $L_b = 1500$ mm lebih baik 46,05 % dari pada benda uji dengan $L_b = 1000$ mm

dan daktilitas kelengkungan pada benda uji dengan $L_b = 1500$ mm lebih baik 23,31 % dari pada $L_b = 1000$ mm.

- 4) Perbandingan antara beban-lendutan teoritis dengan beban-lendutan pengujian dapat disimpulkan bahwa untuk keempat benda uji beban teori lebih kecil dibandingkan beban pengujian pada benda uji dengan $L_b = 1000$ mm hal ini karena adanya tambahan pengaku lateral pada kantilever sepanjang 500 mm sedangkan untuk benda uji dengan $L_b = 1500$ mm beban teori lebih besar dibandingkan beban lapangannya karena tidak ada tambahan pengaku lateral pada bagian kantilever.
- 5) Pada benda uji gelagar pelat kantilever dengan $L_b = 1000$ mm memiliki rasio M_{cr}/M_y lebih besar 9,54955% dibanding benda uji dengan $L_b = 1500$ mm dan untuk rasio L/r_y benda uji dengan $L_b = 1500$ mm lebih besar 33,334 % dibanding benda uji dengan $L_b = 1000$ mm.
- 6) Kerusakan yang terjadi pada gelagar pelat kantilever secara keseluruhan mengalami tekuk kesamping atau lateral dengan perincian pada bagian badan mengalami tekuk vertikal dan sayap mengalami puntir. Hal ini menunjukkan bahwa $h/t > 162$ rawan terhadap tekuk.

6.2 Saran

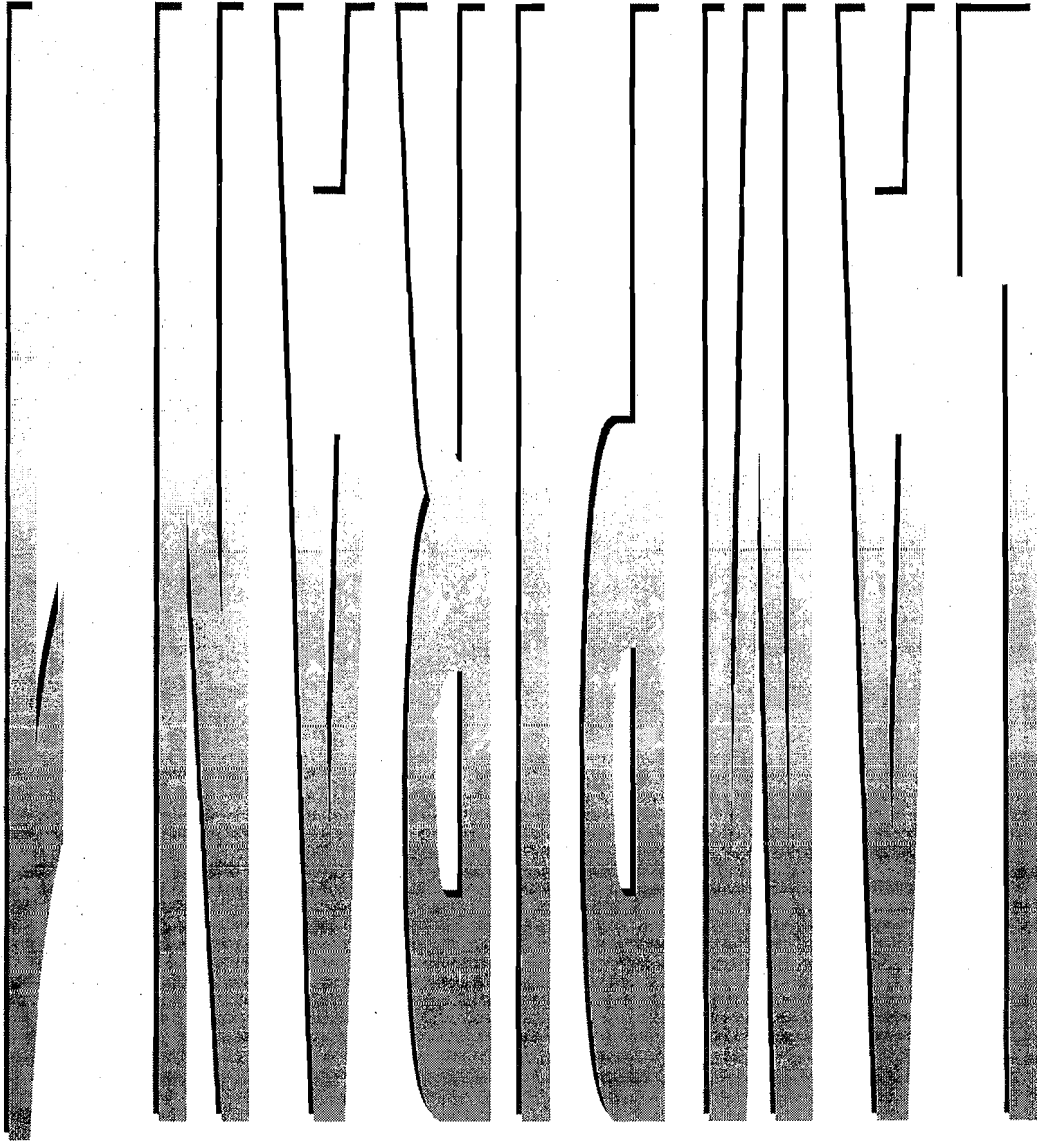
Untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat kantilever perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Pada pengujian lentur dilakukan tambahan terhadap jumlah pengaku.

- 2) Sebaiknya bila gelagar pada bagian kantilever diperpanjang sehingga akan tampak lebih jelas puntir yang terjadi.
- 3) Pemberian beban terletak ditengah bentang sehingga kantilever yang diamati terletak pada kedua ujung gelagar pelat.
- 4) Perlu diperhatikan kerusakan yang terjadi di tumpuan sebelum kantilever.
- 5) Pembebanan tidak perlu sampai ujung kantilever mungkin setengah dari ujung kantilever.

DAFTAR PUSTAKA

- Charles G. Salmon dan John E. Johnson*, (diterjemahkan oleh Prihminto Widodo), 1992, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU 1**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Charles G. Salmon dan John E. Johnson*, (diterjemahkan oleh Prihminto Widodo), 1996, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU 2**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Joseph E. Bowles*, 1985, **DISAIN BAJA DAN KONSTRUKSI**, Erlangga, Jakarta
- Leonard Spiegel, George F. Limburner, Bambang Suryoatmono*, 1991, **DESAIN BAJA DAN STRUKTURAL TERAPAN**, PT. ERESKO, Bandung
- Lynn S. Beedle*, 1958, **PLASTIC DESIGN OF STEEL FRAMES**, Johns Willey & Sons, Inc.
- N.S. Trahair and M.A. Bradford*. **THE BEHAVIOR AND DESIGN OF STEEL STRUCTURE** 2nd ed. London : Chapman and Hall, 1988
- Padosbajayo*, 1992, **PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, Paguyuban Dosen Baja Yogyakarta
- Robert Englekirk*, 1993, **STEEL STRUCTURES CONTROLLING BEHAVIOR THROUGH DESIGN**, John Wiley & Sons .INC, New York



FM-UII-AA-FPU-09

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	Nurul Leiliyani	97511043	TSS
2	Brapuspita Indriani	97511065	TSS

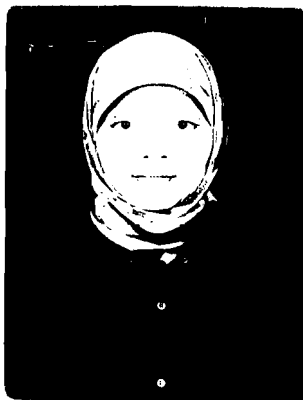
JUDUL TUGAS AKHIR :

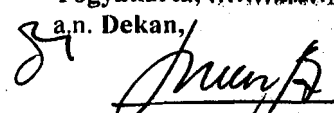
.....

**PERIODE III : MARET - AGUSTUS
 TAHUN : 2001/2002**

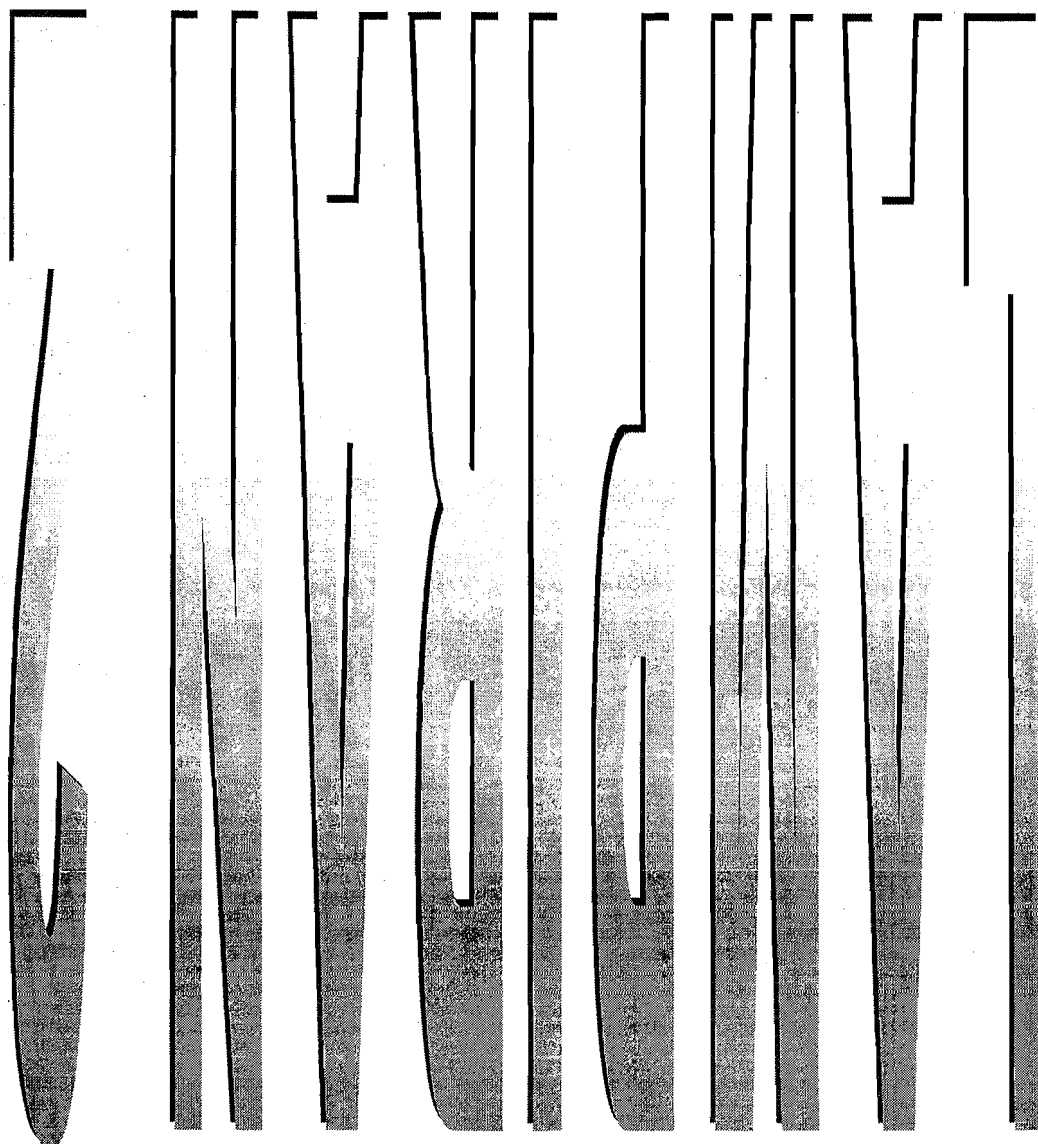
No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Mar.	Apr.	Mei.	Jun.	Jul.	Aug.
1.	Pendaftaran	■					
2.	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3.	Pembuatan Proposal		■				
4.	Seminar Proposal			■			
5.	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6.	Sidang-Sidang					■	■
7.	Pendadaran.						■

DOSEN PEMBIMBING I : Ir. Fakhurrohman N., MT
 DOSEN PEMBIMBING II : Ir. H. Suharyatno, MT.



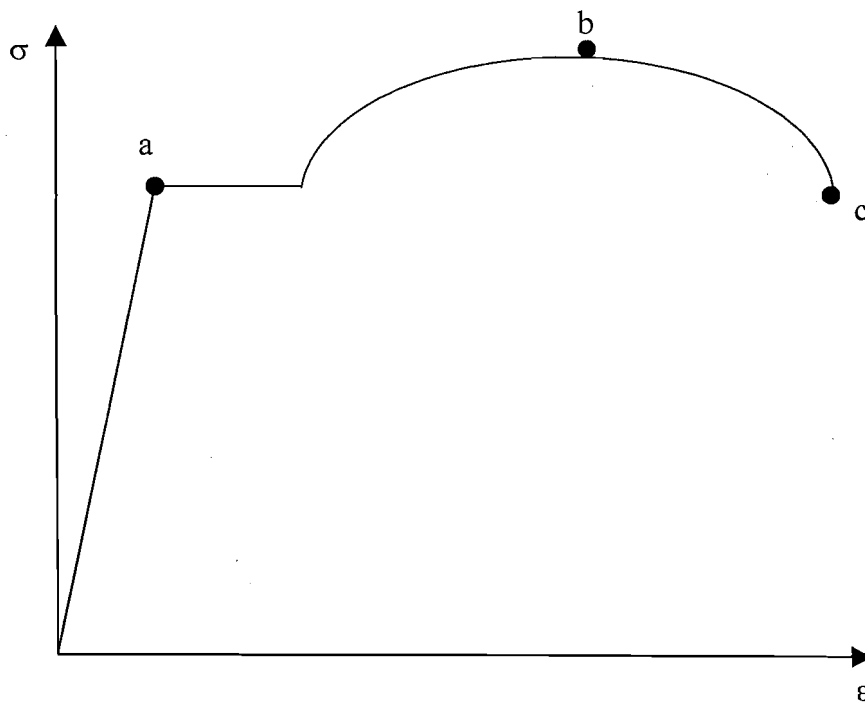
Yogyakarta, 07 Maret 2002.....
 a.n. Dekan,

 (.Ir. H. Munadhir, MS.....)

Seminar : 01 APRIL 2002
 Sidang : 26 JULI 2002
 Pendadaran : 09 AGST. 2002



HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik pelat baja dengan tebal 2mm dan profil L30x30x3 yang diambil bagian sayapnya. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Jogjakarta pada tanggal 8 Juni 2002. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :

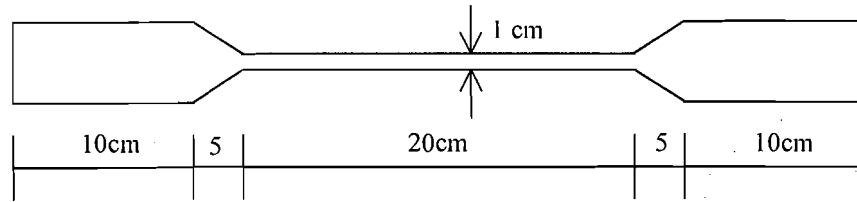


Keterangan :

a = Beban luluh ; b = Beban maksimum; c = Beban patah

$$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A} \quad F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$$

a. Pelat Baja



$t = 0.2 \text{ cm}$

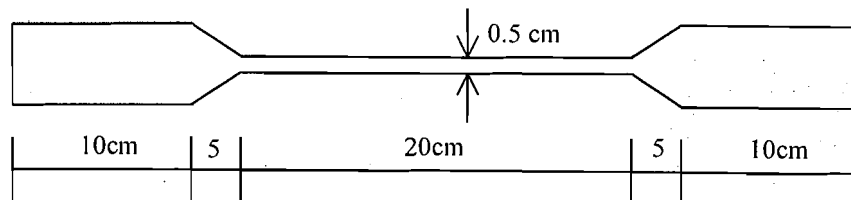
$A = 1 \text{ cm} \times 0.2 \text{ cm} = 0.2 \text{ cm}^2$

NO	P luluh (kg)	P maks (kg)	P patah (kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm ²)	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm ²)
1.	525	560	25	$2625 = 262.5 \text{ Mpa}$	$2800 = 280 \text{ Mpa}$
2.	420	510	50	$2100 = 210 \text{ Mpa}$	$2550 = 255 \text{ Mpa}$
3.	480	515	0	$2400 = 240 \text{ Mpa}$	$2575 = 257.5 \text{ Mpa}$

$F_y = \frac{252.5 + 210 + 240}{3} = 237.5 \text{ Mpa}$, dipakai $F_y = 240 \text{ Mpa}$

$F_u = \frac{280 + 255 + 257.5}{3} = 260.167 \text{ Mpa}$, dipakai $F_u = 260 \text{ Mpa}$

b. Profil L30x30x3



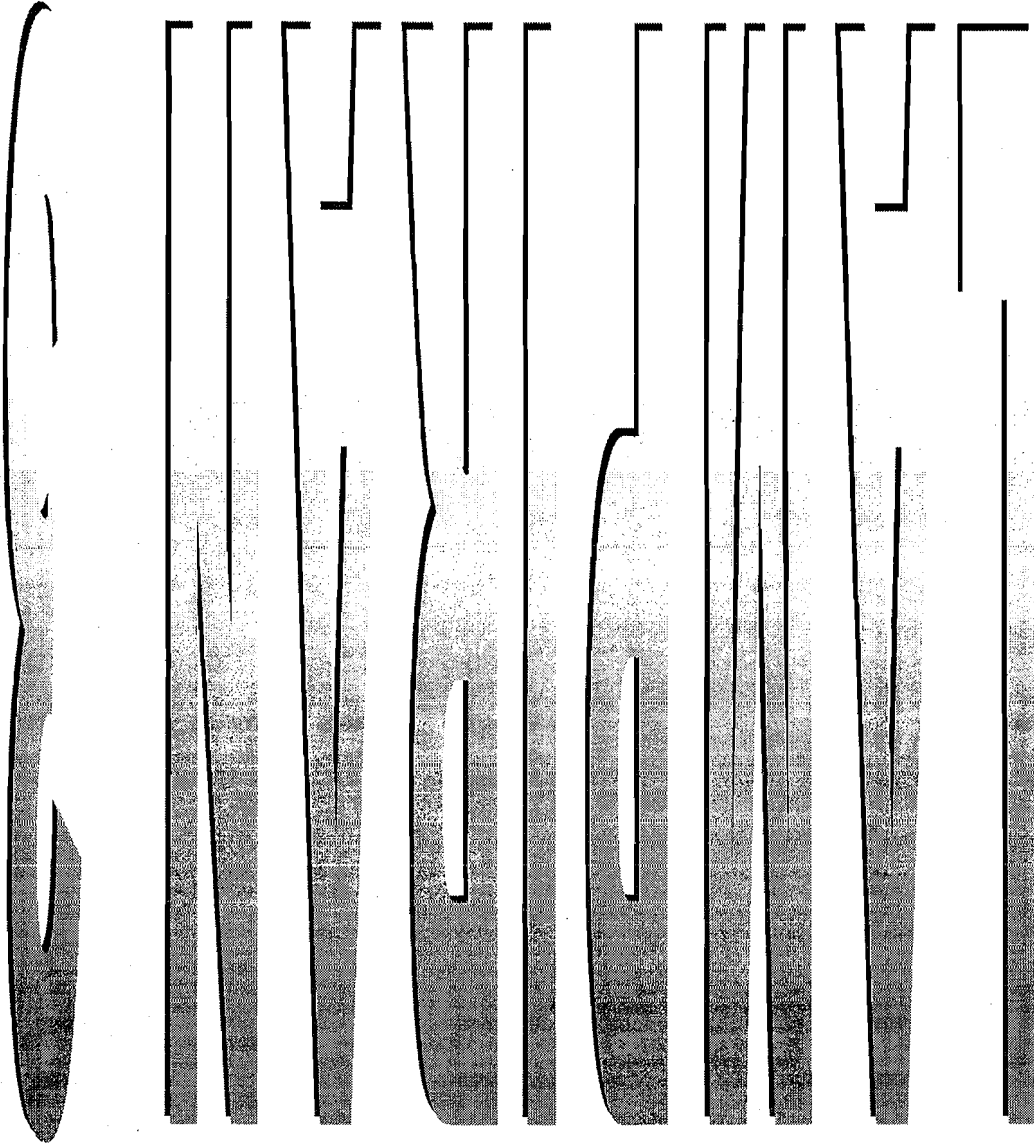
$t = 0.3 \text{ cm}$

$A = 0.5 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} = 0.15 \text{ cm}^2$

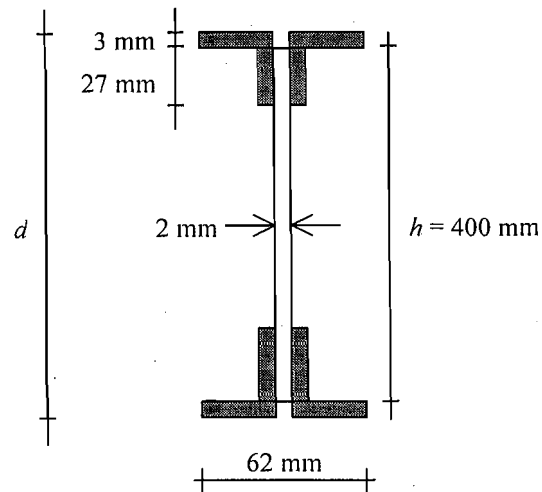
NO	P luluh (kg)	P maks (kg)	P patah (kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm ²)	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm ²)
1.	267.5	622.5	595	1783.3 = 178.3 Mpa	4150 = 415 Mpa
2.	205	470	455	1366.7 = 136.7 Mpa	3133.3 = 313.3 Mpa
3.	285	627.5	605	1900 = 190 Mpa	4183 = 418.3 Mpa

$$F_y = \frac{178.3 + 136.7 + 190}{3} = 168.33 \text{ Mpa} , \text{ dipakai } F_y = 160 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{415 + 313.3 + 418.3}{3} = 382.2 \text{ Mpa} , \text{ dipakai } F_u = 380 \text{ Mpa}$$



PERHITUNGAN BENDA UJI

Tampang Melintang

$$**h = 400 \text{ mm}**$$

$$I_{total} = I_{badan} + I_{sayap}$$

Garis netral badan (pelat)

$$y = 0,5d = 0,5 \times 406 \text{ 203 mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} 4 \cdot (30 \cdot 3^3) + 4 \cdot (30 \cdot 3 \cdot 201,5^2) + \frac{1}{12} 2 \cdot (8 \cdot 27^3) + 2 \cdot (8 \cdot 27 \cdot 186,5^2) + \frac{1}{12} (2 \cdot 346^3)$$

$$= 36572878,67 \text{ mm}^4$$

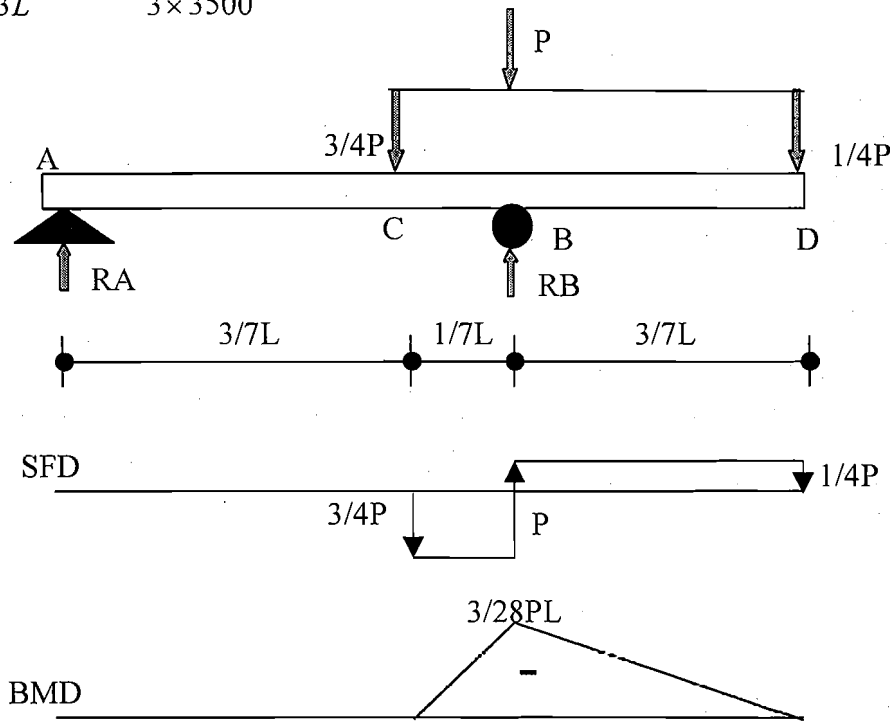
$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{36572878,67}{203} = 180161,9639 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$M = F_y \cdot S_x = 240 \cdot 180161,9639 = 43238871,34 \text{ N.mm} = 43238,87134 \text{ kNmm}$$

$$M = \frac{3}{28} PL \text{ dengan } L = 3500 \text{ mm maka}$$

$$P = \frac{28M}{3L} = \frac{28 \times 43238,87134}{3 \times 3500} = 115,3036 \text{ kN} = 11,53 \text{ ton}$$



$$RA \cdot \frac{4}{7}L - \frac{3}{3}P \cdot \frac{1}{7}L + \frac{1}{4}P \cdot \frac{3}{7}L = 0$$

$$RA = 0$$

$$-RB \cdot \frac{4}{7}L + \frac{1}{4}P \cdot L + \frac{3}{7}P \cdot \frac{3}{7}L = 0$$

$$RB = P$$

$$MA = 0$$

$$MB = -\frac{1}{4}P \cdot \frac{3}{7}L = -\frac{3}{28}PL$$

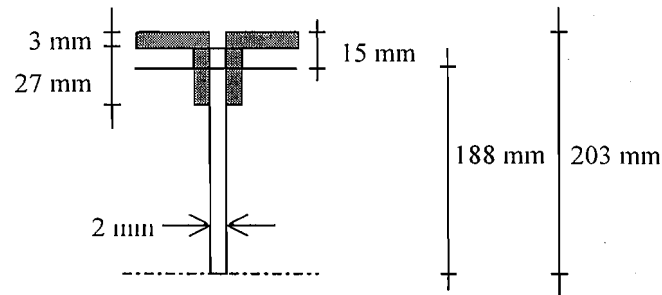
$$MC = RA \cdot \frac{3}{7}L = 0$$

$$P = 11,53t$$

$$3/4P = 8,6475t$$

$$1/4P = 2,8825t$$

PERHITUNGAN JUMLAH BAUT



$$S = 2(30.3.201,5 + 3.12.194) + (2.12.194) = 54894 \text{ mm}^3$$

untuk $D = 0$ dianggap $D = 8,648 \text{ ton} = 8648 \text{ kg}$, dengan $L = 1500 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{D.S}{I.b} = \frac{8648.54894}{36572878,67.8} = 1,622 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$P = \tau.b.L = 1,622.8.1500 = 19464 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut untuk ϕ baut = 5mm

$$P = d.t.F_u = 5.8.260 = 10400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot F_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5^2 \cdot 145 = 2847 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } P_{\text{baut}} = 2847 \text{ N} = 284,7 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut } (n) = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{19464}{284,7} = 6,836 \approx 69 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 2,2 \text{ cm} = 22 \text{ mm}$$

untuk $D = 8,648$ ton = 8648 kg, dengan $L = 500$ mm

$$\tau = \frac{D.S}{I.b} = \frac{8648.54894}{36572878,67.8} = 1,622 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$P = \tau.b.L = 1,622.8.500 = 6488 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut untuk ϕ baut = 5mm

$$P = d.t.F_u = 5.8.260 = 10400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4}.\pi.d^2.F_v = \frac{1}{4}.\pi.5^2.145 = 2847 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } P_{\text{baut}} = 2847 \text{ N} = 284,7 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut } (n) = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{6488}{284,7} = 22,78 \approx 23 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 2 \text{ cm} = 20 \text{ mm}$$

untuk $D = 2,8825$ ton = 2882,5 kg, dengan $L = 1500$ mm

$$\tau = \frac{D.S}{I.b} = \frac{2882,5.54894}{36572878,67.8} = 0,54 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$P = \tau.b.L = 0,54.8.1500 = 6480 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut untuk ϕ baut = 5mm

$$P = d.t.F_u = 5.8.260 = 10400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4}.\pi.d^2.F_v = \frac{1}{4}.\pi.5^2.145 = 2847 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } P_{\text{baut}} = 2847 \text{ N} = 284,7 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut } (n) = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{6480}{284,7} = 22,7 \approx 23 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 6,5 \text{ cm} = 65 \text{ mm}$$

PERENCANAAN PENGAKU

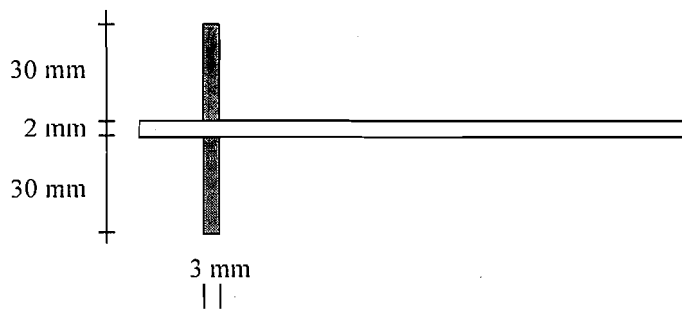
a. Pengaku Tumpu

$$\frac{R}{t_w(N+2K)} \leq 0,75.F_y$$

$$\frac{84647,5}{2(10+2.3)} = 270,3 \text{ kg/mm}^2 > 0,75.24 = 18 \text{ kg/mm}^2$$

⇒ perlu pengaku landasan

Pengaku tumpu : digunakan plat (30×30×3)mm



$$I = \frac{1}{12}.b.h^3 = \frac{1}{12}.3.62 = 59582 \text{ mm}^4$$

$$A = 62.3 + 2.30.3 = 366 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{59582}{366}} = 12,759$$

$$\frac{k.L}{r} = \frac{0,75.400}{12,759} = 23,513$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{240}} = 128,55$$

$$\frac{KL}{r} < C_c$$

$$\text{maka } F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} = 136 \text{ Mpa} = 13,6 \text{ kg/mm}^2 \geq f_a$$

$$f_a = D/A_e$$

$$A_e = (366.2) + (2.70) = 872 \text{ mm}^2$$

$$f_a = 9960/872 = 11,422 \text{ kg/mm}^2 < F_a = 13,6 \text{ kg/mm}^2$$

Jadi plat (30×30×3)mm dapat digunakan untuk pengaku landasan.

b. Pengaku Antara

$$V_n \leq C_v (0,6 F_y) A_w$$

$$A_w = 2 \times 400 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$V_n = 8,46475 \text{ ton} = 84647,5 \text{ N/mm}^2 = 84647,5 \text{ Mpa}$$

$$C_v = \frac{1100}{h \sqrt{F_y, \text{Mpa}}} \\ t_w$$

$$C_v = \frac{1100}{\frac{400}{2} \sqrt{240}} = 0,355$$

$$V_n \leq C_v (0,6 F_y) A_w$$

$$84647,5 \leq 0,355 \cdot (0,6 \cdot 240) \cdot 800 = 40896$$

karena $V_n = 84647,5 \leq 40896$ dan $\frac{h}{t_w} = \frac{400}{2} = 200 \leq 260$, sehingga

tidak diperlukan pengaku antara.

c. Pengaku Lateral

$$b_f = 62mm$$

$$d = 406mm$$

$$t_f = 3mm$$

$$A_f = b_f \cdot t_f = 62 \cdot 3 = 186mm^2$$

$$F_y = 160Mpa$$

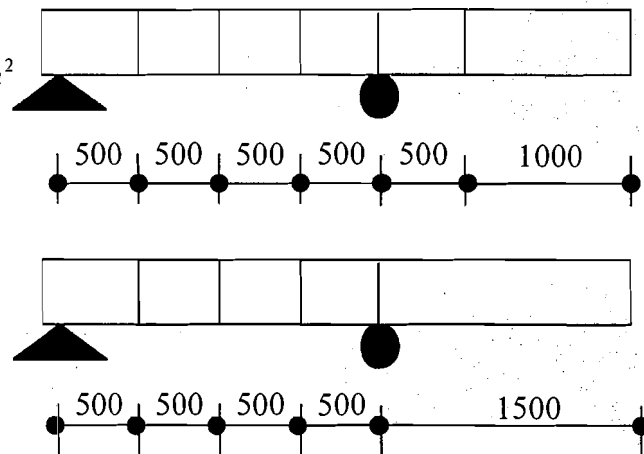
$$L_c = \frac{200b_f}{\sqrt{F_y}} Mpa$$

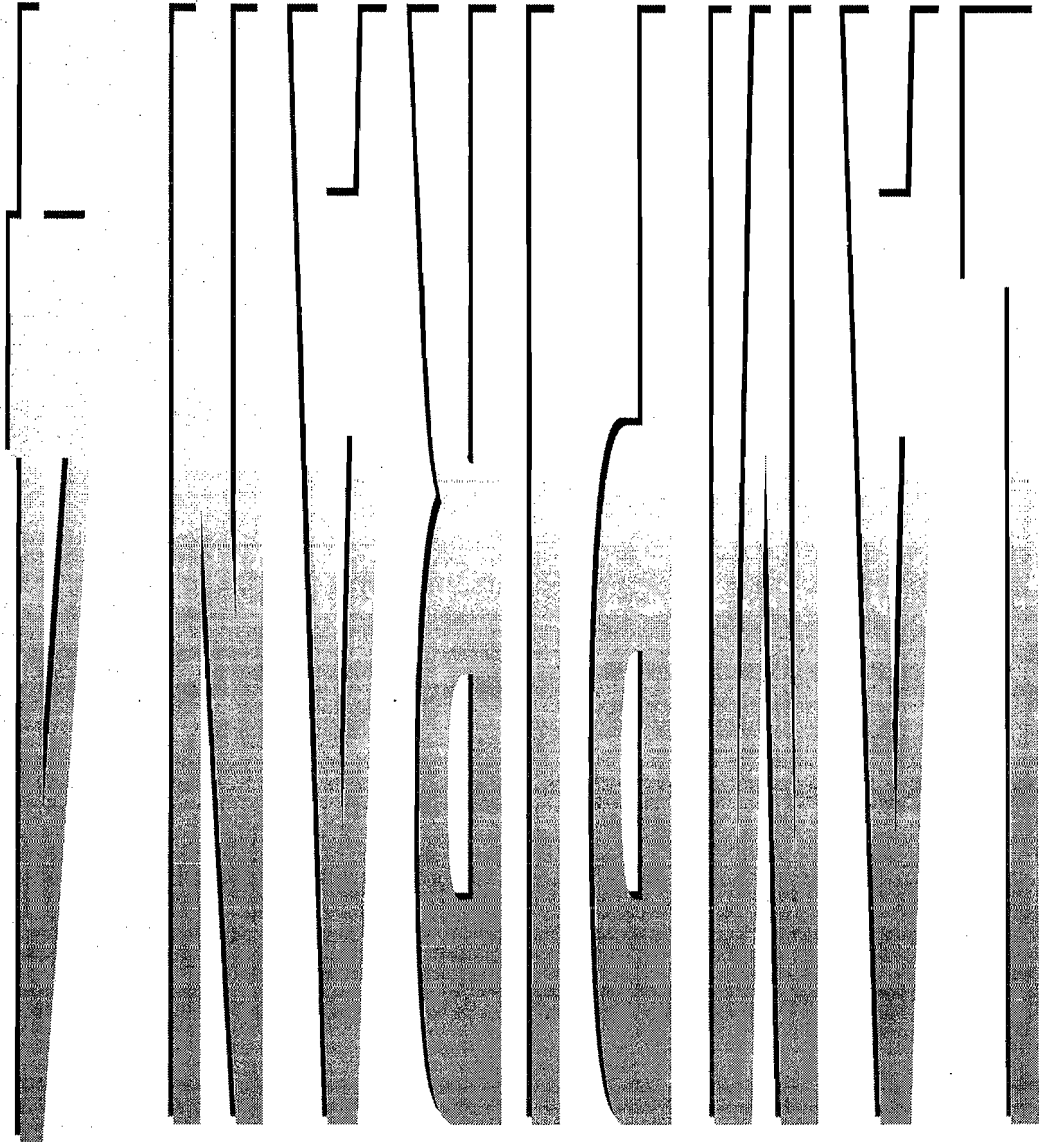
$$L_c = \frac{200 \cdot 62}{\sqrt{160}} = 980mm$$

$$L_c = \frac{138000}{\left(\frac{d}{A_f}\right) F_y} Mpa$$

$$L_c = \frac{138000}{\left(\frac{406}{186}\right) \cdot 160} = 395,135mm$$

Diambil $L_c = 500 mm$





HASIL PEMBEBANAN BENDA UJI

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur
(vertikal) Benda Uji 1

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	1.07	2.07	1.28
3	6	1.7	3.41	1.78
4	9	2.57	5.59	2.77
5	12	3.15	6.56	4.77
6	15	4.29	7.7	9.74
7	18	4.53	7.79	9.84
8	21	5.88	8.84	10.65
9	24	5.9	10.34	10.93
10	24	5.95	11.55	13.93

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur
(vertikal) Benda Uji 2

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0.72	1.05	1.31
3	6	1.67	2.27	2.64
4	9	2.19	3.92	3.44
5	12	2.8	4.24	4.3
6	15	3.25	4.65	5.02
7	18	3.8	5.84	5.22
8	21	4.24	6.45	6.54
9	24	4.55	6.94	7.24
10	27	5.5	7.85	9.51
11	29	5.8	8.97	10.07

Hasil Pengujian Beban Lentutan Lentur
(vertikal) Benda Uji 3

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0.58	1.18	1.08
3	6	1.14	2.02	1.74
4	9	1.75	2.39	2.58
5	12	2.3	3.14	3.27
6	15	2.38	3.16	4.04
7	18	2.54	3.43	4.51
8	18	2.55	4.05	4.76
9	18	3.46	4.18	4.86
10	18	3.7	4.54	4.94

Hasil Pengujian Beban Lentutan Lentur
(vertikal) Pengujian Benda Uji 4

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0.9	0.58	1.28
3	6	2	1.31	3.64
4	9	2.8	1.65	4.38
5	12	3.62	6.04	4.62
6	12	4.1	7.11	4.65
7	12	4.54	7.2	5.2
8	12	4.95	7.26	5.59
9	14	5.3	7.29	6.47
10	14	5.51	7.32	7.9
11	13	5.6	7.4	8.87

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lateral
(horisontal) Benda Uji 1

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial3
1	0	0	0	0
2	3	0.75	0.8	1.12
3	6	1.43	1.08	1.45
4	9	2.6	3.6	2.74
5	12	2.7	5.38	4.5
6	15	6.18	9.11	6.57
7	18	7.4	9.11	9.3
8	21	8.88	9.65	10.39
9	24	9.6	11.22	12.55
10	24	11.6	12.71	13.31

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lateral
(horisontal) Benda Uji 2

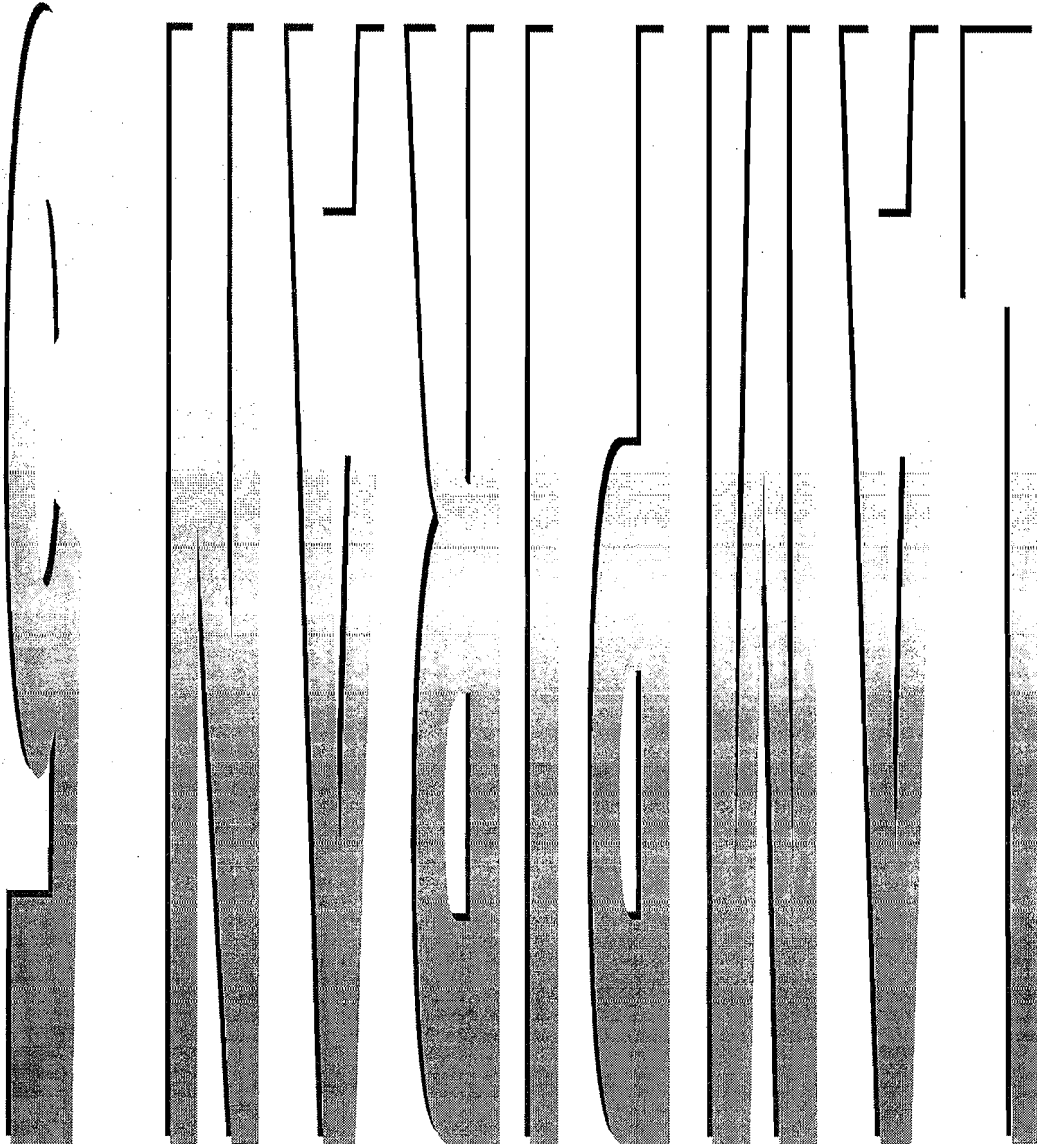
NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial3
1	0	0	0	0
2	3	-0.9	-0.95	-0.04
3	6	-0.5	-0.9	0.33
4	9	0.49	-0.73	0.77
5	12	-0.48	-0.7	0.81
6	15	-0.4	-0.7	1.09
7	18	-0.3	-0.6	1.14
8	21	1.3	-0.4	3.3
9	24	2.8	2.2	3.51
10	27	7.3	7.42	13.12
11	29	17.56	16.9	21.3
12	29	20.75	22.13	21.85
13	27	21.33	22.6	24.68

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lateral
(horisontal) Benda Uji 3

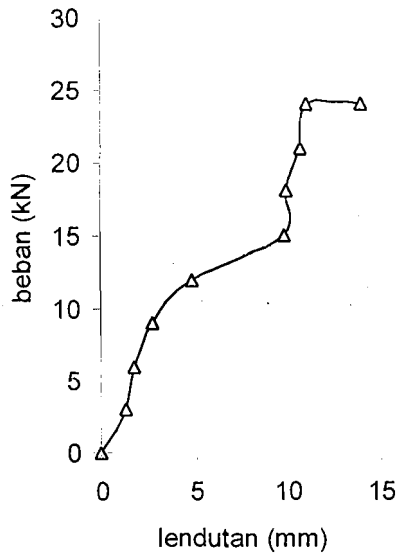
No	BEBAN	DEFLEKSI (mm)		
	(kN)	dial 1	dial 2	dial3
1	0	0	0	0
2	3	-1.67	-2.22	-2.78
3	6	-1.66	-2.08	-2.61
4	9	-1.52	-2.05	-2.15
5	12	-0.88	-0.2	0.19
6	15	0.8	0.75	9.32
7	18	1.15	9.95	12.01
8	18	1.28	9.99	15.85
9	18	1.4	10.1	17.5
10	18	1.98	11.28	19.44

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lateral
(horisontal) Benda Uji 4

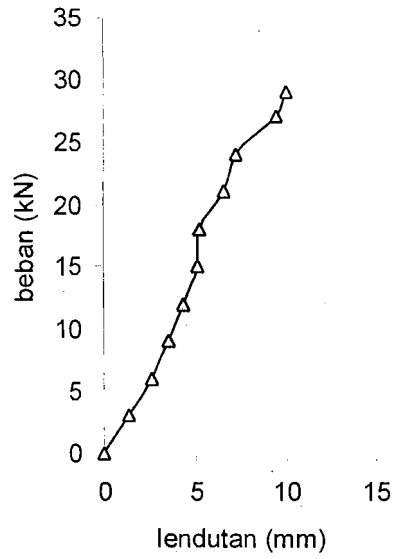
No	BEBAN	DEFLEKSI (mm)		
	(kN)	dial 1	dial 2	dial3
1	0	0	0	0
2	3	-0.64	-0.4	-3.43
3	6	-0.8	0.94	-0.39
4	9	0.4	1.2	1.61
5	12	1.2	2.72	7.97
6	12	1.42	3.35	10.6
7	12	1.7	3.8	14.5
8	12	2.24	4.83	20.45
9	14	2.64	5.31	20.6
10	14	2.68	6.38	21.52
11	13	3.41	7.1	21.83



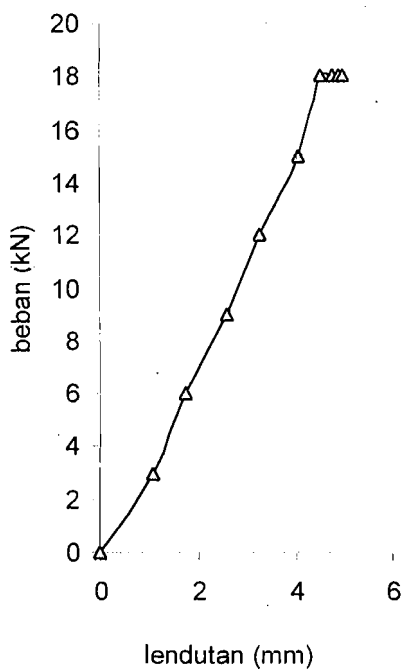
Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal) Benda Uji 1



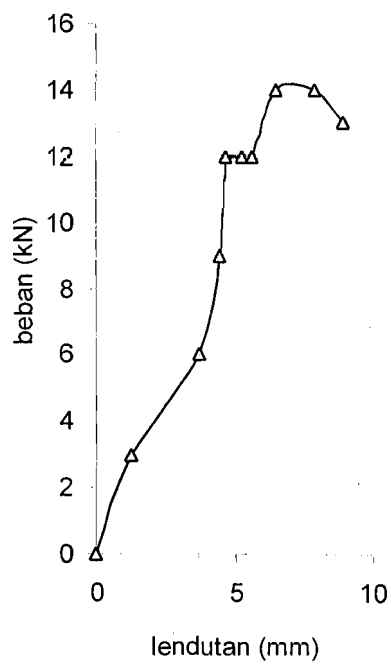
Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal) Benda Uji 2



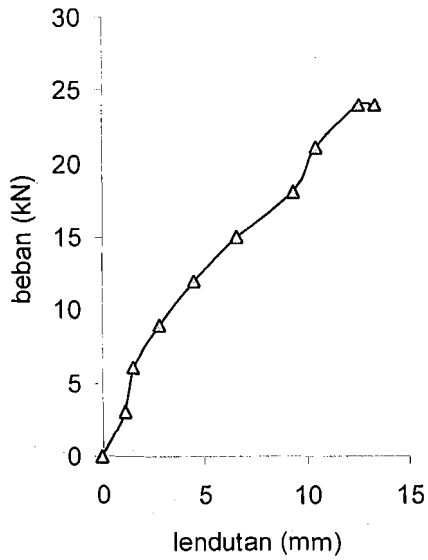
Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal) Benda Uji 3



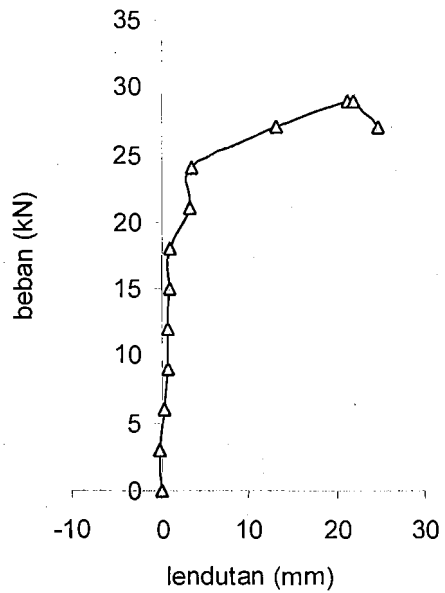
Grafik hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal) Benda Uji 4



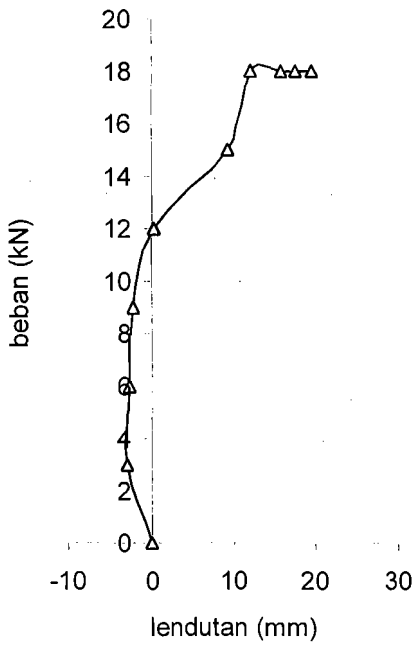
Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)
Benda Uji 1



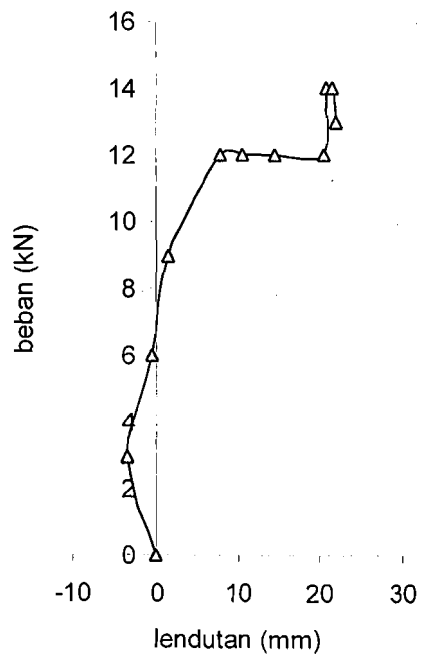
Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)
Benda Uji 2

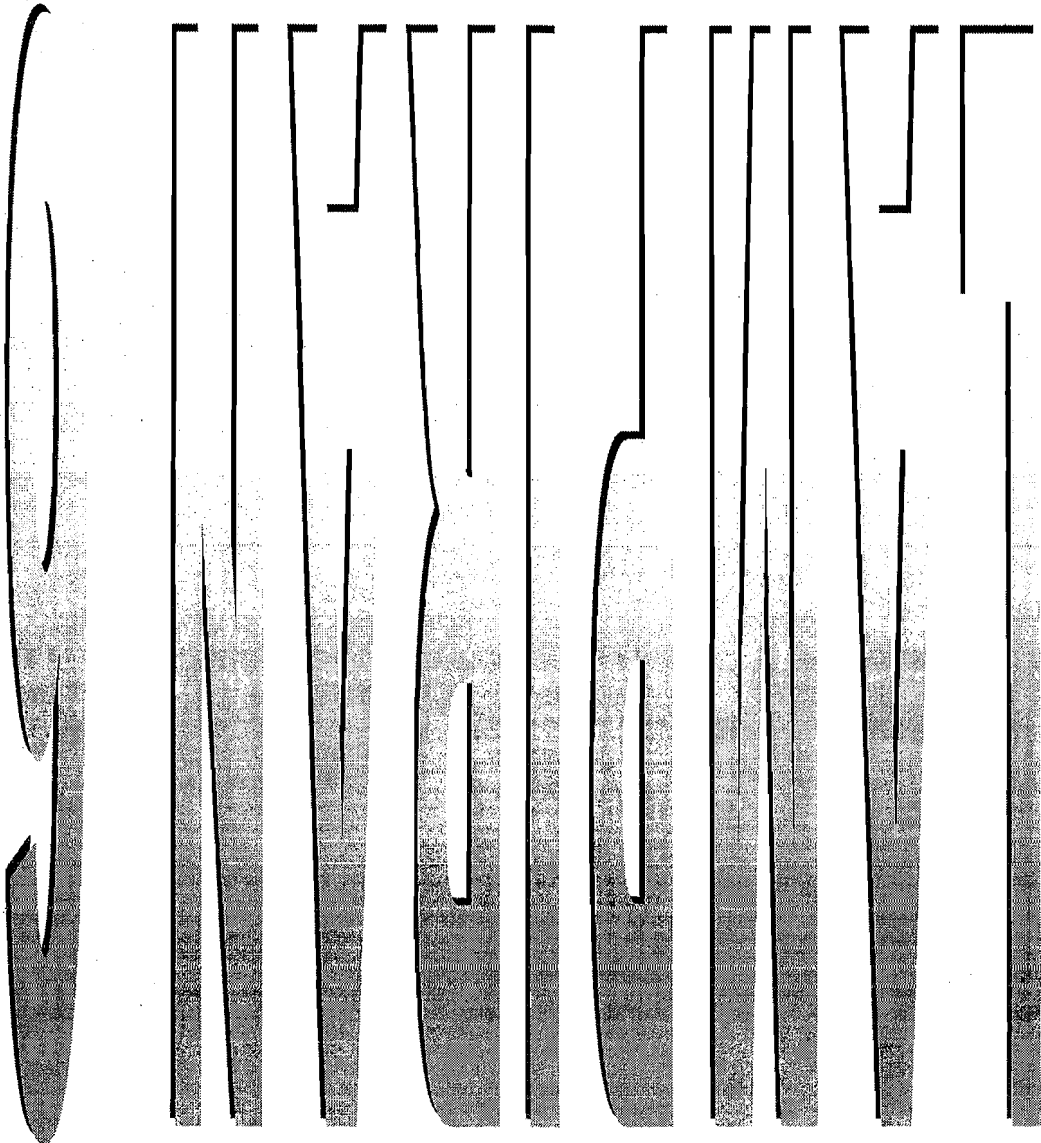


Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)
Benda Uji 3



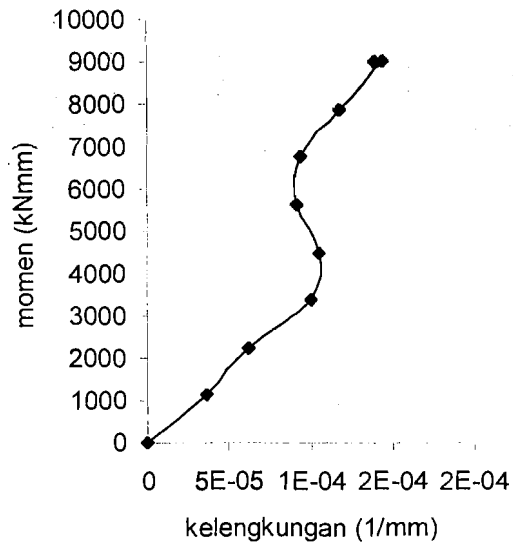
Grafik Hubungan Beban-Lendutan Lateral (horisontal)
Benda Uji 4



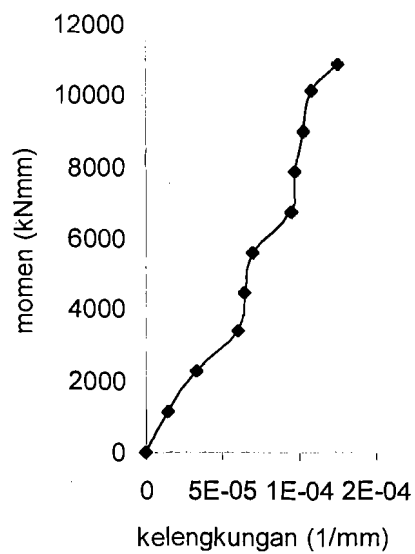


GRAFIK MOMEN-KELENGKUNGAN

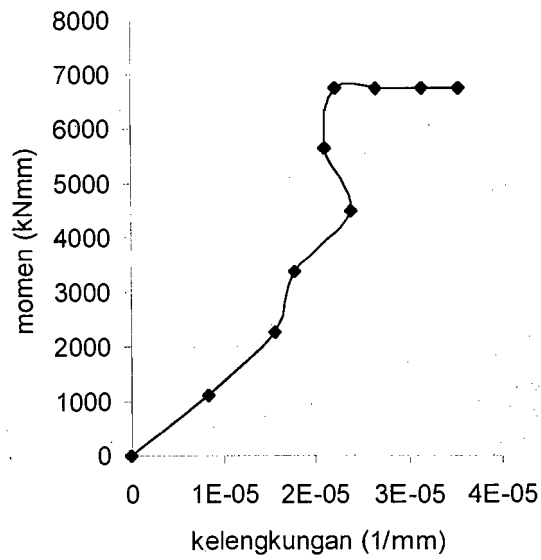
Grafik Hubungan Momen-
Kelengkungan Lentur (vertikal)
Benda Uji 1



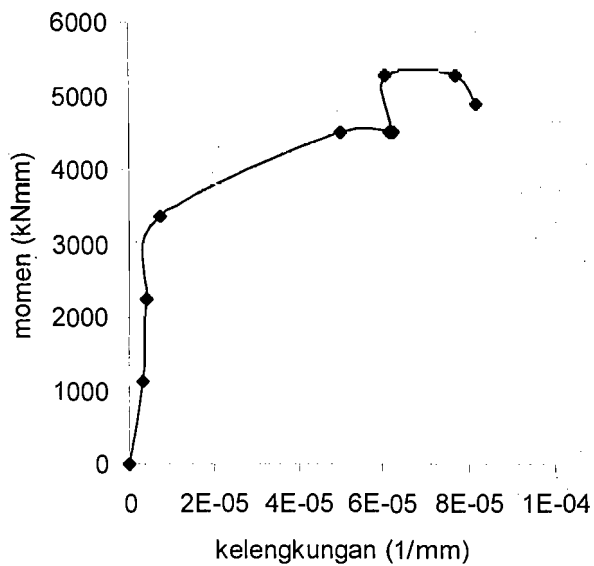
Grafik Hubungan Momen-
Kelengkungan Lentur (vertikal)
Benda Uji 2



Grafik Hubungan Momen-
Kelengkungan Lentur (vertikal)
Benda Uji 3



Grafik Hubungan Momen-
Kelengkungan Lentur (vertikal)
Benda Uji 4



HUBUNGAN MOMEN-KELENGKUNGAN LENTUR (VERTIKAL)

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)
Hasil Pengujian Benda Uji 1

NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/4)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	1.07	2.07	1.28	1125	3.60882E-05
3	6	1.7	3.41	1.78	2250	6.18916E-05
4	9	2.57	5.59	2.77	3375	0.000100826
5	12	3.15	6.56	4.77	4500	0.000105601
6	15	4.29	7.7	9.74	5625	9.13682E-05
7	18	4.53	7.79	9.84	6750	9.43067E-05
8	21	5.88	8.84	10.65	7875	0.000118549
9	24	5.9	10.34	10.93	9000	0.00014371
10	24	5.95	11.55	13.93	9000	0.000138843

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)
Hasil Pengujian Benda Uji 2

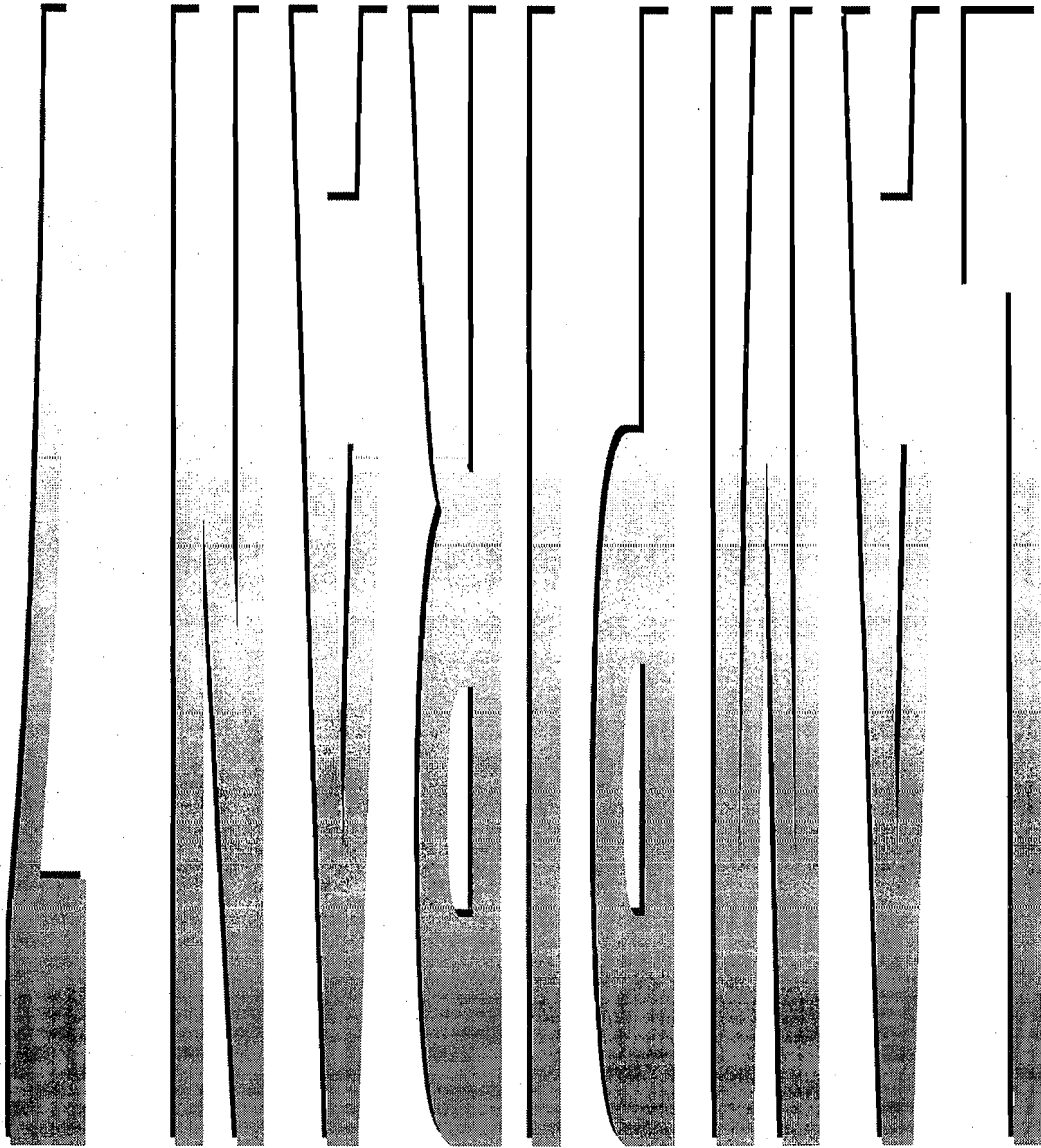
NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/4)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	0.72	1.05	1.31	1125	1.38659E-05
3	6	1.67	2.27	2.64	2250	3.27824E-05
4	9	2.19	3.92	3.44	3375	6.05142E-05
5	12	2.8	4.24	4.3	4500	6.40955E-05
6	15	3.25	4.65	5.02	5625	6.9146E-05
7	18	3.8	5.84	5.22	6750	9.42149E-05
8	21	4.24	6.45	6.54	7875	9.7337E-05
9	24	4.55	6.94	7.24	9000	0.000102755
10	27	5.5	7.85	9.51	10125	0.000107346
11	29	5.8	8.97	10.07	10875	0.000125528

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)
Hasil Pengujian Benda Uji 3

NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/4)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	
2	3	0.58	1.18	1.08	1125	8.4201E-06
3	6	1.14	2.02	1.74	2250	1.55727E-05
4	9	1.75	2.39	2.58	3375	1.78814E-05
5	12	2.3	3.14	3.27	4500	2.4038E-05
6	15	2.38	3.16	4.04	5625	2.10955E-05
7	18	2.54	3.43	4.51	6750	2.21367E-05
8	18	2.55	4.05	4.76	6750	2.66636E-05
9	18	3.46	4.18	4.86	6750	3.15075E-05
10	18	3.7	4.54	4.94	6750	3.54912E-05

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)
Hasil Pengujian Benda Uji 4

NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/4)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	
2	3	0.9	0.58	1.28	1125	3.53101E-06
3	6	2	1.31	3.64	2250	4.4364E-06
4	9	2.8	1.65	4.38	3375	7.78633E-06
5	12	3.62	6.04	4.62	4500	5.01584E-05
6	12	4.1	7.11	4.65	4500	6.18832E-05
7	12	4.54	7.2	5.2	4500	6.22001E-05
8	12	4.95	7.26	5.59	4500	6.28339E-05
9	14	5.3	7.29	6.47	5250	6.07062E-05
10	14	5.51	7.32	7.9	5250	7.70937E-05
11	13	5.6	7.4	8.87	4875	8.18017E-05



PERBANDINGAN HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN TEORITIS DENGAN BEBAN LENDUTAN LAPANGAN

A. $P_{\text{TEORITIS}} = P_{\text{LAPANGAN}}$

Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 1 Lb = 1000 mm

P (kN)	L (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNmm ²)	Sudut Rotasi	lendutan teori 1 (mm)	lendutan teori 2 (mm)	lendutan teori terpakai (mm)	lendutan lapangan (mm)
0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1500	1125	3.61E-05	6.3E+07	0.007875	1.35E+01	11.8125	1.6875	1.28
6	1500	2250	6.19E-05	6.3E+07	0.01575	2.70E+01	23.625	3.375	1.78
9	1500	3375	0.00010083	6.3E+07	0.023625	4.05E+01	35.4375	5.0625	2.77
12	1500	4500	0.0001056	6.3E+07	0.0315	5.40E+01	47.25	6.75	4.77
15	1500	5625	9.14E-05	6.3E+07	0.039375	6.75E+01	59.0625	8.4375	9.74
18	1500	6750	9.43E-05	6.3E+07	0.04725	8.10E+01	70.875	10.125	9.84
21	1500	7875	0.00011855	6.3E+07	0.055125	9.45E+01	82.6875	11.8125	10.65
24	1500	9000	0.00014371	6.3E+07	0.063	1.08E+02	94.5	13.5	10.93
24	1500	9000	0.00013884	6.3E+07	0.063	1.08E+02	94.5	13.5	13.93

Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 2 Lb = 1000 mm

P (kN)	L (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNmm ²)	Sudut rotasi	Lendutan teori 1 (mm)	Lendutan teori 2 (mm)	Lendutan terpakai (mm)	Lendutan lapangan (mm)
0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1500	1125	1.39E-05	8.7E+07	0.005681	9.74E+00	8.521836207	1.217405172	1.31
6	1500	2250	3.28E-05	8.7E+07	0.011362	1.95E+01	17.04367241	2.434810345	2.64
9	1500	3375	6.05E-05	8.7E+07	0.017044	2.92E+01	25.56550862	3.652215517	3.44
12	1500	4500	6.41E-05	8.7E+07	0.022725	3.90E+01	34.08734483	4.86962069	4.3
15	1500	5625	6.91E-05	8.7E+07	0.028406	4.87E+01	42.60918103	6.087025862	5.02
18	1500	6750	9.42E-05	8.7E+07	0.034087	5.84E+01	51.13101724	7.304431034	5.22
21	1500	7875	9.73E-05	8.7E+07	0.039769	6.82E+01	59.65285345	8.521836207	6.54
24	1500	9000	0.00010276	8.7E+07	0.04545	7.79E+01	68.17468966	9.739241379	7.24
27	1500	10125	0.00010735	8.7E+07	0.051131	8.77E+01	76.69652586	10.95664655	9.51
29	1500	10875	0.00012553	8.7E+07	0.054919	9.41E+01	82.37775	11.76825	10.07

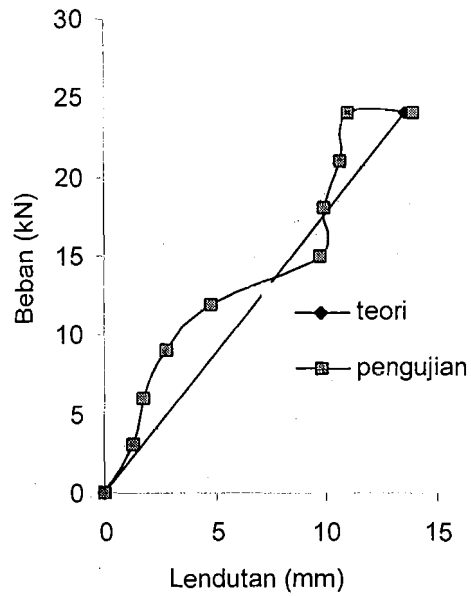
Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 3 Lb = 1500 mm

P (kN)	L (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNmm ²)	Sudut rotasi	Lendutan teori 1 (mm)	Lendutan teori 2 (mm)	Lendutan terpakai (mm)	Lendutan lapangan (mm)
0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1500	1125	8.42E-06	1.9E+08	0.002588	4.4364	3.88185	0.55455	1.08
6	1500	2250	1.56E-05	1.9E+08	0.005176	8.8728	7.7637	1.1091	1.74
9	1500	3375	1.79E-05	1.9E+08	0.007764	13.3092	11.64555	1.66365	2.58
12	1500	4500	2.40E-05	1.9E+08	0.010352	17.7456	15.5274	2.2182	3.27
15	1500	5625	2.11E-05	1.9E+08	0.01294	22.182	19.40925	2.77275	4.04
18	1500	6750	2.21E-05	1.9E+08	0.015527	26.6184	23.2911	3.3273	4.51
18	1500	6750	2.67E-05	1.9E+08	0.015527	26.6184	23.2911	3.3273	4.76
18	1500	6750	3.15E-05	1.9E+08	0.015527	26.6184	23.2911	3.3273	4.86
18	1500	6750	3.55E-05	1.9E+08	0.015527	26.6184	23.2911	3.3273	4.94

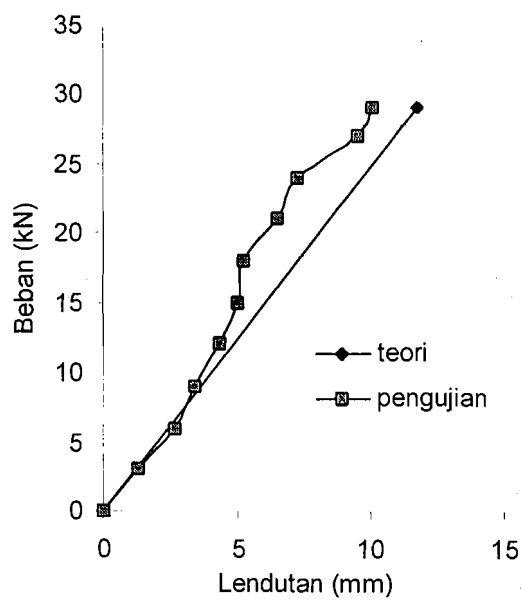
Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 4 Lb = 1500 mm

P (kN)	L (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNmm ²)	Sudut rotasi	Lendutan teori 1 (mm)	Lendutan teori 2 (mm)	Lendutan terpakai (mm)	Lendutan lapangan (mm)
0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1500	1125	3.53E-06	6.8E+07	0.007228	12.39005893	10.84130156	1.548757366	1.28
6	1500	2250	4.44E-06	6.8E+07	0.014455	24.78011786	21.68260313	3.097514732	3.64
9	1500	3375	7.79E-06	6.8E+07	0.021683	37.17017679	32.52390469	4.646272098	4.38
12	1500	4500	5.02E-05	6.8E+07	0.02891	49.56023571	43.36520625	6.195029464	4.62
12	1500	4500	6.19E-05	6.8E+07	0.02891	49.56023571	43.36520625	6.195029464	4.65
12	1500	4500	6.22E-05	6.8E+07	0.02891	49.56023571	43.36520625	6.195029464	5.2
12	1500	4500	6.28E-05	6.8E+07	0.02891	49.56023571	43.36520625	6.195029464	5.59
14	1500	5250	6.07E-05	6.8E+07	0.033728	57.820275	50.59274063	7.227534375	6.47
14	1500	5250	7.71E-05	6.8E+07	0.033728	57.820275	50.59274063	7.227534375	7.9
13	1500	4875	8.18E-05	6.8E+07	0.031319	53.69025536	46.97897344	6.71128192	8.87

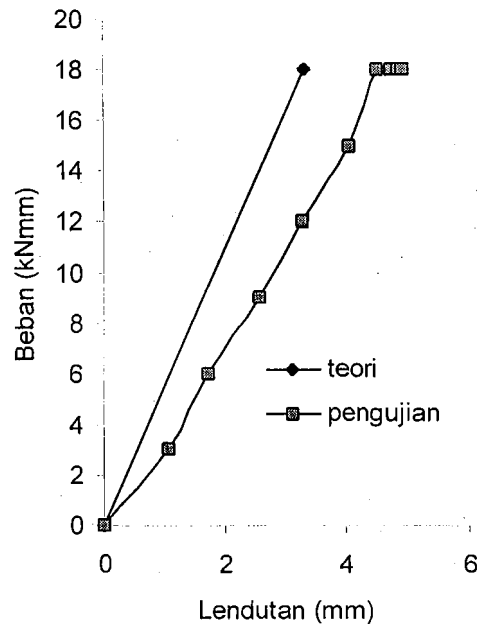
Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian Benda Uji 1



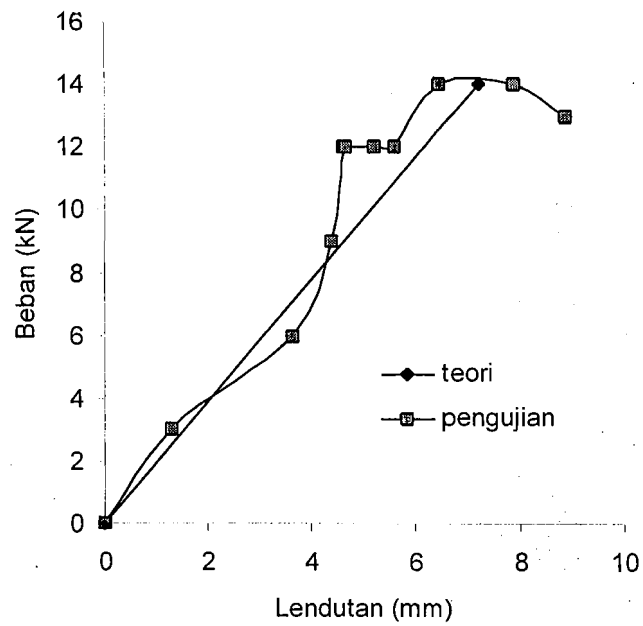
Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian Benda Uji 2



Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teori dengan Pengujian Benda Uji 3



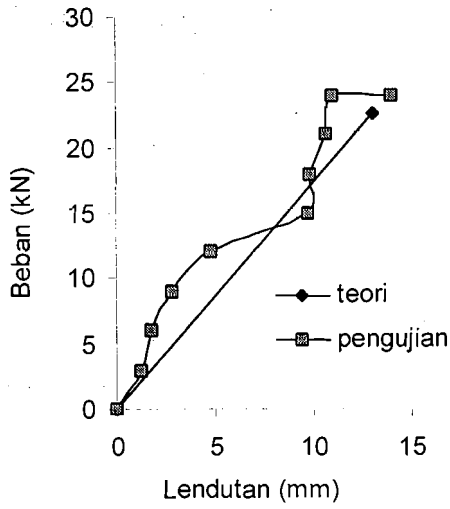
Grafik Perbandingan hubungan Beban-Lendutan Teori dengan Pengujian Benda Uji 4



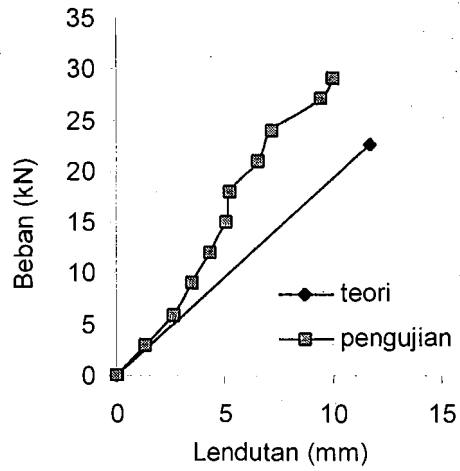
B. $P_{\text{TEORITIS}} \neq P_{\text{LAPANGAN}}$

Benda uji (mm) Lb = mm	P Teori (kN)	P Lap (kN)	L (mm)	Momen (kNmm)	Kelengku ngan (1/mm)	EI (kNmm ²)	Sudut Rotasi	Lend Teori 1 (mm)	Lend Teori 2 (mm)	Lend teori terpakai (mm)	Lend Lap Maks (mm)
1a(Lb = 1000)	22.587	24	1500	8470.125	1.39E-04	6.10E+07	0.0607425	1.04E+02	91.11375	13.01625	13.93
1b(Lb = 1000)	22.587	29	1500	8470.125	1.25E-04	6.78E+07	0.0546875	9.38E+01	82.03125	11.71875	10.07
2a(Lb = 1500)	22.587	18	1500	8470.125	3.55E-05	2.39E+08	0.01553125	2.66E+01	23.29688	3.328125	4.94
2b(Lb = 1500)	22.587	14	1500	8470.125	8.18E-05	1.04E+08	0.0357875	6.14E+01	53.68125	7.66875	8.87

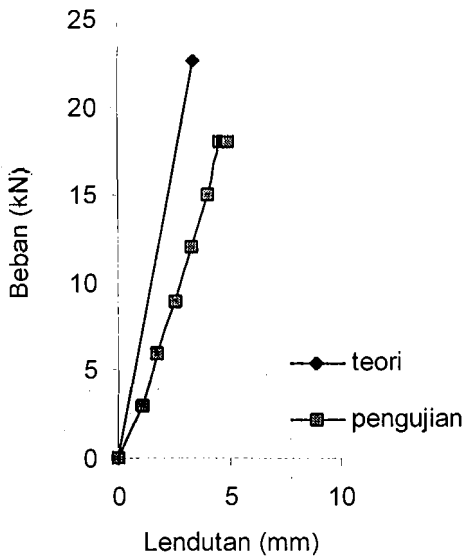
Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian Benda uji 1



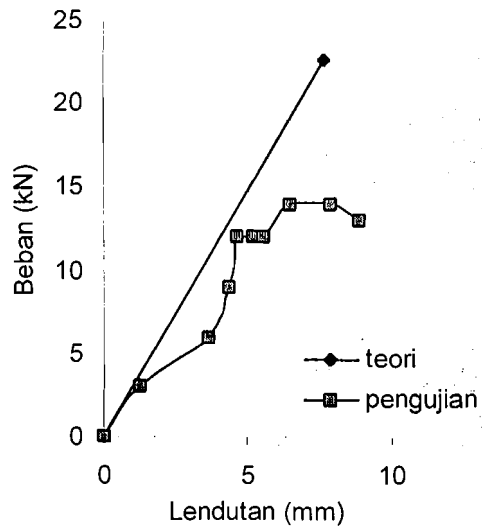
Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian Benda Uji 2



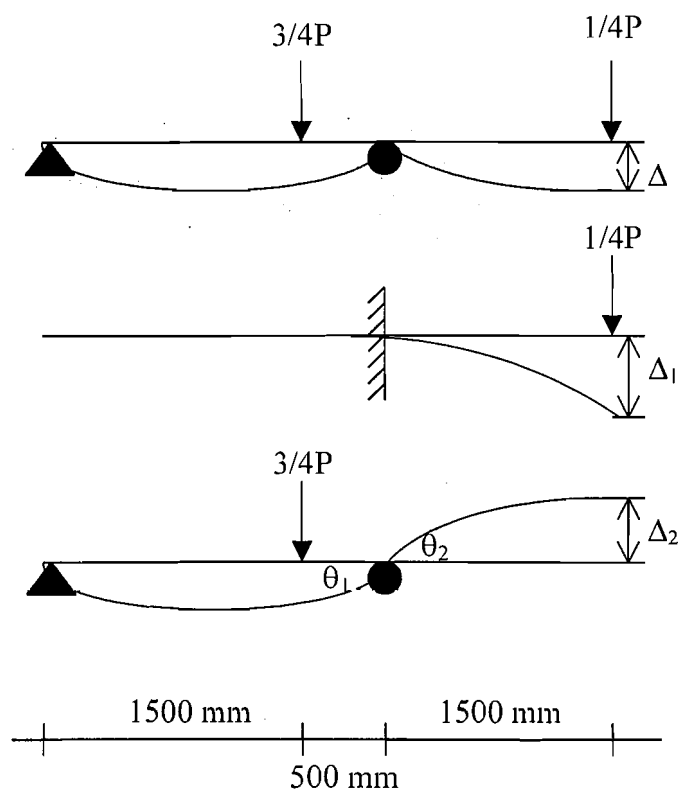
Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian Benda Uji 3



Grafik Perbandingan hubungan Beban-lendutan teoritis dengan Pengujian benda uji 4



PERHITUNGAN LENDUTAN SECARA TEORITIS



Contoh perhitungan lendutan untuk benda uji 3 pada beban 3 kN

Lendutan teori terpakai = $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2$

$$\text{Lendutan teori 1} = \Delta_1 = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$P = 1/4P = 1/4 \times 3 = 0,75 \text{ kN}$$

$$L = 1500$$

$EI = \text{Momen terbesar pada benda uji 3 / kelengkungan}$

$$EI = 6750/3,55E-05 = 1,907E+08$$

$$\Delta_1 = \frac{0,75 \times 1500^3}{3 \times 1,90E08} = 4,44 \text{ mm}$$

Lendutan teori 2 = $\Delta_2 = \theta \times L$

Sudut rotasi = $\theta_1 = \theta_2 = \theta = (X \cdot a \cdot (H^2 - a^2)) / (6EIH)$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$X = 3/4P = 3/4 \times 3 = 2,25 \text{ kN}$$

$$H = 2000 \text{ mm}; a = 1500 \text{ mm}; b = 500 \text{ mm}$$

$$\theta = (2,25 \times 1500 \times (2000^2 - 1500^2)) / (6 \times 1,9E+08 \times 2000) = 2,59E-03$$

$$\Delta_2 = 2,59E-03 \times 1500 = 3,88 \text{ mm}$$

Lendutan teori terpakai = $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = 4,44 \text{ mm} - 3,88 \text{ mm} = 0,56 \text{ mm}$

Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Gaya Geser Maksimum

$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = h \cdot t_w = 400 \cdot 2 = 800 \text{ mm}^2$$

$$F_v = \frac{F_y}{2,89} C_v < 0,4F_y \Rightarrow F_y = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$C_v < 0,8 \Rightarrow \text{Gelagar pelat lentur elastis} \Rightarrow C_v = \frac{310000k}{F_y(h/t)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 500 \text{ mm} / 400 \text{ mm} = 1,25 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(1,25)^2} + 5,34 = 7,9$$

$$C_v = \frac{310000.7,9}{240.(200^2)} = 0,255$$

$$F_v = \frac{240}{2,89} 0,255 = 21,176 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 800.21,176 = 16940,8 \text{ N} = 16,9408 \text{ kN}$$

$$V = (3/4)P \Rightarrow P = 22,587 \text{ kN}$$

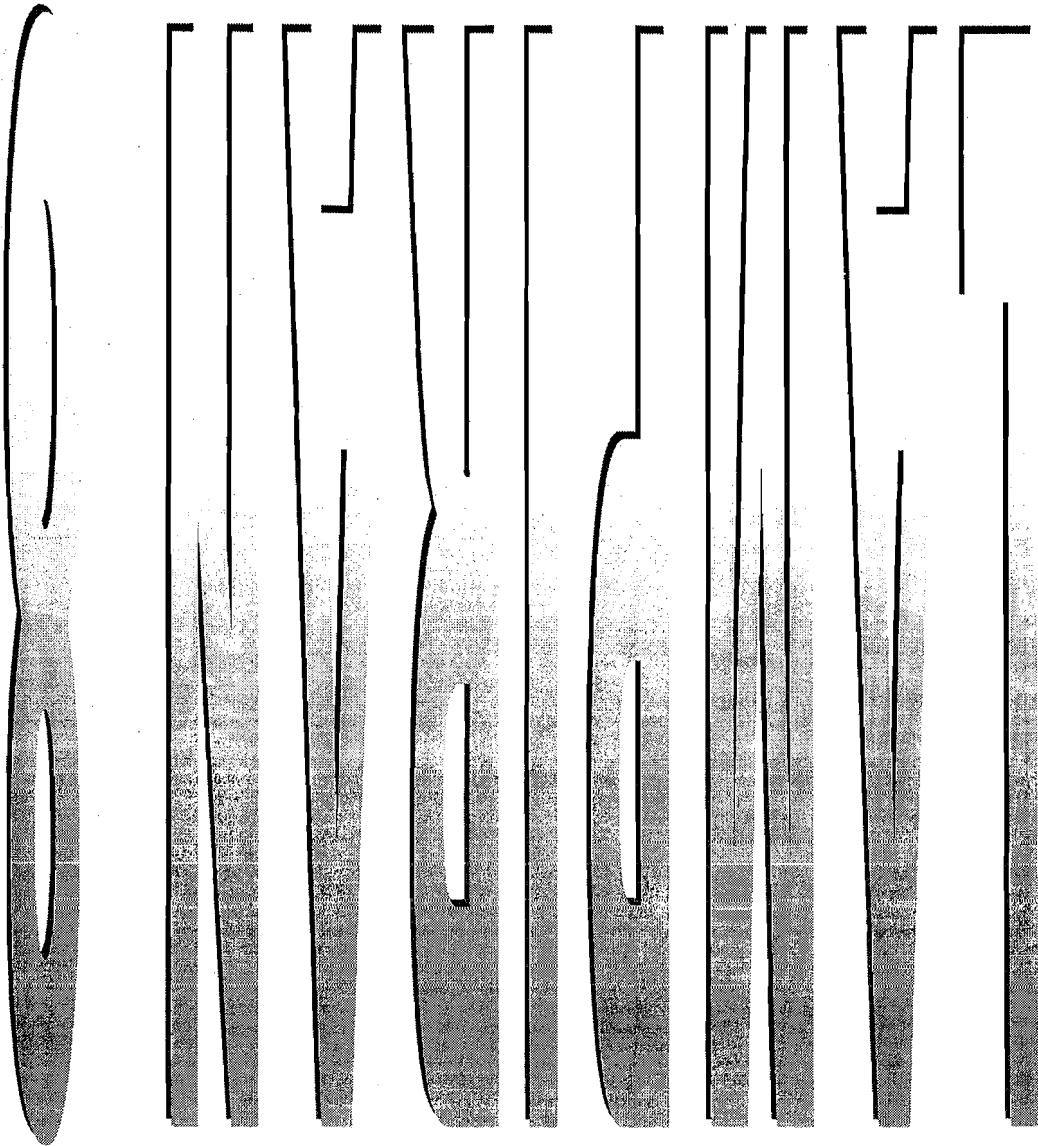
Beban Pengujian

Benda uji (Lb = 1000 mm) 1 Pmaks = 24 KN

Benda uji (Lb = 1000 mm) 2 Pmaks = 29 KN

Benda uji (Lb = 1500 mm) 3 Pmaks = 18 KN

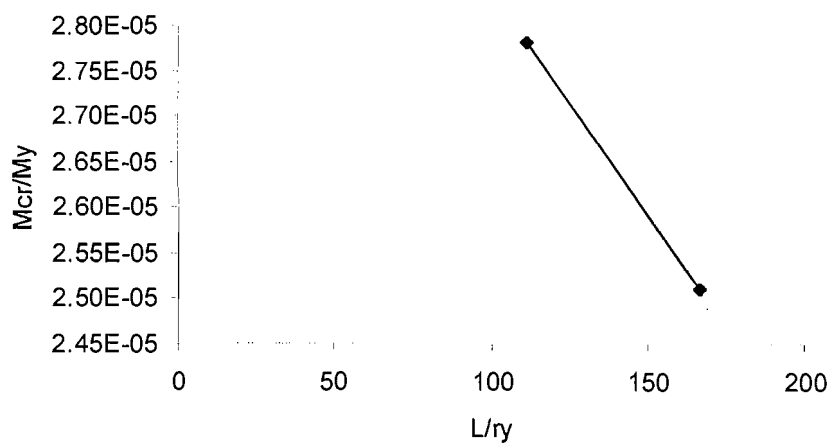
Benda uji (Lb = 1500 mm) 4 Pmaks = 14 KN



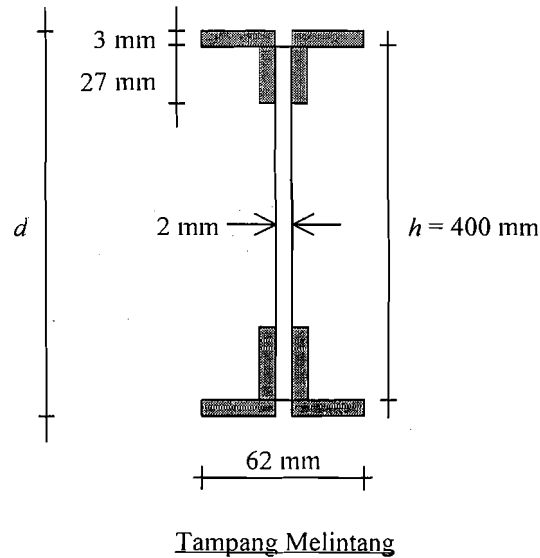
GRAFIK HUBUNGAN RASIO M_{cr}/M_y DENGAN RASIO L/ry

Hubungan Perbandingan Rasio M_{cr}/M_y dengan L/ry

Benda Uji	Beban max (kN)	Lb (mm)	Fy (kN/mm ²)	Sx (mm ³)	ry	M_{cr} (kNmm)	M_y (kNmm)	M_{cr}/M_y	L/ry
Benda Uji 1 Lb = 1000	24	1000	0.24	180162	9	9000	3.58E+08	2.51E-05	111,111
Benda Uji 2 Lb = 1000	29	1000	0.24	180162	9	10875	3.58E+08	3.04E-05	111,111
Benda Uji 3 Lb = 1500	18	1500	0.24	180162	9	6750	2.39E+08	2.82E-05	166,667
Benda Uji 4 Lb = 1500	14	1500	0.24	180162	9	5250	2.39E+08	2.2E-05	166,667



PERHITUNGAN MOMEN KRITIS



$$x = \frac{4.(30.3.31) + 2.(8.27.31) + (2.346.31)}{4.(30.3) + 2.(8.27) + (2.346)} = 31mm$$

$$y = \frac{2.(30.3.1,5) + (8.27.16,5) + (2.346.203) + (8.27.389,5) + (2.303.404,5)}{4.(30.3) + 2.(8.27) + (2.346)} = 203mm$$

$$I_x = \frac{1}{12} Bh^3 + Aa^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} 4.(30.3^3) + 4.(30.3.201,5^2) + \frac{1}{12} 2.(8.27^3) + 2.(8.27.186,5^2) + \frac{1}{12} (2.346^3)$$

$$= 36572878,67 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} B^3h + Aa^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} 4.(30^3.3) + 4.(30.3.16^2) + \frac{1}{12} 2(8^3.27) + \frac{1}{12} (2^3.346) = 121694,67mm^4$$

$$A = (4.30.3) + (2.8.27) + (2.346) = 1484 \text{ mm}^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{121694,67}{1484}} = 9,05 \approx 9$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{36572878,67}{1484}} = 156,99 \approx 157$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \Rightarrow \mu = 0,3$$

$$G = \frac{200000}{2(1 + 0,3)} = 76923,08$$

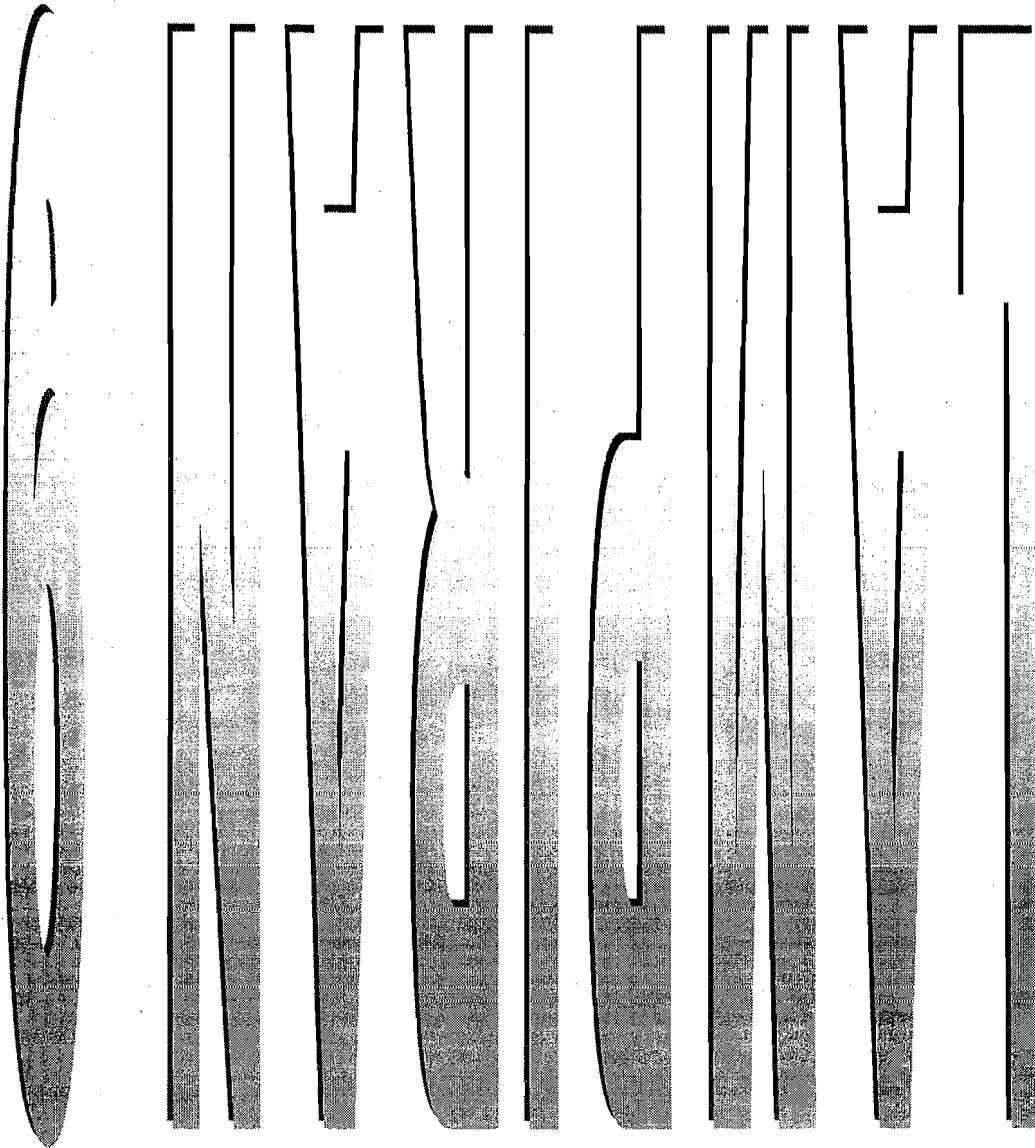
$$j = \frac{1}{3}bt^3$$

$$j = \frac{1}{3}[(4 \cdot 30 \cdot 3^3) + (2 \cdot 8 \cdot 27^3) + (2 \cdot 346^3)] = 27720546,67 \text{ mm}^4$$

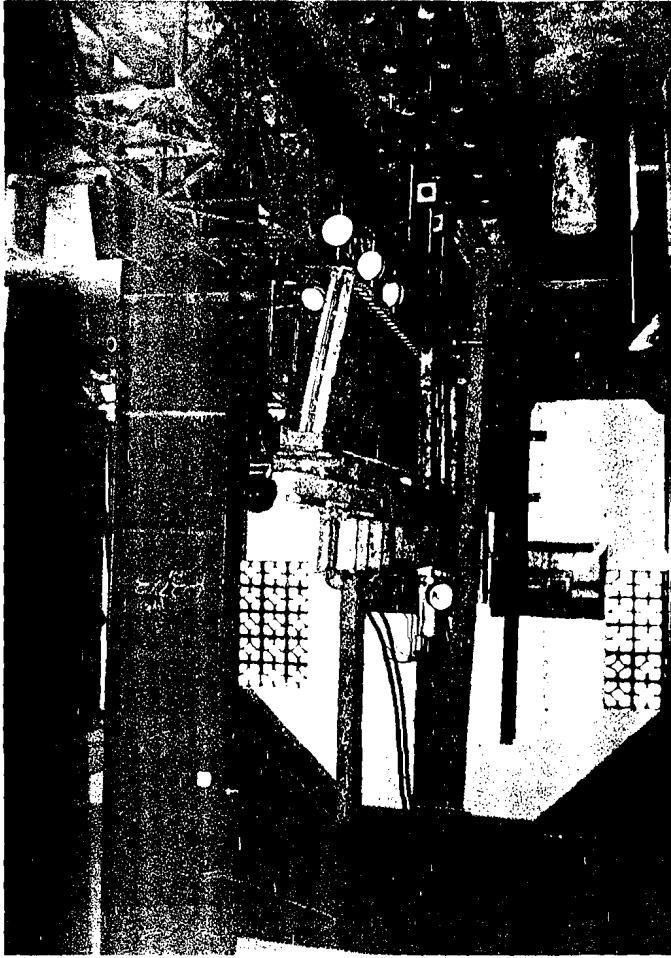
$$C_w = \frac{I_y h^2}{4}$$

$$C_w = \frac{121694,67 \cdot 400^2}{4} = 4867786800 \text{ mm}^4$$

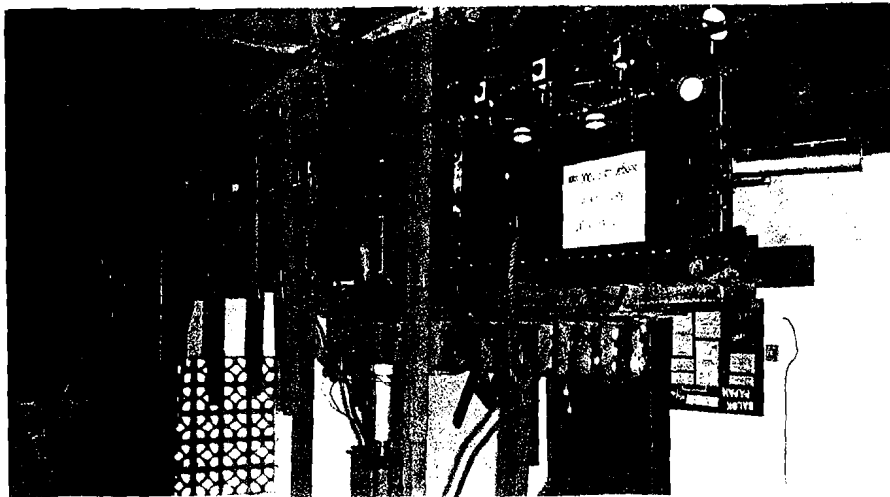
$$\text{untuk Kantilever } M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{2L} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EC_w}{4GJL^2}}$$



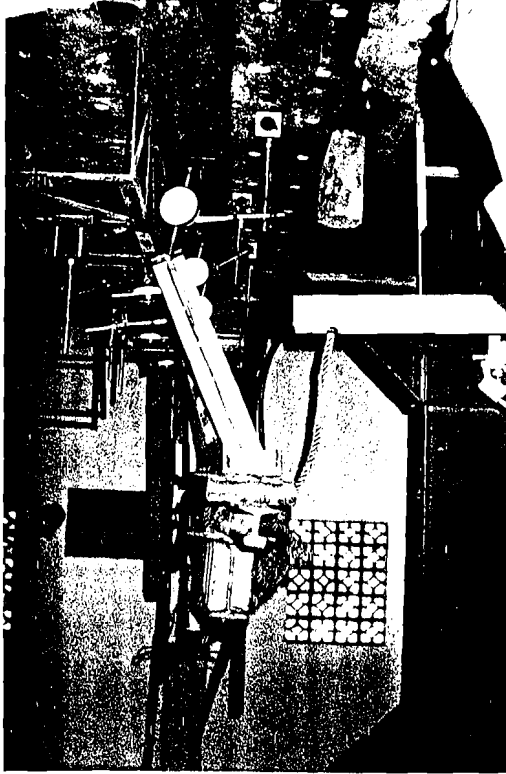
UJI LENTUR BENDA UJI



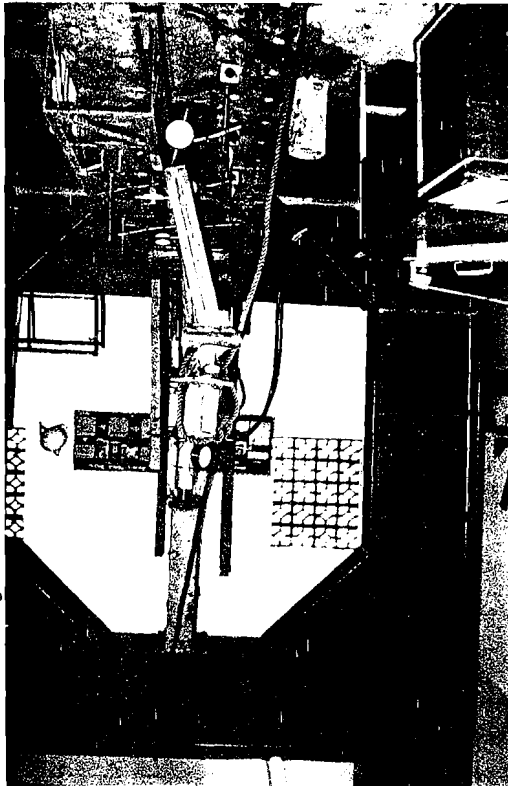
BENDA UJI SEBELUM DILAKUKAN PENGUJIAN



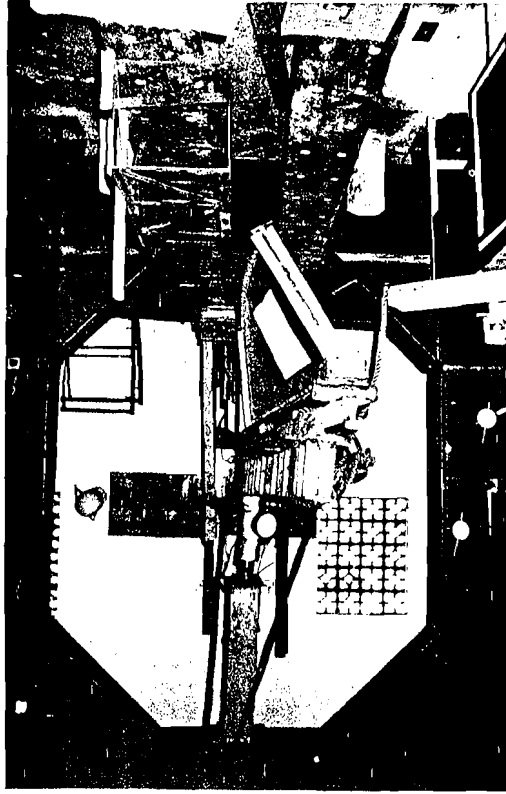
UJI LENTUR BENDA UJI



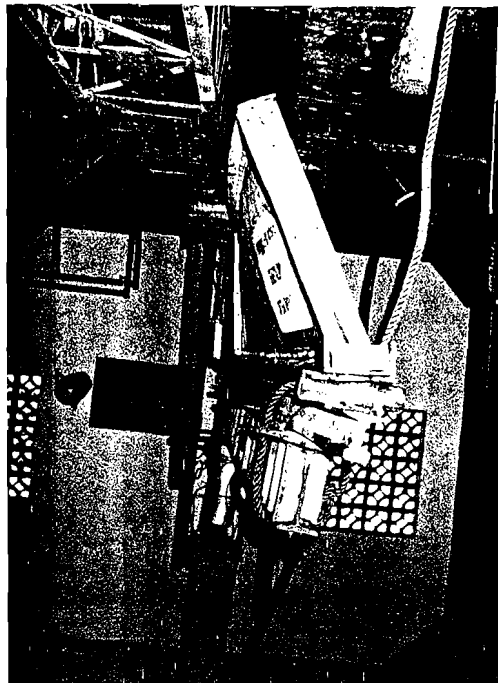
UJOI LENTUR BENDA UJI



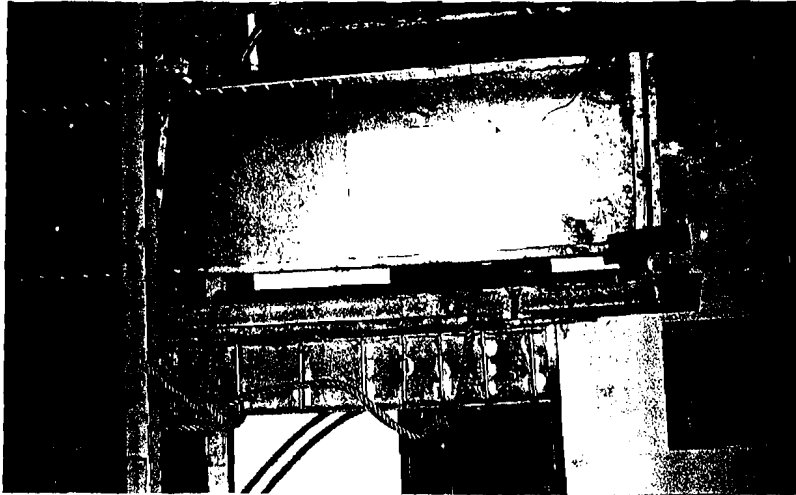
UJI LENTUR BENDA UJI (DIAL DILEPAS)



UJI LENTUR BENDA UJI (DIAL DILEPAS)



BENDA UJI SETELAH DILAKUKAN PENGUJIAN



UJI LENTUR BENDA UJI (DIAL DILEPAS)

