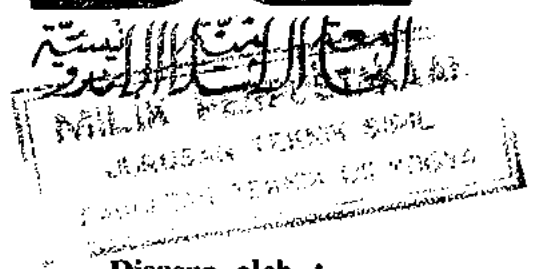
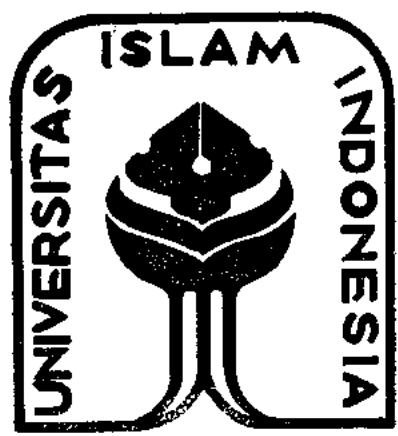


UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
NO. 1001  
KELAS : 050/KITA/95  
NO. 050050

DE **TUGAS AKHIR**  
**ANALISA DAN DISAIN KAPASITAS BALOK T**  
**DENGAN METODE ELASTIS DAN KEKUATAN BATAS**



Disusun oleh :

No  
No

**ALWA GUSLIM**  
No. Mhs. : 88310033  
NIRM : 885014330031

**ARIEF MAHARTO**  
No. Mhs. : 88310127  
NIRM : 885014330115

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

1995

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan taufiq dan hidayahNya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan jenjang strata-1 pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir yang kami buat ini belumlah sempurna dalam arti masih adanya kekurangan - kekurangan dikarenakan kemampuan penyusun yang sangat terbatas . Untuk itu kami tidak menutup kemungkinan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca.

Selama penyelesaian Tugas Akhir ini kami banyak mendapat bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. Tadjudin BMA, MS, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta.

4. Bapak Ir. M.Samsudin, selaku Dosen pembimbing I.
5. Bapak Ir. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen pembimbing II.
6. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT menerima dan membalas amal baik mereka , pun demikian Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua yang memerlukan.

Jazaakumullaah khairan 'katsiira,

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

# DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Umum.....	1
1.2. Latar Belakang.....	1
1.3. Kajian Pustaka.....	4
1.3.1. Metode Elastis.....	4
1.3.2. Metode Kekuatan Batas.....	6
1.3.3. Analisa Perhitungan Nilai Penyetaraan.....	8
1.4. Analisa dan Disain Tampang T.....	8
1.4.1. Analisa Tampang T.....	8
1.4.2. Disain Balok T.....	9
1.5. Rumusan Masalah.....	10
1.6. Tujuan Penulisan.....	10
1.7. Manfaat / Faedah.....	10
1.8. Batasan Masalah.....	11

BAB II	STUDI PUSTAKA.....	12
2.1.	Lebar Manfaat Dari Flens.....	12
2.2.	Metode Elastis.....	14
2.2.1.	Faktor Yang Mempengaruhi Keamanan Struktur.....	14
2.3.	Metode Kekuatan Batas.....	20
2.3.1.	Faktor Yang Mempengaruhi Keamanan Struktur.....	20
BAB III	ANALISA DAN DISAIN BALOK T.....	23
3.1.	Analisa Tampang.....	23
3.1.1.	Tinjauan Metode Elastis.....	23
3.1.2.	Tinjauan Metode Kekuatan Batas.....	25
3.2.	Disain Balok T.....	29
3.2.1.	Disain Metode Elastis.....	29
3.2.2.	Disain Metode Kekuatan Batas.....	31
BAB IV	PEMBAHASAN.....	34
4.1.	Perhitungan Analisis Kapasitas Tampang.....	35
4.1.1.	Analisis Dengan Metode Elastis.....	35
4.1.2.	Analisis Dengan Metode Kekuatan Batas.....	37
4.2.	Disain Balok T.....	47
4.2.1.	Disain Metode Elastis.....	47
4.2.2.	Disain Metode Kekuatan Batas.....	58
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1. Lebar manfaat flens balok T.....	12
Gambar 3.1. Penampang beton desak di badan diabaikan.....	23
Gambar 3.2. Penampang beton desak di badan diperhitungkan.....	24
Gambar 3.3. Penampang balok T garis netral jatuh di flens.....	25
Gambar 3.4. Penampang balok T garis netral jatuh di badan.....	27
Gambar 4.1. Balok A-B memikul plat lantai pada kedua sisinya.....	34
Gambar 4.2. Sketsa perencanaan balok T metode elastis.....	52
Gambar 4.3. Sketsa perencanaan balok T metode kekuatan batas.....	61

## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN I. PERHITUNGAN MEKANIKA
- LAMPIRAN II. LISTING PROGRAM BALOK T METODE ELASTIS
- LAMPIRAN III. LISTING PROGRAM BALOK T METODE KEKUATAN BATAS

## BAB I PENDAHULUAN

### 1. Umum

Syarat mutlak guna mendapatkan keuntungan dalam memakai suatu metode, yaitu bahwa metode tersebut lebih efisien dibanding metode lainnya. Demikian juga dalam merencanakan struktur balok T, perlu dicari/dipakai metode seefisien mungkin.

Metode yang umum digunakan dalam struktur bangunan di Indonesia adalah metode elastis dan kekuatan batas. Kedua metode tersebut tercantum di dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 dan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03). PBI 1971 lebih menyarankan metode elastis, sedangkan SK SNI 1991 justru sebaliknya yaitu metode kekuatan batas, sedangkan metode elastis merupakan metode alternatif.

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari kedua metode dalam merencanakan balok T diadakan analisa kapasitas tampang, guna mendapatkan momen perencanaan yang mampu didukungnya, kemudian dianalisis momen riil yang bekerja. Dari momen riil yang bekerja didapat nilai banding dari metode kekuatan batas ke elastis, yaitu dengan membagi riil kekuatan batas terhadap riil elastis. Nilai banding ini dipakai untuk menyetarakan nilai momen perencanaan metode kekuatan batas terhadap metode elastis. Setelah nilai momen kekuatan batas disetarakan terhadap elastis, maka penentuan efisiensi dapat ditentukan.



### 1.1. Latar Belakang

Pembaharuan merupakan hal yang penting dan tidak dapat dihindari dalam pembangunan. Demikian pula dalam ilmu pengetahuan, tuntutan untuk mengadakan pembaharuan nampaknya tidak dapat dihindari lagi, bahkan menjadi konsekuensi dari kemajuan pembangunan.

Demikian pula yang terjadi pada peraturan struktur bangunan di Indonesia, khususnya struktur beton, terakhir yakni dari Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 menjadi Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03). Pembaharuan ini mempunyai maksud dan tujuan sebagai acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam melaksanakan pekerjaan struktur beton yang lebih memenuhi syarat, guna mendapatkan hasil pekerjaan struktur beton yang aman dan ekonomis. Pada pembaharuan ini, ketentuan-ketentuan untuk kekuatan bahan dipakai semaksimal mungkin. Dan dipakainya faktor beban dan reduksi keamanan pada pemakaian bahan.

Secara konsepsi, pembaharuan-pembaharuan ini lebih realistis dalam memperhitungkan keamanan struktur dan efisiensi (ekonomis) dalam perencanaan struktur beton, sehingga dapat dikatakan pembaharuan ini benar-benar upaya dalam meningkatkan kesejahteraan manusia.

Secara garis besar SNI 1971 memuat beberapa hal yang penting antara lain sebagai berikut :

1. Didalam perhitungan dengan menggunakan metode elastis atau metode tegangan kerja, yaitu suatu komponen struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga tegangan yang diakibatkan oleh aksi dari beban layan (beban kerja) dan yang dihitung secara mekanika dari unsur-unsur yang elastis, tidak melampaui suatu nilai ijin yang ditetapkan terlebih dahulu. Tegangan ijin yang ditetapkan jauh lebih kecil dari tegangan leleh bahan, dan perbandingan tegangan terhadap regangan masih dianggap linier.
2. Memperkenalkan perhitungan dengan metode kekuatan batas, yang meskipun belum merupakan keharusan untuk dipakai hanya sebagai metode alternatif saja.
3. Memperkenalkan dasar-dasar perhitungan bangunan tahan gempa.

Sedangkan pada SNI T-15-1991-03 memberikan ketentuan baru, antara lain yang terpenting adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan perencanaan lebih diutamakan serta lebih diarahkan untuk menggunakan metode kekuatan batas, sedangkan cara elastis masih tetap dicantumkan sebagai alternatif.
2. Konsep hitungan keamanan dan beban yang lebih realistis dihubungkan dengan tingkat daktilitas struktur.
3. Menggunakan satuan SI dan notasi yang disesuaikan dengan yang dipakai dikalangan internasional.

4. Ketentuan-ketentuan detail penulangan yang lebih rinci dan mendalam untuk beberapa komponen struktur.

Sudah barang tentu, pembaharuan-pembaharuan teknologi dan perilaku struktur beton tidak berhenti pada SK-SNI 1991 saja, akan tetapi terus berkembang sesuai dengan perkembangan jaman. Standar dan peraturan yang mengatur tata cara perencanaan juga menyesuaikan yang terbaru.

Dalam perhitungan metode elastis atau metode tegangan kerja digunakan nilai "n" yang nilainya tergantung dari mutu bahan dan menitik beratkan pada kondisi beban kerja. Sedangkan perhitungan dengan metode kekuatan batas memungkinkan pemilihan faktor beban yang lebih rasional dan memanfaatkan kekuatan yang tersedia (reserver of strength) yang diakibatkan oleh distribusi tegangan yang lebih efisien karena adanya regangan inelastis.

Balok T adalah balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan plat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa antara plat dengan balok-balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi antara plat dan balok-balok yang menjadi satu kesatuan pada penampangnya membentuk huruf T tipikal, dan oleh karena itulah balok-balok tersebut dinamakan sebagai balok T. [6]

## 1.2. Kajian Pustaka

### 1.2.1. Metode elastis

Metode elastis merupakan metode yang menganggap bahwa

tegangan leleh (pada baja) di dalam konstruksi merupakan keadaan yang sangat berbahaya (suatu keruntuhan), kemudian ditetapkan tegangan-tegangan tertentu yang tidak boleh dilampaui dalam konstruksi yaitu tegangan-tegangan ijin. Tegangan ijin ini diambil cukup rendah, jauh di bawah tegangan leleh, dan diperoleh dengan membagi nilai tegangan leleh dengan koefisien keamanan.

Pada metode ini beton dianggap bahan elastis sempurna, maka pada perhitungan-perhitungan berlaku prinsip :

1. Prinsip Bernoulli, bidang rata tetap rata, setelah mengalami lentur dan tetap tegak lurus pada sumbu bagian konstruksi,
2. Prinsip Navier, regangan-regangan suatu pemampang berbanding lurus dengan jarak ke garis netral.

Hubungan antara tegangan desak beton dan regangan desak adalah linier dan ditentukan oleh modulus elastis sekan beton ( $E_c$ ). [4]

Faktor-faktor yang mempengaruhi keamanan struktur dalam metode elastis diuraikan lebih lanjut berikut ini .

#### 1). Koefisien Keamanan

Koefisien adalah suatu nilai yang dipakai untuk merubah nilai tegangan leleh menjadi tegangan ijin sebagai batasan tegangan dalam perencanaan. Nilai tegangan ijin ini selalu lebih kecil dari nilai tegangan leleh, sehingga koefisien ini berfungsi sebagai pemberi keamanan pada perencanaan struktur.

## 2). Tegangan ijin

Tegangan ijin adalah tegangan yang menjadikan tegangan yang tidak boleh terlampaui dalam menentukan tegangan perencanaan. Tegangan ijin ini didapat dari nilai tegangan leleh bahan dibagi dengan nilai koefisien keamanan.

## 3). Nilai "n" (angka ekivalensi)

Nilai "n" adalah nilai banding modulus baja dengan modulus beton. Perbandingan ini dapat mewakili nilai tegangan baja dalam mendukung beban terhadap tegangan lentur ijin beton.[4]

### 1.2.2. Metode Kekuatan Batas

Metode kekuatan batas pada dasarnya mirip dengan yang digunakan metode elastis. Perbedaannya terletak pada kenyataan yang didapat dari berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tekan beton kira-kira sebanding dengan regangannya hanya sampai pada tingkat pembebanan tertentu. Pada tingkat pembebanan ini, apabila beban ditambah terus, tegangan tekan beton tidak lagi sebanding dengan regangannya berarti distribusi tegangan tekan tidak lagi linier. Bentuk blok tegangan beton tekan pada penampangnya berupa garis lengkung dimulai dari garis netral dan berakhir pada serat tepi terluar. Apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui ( $\epsilon'_b$  maks) mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai luluh  $f_y$ , balok mengalami hancur.[6]

Faktor-faktor yang mempengaruhi keamanan struktur, adalah sebagai berikut ini :

### 1). Faktor beban ( $\tau$ )

Faktor beban adalah faktor yang dipakai untuk menaikkan beban yang diperkirakan bekerja (beban perencanaan), agar mencapai beban runtuh yang menyebabkan struktur diambang keruntuhan. Dengan dipakainya faktor beban, berarti struktur direncanakan mampu menahan beban-beban dalam keadaan kritis sehingga struktur dapat menyediakan keamanan yang cukup tinggi.

### 2). Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ )

Macam-macam faktor reduksi kekuatan :

1. lentur, dengan atau tanpa tarik aksial
2. Tarik aksial
3. Geser dan puntir
4. dll

Pemakaian faktor reduksi kekuatan dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, pengerjaan, ketidak tepatan ukuran, pengendalian dan pengawasan pelaksanaan, yang sekalipun masing-masing faktor mungkin masih dalam toleransi persyaratan tetapi kombinasinya memberikan kapasitas yang lebih rendah. Dengan demikian, apabila faktor  $\phi$  dikalikan dengan kekuatan ideal teoretik berarti sudah termasuk memperhitungkan tingkat daktilitas, kepentingan, serta tingkat ketepatan ukuran suatu komponen struktur sedemikian sehingga kekuatannya dapat ditentukan. [6]

### 1.2.3. Analisa perhitungan nilai penyetaraan

Tingkat efisiensi perencanaan balok T antara metode elastis dan metode kekuatan batas, tidak dapat langsung diketahui hanya dengan membandingkan antara nilai momen rencana yang didapat dari analisa kapasitas tampang. Hal ini disebabkan karena pada perencanaan metode elastis, tegangan ijin beton yang digunakan sebesar  $0,33 \sigma'_{bk}$  tanpa faktor beban, sedangkan pada perencanaan kekuatan batas tegangan yang digunakan adalah  $f'c = 0,83 \sigma'_{bk}$  dengan faktor beban.

Tegangan ijin baja pada perencanaan metode elastis digunakan sebesar  $0,58 \sigma_{au}$  sedangkan metode kekuatan batas tegangan baja yang digunakan adalah tegangan lelehnya ( $f_y$ ), apabila regangan pada baja tulangan lebih besar regangan luluhnya ( $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ ).

Agar dapat menentukan tingkat efisiensi dari kedua metode tersebut harus dicari dahulu nilai penyetaraannya, baru dibandingkan diantara keduanya.

Nilai penyetaraan ( $\ddot{e}$ ) dapat dicari sebagai berikut :

$$\ddot{e} = \frac{M(\text{kekuatan batas})}{M(\text{elastis})}$$

## 1.3. Analisa dan Disain Tampang T.

### 1.3.1. Analisa tampang T

Kekuatan suatu balok terhadap beban dan momen riil yang dapat didukungnya dapat diketahui dengan menganalisa ulang kapasitas tampang balok tersebut.

Dalam tugas akhir ini, analisa tampang akan ditinjau pada keadaan seimbang (balanced).

Pada perencanaan elastis, keadaan seimbang tercapai bila secara bersamaan tegangan desak bagian terluar beton mencapai tegangan ijin beton dan tegangan baja tarik terluar mencapai tegangan ijin baja. [4]

Pada perencanaan kekuatan batas, keadaan ini tercapai bila secara bersamaan regangan desak beton terluar mencapai nilai  $\epsilon_c = 0,003$ , sedangkan regangan tarik baja terluar sama dengan regangan leleh baja ( $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ ). [7]

### 1.3.2. Disain balok T

Dalam merencanakan balok T, pada langkah awal disarankan untuk menentukan apakah balok tersebut berperilaku sebagai balok T persegi (daerah desak sepenuhnya di *flens*) atau balok T murni (daerah desak terjadi pada *flens* dan sebagian pada badan). Apabila ditentukan sebagai balok T persegi, maka prosedur perencanaan sama dengan yang dilakukan pada perencanaan balok persegi bertulangan tarik. Sedangkan apabila sebagai balok T murni perencanaan dilakukan dengan cara perkiraan yang kemudian diikuti dengan analisis. Berdasarkan pada bentuknya, umumnya *flens* menyediakan daerah tekan yang lebih dari cukup sehingga blok tegangan tekan seluruhnya terletak didalam daerah *flens*. Sehingga hampir selalu dijumpai bahwa balok T umumnya dianalisa dan direncanakan sebagai balok T persegi. [6]



Perencanaan balok T adalah proses menentukan dimensi tebal dan lebar *flens*, lebar dan tinggi efektif badan balok dan luasan baja tarik. Dalam perencanaan balok T yang mendukung lentur momen positif umumnya sebagian dari kelima bilangan tersebut sudah diketahui terlebih dahulu. [6]

#### 1.4. Rumusan Masalah.

Sejauh mana tingkat efisiensi perencanaan perhitungan balok T dengan memakai metode elastis dan metode kekuatan batas dengan diperoleh menganalisa ulang kapasitas tampang balok T yang ditinjau terhadap momen yang mampu didukungnya.

#### 1.5. Tujuan penulisan

Membandingkan antara metode kekuatan batas dengan metode elastis dalam mendukung momen, sehingga dapat diketahui metode yang lebih efisien dalam perencanaan balok T.

#### 1.6. Manfaat/ Faedah

Manfaat dari perbandingan perencanaan balok T dengan memakai metode elastis dan metode kekuatan batas antara lain sebagai berikut :

1. Untuk menentukan metode perencanaan balok T yang lebih efisien, terhadap momen yang dapat didukungnya.
2. Dengan memakai perencanaan balok T yang efisien, berarti dapat memperoleh dimensi balok T yang lebih kecil (beton maupun tulangnya), sehingga lebih ekonomis dalam biaya.

### 1.7. Batasan Masalah

Batasan masalah ini dibuat agar masalah yang akan dibahas lebih terarah. Adapun batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

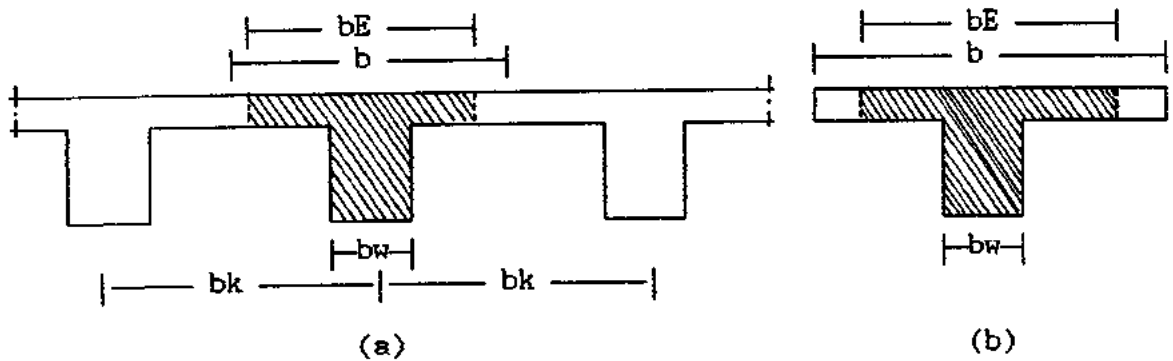
1. Balok yang akan dibahas adalah balok T.
2. Metode elastis adalah metode yang disarankan menurut FBI 1971, sedangkan metode kekuatan batas adalah metode yang disarankan menurut SK-SNI 1991.
3. Yang dimaksud dengan tingkat efisiensi adalah tingkat kemampuan dari balok T terhadap momen yang dapat didukungnya.
4. Tinjauan dilakukan dengan menganalisa ulang terhadap kapasitas tampang balok T bertulangan tarik terhadap lentur, dengan panjang bentang dan luas tulangan bervariasi.
5. Tinjauan terhadap tegangan lentur tanpa geser.

**BAB II**  
**STUDI PUSTAKA**

**2.1. Lebar manfaat dari flens**

2.1.1. Menurut PBI 1971 lebar manfaat flens ( $b_E$ ) dari balok tampang T, diperoleh sebagai berikut :

Pada balok tampang T yang terletak bebas atas 2 tumpuan yang menerus yang mengalami momen akibat beban terbagi rata, beban segitiga, trapesium, parabola serta yang mengalami momen tetap, lebar manfaat flens nya  $b_E$  paling besar harus diambil nilai terkecil dari nilai-nilai  $b_E$  menurut rumus-rumus berikut :



Gambar 2.1. Lebar manfaat flens balok T, (a) balok T majemuk  
(b) balok T tunggal.

1.  $b_E \leq b_w + \frac{l_o}{5}$  .....(2.1a)
2.  $b_E \leq b_w + \frac{l_o}{10} + \frac{b_k}{2}$  .....(2.1b)
3.  $b_E \leq b$  .....(2.1c)

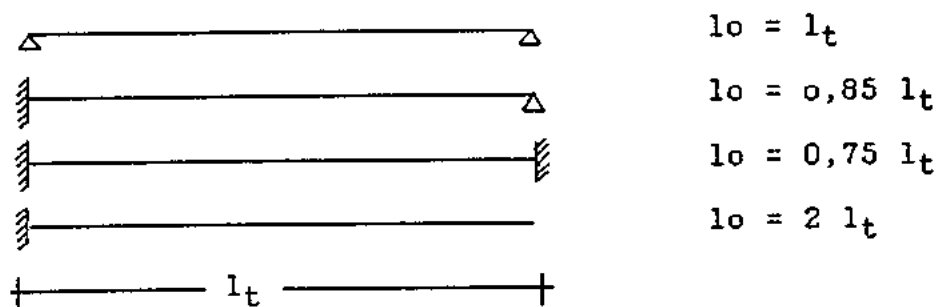
dengan :

$b_w$  = lebar badan

$b$  = jarak antara tengah-tengah lapangan sebelah kiri dari badan dan tengah-tengah lapangan sebelah kanan dari badan pada balok T majemuk atau lebar seluruh *flens* pada balok tunggal.

$b_k$  = jarak terkecil antara tengah-tengah badan pada lapangan kiri dan lapangan kanan yang berbeda.

$l_o$  = bentang balok, diambil sebesar :



2.1.2. Standar SK-SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10 memberikan pembatasan lebar *flens efektif* balok T sebagai berikut :

1). lebar *flens efektif* yang diperhitungkan tidak lebih dari seperempat panjang bentang balok, sedangkan lebar efektif bagian plat yang menonjol di kedua sisi dari balok tidak lebih dari delapan kali tebal plat, dan juga tidak lebih besar dari separoh jarak bersih dengan balok disebelahnya. Atau dengan kata lain, lebar *flens efektif* yang diperhitungkan tidak lebih besar dan di ambil nilai terkecil dari nilai-nilai berikut :

- a. seperempat panjang bentang balok
- b.  $b_w + 16hf$
- c. jarak dari pusat ke pusat antar balok.

- 2). Untuk balok yang hanya mempunyai *flens* pada satu sisi, lebar bagian plat yang menonjol yang diperhitungkan tidak lebih besar dari seperduabelas panjang bentangan balok, atau  $\frac{1}{2}$  jarak bersih dengan balok di sebelahnya.
- 3). Untuk balok yang khusus dibentuk sebagai balok T dengan maksud untuk mendapatkan tambahan luasan daerah tekan, ketebalan *flens* tidak boleh lebih besar dari separuh lebar balok, dan lebar *flens* total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebar balok.

## 2.2 Metode Elastis

### 2.2.1. Faktor yang mempengaruhi keamanan struktur

Keamanan struktur pada metode elastis ditentukan berdasarkan hal-hal sebagai berikut :

- A. Tegangan ijin.
- B. Koefisien keamanan.
- C. Angka ekivalensi adalah perbandingan modulus baja terhadap modulus beton (nilai "n")

#### A. Tegangan ijin

Tegangan ijin adalah tegangan yang tidak boleh dilampaui oleh tegangan-tegangan perencanaan. Tegangan ijin ini diperoleh dari :

$$\text{Tegangan ijin} = \frac{\text{kekuatan bahan}}{\tau_p \cdot \tau_n \cdot \tau_s} \dots\dots\dots(2.2)$$

Kekuatan bahan beton diperoleh dari kuat desak karakteristik ( $\sigma_{bk}$ ), sedangkan kekuatan baja tulangan digunakan tegangan leleh karakteristik ( $\sigma_{au}$ ) atau tegangan karakteristik yang memberikan regangan tetap sebesar 0,2 % ( $\sigma_{0,2}$ ). Tegangan-tegangan baja yang diijinkan dan tegangan-tegangan beton yang diijinkan diambil pada PBI 1971, tabel 10.4.1, halaman 103 dan tabel 10.4.2, halaman 105.

Tabel 2.1

Tegangan baja yang diijinkan.

Mutu Baja	Tegangan tarik/tekan yang diijinkan $\sigma_a = \sigma'_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Pada pembebanan tetap	Pada pembebanan sementara
U 22	1.250	1.800
U 24	1.400	2.000
U 32	1.850	2.650
U 39	2.250	3.200
U 48	2.750	4.000
Umum	0,58 $\sigma_{au}$	0,83 $\sigma_{au}$
	0,58 $\sigma_{0,2}$	0,83 $\sigma_{0,2}$

Tabel 2.2

Tegangan-tegangan beton yang diijinkan untuk  $\phi = 1$ 

Mutu	Notasi	Tegangan yang diijinkan (kg/cm <sup>2</sup> )										
		Pada pembebanan tetap					Pada pembebanan sementara					
		B <sub>1</sub> 100	K 125 125	K 175 175	K 225 225	Umum $\sigma'_{bk}$	B <sub>1</sub> 100	K 125 125	K 175 175	K 225 225	Umum $\sigma'_{bk}$	
Kekuatan tekan beton karakteristik	$\sigma'_{bk}$											
Lentur tanpa dan/atau dengan gaya normal:	$\sigma'_b$	tekan	35	40	60	75	$0,33 \sigma'_{bk}$	55	70	100	125	$0,56 \sigma'_{bk}$
		tarik	5	5,5	6,5	7	$0,48 \sqrt{\sigma'_{bk}}$	7	7,5	9	10	$0,63 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Gaya aksial :	$\sigma'_{bs}$	tekan	35	40	60	75	$0,33 \sigma'_{bk}$	55	70	100	125	$0,56 \sigma'_{bk}$
		tarik	4	4	5	5,5	$0,36 \sqrt{\sigma'_{bk}}$	5	5,5	6,5	7,5	$0,51 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser oleh lentur atau puntir: tanpa tulangan geser dengan tulangan geser	$\bar{F}_b$ $\bar{F}_{bm}$		4,5	5	5,5	6,5	$0,43 \sigma'_{bk}$	7	7,5	9	10	$0,68 \sigma'_{bk}$
			11	12	14	16	$1,08 \sqrt{\sigma'_{bk}}$	17	19	22	25	$1,70 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser oleh lentur dengan puntir: tanpa tulangan geser dengan tulangan geser	$\bar{F}_b$ $\bar{F}_{bm}$		5,5	6	7	8	$0,54 \sigma'_{bk}$	8,5	9,5	11	13	$0,85 \sigma'_{bk}$
			14	15	18	20	$1,35 \sqrt{\sigma'_{bk}}$	21	24	28	32	$2,12 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser pons pada penampang kritis :	$\bar{F}_{bp}$ $\bar{F}_{bpm}$		6,5	7,5	8,5	10	$0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}}$	10	11	13	15	$1,02 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
			13	15	17	20	$1,30 \sqrt{\sigma'_{bk}}$	20	22	26	30	$2,04 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

Untuk  $\phi \neq 1$  nilai-nilai tegangan yang diijinkan menurut tabel di atas harus dikalikan dengan  $\phi$  yang sesuai.

## B. Koefisien keamanan

Koefisien keamanan adalah suatu nilai yang dipakai untuk mendapatkan tegangan-tegangan ijin dalam perencanaan, bermaksud memberikan nilai keamanan pada perencanaan.

Menurut FBI 1971 koefisien keamanan ini harus diperhitungkan terhadap hal-hal sebagai berikut :

- a. koefisien pemakaian ( $\tau_p$ ),
- b. koefisien bahan ( $\tau_m$ ),
- c. koefisien beban ( $\tau_s$ ).

**a. Koefisien pemakaian ( $\tau_p$ )**

Koefisien pemakaian digunakan untuk memperhitungkan kemunduran kekuatan bahan akibat pemakaian konstruksi, baik terhadap beton maupun baja tulangan.

1. Untuk beton, koefisien pemakaian  $\tau_{pb}$  harus diambil menurut ketentuan PBI 1971 tabel 10.1.1, halaman 98.

Tabel 2.3

Koefisien pemakaian untuk beton

	Pada pembebanan tetap $\tau_{pb,t}$	Pada pembebanan sementara $\tau_{pb,s}$
Lentur tanpa/dengan gaya normal: tegangan tekan tegangan tarik	1,2 1,0	1,0 1,0
Gaya aksial : tegangan tekan tegangan tarik	1,2 1,0	1,0 1,0
Lentur /puntir : tegangan geser	1,1	1,0
Pons : tegangan geser	1,1	1,0

2. Untuk baja tulangan, koefisien pemakaian  $\tau_{pa}$  dapat diambil = 1,0.

**b. Koefisien bahan ( $\tau_m$ )**

Koefisien bahan digunakan untuk memperhitungkan kekuatan bahan akibat penyimpangan-penyimpangan dalam pelaksanaan.



1. Untuk beton

$$\tau_{mb} = \frac{1,4}{\phi} \dots \dots \dots (2.3)$$

nilai  $\phi$  tergantung dari cara pembuatan dan pengecoran beton, diambil sesuai dengan ketentuan PBI 1971, tabel 10.1.2, halaman 99.

Tabel 2.4

Koefisien  $\phi$

Uraian	$\phi$
1. Untuk beton yang dibuat di pabrik dengan pengawasan yang baik, dicor dalam lapis-lapis horisontal atau dengan kemiringan maks. 30° . . . . .	1,08
2. Untuk beton yang dibuat di tempat pekerjaan, dengan pengawasan normal, dicor dalam lapis-lapis horisontal atau dengan kemiringan maks. 30°, atau untuk beton yang dibuat di pabrik, dicor dalam lapis-lapis vertikal atau dengan kemiringan lebih dari 30° . . . . .	1,00
3. Untuk beton yang dibuat di tempat pekerjaan, dengan pengawasan normal, dicor dalam lapis-lapis vertikal atau dengan kemiringan lebih dari 30° . . . . .	0,93
4. Untuk beton yang dibuat di tempat pekerjaan, dengan pengawasan kurang, dicor dalam lapis-lapis horisontal atau dengan kemiringan maks. 30° . . . . .	0,90
5. Untuk beton yang dibuat di tempat pekerjaan, dengan pengawasan kurang, dicor dalam lapis-lapis vertikal atau dengan kemiringan lebih dari 30° . . . . .	0,87

2. Untuk baja, koefisien bahan harus diambil sebesar :

$$\tau_{ma} = 1,15 \dots \dots \dots (2.4)$$

c. Koefisien beban ( $\tau_s$ ).

Koefisien beban digunakan untuk memperhitungkan kemungkinan-kemungkinan pengaruh beban kerja yang meningkat sampai beban batas yang menyebabkan keruntuhan konstruksi.

Menurut PBI 1971 koefisien beban  $\tau_s$  ditetapkan sebagai berikut:

a. untuk beban tetap :  $\tau_{st} = 1,5 \dots\dots\dots(2.5a)$

b. untuk beban sementara :  $\tau_{ss} = 1,05 \dots\dots\dots(2.5b)$

**C. Angka ekivalensi (nilai "n").**

Menurut PBI 1971 pada keadaan elastis dianggap terdapat hubungan antara tegangan tekan beton dan regangan tekan beton, hubungan ini ditentukan oleh modulus sekan beton  $E_b$ . Dalam segala hal, modulus sekan beton tidak boleh diambil kurang dari pada menurut rumus-rumus berikut :

- untuk pembebanan tetap :

$$E_b = 6400 \sqrt{\sigma'_{bk}} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.5a)$$

- untuk pembebanan sementara :

$$E_b = 9600 \sqrt{\sigma'_{bk}} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.5b)$$

Besaran "n" disebut angka ekivalensi dan ditentukan oleh rumus :

$$n = \frac{E_a}{E_b} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan :  $E_a = \text{Modulus elastisitas baja} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

$E_b = \text{Modulus sekan beton.}$

1. Untuk pembebanan tetap :

$$n = \frac{330}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \dots\dots\dots(2.6a)$$

2. Untuk pembebanan sementara :

$$n = \frac{220}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \dots\dots\dots(2.6b)$$

Angka ekivalensi maksimum diambil menurut PBI 1971, Tabel 11.1.1, halaman 132.

Tabel 2.5

Angka ekivalensi maksimum n

Mutu beton	$\sigma'_{bk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Angka ekivalensi maksimum n	
		Pada pembebanan tetap	Pada pembebanan sementara
B 1	100	33	22
K125	125	30	20
K175	175	24	16
K225	225	21	14
Umum	$\sigma'_{bk}$	330	220
		$\sqrt{\sigma'_{bk}}$	$\sqrt{\sigma'_{bk}}$

### 2.3. Metode Kekuatan Batas

#### 2.3.1. Faktor yang mempengaruhi keamanan struktur

SK-SNI T-15-1991-03 menetapkan untuk provisi keamanan sebagai berikut :

##### A. Faktor beban ( $\tau$ )

Faktor beban adalah faktor yang dipakai untuk menaikkan beban-beban yang diperkirakan bekerja dalam perencanaan, agar mencapai beban runtuh yang menyebabkan struktur diambang keruntuhan. Dengan dipakainya faktor beban, berarti struktur direncanakan mampu menahan beban-beban dalam keadaan kritis, sehingga struktur dapat menyediakan keamanan yang cukup tinggi.

Ketidakpastian besar beban mati pada struktur lebih kecil dari pada ketidakpastian beban hidup, mengakibatkan perbedaan dari nilai faktor-faktor beban . Adapun nilai faktor beban ( $\tau$ ) menurut SK-SNI T-15-1991-03, ditentukan sebagai berikut :

untuk beban mati ( $\tau_D$ ) = 1,2

untuk beban hidup ( $\tau_L$ ) = 1,6

untuk beban angin ( $\tau_W$ ) = 1,6

Penjumlahan dari beban-beban yang telah dikalikan dengan faktor beban, dinamakan kuat perlu, yang menjadi dasar perencanaan kekuatan struktur. Adapun rumus yang diberikan untuk kuat perlu (U) adalah sebagai berikut ini.

- 1). kuat perlu U yang menahan beban mati D dan beban hidup L paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,2D + 1,6L \dots\dots\dots(2.7)$$

- 2). bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D, L, dan W harus dipelajari untuk menentukan nilai U yang terbesar :

$$U = 0,75(1,2D + 1,6L + 1,0W) \dots\dots\dots(2.8)$$

- 3). bila ketahanan struktur terhadap beban gempa (beban E) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai U harus diambil sebagai berikut :

$$U = 1,05 (D + L_R \pm E) \dots\dots\dots(2.9a)$$

atau

$$U = 0,9 (D \pm E) \dots\dots\dots(2.9b)$$

## B. Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ )

Dalam menentukan kuat rencana suatu komponen struktur, maka kuat minimalnya harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai dengan sifat beban seperti berikut :[5].

- 1). lentur, tanpa beban aksial ..... 0,80
- 2). aksial tarik, dan aksial tarik dengan  
lentur ..... 0,80
- 3). aksial tekan, dan aksial tekan dengan  
lentur ..... 0,65
- 4). geser dan torsi ..... 0,60

**BAB III**  
**ANALISA DAN DISAIN BALOK T**

**3.1. ANALISA TAMPANG**

**3.1.1. Tinjauan secara elastis**

Pada balok tampang T terdapat dua kemungkinan kejadian letak garis netral, yaitu :

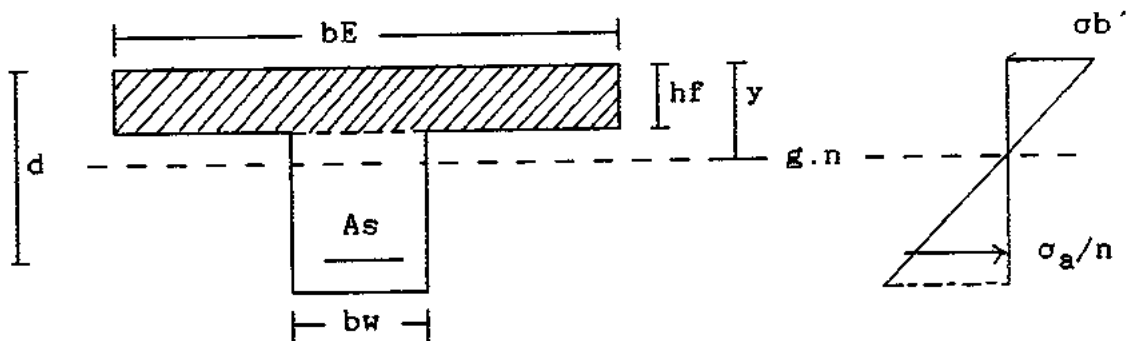
a. garis netral terletak di dalam *flens*

( $y \leq hf$ ) pada keadaan ini, maka analisisnya sama seperti pada balok tampang empat persegi panjang.

b. garis netral terletak di badan ( $y > hf$ ) pada keadaan ini, maka analisa dapat dilakukan dengan dua keadaan, yaitu :

1. beton desak di badan diabaikan.
2. beton desak di badan diperhitungkan.

Keadaan 1.



Gambar 3.1. Penampang beton desak di badan diabaikan.

persamaan garis netral :

$$bE \cdot hf (y - hf/2) = n \cdot As (d - y) \dots\dots\dots(3.1)$$

$$bE \cdot hf \cdot y - \frac{1}{2} bE \cdot hf^2 = n \cdot As \cdot d - n \cdot As \cdot y$$

$$y = \frac{n \cdot As \cdot d + \frac{1}{2} bE \cdot hf^2}{n \cdot As + bE \cdot hf} \dots\dots\dots(3.2)$$

Momen lembam transformasi :

$$I_t = 1/12.bE.hf^3 + bE.hf (y - \frac{1}{2} hf)^2 + n.As.(d - y)^2 \dots\dots\dots(3.3)$$

Tegangan desak beton

$$\sigma_b' = \frac{M \cdot y}{I_t} \dots\dots\dots(3.4)$$

Tegangan tarik baja

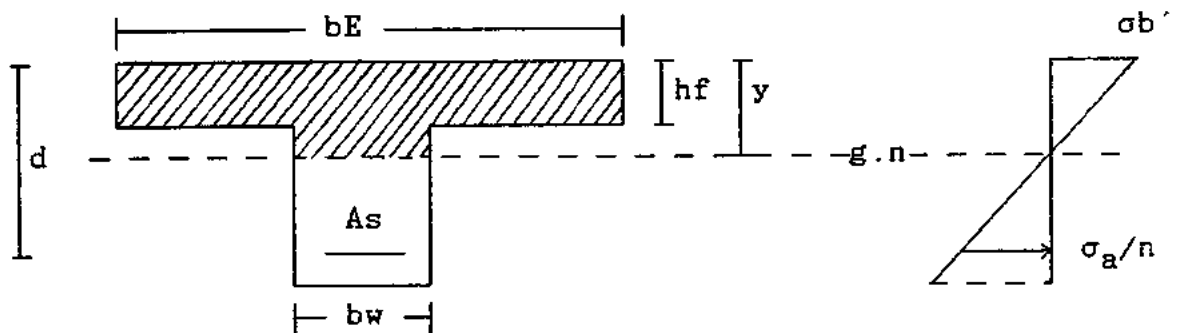
$$\sigma_a = n \cdot \frac{M \cdot (d - y)}{I_t} \dots\dots\dots(3.5)$$

Momen yang dapat didukung oleh balok :

$$M = \frac{\sigma_b' \cdot I_t}{y} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$M = \frac{\sigma_a \cdot I_t}{n \cdot (d - y)} \dots\dots\dots(3.7)$$

Kedadaan 2.



Gambar 3.2. Penampang beton desak di badan diperhitungkan.

Persamaan garis netral :

$$bE.hf(y - \frac{1}{2}.hf) + bw (y - hf) \frac{y - hf}{2} = n.As.(d - y) \dots\dots(3.8)$$

$\frac{1}{2}bw.y^2 + (bE.hf + n.As - bw.hf)y - \{n.As.d + bE.(hf^2/2) - bw(hf^2/2)\} = 0$   
 yang merupakan persamaan kuadrat. Setelah  $y$  diperoleh maka tegangan-tegangannya dapat dihitung.

Momen lembam transformasi :

$$I_t = 1/12 \cdot bE \cdot hf^3 + bE \cdot hf \left( y - \frac{1}{2} hf \right)^2 + 1/3 \cdot bw \cdot (y - hf)^3 + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2 \dots \dots \dots (3.9)$$

Tegangan desak beton

$$\sigma_b' = \frac{M \cdot y}{I_t} \dots \dots \dots (3.10)$$

Tegangan tarik baja

$$\sigma_a = n \cdot \frac{M \cdot (d - y)}{I_t} \dots \dots \dots (3.11)$$

Momen yang dapat didukung oleh balok :

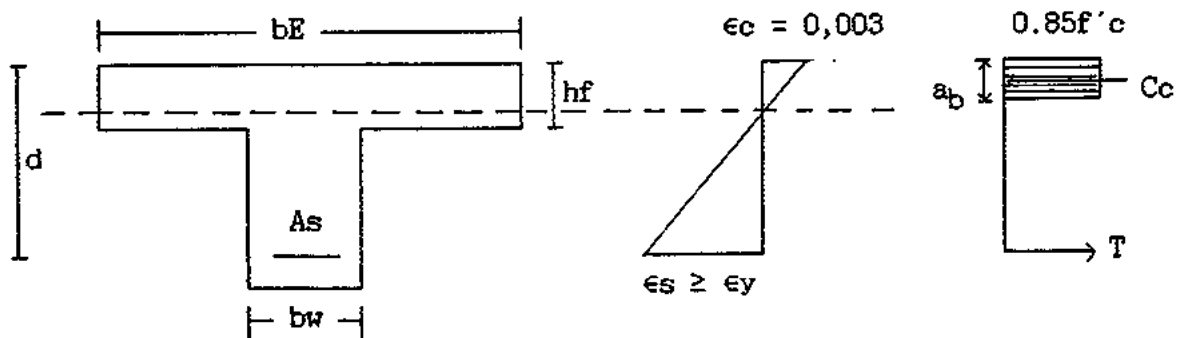
$$M = \frac{\sigma_b' \cdot I_t}{y} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$M = \frac{\sigma_a \cdot I_t}{n(d - y)} \dots \dots \dots (3.13)$$

3.1.2. Tinjauan metode kekuatan batas.

Analisa *balance* balok T

A. Garis netral terletak di *flens*.



Gambar 3.3. Penampang T garis netral di *flens*



Dengan menggunakan anggapan bahwa tulangan tarik baja telah mencapai tegangan luluh( $f_y$ ) :

a). besarnya gaya desak beton ( $C_c$ )

$$C_c = 0,85f'c.bE.a_b \dots \dots \dots (3.14)$$

b). besarnya gaya tarik baja ( $T$ )

$$T = A_s.f_y \dots \dots \dots (3.15)$$

c). berdasarkan hukum kesetimbangan gaya, maka :

$$T = C_c \dots \dots \dots (3.16)$$

$$A_s.f_y = 0,85 f'c.bE.a_b$$

$$a_b = \frac{A_s.f_y}{0,85 f'c.bE} \dots \dots \dots (3.17)$$

f). Momen yang dapat didukung oleh balok T adalah :

$$M_n = C_c (d - \frac{1}{2} a_b) \dots \dots \dots (3.18)$$

$$M_R = \phi M_n \dots \dots \dots (3.19)$$

Perhitungan diatas didasarkan pada asumsi bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluh (berarti juga tegangan luluhnya) sebelum beton mencapai regangan batas maksimum 0,003. Asumsi tersebut kemudian diperiksa kebenarannya.

Hitung letak garis netral ( $c$ )

$$a = \beta_1 c \dots \dots \dots (3.20)$$

maka,  $c = \frac{a}{\beta_1}$

regangan yang terjadi dalam tulangan baja tarik bila regangan beton mencapai 0,003.

$$\frac{0,003}{c} = \frac{e_s}{(d - c)} \dots \dots \dots (3.21)$$

$$\text{maka, } \epsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \cdot 0,003$$

Regangan luluh tulangan baja ( $\epsilon_y$ ) dapat ditentukan berdasarkan hukum Hooke,

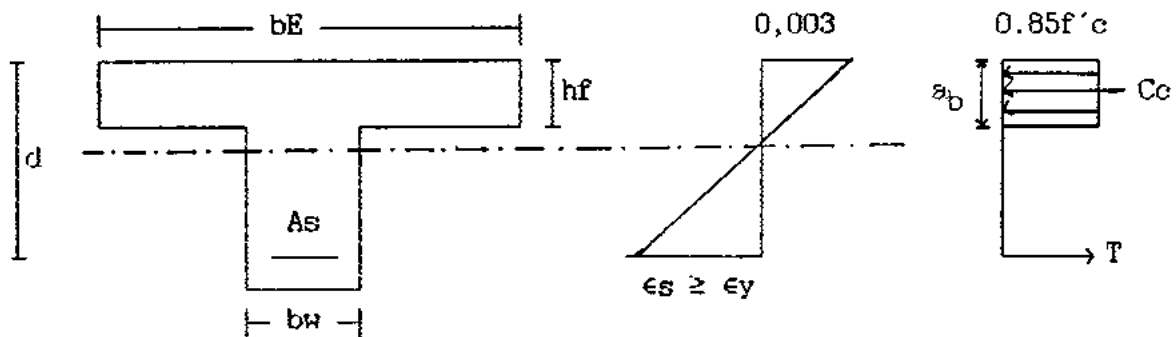
$$E_s = \frac{f_y}{\epsilon_y} \dots \dots \dots (3.22)$$

$$\text{maka, } \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Jika  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$  maka  $f_s = f_y$  (asumsi benar)

Jika  $\epsilon_s < \epsilon_y$  maka  $f_s = \epsilon_s \cdot E_s$

B. Garis netral terletak di badan.



Gambar 3.4. Penampang T garis netral jatuh dibadan

a). jarak garis netral  $C_b$  dan tinggi diagram tegangan persegi  $a_b$  untuk keadaan regangan berimbang :

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} (d) \dots \dots \dots (3.23)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b \dots \dots \dots (3.24)$$

b). besarnya gaya desak beton ( $C_c$ ) =  $C_1 + C_2$

$$C_1 = 0,85 f'c bw.a_b \dots\dots\dots(3.25a)$$

$$C_2 = 0,85 f'c (bE - bw)hf \dots\dots\dots(3.25b)$$

$$C_c = 0,85.f'c \{bw.a_b + (bE - bw)hf \} \dots\dots\dots(3.25c)$$

c). besarnya gaya tarik baja ( $T$ )

$$T = A_s_b .f_y \dots\dots\dots(3.26)$$

d). berdasarkan hukum kesetimbangan gaya, maka :

$$T = C_c \dots\dots\dots(3.27)$$

$$A_s_b . f_y = 0,85f'c \{ bw.a_b + (bE - bw)hf \}$$

$$A_s_b = \frac{0,85f'c \{ a_b.bw + (bE -bw)hf \}}{f_y} \dots\dots\dots(3.28)$$

$$\text{Prosentase tulangan } \rho_b = \frac{A_s_b}{bw.d}$$

$$\rho_b = \frac{0,85f'c \{(bw.a_b + (bE - bw).hf \}}{f_y.bw.d} \dots\dots\dots(3.29)$$

e). syarat tulangan tarik yang diijinkan SK-SNI 1991 :

$$\rho \geq \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{tulangan minimum})$$

$$\rho \leq 0,75 \rho_b \quad (\text{tulangan maksimum})$$

$$A_s = \rho.bw.d$$

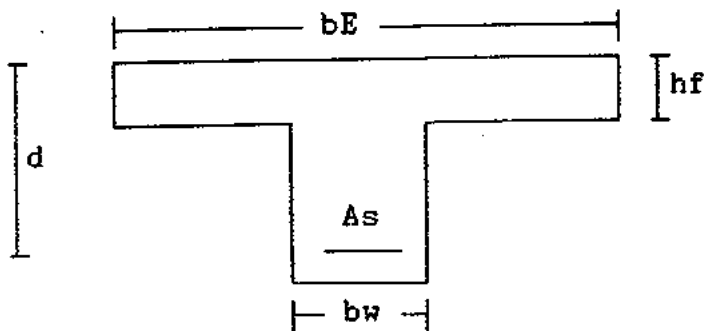
f). Momen yang dapat didukung oleh balok T adalah :

$$M_n = 0,85f'c.bw.a_b.(d - \frac{1}{2} a_b) + 0,85f'c.hf (bE - bw)(d - \frac{1}{2}.hf) \dots\dots\dots(3.30)$$

$$MR = \phi M_n$$

### 3.2. Disain balok T.

#### 3.2.1. Disain metode elastis.



Lebar manfaat flens :

$$bE \leq bw + \frac{l_0}{5}$$
$$bE \leq bw + \frac{l_0}{10} + \frac{bk}{2}$$
$$bE \leq b$$

Perencanaan balok tampang T dilakukan dengan coba-coba, dengan langkah-langkah perencanaan sebagai berikut :

1. karena luas beton desak cukup besar, maka tegangan desak beton < tegangan desak beton izin.
2. diambil titik tangkap gaya desak terletak ditengah-tengah tebal sayap :  $z = 1/2 \cdot hf$   
maka lengan momen =  $d - hf/2$
3. dicari luas tulangan kira-kira dengan rumus :

$$A_{\text{kira-kira}} = \frac{M}{\bar{\sigma}_a (d - hf/2)}$$

4. Dengan  $A_{\text{kira-kira}}$  dicari letak garis netral :

Disini karena hanya terdapat tulangan tarik saja, luasan beton desak di badan diabaikan.

$$bE \cdot hf \cdot (y - hf/2) = n \cdot As \cdot (d - y)$$

$$\sigma_{b1} = \frac{y - hf}{y} \cdot \sigma_b'$$

5. Menghitung luas tulangan tarik, dicari titik tangkap gaya desak : - dengan statis momen terhadap tepi atas beton-desak.

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b' \cdot y \cdot bE$	$y/3$	$+$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1}' \cdot (y - hf) \cdot bE$	$\frac{y - hf}{3} + hf$	$-$
$\Sigma D_b$			$\Sigma M$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b} \quad \text{dan lengan momen} = d - z$$

$$D_b = T = \frac{M}{d - z}$$

Maka luas tulangan tarik :

$$A = \frac{T}{\sigma_a} \leq A_{\text{kira-kira}}$$

6. Hitung tegangan desak beton yang terjadi :

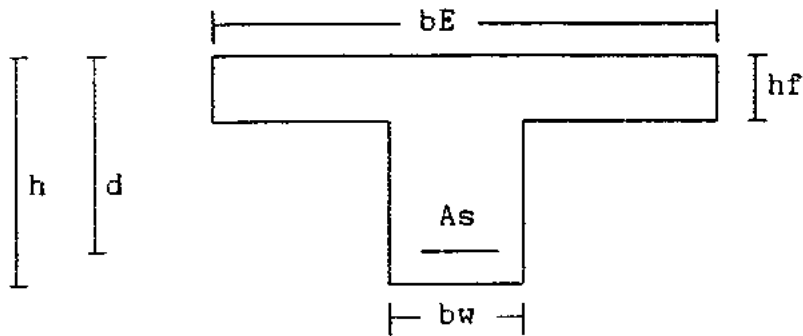
$$\sigma_b' = \frac{D_b}{(\Sigma D_b / \sigma_b')}$$

7. Momen yang tersedia dapat dihitung dengan :

- berdasarkan luas tulangan yang dipakai dicari letak garis netral
- titik tangkap gaya desak, lengan momen

$$M_{\text{tersedia}} = A \cdot \sigma_a \cdot (d - z) > M_{\text{terjadi}} \quad (\text{Disain aman})$$

### 3.2.2. Disain metode kekuatan batas.



Langkah - langkah penyelesaian :

1. pilihlah suatu penampang balok bertulangan tunggal yang dapat menahan momen luar rencana  $M_u$ , juga momen akibat berat sendirinya.

2. Menghitung lebar manfaat *flens*.

$$bE = L/4$$

$$bE = bw + 16hf$$

$bE$  = jarak pusat ke pusat dari balok  
dipakai  $bE$  yang terkecil

3. Menentukan apakah balok akan berperilaku sebagai *balok T murni* atau persegi dengan cara menghitung momen tahanan  $M_R$ , dan menganggap seluruh *flens* berada di daerah tekan.

$$M_R = \phi (0,85.f'c)bE.hf (d - hf/2)$$

- a.  $M_R > M_u$ , balok berperilaku sebagai *balok persegi*
- b.  $M_R < M_u$ , balok berperilaku sebagai *balok T murni*

#### a. Balok persegi

- Hitunglah perkiraan jarak lengan momen dalam.

$$z = (d - hf/2)$$

- Hitunglah luas tulangan tarik yang diperlukan.

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot z}$$

- Cek luas tulangan baja tarik.

$$a_b = \beta_1 \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

$$A_{s_b} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \{b_w \cdot a_b + (b_E - b_w) \cdot h_f\}}{f_y}$$

$$A_s \geq A_{s_{min}} ; A_{s_{min}} = (1,4 \cdot b_w \cdot d) / f_y$$

$$A_s \leq A_{s_{max}} ; A_{s_{max}} = 0,75 A_{s_b}$$

- Pilih diameter tulangan yang diperlukan.
- Pemeriksaan kapasitas balok dengan analisis MR :

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b_E \cdot a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$M_n = T(d - a/2)$$

$$MR = \phi M_n$$

- Lakukan pemeriksaan,

$$MR > M_u , \text{ berarti disain aman.}$$

$$MR < M_u , \text{ berarti disain tidak aman.}$$

Disain ulang :

Disain ulang dilakukan dengan cara :

- memperbesar dimensi balok  $b_w$  dan  $h$ ,
- memperbesar mutu bahan  $f'_c$  dan  $f_y$ ,
- memperbesar luas tulangan.

**b. Balok T murni**

- Gunakan metode momen ganda

$$C_1 = 0,85.f'c.bw.a$$

$$C_2 = 0,85.f'c.(bE - bw).hf$$

$$Mn \text{ perlu} = C_1(d - a/2) + C_2(d - hf/2)$$

Cari a dengan rumus ABC

- Hitung luas tulangan tarik yang diperlukan.

$$As_1 = \frac{T_1 = C_1}{fy}$$

$$As_2 = \frac{T_2 = C_2}{fy}$$

$$As = As_1 + As_2$$

- Chek luas tulangan baja tarik.

$$As \geq As_{min} ; As_{min} = (1,4.bw.d)/fy$$

$$As \leq As_{max} ; As_{max} = 0,75 As_b$$

- Tentukan luas tulangan tarik yang diperlukan.

- Pemeriksaan kapasitas balok dengan analisis MR :

$$C_1 = 0,85 f'c.bE.a$$

$$C_2 = 0,85.f'c.(bE - bw)hf$$

$$Mn = C_1(d - a/2) + C_2(d - hf/2)$$

$$MR = \phi Mn$$

- Lakukan pemeriksaan.

$$MR > Mu , \text{ berarti disain aman.}$$

$$MR < Mu , \text{ berarti disain tidak aman .}$$



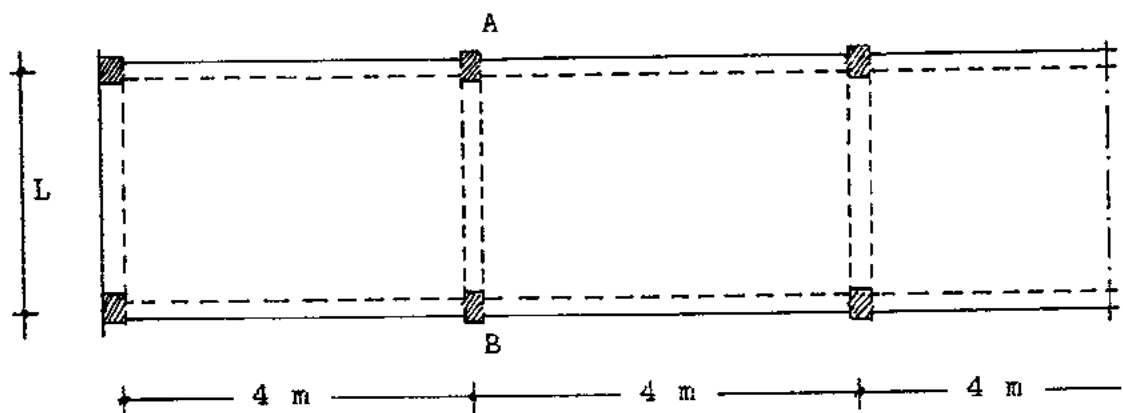
## BAB IV PEMBAHASAN

Pembahasan dilakukan untuk menganalisa kapasitas tampang balok T, guna mendapatkan tingkat efisiensi perencanaan dengan metode elastis dan metode kekuatan batas.

Perbandingan momen yang terjadi antara metode elastis dan metode kekuatan batas, dipakai dalam menyetarakan momen perencanaan metode kekuatan batas ke metode elastis. Besaran nilai banding momen adalah sebagai berikut :

1. Untuk bentang 3 meter :  $\bar{e} = 1,2807$
2. Untuk bentang 6 meter :  $\bar{e} = 1,2892$
3. Untuk bentang 9 meter :  $\bar{e} = 1,2897$
4. Untuk bentang 12 meter :  $\bar{e} = 1,2855$
5. Untuk bentang 15 meter :  $\bar{e} = 1,2851$

sehingga dengan menyetarakan hasil yang didapat dari perencanaan dari metode kekuatan batas ke metode elastis, penentuan tingkat efisiensi dari kedua metode dapat dilakukan. Hasil perhitungan diatas dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 4.1.

Balok A - B memikul pelat lantai pada ke dua sisinya

#### 4.1. Perhitungan analisis kapasitas tampang

Perhitungan analisis kapasitas tampang dilakukan terhadap balok T, dengan panjang bentang yang berbeda-beda dan luas tulangan yang bervariasi, antara  $A_{s_{min}}$  dan  $A_{s_{max}}$ . Adapun beton yang dipakai K<sub>225</sub> dan mutu baja U<sub>32</sub> untuk panjang bentang 3m - 6m, sedangkan untuk panjang bentang 9m s/d 15m digunakan U<sub>39</sub>.

Dalam bab ini, akan disajikan perhitungan analisis secara manual dengan luas tulangan  $A_s = 603,1858 \text{ mm}^2$  (3D16) sedangkan untuk analisis luas tulangan yang lainnya dilakukan dengan bantuan program komputer.

##### 4.1.1. Analisis dengan metode elastis

a. Untuk panjang bentang 3 meter.

Mutu bahan :

$$\begin{aligned} K_{225} & \text{ ----} \rightarrow \sigma_b = 75 \text{ kg/cm}^2 \\ & = 7,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{32} & \text{ ----} \rightarrow \sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 \\ & = 185 \text{ MPa} \end{aligned}$$

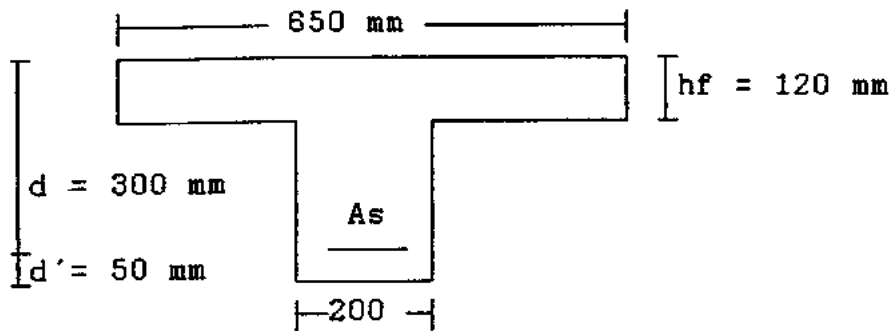
1. Hitung lebar manfaat flens

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + l_o/5 \\ &= 200 + 0,75 \cdot 3000 / 5 = 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + l_o/10 + b_k/2 \\ &= 200 + 0,75 \cdot 3000/10 + 4000/2 = 2425 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= b \\ &= 4000 \text{ mm} \end{aligned}$$

diambil  $b_E = 650 \text{ mm}$



2. Input  $A_s = 603,1858 \text{ mm}^2$

3. Chek apakah garis netral jatuh di flens atau dibadan

$$Y = \frac{n \cdot A_s \cdot d + \frac{1}{2} b E \cdot h_f^2}{n \cdot A_s + b E \cdot h_f}$$

$$= \frac{21.603,1858 \cdot 300 + 1/2 \cdot 650 \cdot 120^2}{21.603,1858 + 650 \cdot 120} = 93,53 \text{ mm} < h_f$$

jadi garis netral jatuh diflens

4. Dihitung sebagai balok persegi

$$I_t = 1/12 \cdot b E \cdot Y^3 + b E \cdot Y \left( \frac{1}{2} Y \right)^2 + n \cdot A_s \cdot (d - Y)^2$$

$$= 1/12 \cdot 650 \cdot 93,53^3 + 650 \cdot 93,53 \left( 93,53/2 \right)^2 + 21.603,1858 (300 - 93,53)^2$$

$$= 717263500 \text{ mm}^4$$

5. Momen yang dapat didukung balok.

a.  $M_1 = \frac{\sigma_b \cdot I_t}{Y}$

$$= \frac{7,5 \cdot 717263500}{93,53} \cdot 10^{-6}$$

$$= 57,5161 \text{ kNm}$$

b.  $M_2 = \frac{\sigma_a \cdot I_t}{n \cdot (d - Y)}$

$$M_2 = \frac{185 \cdot 717263500}{21 \cdot (300 - 93,53)} \cdot 10^{-6} = 30,6037 \text{ kNm}$$

Momen yang mampu didukung oleh balok adalah :

$$M = 30,6037 \text{ kNm}$$

#### 4.1.2. Analisis dengan metode kekuatan batas

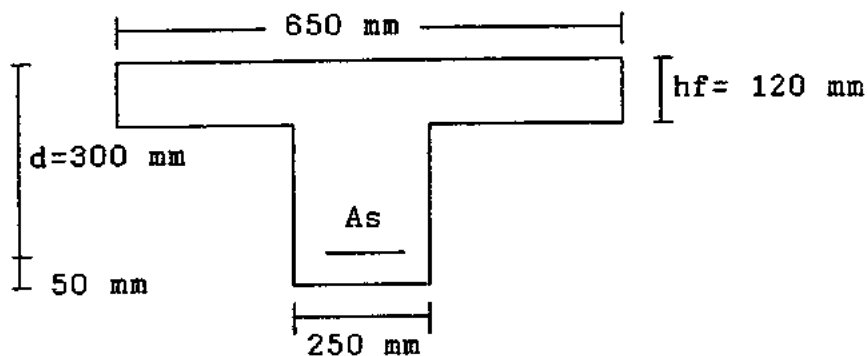
Mutu bahan :

$$K_{225} \text{ ----} \rightarrow f'c = 0,83 \cdot 22,5 = 18,675 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$U_{32} \text{ ----} \rightarrow f_y = 320 \text{ MPa}$$

Dengan menggunakan anggapan bahwa tulangan baja tarik telah mencapai regangan luluh ( $f_y$ )



1. Input  $A_s = 603,1858 \text{ mm}^2$

2. Hitung garis netral

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'c \cdot b \cdot E}$$

$$a = \frac{603,1858 \cdot 320}{0,85 \cdot 18,675 \cdot 650} = 18,71 \text{ mm}$$

Jadi garis netral jatuh di flens

3. Momen yang dapat didukung oleh balok T adalah :

$$M_n = T (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= 603,1858 \cdot 320 \cdot (300 - 18,71/2) \cdot 10^{-6} = 56,1004 \text{ kNm}$$

$$M_u = 0,80 \cdot M_n$$

$$= 0,80 \cdot 56,1004 = 44,8803 \text{ kNm}$$

Nilai  $M_u$  setelah disetarakan dengan metode elastis adalah

$$= 44,8803/1,2807 = 35,0435 \text{ kNm}$$

4. Cek regangan baja tarik

$$a = \beta_1 c$$

$$\text{maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{18,71}{0,85} = 22 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik disaat dicapainya regangan beton sebesar 0,003 didapat dari kesebandingan garis lurus,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} (0,003) \\ &= \frac{300 - 22}{22} (0,003) = 0,0379 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{320}{200000} = 0,0016 \end{aligned}$$

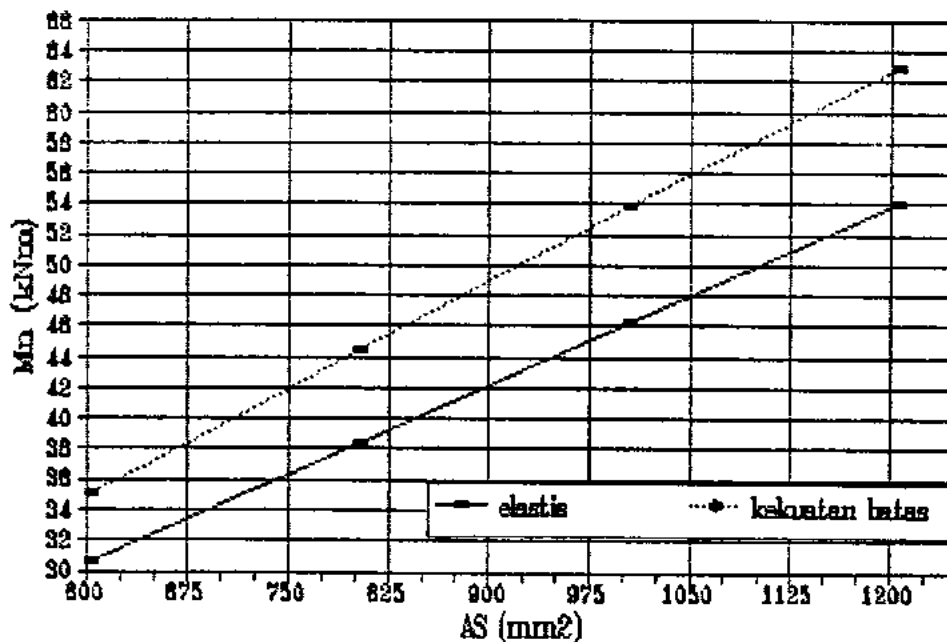
Dari hasil tersebut menunjukkan nilai tulangan baja pada saat tegangan baja  $f_y$  mencapai nilai 320 MPa. Karena regangan yang timbul pada tulangan baja (0,0379) lebih besar dari regangan luluhnya (0,0016), baja tulangan mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003 dan

berarti asumsi analisis benar, bahwa tegangan yang terjadi pada baja tulangan tarik sama dengan tegangan luluh baja.

Dibawah ini disajikan tabel hasil hitungan komputer berupa perbandingan momen antara metode kekuatan batas yang telah disetarakan terhadap metode elastis.

Tabel 4.1  
Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
Untuk panjang bentang 3 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2807$

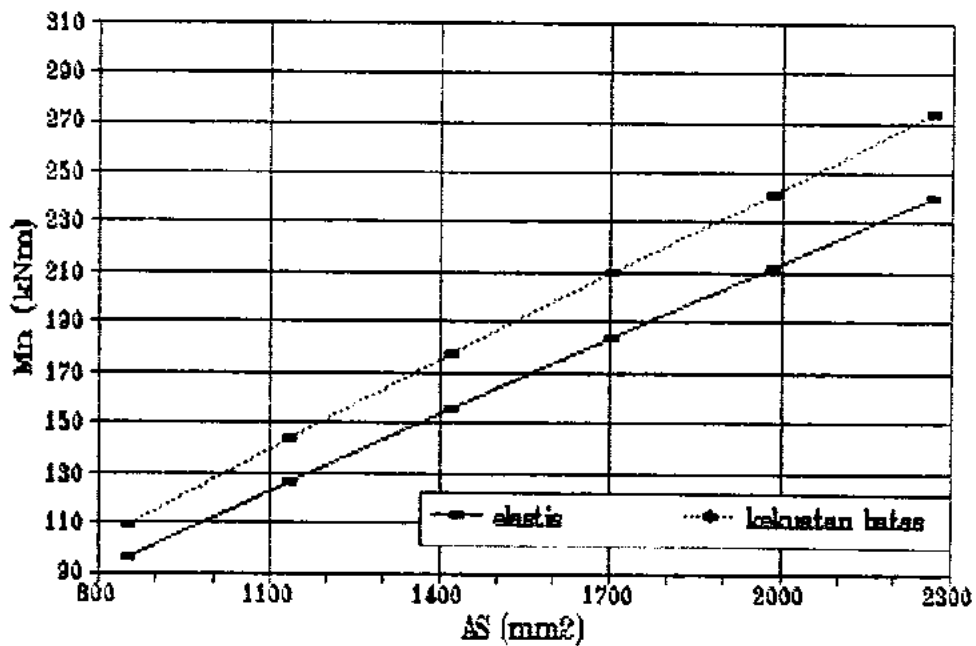
As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
603,1858	30,6037	35,0437	14,5080
804,2477	38,4792	44,5759	15,8535
1005,3096	46,2510	53,8574	16,4458
1206,3716	53,9618	62,8884	16,5424
Rata-rata =			15,8375 %



Grafik 4.1  
Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
untuk panjang bentang 3 meter

Tabel 4.2  
 Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
 Untuk panjang bentang 6 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2892$

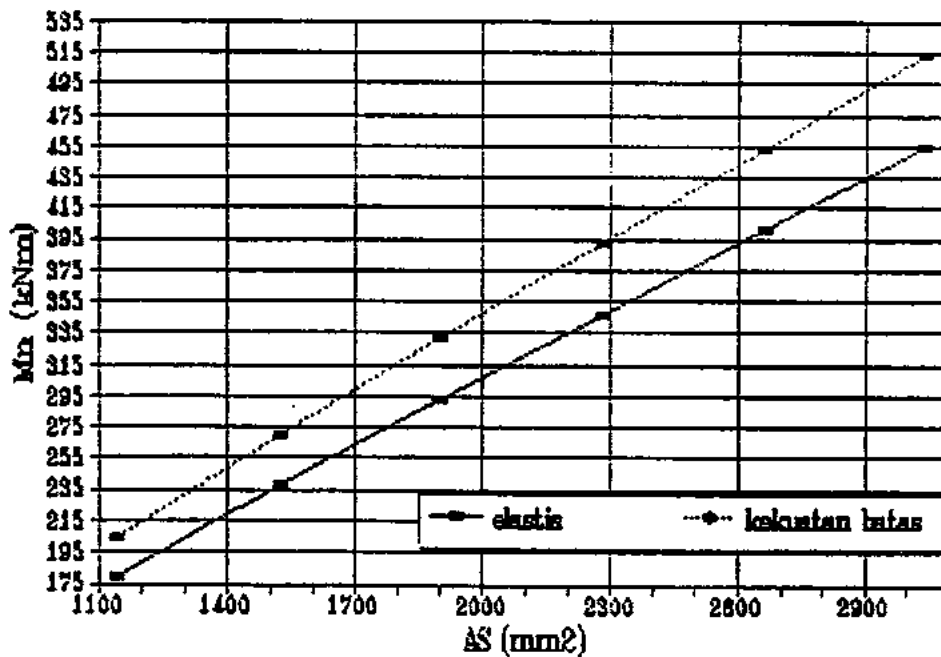
As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
850,5862	95,6266	106,5281	13,4915
1134,1180	126,5812	144,1445	13,8751
1417,6470	155,1783	177,0030	14,0642
1701,1760	183,6512	209,5833	14,1202
1984,7060	212,0179	241,8830	14,0861
2268,2350	240,2794	273,9028	13,9934
Rata-rata =			13,9384 %



Grafik 4.2  
 Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
 untuk panjang bentang 6 meter

Tabel 4.3  
 Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
 Untuk panjang bentang 9 meter  
 $\epsilon = 1,2897$

As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
1140,4008	179,8970	203,1897	12,9478
1520,5308	238,4329	269,8787	13,1885
1900,6636	292,8474	331,7248	13,2757
2280,7963	347,0693	393,0505	13,2484
2660,9290	401,1057	453,8556	13,1511
3041,0617	454,9630	514,1403	13,0071
Rata-rata =			13,1364 %



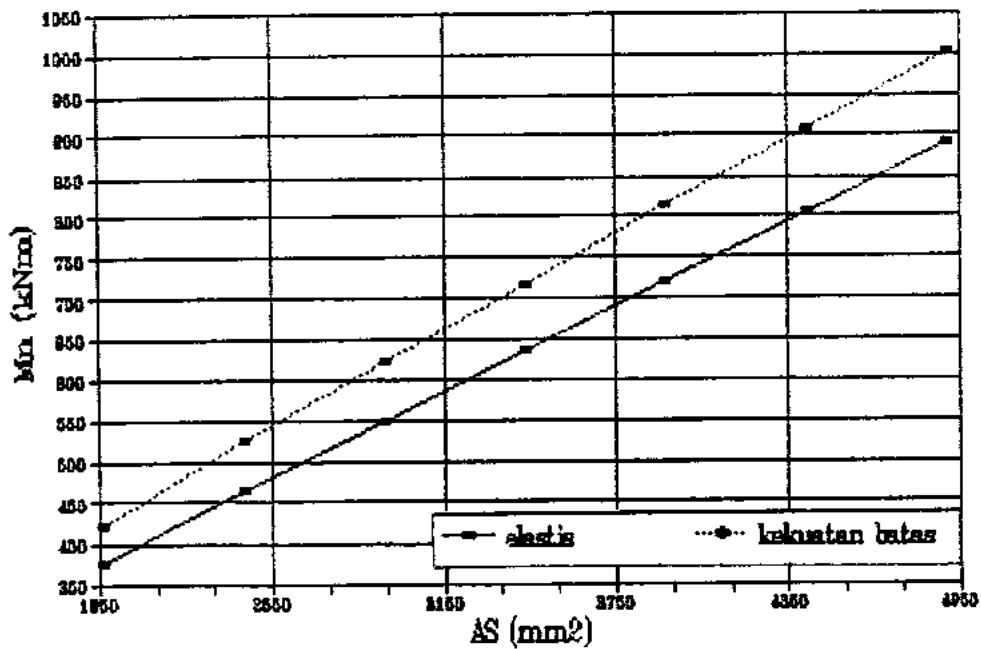
Grafik 4.3  
 Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
 untuk panjang bentang 9 meter





Tabel 4.4  
 Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
 Untuk panjang bentang 12 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2855$

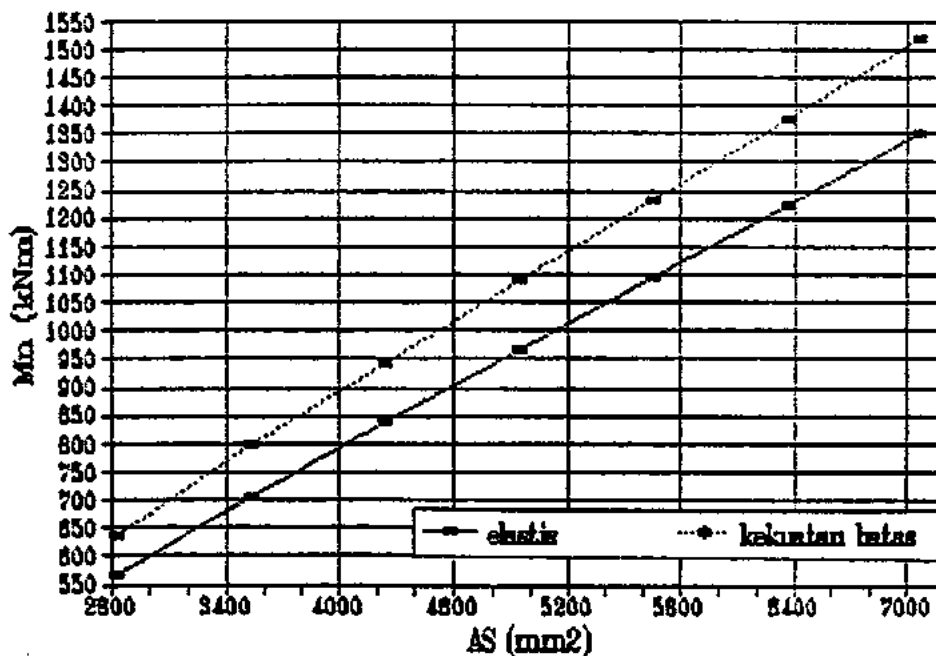
As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
1963,4954	372,9862	421,2922	12,9511
2454,3693	464,5784	524,9824	13,0019
2945,2431	550,4248	622,0626	13,0150
3436,1170	635,9548	718,4898	12,9781
3926,9908	721,1784	814,2637	12,9074
4417,8647	806,1096	909,3847	12,8115
4908,7385	890,7479	1003,8522	12,6977
Rata-rata =			12,9100 %



Grafik 4.4  
 Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
 untuk panjang bentang 12 meter

Tabel 4.5  
 Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
 Untuk panjang bentang 15 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2851$

As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
2827,4334	567,0562	634,7010	12,8109
3534,2917	706,5144	796,8150	12,7811
4241,1501	836,8512	943,3655	12,7280
4948,0084	966,6836	1088,7908	12,6316
5654,8668	1096,0310	1233,0916	12,5052
6361,7251	1224,9150	1376,2672	12,3561
7068,5835	1353,5370	1518,3192	12,1742
Rata-rata =			12,5696 %



Grafik 4.5  
 Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
 untuk panjang bentang 15 meter

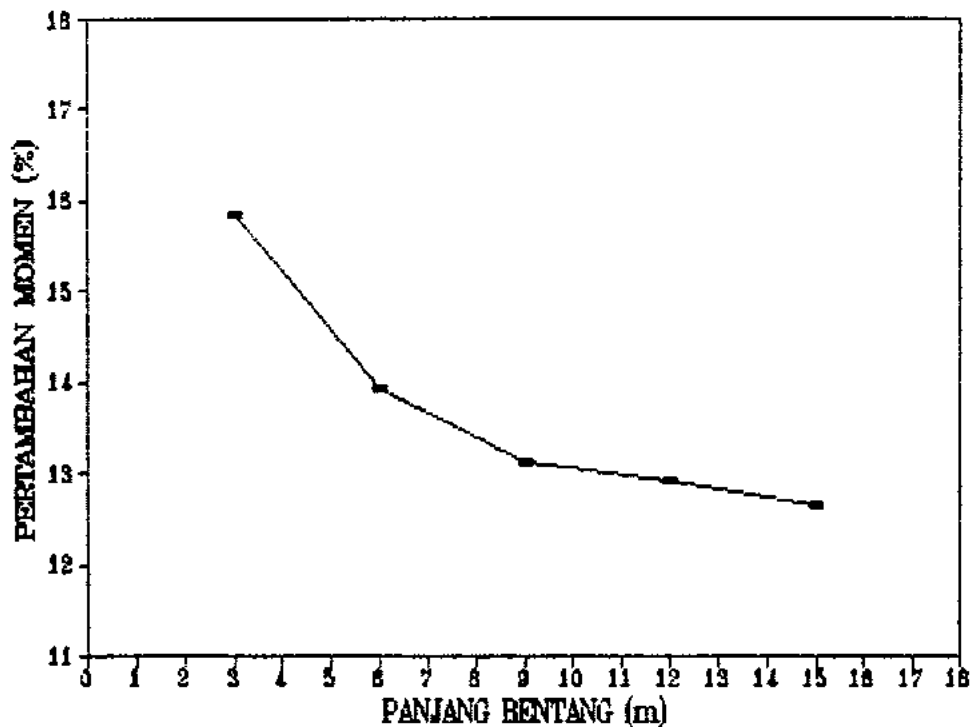
Tabel 4.6

Prosentase pertambahan momen kekuatan batas terhadap elastis untuk tiap bentang

L (m)	bE (mm)	bw (mm)	h (mm)	hf (mm)	Pertambahan momen (%)
3	650	200	350	120	15,5080
6	1150	250	700	120	13,9384
9	1650	300	800	120	13,1364
12	2200	400	950	120	12,9100
15	2650	400	1000	120	12,5696

Notasi :

- L : Panjang bentang
- bE : Lebar efektif flens
- bw : Lebar badan
- h : Tinggi balok T
- hf : Tebal flens



Grafik 4.6

Prosentase pertambahan momen kekuatan batas terhadap elastis untuk tiap bentang

Hasil perbandingan momen (tabel 4.1 s/d tabel 4.5) antara metode kekuatan batas dengan metode elastis menunjukkan bahwa perhitungan dengan metode kekuatan batas memberikan momen kapasitas lebih besar.

Dari grafik 4.6 menunjukkan bahwa prosentase pertambahan kapasitas momen dari bentang 3 - 6 meter mengalami penurunan yang cukup besar dari pada bentang 6 - 15 meter yang hanya relatif kecil. Walaupun demikian pada dasarnya dengan bertambahnya panjang bentang, prosentase pertambahan kapasitas momen metode kekuatan batas terhadap metode elastis akan semakin berkurang.

Pada suatu kondisi dimana beban hidup bernilai sebanding dengan beban mati yang terjadi sesungguhnya ( $M_{DL} = M_{LL}$ ) adalah :

- Kekuatan batas: (misal  $M_{DL} = M_{LL} = A$ )

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \\ &= 2,8 A \end{aligned}$$

- Elastis:

$$\begin{aligned} M &= M_{DL} + M_{LL} \\ &= 2 A \end{aligned}$$

didapat nilai banding kekuatan batas terhadap elastis sebesar :

$$\bar{e} = \frac{2,8 A}{2 A} = 1,4$$

Terlihat bahwa nilai banding yang didapat ( $\bar{e} = 1,4$ ) ternyata lebih besar dari nilai banding sebelumnya yaitu :

- Untuk bentang 3 meter :  $\bar{e} = 1,2807$

- Untuk bentang 6 meter :  $\bar{e} = 1,2892$
- Untuk bentang 9 meter :  $\bar{e} = 1,2897$
- Untuk bentang 12 meter :  $\bar{e} = 1,2855$
- Untuk bentang 15 meter :  $\bar{e} = 1,2851$

Dengan bertambahnya nilai banding, nilai-nilai momen kekuatan batas yang telah disetarakan dengan elastis semakin berkurang, hal ini mengakibatkan prosentase penambahan momen metode kekuatan batas terhadap metode elastis semakin berkurang juga. Tetapi pada dasarnya metode kekuatan batas tetap menunjukkan lebih efisien dari metode elastis. Dengan perkataan lain, bahwa perbandingan beban hidup dan beban mati yang terjadi sesungguhnya hanya berpengaruh pada prosentase penambahan momen.

#### 4.2. Disain balok T.

Untuk disain balok T ini diambil data-data sebagai berikut :

1. Untuk Panjang bentang (L) = 6000 mm
  - Mutu beton K<sub>225</sub>
  - Mutu baja U<sub>32</sub>
  - Momen akibat beban mati (M<sub>DL</sub>) = 133,35 kNm
  - Momen akibat beban hidup (M<sub>LL</sub>) = 38,27 kNm
2. Untuk panjang bentang (L) = 9000 mm
  - Mutu beton K<sub>225</sub>
  - Mutu baja U<sub>39</sub>
  - Momen akibat beban mati (M<sub>DL</sub>) = 326,75 kNm
  - Momen akibat beban hidup (M<sub>LL</sub>) = 94,43 kNm

Jarak antar balok dari pusat ke pusat (bk) = 4000 mm

Data hasil momen dapat dilihat pada lampiran.

##### 4.2.1. Disain metode elastis.

###### 4.2.1.1. Untuk panjang bentang (L) = 6000 mm

Mutu beton K<sub>225</sub> ---->  $\bar{\sigma}_b = 75 \text{ kg/cm}^2 = 7,5 \text{ Mpa}$

Mutu baja U<sub>32</sub> ---->  $\bar{\sigma}_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 = 185 \text{ Mpa}$

$$n = 21$$

$$M = M_D + M_L$$

$$= 133,35 + 38,27 = 171,62 \text{ kNm}$$

Dicoba balok dengan ukuran (250/650) mm

###### 1. Hitung lebar manfaat flens

$$b_E = b_w + l_o/5$$

$$= 250 + 0,75 \cdot 6000/5 = 1150 \text{ mm}$$

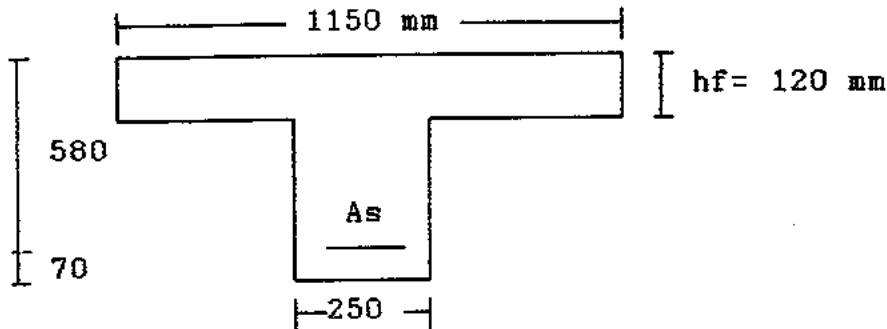
$$b_E = b_w + l_o/10 + b_k/2$$

$$= 250 + 0,75 \cdot 6000/10 + 4000/2 = 2700 \text{ mm}$$

$$b_E = b$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

diambil  $b_E = 1150 \text{ mm}$



2. Diambil titik tangkap gaya desak terletak ditengah-tengah tebal sayap :

$$z = 1/2 \cdot h_f$$

$$= 0,5 \cdot 120 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Lengan momen} = d - h_f/2$$

$$= 580 - 120/2 = 520 \text{ mm}$$

3. Dicari luas tulangan kira-kira dengan rumus :

$$A_{s\text{kira-kira}} = \frac{M}{\bar{\sigma}_a (d - h_f/2)}$$

$$= \frac{171,62 \cdot 10^6}{185 \cdot 520} = 1784,0 \text{ mm}^2$$

4. Dengan  $A_{\text{kira-kira}}$  dihitung letak garis netral dari tepi atas .

Bagian desak di badan diabaikan :

$$b_E \cdot h_f (Y - h_f/2) = n \cdot A_s (d - Y)$$

$$150.120.(Y - 120/2) = 21.1784,0.(580 - Y)$$

$$Y = \frac{21 \cdot 1784,0 \cdot 580 + 1150 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 1784,0 + 1150 \cdot 120} = 171,03 \text{ mm}$$

Garis netral jatuh di badan, maka dihitung sebagai balok T murni.

$$\begin{aligned} \sigma_{b1}' &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_b' \\ &= \frac{171,03 - 120}{171,03} \cdot \sigma_b' \\ &= 0,2984 \cdot \sigma_b' \end{aligned}$$

5. Menghitung luas tulangan tarik, dicari titik tangkap gaya desak.

Dengan statis momen terhadap tepi atas beton-desak :

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b' \cdot Y \cdot bE$ $= + 98340,64 \sigma_b'$	$Y/3$ $= 57,01$	$+ 5606311,38 \sigma_b'$  $- 1199548,22 \sigma_b'$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1}' \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 8755,25 \sigma_b'$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 137,01$	
$\Sigma D_b = 89585,39 \sigma_b'$			$\Sigma M = 4406763,16 \sigma_b'$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

$$z = \frac{4406763,16 \sigma_b'}{89585,39 \sigma_b'} = 49,191 \text{ mm}$$



Lengan momen intern :

$$D_b = T = \frac{M}{d - z}$$

$$D_b = T = \frac{171,62 \cdot 10^6}{580 - 49,191} = 323319,07 \text{ N}$$

Luas tulangan tarik :

$$A = \frac{T}{\bar{\sigma}_a} \leq A_{\text{kira-kira}}$$

$$= \frac{323319,07}{185} = 1747,67 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 6  $\phi$  20 = 1884,96 mm<sup>2</sup> > 1747,67 mm<sup>2</sup>

$$d_{\text{aktual}} = 650 - [(6-4)(20+25)/6 + 50] \\ = 585 \text{ mm} > d = 580 \text{ mm}$$

6. Kontrol tegangan desak beton yang terjadi :

$$\sigma_b' = \frac{D_b}{(\sum D_b / \sigma_b')}$$

$$= \frac{323319,07}{89585,39}$$

$$= 3,6091 \text{ Mpa} < \sigma_b' = 7,5 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

7. Menghitung momen yang tersedia :

- berdasarkan luas tulangan yang dipakai dicari letak garis netral.

$$bE_c hf (Y - hf/2) = n.A_s (d - Y)$$

$$1150 \cdot 120 \cdot (Y - 120/2) = 21 \cdot 1884,96 \cdot (585 - Y)$$

$$Y = \frac{21 \cdot 1884,96 \cdot 585 + 1150 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 1884,96 + 1150 \cdot 120}$$

$$= 177,02 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{b1}' &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_b' \\ &= \frac{177,02 - 120}{177,02} \cdot \sigma_b' \\ &= 0,3221 \sigma_b'\end{aligned}$$

- Mencari titik tangkap beton desak

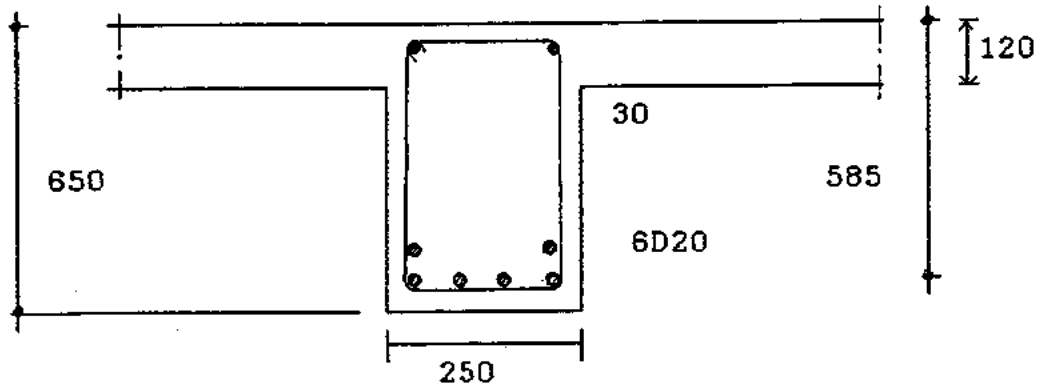
Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b' \cdot Y \cdot bE$ $= + 101786,5 \sigma_b'$	$Y/3$ $= 59,01$	$+ 6006082,077 \sigma_b'$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1}' \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 10560,532 \sigma_b'$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 139,01$	$- 1468019,504 \sigma_b'$
$\Sigma D_b = + 91225,968 \sigma_b'$			$\Sigma M = 4538062,57 \sigma_b'$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

$$z = \frac{4538062,57 \sigma_b'}{91225,968 \sigma_b'} = 49,745 \text{ mm}$$

- Titik tangkap gaya desak terhadap lengan momen.

$$\begin{aligned}M_{tersedia} &= A \cdot \bar{\sigma}_a \cdot (d - z) \\ &= 1884,96 \cdot 185 \cdot (585 - 49,745) \cdot 10^{-6} \\ &= 186,6528 \text{ kNm} > 171,62 \text{ kNm} \quad \text{Ok}\end{aligned}$$



Gambar.4.2.1

Sketsa perencanaan balok T metode elastis

4.2.1.2. Untuk panjang bentang ( $L$ ) = 9000 mm

Misalkan diketahui:

$$\text{Mutu beton } K_{225} \text{ --- } \sigma_b = 75 \text{ kg/cm}^2 = 7,5 \text{ Mpa}$$

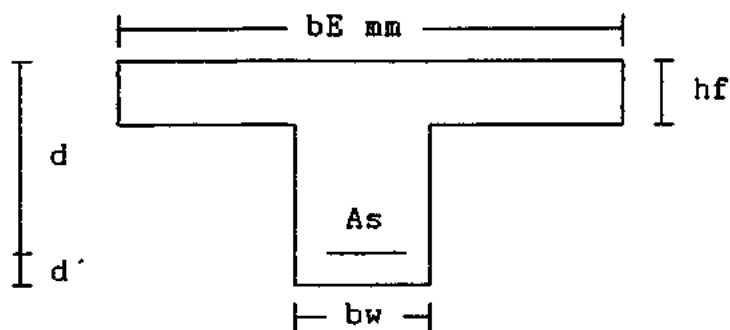
$$\text{Mutu baja } U_{39} \text{ --- } \sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2 = 225 \text{ Mpa}$$

$$n = 21$$

$$M = M_D + M_L$$

$$= 326,75 + 94,43 = 421,18 \text{ kNm}$$

Dicoba balok dengan ukuran (300/750) mm



$$hf = 120 \text{ mm} \quad ; \quad h = 750 \text{ mm} \quad ; \quad d' = 70 \text{ mm} \quad ; \quad bw = 300 \text{ mm}$$

1. Hitung lebar manfaat flens

$$bE = bw + l_0/5$$

$$= 300 + 0,75 \cdot 9000/5 = 1650 \text{ mm}$$

$$bE = bw + l_0/10 + bk/2$$

$$= 300 + 0,75 \cdot 9000/10 + 4000/2 = 2975 \text{ mm}$$

$$bE = b$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

$$\text{diambil } bE = 1650 \text{ mm}$$

2. Diambil titik tangkap gaya desak terletak ditengah-tengah

tebal sayap :

$$z = 1/2 \cdot hf$$

$$= 0,5 \cdot 120 = 60 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan momen} &= d - hf/2 \\ &= 680 - 120/2 = 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Dicari luas tulangan kira-kira dengan rumus :

$$\begin{aligned} A_{s\text{kira-kira}} &= \frac{M}{\bar{\sigma}_s (d - hf/2)} \\ &= \frac{421,18 \cdot 10^6}{225 \cdot 620} = 3019,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Dengan  $A_{\text{kira-kira}}$  dihitung letak garis netral dari tepi atas .

Bagian desak di badan diabaikan :

$$\begin{aligned} bE \cdot hf (Y - hf/2) &= n \cdot A_s (d - Y) \\ 1650 \cdot 120 \cdot (Y - 120/2) &= 21 \cdot 3019,2 (680 - Y) \end{aligned}$$

$$Y = \frac{21 \cdot 3019,2 \cdot 680 + 1650 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 3019,2 + 1650 \cdot 120} = 210,38 \text{ mm}$$

Garis netral jatuh dibadan dihitung sebagai balok T murni:

$$\begin{aligned} \sigma_{b1} &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_b \\ &= \frac{210,38 - 120}{210,38} \cdot \sigma_b \\ &= 0,4296 \cdot \sigma_b \end{aligned}$$

5. Menghitung luas tulangan tarik, dicari titik tangkap gaya desak.

Dengan statis momen terhadap tepi atas beton-desak :

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b \cdot Y \cdot bE$ $= + 173563,5 \sigma_b$	$Y/3$ $= 70,13$	$+ 12171429,7 \sigma_b$  $- 4808929,39 \sigma_b$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1} \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 32032,48 \sigma_b$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 150,13$	
$\Sigma D_b = 141531,02 \sigma_b$			$\Sigma M = 7362500,32 \sigma_b$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

$$= \frac{7362500,32 \sigma_b}{141531,02 \sigma_b} = 50,02 \text{ mm}$$

Lengan momen intern :

$$D_b = T = \frac{M}{d - z}$$

$$D_b = T = \frac{421,18 \cdot 10^6}{680 - 50,02} = 668560,91 \text{ N}$$

Luas tulangan tarik :

$$A = \frac{T}{\sigma_a} \leq A_{\text{kira-kira}}$$

$$= \frac{668560,91}{225} = 2971,38 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 8  $\phi$  22 = 3041,06 mm<sup>2</sup> > 2971,38 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}d_{\text{aktual}} &= 750 - [(8-4)(22+25)/8 + 60] \\ &= 678,25 \text{ mm} < d = 680 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. Kontrol tegangan desak beton yang terjadi :

$$\begin{aligned}\sigma_{b'} &= \frac{D_b}{(\Sigma D_b / \sigma_{b'})} \\ &= \frac{668560,91}{141531,02} \\ &= 4,72 \text{ Mpa} < \sigma_{b'} = 7,5 \text{ Mpa} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

7. Menghitung momen yang tersedia :

- berdasarkan luas tulangan yang dipakai dicari letak garis netral.

$$bE \cdot hf (Y - hf/2) = n \cdot A_s (d - Y)$$

$$1650 \cdot 120 \cdot (Y - 120/2) = 21 \cdot 3041,06 (678,25 - Y)$$

$$Y = \frac{21 \cdot 3041,06 \cdot 678,25 + 1650 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 3041,06 + 1650 \cdot 120}$$

$$Y = 210,78 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{b1'} &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_{b'} \\ &= \frac{210,78 - 120}{210,78} \cdot \sigma_{b'} \\ &= 0,4307 \sigma_{b'}\end{aligned}$$

- Mencari titik tangkap beton desak

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b \cdot Y \cdot bE$ $= + 173891,14 \sigma_b$	$Y/3$ $= 70,26$	$+ 12217591,44 \sigma_b$  $- 4846727,96 \sigma_b$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1} \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 32255,61 \sigma_b$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 150,26$	
$\Sigma D_b = + 141635,53 \sigma_b$			$\Sigma M = 7370863,49 \sigma_b$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

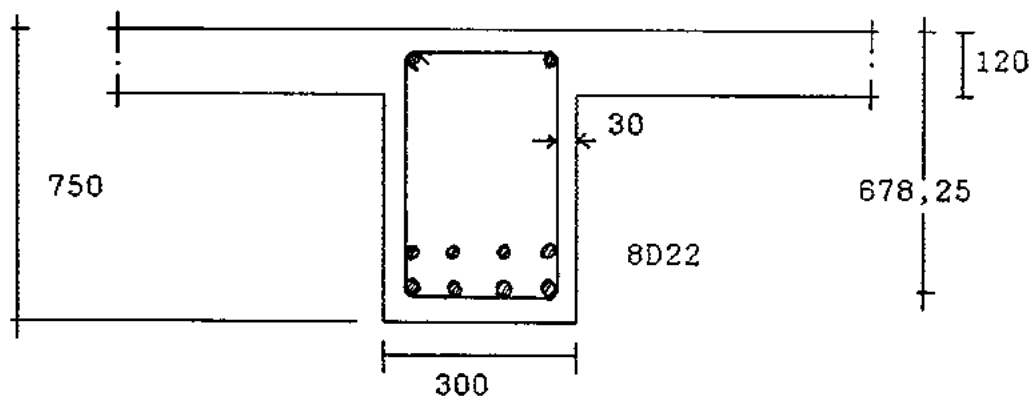
$$= \frac{7370863,49 \sigma_b}{141635,53 \sigma_b} = 52,04 \text{ mm}$$

- Titik tangkap gaya desak terhadap lengan momen.

$$M_{tersedia} = A \cdot \sigma_a \cdot (d - z)$$

$$= 3041,06 \cdot 225(678,25 - 52,04) \cdot 10^{-6}$$

$$= 428,4763 \text{ kNm} > 421,18 \text{ kNm} \quad \text{Ok}$$



Gambar.4.3

Sketsa perencanaan balok T metode elastis



### 3.2.2. Disain metode kekuatan batas.

#### 3.2.2.1. Untuk panjang bentang (L)= 6000 mm

Diketahui :

Mutu beton :  $f'c = 18.675$  Mpa

Mutu baja :  $f_y = 320$  Mpa

$M_D = 133,35$  kNm

$M_L = 38,27$  kNm

$M_u = 1,2.133,35 + 1,6.38,27 = 221,2538$  kNm

Langkah-langkah penyelesaian :

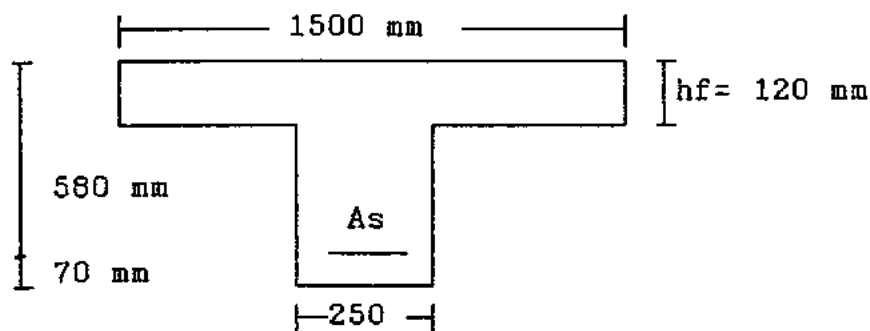
#### 1. Hitung lebar manfaat flens :

$$b_E = L/4 \\ = 6000/4 = 1500 \text{ mm}$$

$$b_E = b_w + 16h_f \\ = 250 + 16.120 = 2170 \text{ mm}$$

$$b_E = \text{jarak pusat ke pusat} \\ = 4000 \text{ mm}$$

dipakai  $b_E = 1500$  mm



2. Menentukan apakah balok akan berperilaku sebagai balok T murni atau persegi dengan cara menghitung momen tahanan  $M_R$ , dengan menganggap seluruh flens berada didaerah desak.

$$MR = \phi (0,85f'c)bE hf(d - hf/2)$$

$$\begin{aligned} MR &= 0,8(0,85 \cdot 18,675)1500 \cdot 120 \cdot (580 - 120/2) \\ &= 1188626400 \text{ Nmm} \\ &= 1188,6264 \text{ kNm} > Mu = 221,2538 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Karena  $MR > Mu$ , maka balok akan berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b = 1500 \text{ mm}$ .

Lengan momen :

$$\begin{aligned} z &= d - hf/2 \\ &= 580 - 120/2 = 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi f_y \cdot z}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{221,2538 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 320 \cdot 520} = 1662,06 \text{ mm}^2$$

Karena dihitung sebagai balok persegi maka tulangan yang dipakai  $< A_{s\text{perlu}}$ .

Dipakai tulangan  $5 \phi 20 = 1570,8 \text{ mm}^2 < A_{s\text{perlu}} = 1662,06 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} d_{\text{aktual}} &= 650 - [(5-3)(20+25)/5 + 50] \\ &= 582 \text{ mm} > d = 580 \text{ mm} \end{aligned}$$

Chek luas tulangan tarik :

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600 + 320} \cdot 582 = 379,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot C_b \\ &= 0,85 \cdot 379,56 = 322,63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s\text{min}} = \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 582}{320}$$

$$A_{s_{min}} = 636,56 \text{ mm}^2 < A_s = 1570,80 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$A_{s_b} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot [bw \cdot a_b + (bE - bw)hf]}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 18,675 [250 \cdot 322,63 + (1500 - 250)120]}{320}$$

$$= 11441,87 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{max}} = 0,75 A_{s_b}$$

$$= 0,75 \cdot 11441,87$$

$$= 8581,405 \text{ mm}^2 > A_s = 1570,80 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

Lakukan pekerjaan analisa

$$C = 0,85 f'c \cdot bE \cdot a$$

$$= 0,85 \cdot 18,675 \cdot 1500 \cdot a = 23810,625 a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 1570,80 \cdot 320 = 502656$$

$$T = C$$

$$a = \frac{502656}{23810,625} = 21,11 \text{ mm}$$

$$M_n = T(d - a/2)$$

$$= 502656 (582 - 21,11/2) \cdot 10^{-6} = 287,2679 \text{ kNm}$$

$$MR = \phi M_n$$

$$= 0,8 \cdot 287,2679$$

$$= 229,8143 \text{ kNm} > M_u = 221,2538 \text{ kNm} \quad \text{Ok}$$

Karena  $MR > M_u$  , berarti disain aman.

Chek regangan baja tarik

$$a = \beta_1 c$$

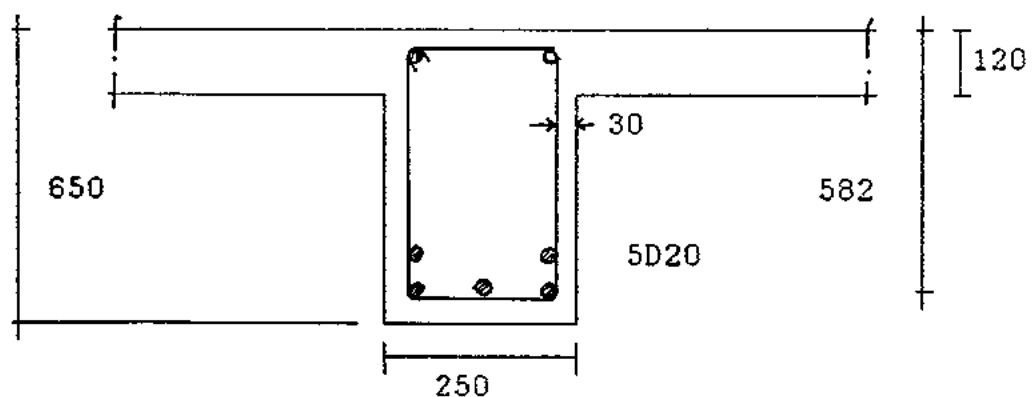
$$\text{maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{21,11}{0,85} = 24,82 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik disaat dicapainya regangan beton sebesar 0,003 didapat dari kesebandingan garis lurus,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} (0,003) \\ &= \frac{582 - 24,82}{24,82} (0,003) = 0,0673 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{320}{200000} = 0,0016 \end{aligned}$$

$\epsilon_s = 0,0673 > \epsilon_y = 0,0016$  , maka baja tulangan mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.



Gambar.4.4

Sketsa perencanaan balok T metode kekuatan batas



3.2.2.1. Untuk panjang bentang (L)= 9000 mm

Diketahui :

Mutu beton :  $f'c = 18,6755$  Mpa

Mutu baja :  $f_y = 390$  Mpa

$M_D = 326,75$  kNm

$M_L = 94,43$  kNm

$M_u = 1,2.326,75 + 1,6.94,43 = 543,18$  kNm

Langkah-langkah penyelesaian :

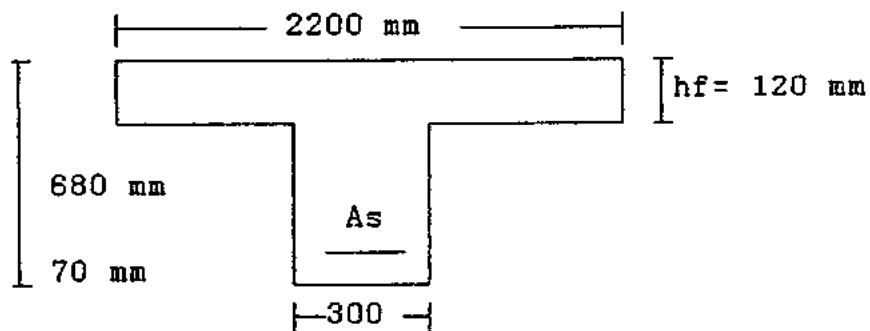
1. Hitung lebar manfaat flens :

$$b_E = L/4 \\ = 9000/4 = 2250 \text{ mm}$$

$$b_E = b_w + 16h_f \\ = 300 + 16.120 = 2220 \text{ mm}$$

$$b_E = \text{jarak pusat ke pusat} \\ = 4000 \text{ mm}$$

dipakai  $b_E = 2200$  mm



2. Menentukan apakah balok akan berperilaku sebagai balok T murni atau persegi dengan cara menghitung momen tahanan  $M_R$ , dengan menganggap seluruh flens berada didaerah desak.

$$M_R = \phi (0,85f'c)b_E.h_f(d - h_f/2)$$

$$MR = 0,8(0,85.18,675)2200.120.(680 - 120/2).10^{-6}$$

$$= 2078,5723 \text{ kNm} > Mu = 543,18 \text{ kNm}$$

Karena  $MR > Mu$ , maka balok akan berperilaku sebagai balok T persegi dengan lebar  $b = 2200 \text{ mm}$ .

Lengan momen :

$$z = d - hf/2$$

$$= 680 - 120/2 = 620 \text{ mm}$$

$$As_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi fy.z}$$

$$As_{\text{perlu}} = \frac{543,18.10^6}{0,8.390.620} = 2808 \text{ mm}^2$$

Karena dihitung sebagai balok persegi maka tulangan yang dipakai  $< As_{\text{perlu}}$ .

Dipakai tulangan 7  $\phi$  22 = 2660,9  $\text{mm}^2 < As_{\text{perlu}} = 2808 \text{ mm}^2$

$$d_{\text{aktual}} = 750 - [(7-4)(22+25)/7 + 55]$$

$$= 675 \text{ mm} < d = 680 \text{ mm}$$

Chek luas tulangan tarik :

$$Cb = \frac{600}{600 + fy} .d$$

$$= \frac{600}{600 + 320} .675 = 440,22 \text{ mm}$$

$$ab = \beta_1.Cb$$

$$= 0,85.440,22 = 374,18 \text{ mm}$$

$$As_{\text{min}} = \frac{1,4 bw.d}{fy}$$

$$= \frac{1,4 .300 .675}{390}$$

$$A_{s_{min}} = 726,92 \text{ mm}^2 < A_s = 2660,9 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$A_{s_b} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot [bw \cdot a_b + (bE - bw)hf]}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 18,675 [300 \cdot 374,18 + (2200 - 300)120]}{390}$$

$$= 13849,05 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{max}} = 0,75 A_{s_b}$$

$$= 0,75 \cdot 13849,05$$

$$= 10386,787 \text{ mm}^2 > A_s = 2660,90 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

Lakukan pekerjaan analisa

$$C = 0,85 f'c \cdot bE \cdot a$$

$$= 0,85 \cdot 18,675 \cdot 2200 \cdot a = 34922,25 a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 2660,9 \cdot 390 = 1037751 \text{ N}$$

$$T = C$$

$$a = \frac{1037751}{34922,25} = 39,72 \text{ mm}$$

$$M_n = T(d - a/2)$$

$$= 1037751 (675 - 39,72/2) \cdot 10^{-6} = 679,8721 \text{ kNm}$$

$$MR = \phi M_n$$

$$= 0,8 \cdot 679,8721$$

$$= 543,8977 \text{ kNm} > M_u = 543,18 \text{ kNm} \quad \text{Ok}$$

Karena  $MR > M_u$  , berarti disain aman.

Chek regangan baja tarik

Menentukan letak garis netral penampang :

$$a = \beta_1 \cdot c$$

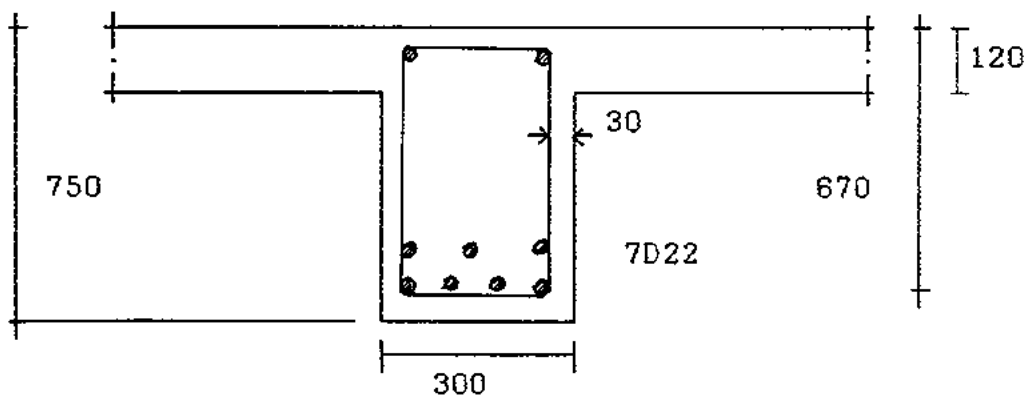
$$\text{maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{39,72}{0,85} = 46,73 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik disaat dicapainya regangan beton sebesar 0,003 didapat dari kesebandingan garis lurus,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} (0,003) \\ &= \frac{675 - 46,73}{46,73} (0,003) = 0,0403 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{390}{200000} = 0,0020 \end{aligned}$$

$\epsilon_s = 0,0403 > \epsilon_y = 0,0020$  , maka baja tulangan mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.



Gambar.4.5

Sketsa perencanaan balok T metode kekuatan batas



Tabel 4.7

Hasil disain metode kekuatan batas dan elastis

No	Bentang (m)	b/h (mm)	Jumlah tulangan	
			Elastis	Kekuatan batas
1	6	250/650	8D20	5D20
2	9	300/750	8D22	7D22

Dari hasil disain diatas, untuk pemakaian penampang balok T yang sama, antara metode kekuatan batas dengan metode elastis menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode kekuatan batas lebih ekonomis dibandingkan metode elastis, karena dari hasil disain metode kekuatan batas terdapat selisih 1 tulangan dari metode elastis. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan dengan metode kekuatan batas akan lebih efisien dari metode elastis.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dari Bab I dan Bab III, serta Bab pembahasan pada Bab IV, dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Dalam membandingkan antara kedua metode, elastis dan kekuatan batas, tidak dapat dilakukan dengan membandingkan langsung hasil momen perencanaan. Hal ini dikarenakan ketentuan-ketentuan dalam perhitungan pada kedua metode, sangat berbeda.
2. Untuk dapat membandingkan antara kedua metode tersebut, hasil dari momen metode kekuatan batas harus disetarakan dahulu terhadap momen metode elastis, yaitu dengan membagi momen perencanaan metode kekuatan batas dengan momen perencanaan metode elastis.
3. Dari tabel dan grafik penambahan momen metode kekuatan batas terhadap elastis ( tabel 4.1 s/d 4.5 dan grafik 4.1 s/d 4.5 ) dapat disimpulkan bahwa balok T dengan metode kekuatan batas lebih besar dalam mendukung momen jika dibandingkan dengan metode elastis.
4. Perencanaan balok T dengan menggunakan metode kekuatan batas akan lebih efisien jika dibanding dengan metode elastis.
5. Dengan bertambahnya panjang bentang pada balok T maka prosentase penambahan kapasitas momen metode kekuatan batas terhadap metode elastis akan semakin berkurang.

Dengan kata lain efisiensi metode kekuatan batas terhadap metode elastis juga berkurang.

## 5.2. Saran

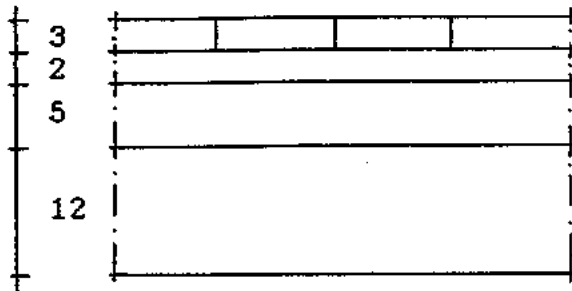
Dari hasil kesimpulan diatas, maka dapat diberikan saran sebagai berikut ini.

1. Dalam merencanakan struktur balok, khususnya balok T, disarankan untuk merencanakan dengan metode kekuatan batas (SK-SNI 1991), karena akan lebih besar dalam menahan momen dibandingkan metode elastis.
2. Dalam mendisain balok T hendaknya garis netral jatuh dibadan, karena pada kondisi demikian daerah desak beton di *flens* dapat dimanfaatkan sepenuhnya dan sebaiknya dihitung dengan menggunakan tulangan sebelah.
3. Sehubungan dengan perencanaan dengan menggunakan metode kekuatan batas, maka perlu diadakan pengawasan yang lebih teliti sewaktu pelaksanaan dilapangan khususnya dalam pengerjaan mutu beton.

# **LAMPIRAN**

## Perhitungan balok lantai.

## - Akibat beban mati.

Tegel : 24 kg/m<sup>2</sup>/cm tebalSpesi : 21 kg/m<sup>2</sup>/cm tebalPasir : 1600 kg/m<sup>3</sup>Beton : 2400 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Berat plat} = 0,12 \cdot 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pasir} = 0,05 \cdot 1600 = 80 \text{ kg/m}^2$$

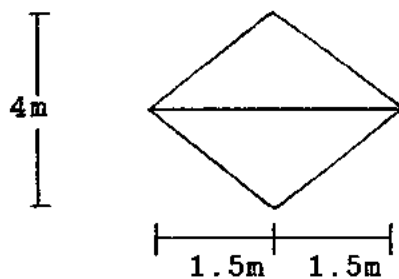
$$\text{Berat spesi} = 2 \cdot 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat tegel} = 3 \cdot 24 = 72 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban berguna} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$q(\text{plat}) = \frac{288 + 80 + 42 + 72 + 200}{1} = 682 \text{ kg/m}^2$$

## - Balok dengan panjang bentang 3 meter :



## - Akibat plat lantai :

$$q_{\text{plat}} = 682 \text{ kg/m}^2$$

$$M_1 = 2 \cdot 0,0417 \cdot q \cdot l^3$$

$$= 2 \cdot 0,0417 \cdot 682 \cdot 3^3$$

$$= 1535,7276 \text{ kgm}$$

- Akibat berat balok dan tembok :

$$- q_{\text{tembok}} = 1000 \text{ kg/m}$$

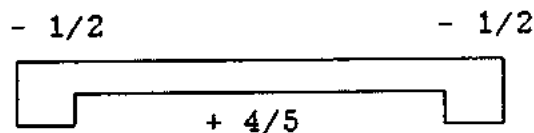
- berat sendiri balok (20/35)

$$= 0,20 \cdot (0,35 - 0,12) \cdot 2400 = 110,4 \text{ kg/m}$$

$$q = 1110,4 \text{ kg/m} +$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/8 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/8 \cdot 1110,4 \cdot 3^2 \\ &= 1249,20 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_0 &= M_1 + M_2 \\ &= 1535,7276 + 1249,20 \\ &= 2784,9276 \text{ kgm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_D &= 4/5 \cdot M_0 \\ &= 4/5 \cdot 2784,9276 = 2227,9421 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup.

$$q_L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} M_L &= 2 \cdot 0,0417 \cdot q \cdot l^3 \\ &= 2 \cdot 0,0417 \cdot 250 \cdot 3^3 = 562,95 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen maksimum untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut :

a. Metode kekuatan batas

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 \cdot M_D + 1,6 \cdot M_L \\ &= 1,2 \cdot 2227,9421 + 1,6 \cdot 562,95 \\ &= 3574,2505 \text{ kgm} \\ &= 35,7425 \text{ kNm} \end{aligned}$$

## b. Metode elastis

$$\begin{aligned}
 M &= M_D + M_L \\
 &= 2227,9421 + 562,95 \\
 &= 2790,8921 \text{ kgm} \\
 &= 27,9089 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

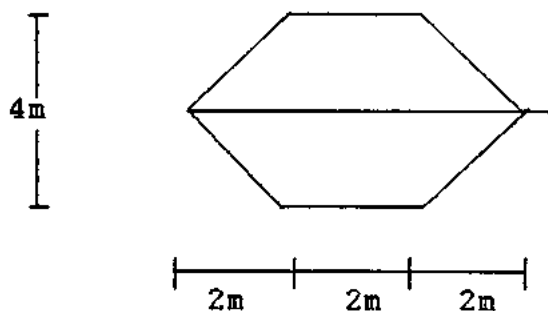
Perbandingan momen yang terjadi antara metode kekuatan batas dengan metode elastis, dipakai untuk menyetarakan momen perencanaan metode kekuatan batas terhadap metode elastis.

Besarnya nilai banding  $M$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \ddot{e} &= \frac{M \text{ kekuatan batas}}{M \text{ elastis}} \\
 \ddot{e} &= \frac{35,7425}{27,9089} = 1,2807
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan menyetarakan metode kekuatan batas ke metode elastis, penentuan tingkat efisiensi dari kedua metode tersebut dapat dilakukan.

- Balok dengan panjang bentang 6 meter :



- Akibat plat lantai :

$$q_{\text{plat}} = 682 \text{ kg/m}^2$$

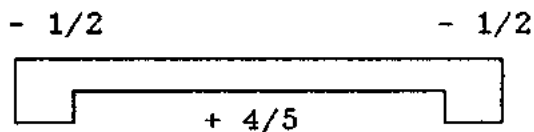
$$\begin{aligned}
 M_1 &= 2.0,0208.q.lx(3.ly^2 - lx^2) \\
 &= 2.0,0208.682.4(3.6^2 - 4^2) \\
 &= 10440,6016 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Akibat berat balok dan tembok :

$$\begin{aligned}
 - q_{\text{tembok}} &= 1000 \text{ kg/m} \\
 - \text{berat sendiri balok (25/70)} \\
 &= 0,25.(0,70 - 0,12).2400 = 384 \text{ kg/m} \\
 \hline
 q &= 1384 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 1/8.q.l^2 \\
 &= 1/8.1384.6^2 \\
 &= 6228,00 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_0 &= M_1 + M_2 \\
 &= 10440,6016 + 6228,00 \\
 &= 16668,6016 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 M_D &= 4/5 . M_0 \\
 &= 4/5 . 16668,6016 = 13334,8813 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup.

$$q_L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_L &= 2.0,0208.q.lx(3.ly^2 - lx^2) \\
 &= 2.0,0208.250.4(3.6^2 - 4^2) = 3827,2 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut :



## a. Metode kekuatan batas

$$M_u = 1,2 \cdot M_D + 1,6 \cdot M_L$$

$$M_u = 1,2 \cdot 13334,8813 + 1,6 \cdot 3827,2$$

$$= 22125,3775 \text{ kgm}$$

$$= 221,2538 \text{ kNm}$$

## b. Metode elastis

$$M = M_D + M_L$$

$$= 13334,8813 + 3827,2$$

$$= 17162,0813 \text{ kgm}$$

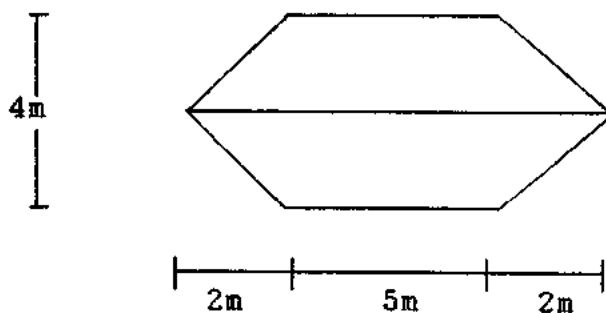
$$= 171,6208 \text{ kNm}$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{M \text{ kekuatan batas}}{M \text{ elastis}}$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{221,2538}{171,6208} = 1,2892$$

Untuk panjang bentang yang lainnya (9 m, 12 m dan 15 m) dihitung dengan cara yang sama seperti di atas.

- Balok dengan panjang bentang 8 meter :



- Akibat plat lantai :

$$q_{\text{plat}} = 682 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 2.0,0208 \cdot q \cdot lx(3 \cdot ly^2 - lx^2) \\ &= 2.0,0208 \cdot 682 \cdot 4(3 \cdot 9^2 - 4^2) \\ &= 25761,0496 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Akibat berat balok dan tembok :

$$- q_{\text{tembok}} = 1000 \text{ kg/m}$$

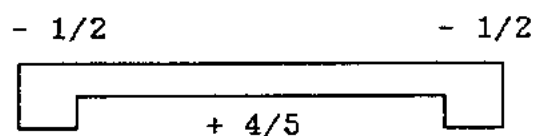
- berat sendiri balok (30/80)

$$= 0,30 \cdot (0,80 - 0,12) \cdot 2400 = 489,6 \text{ kg/m}$$

$$q = 1489,6 \text{ kg/m} +$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/8 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/8 \cdot 1489,6 \cdot 9^2 \\ &= 15082,20 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_0 &= M_1 + M_2 \\ &= 25761,0496 + 15082,20 \\ &= 40843,2496 \text{ kgm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_D &= 4/5 \cdot M_0 \\ &= 4/5 \cdot 40843,2496 = 32674,5957 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup.

$$q_L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} M_L &= 2.0,0208 \cdot q \cdot lx(3 \cdot ly^2 - lx^2) \\ &= 2.0,0208 \cdot 250 \cdot 4(3 \cdot 9^2 - 4^2) = 9443,20 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen maksimum untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut :

a. Metode kekuatan batas :

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2.M_D + 1,6.M_L \\ &= 1,2.32674,5957 + 1,6.9443,20 \\ &= 54318,6396 \text{ kgm} \\ &= 543,1864 \text{ kNm} \end{aligned}$$

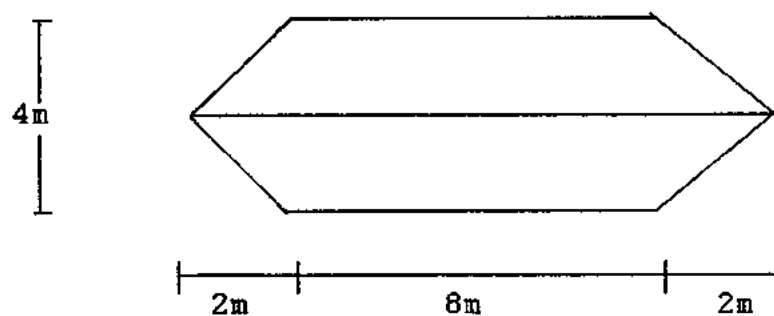
b. Metode elastis :

$$\begin{aligned} M &= M_D + M_L \\ &= 32674,5957 + 9443,20 \\ &= 42117,7997 \text{ kgm} \\ &= 421,1178 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{M \text{ kekuatan batas}}{M \text{ elastis}}$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{543,1864}{421,1178} = 1,2897$$

- Balok dengan panjang bentang 12 meter :



- Akibat plat lantai :

$$q_{\text{plat}} = 682 \text{ kg/m}^2$$

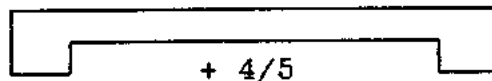
$$\begin{aligned}
 M_1 &= 2.0,0208.q.lx(3.ly^2 - lx^2) \\
 &= 2.0,0208.682.4(3.12^2 - 4^2) \\
 &= 47209,6768 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Akibat berat balok dan tembok :

$$\begin{aligned}
 - q_{\text{tembok}} &= 1000 \text{ kg/m} \\
 - \text{berat sendiri balok (40/95)} & \\
 &= 0,40.(0,95 - 0,12).2400 = 796,8 \text{ kg/m} \\
 \hline
 q &= 1796,8 \text{ kg/m} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 1/8.q.l^2 \\
 &= 1/8.1796,8 .12^2 \\
 &= 32342,4 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_0 &= M_1 + M_2 \\
 &= 47209,6768 + 32342,4 \\
 &= 79552,0768 \text{ kgm} \\
 &- 1/2 \qquad \qquad \qquad - 1/2
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 M_D &= 4/5 . M_0 \\
 &= 4/5 . 79552,0768 = 63641,6614 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup.

$$q_L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_L &= 2.0,0208.q.lx(3.ly^2 - lx^2) \\
 &= 2.0,0208.250.4(3.12^2 - 4^2) = 17305,6 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut :

a. Metode kekuatan batas

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2.M_D + 1,6.M_L \\ &= 1,2.63641,6614 + 1,6.17305,6 \\ &= 104058,9537 \text{ kgm} \\ &= 1040,5895 \text{ kNm} \end{aligned}$$

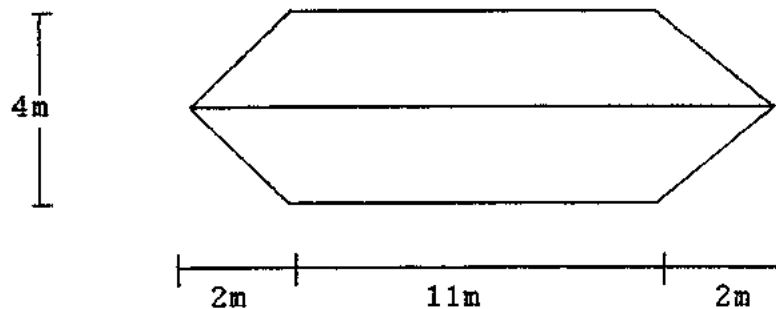
b. Metode elastis

$$\begin{aligned} M &= M_D + M_L \\ &= 63641,6614 + 17305,6 \\ &= 80947,2414 \text{ kgm} \\ &= 809,4724 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{M \text{ kekuatan batas}}{M \text{ elastis}}$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{1041,5895}{809,4724} = 1,2855$$

- Balok dengan panjang bentang 15 meter :



- Akibat plat lantai :

$$q_{\text{plat}} = 682 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 2.0,0208.q.lx(3.ly^2 - lx^2) \\ &= 2.0,0208.682.4(3.15^2 - 4^2) \\ &= 74786,4832 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Akibat berat balok dan tembok :

$$- q_{\text{tembok}} = 1000 \text{ kg/m}$$

- berat sendiri balok (40/100)

$$= 0,40 \cdot (1,0 - 0,12) \cdot 2400 = 844,8 \text{ kg/m}$$

$$q = 1844,8 \text{ kg/m} +$$

$$M_2 = 1/8 \cdot q \cdot l^2$$

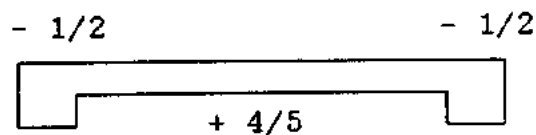
$$= 1/8 \cdot 1844,8 \cdot 15^2$$

$$= 51885,0 \text{ kgm}$$

$$M_0 = M_1 + M_2$$

$$= 74786,4832 + 51885$$

$$= 126671,4832 \text{ kgm}$$



$$M_D = 4/5 \cdot M_0$$

$$= 4/5 \cdot 126671,4832 = 101337,1866 \text{ kgm}$$

- Akibat beban hidup.

$$q_L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$M_L = 2 \cdot 0,0208 \cdot q \cdot l_x (3 \cdot l_y^2 - l_x^2)$$

$$= 2 \cdot 0,0208 \cdot 250 \cdot 4 (3 \cdot 15^2 - 4^2) = 27414,4 \text{ kgm}$$

Momen maksimum untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut :

a. Metode kekuatan batas

$$M_u = 1,2 \cdot M_D + 1,6 \cdot M_L$$

$$= 1,2 \cdot 101337,1866 + 1,6 \cdot 27414,4$$

$$= 165467,6639 \text{ kgm} = 1654,6766 \text{ kNm}$$

## b. Metode elastis

$$\begin{aligned}M &= M_D + M_L \\&= 101337,1866 + 27414,4 \\&= 128751,5866 \text{ kgm} \\&= 1287,5158 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\ddot{e} = \frac{M \text{ kekuatan batas}}{M \text{ elastis}}$$

$$\ddot{e} = \frac{1654,6766}{1287,5158} = 1,2851$$

```

5      '*****
10     '* PROGRAM BALOK T METODE ELASTIS *
15     '*****
20     KEY OFF :CLS
30     PRINT " SILAHKAN INPUT DATA "
40     PRINT " "
50     INPUT " bE          (mm)      : ";BE
60     INPUT " bW          (mm)      : ";BW
70     INPUT " h           (mm)      : ";H
80     INPUT " hf          (mm)      : ";HF
90     INPUT " fc          (MPa)     : ";FC
100    INPUT " Fy          (MPa)     : ";FY
110    INPUT " n           : ";N
120    INPUT " JTmin       : ";JTMIN
130    INPUT " JTmax      : ";JTMAX
140    INPUT " diameter tul(mm) : ";DI
170    PRINT : INPUT "DATA BENAR ? (Y/N) : ";Y$
180    IF Y$="N" OR Y$="n" THEN GOTO 20
190    PRINT
200    PRINT USING " bE = #####.#### mm ";BE
210    PRINT USING " bW = #####.#### mm ";BW
220    PRINT USING " h  = #####.#### mm ";H
230    PRINT USING " hf = #####.#### mm ";HF
240    PRINT USING " fc = #####.#### MPa ";FC
250    PRINT USING " Fy = #####.#### MPa ";FY
260    PRINT USING " n  = #####.####      ";N
270    ASI = (1/4)*3.1416*(DI^2)
280    FOR JT = JTMIN TO JTMAX
290    AS = JT*ASI
300    IF JT <=4 THEN DS= 50 : GOTO 320
310    DS = ((JT-4)*(DI+25)/JT) + 50
320    D = H-DS
330    Y = ((N*AS*D)+( .5*BE*(HF^2)))/((N*AS)+(BE*HF))
340    IF Y<HF THEN GOTO 430
350    A = .5*BW
360    B = (N*AS)+(BE*HF)-(BW*HF)
370    C = (BW*((HF^2)/2))-(N*AS*D)-(BE*((HF^2)/2))
380    Y = (-B + (SQR((B^2)-(4*A*C))))/(2*A)
390    IT1 = (BE*(HF^3)/12)+(BE*HF*((Y-.5*HF)^2))
400    IT2 = (BW*((Y-HF)^3)/3)+(N*AS*((D-Y)^2))
410    IT = IT1 + IT2
420    GOTO 440
430    IT=(BE*(Y^3)/12)+(BE*Y*((.5*Y)^2))+(N*AS*((D-Y)^2))
440    M1=((FC*IT)/Y)*.000001
450    M2=((FY*IT)/(N*(D-Y)))*.000001
460    PRINT
470    PRINT USING "As  =#####.#### mm2 ";AS
480    PRINT USING "M1  =#####.#### kNm ";M1
490    PRINT USING "M2  =#####.#### kNm ";M2
500    NEXT
510    END

```



```

5      '*****
10     '* PROGRAM BALOK T METODEDE KEKUATAN BATAS *
15     '*****
20     KEY OFF :CLS
30     PRINT " SILAHKAN INPUT DATA "
40     PRINT " _____ "
50     INPUT " bE          (mm)      : ";BE
60     INPUT " bW          (mm)      : ";BW
70     INPUT " h           (mm)      : ";H
80     INPUT " hf          (mm)      : ";HF
90     INPUT " fc          (MPa)     : ";FC
100    INPUT " Fy          (MPa)     : ";FY
110    INPUT " diameter tul(mm)    : ";DI
120    PRINT : INPUT "DATA BENAR ? (Y/N) : ";Y#
130    IF Y#="N" OR Y#="n" THEN GOTO 20
140    PRINT
150    PRINT USING " bE = #####.### mm ";BE
160    PRINT USING " bW = #####.### mm ";BW
170    PRINT USING " h  = #####.### mm ";H
180    PRINT USING " hf = #####.### mm ";HF
190    PRINT USING " fc = #####.### MPA ";FC
200    PRINT USING " Fy = #####.### MPA ";FY
205    D = H-70
210    AMIN = (1.4/FY)*D*BW
220    IF FC <=30 THEN B1=.85 :GOTO 250
230    B1 = .85-(8.000001E-03 *(FC-30))
240    IF B1<.65 THEN B1 = .65
250    AB = (600/((600+FY))*D*B1
260    AMAX = (.6375*FC*((BE*HF)+(AB-HF)*BW))/FY
270    ASI = (1/4)*3.1416*(DI^2)
280    AMIN1= 3*ASI
290    IF AMIN < AMIN1 THEN JTMIN = 3 ELSE JTMIN = INT(AMIN/ASI) + 1
300    AMAX1= 8*ASI
310    IF AMAX > AMAX1 THEN JTMAX = 8 ELSE JTMAX = INT(AMAX/ASI)
320    FOR JT = JTMIN TO JTMAX
330    AS = JT * ASI
340    IF JT <= 3 THEN DS= 50 : GOTO 360
350    DS = ((JT-3)*(DI+25)/JT) + 50
360    D = H - DS
370    A = (AS*FY)/(.85*FC*BE)
380    IF A<HF THEN GOTO 420
390    A = ((AS*FY)-(.85*FC*HF*(BE-BW)))/(.85*FC*BW)
400    MN = ((.85*FC*BW*A)*(D-(A/2)))+( (.85*FC*HF*(BE-BW))*(D-(HF/2)))
410    GOTO 430
420    MN = (AS*FY)*(D-(A/2))
430    MU = (.8*MN)*.000001
440    PRINT
450    PRINT USING "As-min =#####.### mm2 ";AMIN
460    PRINT USING "As-max =#####.### mm2 ";AMAX
470    PRINT USING "As      =#####.### mm2 ";AS
480    PRINT USING "Mu      =#####.### kNm ";MU
490    NEXT
500    END

```

