

TUGAS AKHIR

TINJAUAN GESER

PADA BALOK TAMPANG I DAN T

BETON PRATEGANG



Oleh :

ZAENAL ARIFIN

No. Mhs. : 89 310 101

N.I.R.M. : 89 0051013114120 098

LUTFI ALHAROMAIN

No. Mhs. : 89 310 106

N.I.R.M. : 89 0051013114120 105

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

1996

TUGAS AKHIR

TINJAUAN GESER

PADA BALOK TAMPANG I DAN T

BETON PRATEGANG

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

Oleh :

ZAENAL ARIFIN

No. Mhs. : 89 310 101

N.I.R.M. : 89 0051013114120 098

LUTFI ALHAROMAIN

No. Mhs. : 89 310 106

N.I.R.M. : 89 0051013114120 105

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

1996

Lembar Pengesahan

TUGAS AKHIR

TINJAUAN GESER

PADA BALOK TAMPANG I DAN T

BETON PRATEGANG

Oleh :

ZAENAL ARIFIN

No. Mhs. : 89 310 101

N.I.R.M. : 89 0051013114120 098

LUTFI ALHAROMAIN

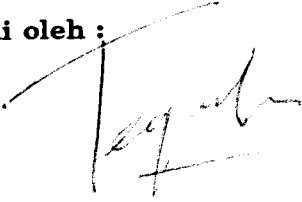
No. Mhs. : 89 310 106

N.I.R.M. : 89 0051013114120 105

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

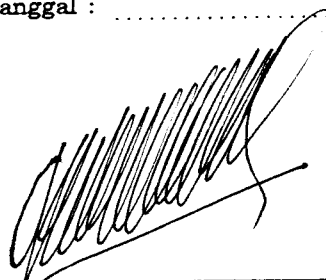
Ir. Mohammad Teguh, MSCE

Dosen Pembimbing I


Tanggal :

Ir. A. Kadir Aboe, MS

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 25/11/96

MOTTO:

" Sesungguhnya Kami telah menjadikan apa yang ada di bumi sebagai perhiasan baginya. agar Kami menguji mereka siapakah di antara mereka yang terbaik perbuatannya "

(Al Qur'an. Al Kahfi : 7)

" Yang paling disukai oleh Allah ialah kamu yang paling baik akhlaknya. YANG BISA MERAMPUNGAN BERBAGAI TUGAS. yang bersatu dan berusaha menciptakan persatuan "

(Al Hadits)

PRAKATA

Assalamu 'alaikum wr.wb.

Alhamdulillah rabbil 'alamiin, segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan barokah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat wajib bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh derajat sarjana jenjang S1 (strata 1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir ini berjudul "Tinjauan Geser pada Balok Tampang I dan T Beton Prategang " dengan maksud untuk mempelajari kuat geser pada struktur beton prategang yang ditahan oleh beton, tendon, dan tulangan geser.

Selama mengerjakan tugas akhir ini telah banyak didapatkan bantuan, bimbingan, serta pengarahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, perkenankan untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya 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,
3. Bapak Ir. M. Teguh, MSCE., selaku Dosen Pembimbing I,
4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS., selaku Dosen Pembimbing II,
5. yang tercinta ayahanda, ibunda, kakanda-kakanda, dan adik-adik semua, atas nasehat, dorongan, dan semangat yang telah diberikan selama penulisan tugas akhir.

Akhirnya, semoga penulisan tugas akhir ini, berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa dan siapa saja yang memerlukannya.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, Oktober 1996

Penulis

ZAENAL ARIFIN

LUTFI ALHAROMAIN

No. Mhs: 89310101

No. Mhs: 89310106

ABSTRAKSI

Di Indonesia penggunaan balok tampang I dan T pada beton prategang lebih disukai, karena keduanya mempunyai penampang yang ramping. Untuk mengetahui efektifitas dari kedua tampang yang berbeda tersebut, perlu adanya analisis desain kedua tampang.

Dari hasil desain kekuatan geser terhadap kedua tampang tersebut dengan memakai tendon melengkung metode pasca tarik, ternyata tampang T mempunyai kelebihan dalam menghasilkan tahanan terhadap gaya geser dari pada tampang I. Secara teknis kelebihan ini disebabkan lebar badan balok T yang lebih besar dibandingkan balok tampang I. Pada perencanaan balok beton prategang tersebut, gaya geser yang terjadi ditahan oleh beton, tulangan geser, dan tendon. Sudut kemiringan tendon berpengaruh terhadap kapasitas geser yang ditahan oleh tendon.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PRAKATA	ii
ABSTRAKSI	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR NOTASI	vi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan dan Batasan Studi Literatur	4
1.4 Metode Studi Literatur	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Beton Prategang	6
2.2 Sistem Prategang	8
2.3 Bahan-bahan Beton Prategang.....	8
2.4 Kehilangan Gaya Prategang	15
2.5 Kekuatan Geser pada Beton Prategang	18

BAB III TEORI KEKUATAN GESER DAN KOMBINASINYA DENGAN KOMPONEN LENTUR

3.1 Kekuatan Geser tanpa Tulangan Geser dan Kombinasi dengan Lentur	22
3.2 Kombinasi Geser dan Tulangan Geser	32

BAB IV DESAIN BALOK TAMPANG I DAN T

4.1 Tinjauan Umum	35
4.2 Tinjauan Balok Terhadap Geser	37
4.3 Desain Tulangan Geser	38

BAB V PEMBAHASAN	59
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	65
6.2 Saran-saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

- A_c = luas penampang beton yang menahan penyaluran geser, mm²
- A_{ps} = luas tulangan pratekan dalam daerah tarik, mm²
- A_s = luas tulangan tarik non pratekan, mm²
- A_v = luas efektif dari tulangan geser, mm²
- b_w = lebar badan balok, mm
- d = jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat dari tulangan tarik longitudinal, tapi tidak perlu kurang dari $0,8 \cdot h$ untuk elemen pratekan, mm
- f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
- f_d = tegangan beban akibat beban mati tak berfaktor, pada serat terluar dari penampang di mana tegangan tarik disebabkan oleh beban luar, MPa
- f_{pc} = tegangan tekan pada beton (setelah memperhitungkan kehilangan pratekan pada titik berat penampang yang menahan beban luar atau pada pertemuan dari badan dan flens jika titik berat penampang terletak dalam flens, MPa.
- f_{pe} = tegangan tekan dalam beton akibat gaya pratekan efektif saja (setelah memperhitungkan semua

kehilangan pratekan pada serat terluar dari penampang di mana tegangan tarik terjadi akibat beban luar, MPa

- f_{pu} = kuat tarik yang disyaratkan dari tendon pratekan, MPa
- f_y = kuat leleh yang disyaratkan dari tulangan non pratekan, MPa
- h = tinggi total komponen struktur, mm
- I_c = momen inersia penampang beton
- L = panjang bentang balok, m
- M_{cr} = momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar
- M_{maks} = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar, kN-m'
- M_n = kekuatan kritis momen nominal, kN-m'
- M_u = momen batas terfaktor pada penampang, kN-m'
- T_e = kekuatan pratekan efektif pada tendon, kN
- V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
- V_{ci} = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser
- V_{cr} = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat

tegangan tarik utama yang berlebihan di dalam badan

- V_d = gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor, kN
- V_n = kekuatan kritis geser nominal, kN
- V_p = komponen vertikal dari gaya prategang efektif pada penampang, kN
- V_s = kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser, kN
- V_u = gaya batas geser terfaktor
- v_c = tegangan geser ijin beton, MPa
- Y_t = jarak dari sumbu netral ke serat terluar dari beton tarik, mm
- s = jarak spasi antara tulangan geser, mm
- ϕ = faktor reduksi kekuatan (untuk geser=0,6 , untuk momen =0,85).

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tiga jenis bahan yang sering digunakan di dalam struktur adalah kayu, baja, dan beton dengan tulangan penguat (termasuk prategang). Beton bertulang adalah bahan struktur yang unik di antara bahan yang ada, karena baja tulangan dan beton digunakan bersamaan. Beton memiliki kekuatan tekan tinggi akan tetapi kekuatan tariknya rendah, dan batangan-batangan baja tulangan bila ditanamkan di dalam beton, dapat memberikan tambahan kekuatan struktur beton yang diperlukan.

Sesuai dengan laju perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK), maka struktur betonpun berkembang memenuhi tuntutan jaman. Kekuatan beton mengalami perubahan yang drastis setelah ditemukan bahan beton dan baja yang berkekuatan tinggi yang semakin berkembang cara pembuatannya, sehingga diciptakan beton prategang. Pemakaian beton prategang dewasa ini telah mencakup semua jenis struktur bangunan, dimulai dari gedung, jembatan, hingga konstruksi bendungan.

Perbedaan utama antara beton bertulang cara

konvensional dan beton prategang adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan perencanaan beton yang ada, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton dan baja dengan cara aktif. Beton prategang dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut.

Konsep awal dari beton prategang adalah bahwa beton bebas dari retak-retak layan, penghilangan retak-retak berarti mencegah terjadinya karat. Dengan demikian seluruh penampang prategang dapat bekerja secara efektif.

Pada struktur beton bertulang konvensional, jika penggunaan sengkang sebagai tulangan geser sudah terlalu rapat, dapat juga ditambah dengan tulangan miring untuk memikul sebagian tegangan geser tersebut. Lain halnya pada balok beton prategang cara seperti itu tidak dapat dilakukan karena adanya tendon-tendon prategang dan perlengkapannya. Untuk mengurangi rapatnya tulangan sengkang dapat juga memperhitungkan pengaruh gaya prategang.

Pengaruh gaya prategang ini jika tendon dipasang miring atau melengkung dapat ikut membantu beton dalam mendukung tegangan geser akibat beban luar. Hal ini

ditunjukkan dalam rumus (3-15) pada bab III bahwa kekuatan geser tendon (V_p) diperhitungkan untuk mendukung kekuatan geser beton di badan tampang (V_{cw}). Sedangkan tendon yang dipasang lurus tidak ikut mendukung gaya geseran.

1.2 Permasalahan

Dalam beberapa literatur yang meninjau mengenai beton prategang telah banyak membahas teori kekuatan lentur, torsi, dan geser secara umum sesuai SK-SNI 1991 maupun ACI, tetapi masih sedikit yang membahas contoh perhitungan dengan metode peraturan tersebut. Hal ini dikarenakan perhitungan dengan metode peraturan SK-SNI 1991 maupun ACI masih belum begitu meluas pemakaiannya.

Dalam penulisan tugas akhir ini dibahas mengenai tinjauan studi literatur pada beton prategang tentang desain geser dan kombinasinya dengan komponen lainnya, yaitu lentur. Contoh perhitungan ini digunakan balok tampang I dan T dengan memakai metode pasca tarik dengan tendon melengkung serta memakai struktur *simple beam* semata untuk mempermudah perhitungan.

Bentuk tampang I dan T ini sering digunakan pada banyak konstruksi jembatan dan gedung, dapat memberikan hasil yang lebih ekonomis karena keduanya mempunyai luas badan yang lebih ramping dibandingkan tampang lainnya. Sedangkan pemakaian metode pasca tarik dengan tendon

melengkung menghasilkan eksentrisitas yang tinggi, sehingga mengakibatkan tegangan-tegangan yang terjadi semakin kecil.

Pada contoh perhitungan tampang ini akan digunakan panjang bentangan 16m, 20m, dan 25m. Alasan perhitungan ini dimulai pada bentangan 16m dikarenakan pada jarak tersebut beton konvensional sudah dirasakan tidak ekonomis lagi digunakan, sehingga perlu dialihkan kepenggunaan beton prategang. Sedangkan batas bentangan 25m digunakan untuk melihat apakah tampang I dan T masih efektif.

1.3 Tujuan dan Batasan Studi Literatur

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mendesain kuat geser dan atau lentur pada struktur beton prategang yang ditahan beton, tendon, dan tulangan geser.

Batasan-batasan yang dipakai penulis dalam tugas akhir ini mengenai beton prategang dengan tinjauan antara lain sebagai berikut ini.

1. Desain geser balok beton prategang pada penampang I dan T, serta desain kombinasi geser dan lentur.
2. Desain beton Prategang ditinjau pada kondisi pasca tarik (**Posttensioned**) dengan bentuk tendon yang melengkung serta diberi rekatan (*grouting*).
3. Perhitungan dilakukan untuk bentang tunggal dengan tumpuan *simple beam* yang menerima beban merata.

Panjang Bentang digunakan sepanjang 16m, 20m, dan 25m.

4. Data yang digunakan untuk bahan perencanaan sebagai berikut:

Baja prategang $f_{pu} = 1700$ MPa,

Mutu beton $f'c = 40$ MPa, $n = 7$,

Berat jenis beton = 23 kN/m,

Beban mati $WD = 20$ kN/m,

Beban hidup $WL = 15$ kN/m.

1.4 Metode Studi Literatur

Metode studi literatur ini dapat diuraikan secara singkat sebagai berikut :

1. mencari dan membaca bahan-bahan literatur yang dibutuhkan dari perpustakaan, kemudian membahasnya,
2. melakukan perhitungan untuk merencanakan dan menganalisis dimensi balok dengan memakai cara/rumus yang ada dari literatur,
3. membuat program komputer untuk mempercepat perhitungan,
4. membuat tabel dan grafik dari hasil perhitungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Menurut T.Y. Lin (1957), ada tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini penting bagi seorang perancang untuk mengerti ketiga konsep tersebut supaya dapat mendesain beton prategang dengan seefisien mungkin. Ketiga konsep tersebut dapat diuraikan sebagai berikut ini.

1. Sistem Prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

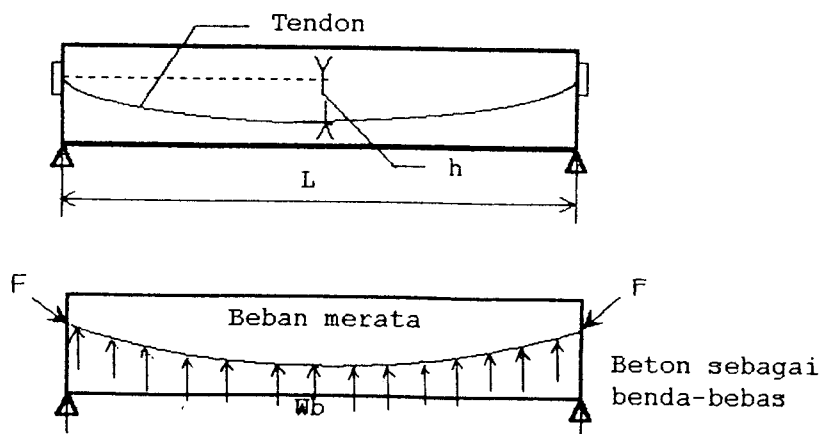
Konsep ini dikemukakan oleh Eugene Freyssinet. Beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis. Hal ini dikarenakan beton tidak mengalami retak di bagian tarik balok walaupun terjadi tarikan. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan, yaitu : gaya internal prategang dan beban eksternal, dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang (tendon).

2. Sistem Prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Seperti halnya pada beton bertulang, konsep ini mempertimbangkan juga kombinasi dari baja dan beton, yaitu baja menahan tarik dan beton menahan gaya desak, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel gaya untuk melawan momen eksternal. Kelebihan beton prategang merupakan modifikasi pemakaian beton bertulang dengan memakai baja berkekuatan tinggi.

3. Sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban.

Konsep ini menganggap beton sebagai benda bebas (*freebody*) dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja merata pada beton sepanjang bentangan, sehingga diperoleh gaya-gaya yang bekerja menjadi seimbang.



Gambar 2.1. Konsep beban berimbang dari prategang

jika F = gaya prategang,
 L = panjang bentangan,
 h = tinggi parabola.

Penjelasan mengenai Gambar di atas adalah sebagai berikut. Mula-mula balok prategang dianggap berada di atas dua tumpuan (*simple beam*) dengan tendon berbentuk parabola.

Beban yang terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan dalam rumus dibawah ini.

$$w_b = \frac{8Fh}{L^2} \dots\dots\dots(2-1)$$

dianggap menahan beban reaksi secara merata, sehingga beban yang bekerja adalah selisih beban di atasnya (*eksternal*) dengan reaksinya.

2.2 Sistem Prategang

Metode pelaksanaan prategang pada tendon, dilakukan dua cara yang sering digunakan, yaitu pratarik (**pretensioned**) yang dimaksudkan untuk menggambarkan metode sistem prategang karena tendon-tendon ditarik sebelum beton dicor. Alternatif dari sistem pratarik, adalah sistem pasca tarik (**posttensioned**), dalam metode ini kabel ditarik setelah beton mengeras.

2.3 Bahan-bahan Beton Prategang

2.3.1 Beton

Beton yang digunakan untuk metode prategang harus memenuhi kriteria sebagai berikut ini:

1. Persyaratan Kekuatan Beton

Dalam perencanaan di lapangan, beton yang lebih kuat biasanya dibutuhkan untuk pekerjaan beton prategang daripada untuk beton bertulang konvensional. Di Amerika Serikat, beton untuk prategang umumnya digunakan beton yang mempunyai kekuatan tekan berkisar 24 hingga 55 MPa untuk sampel beton silinder yang berumur 28 hari. Sedangkan untuk sampel beton kubus diambil 1,25 kali kekuatan sampel beton silinder.

2. Karakteristik Regangan Beton

Pada beton prategang, regangan-regangan beton sangat penting untuk diketahui. Karena hal ini untuk memperkirakan kehilangan gaya prategang pada baja dan untuk memperhitungkan pengaruh-pengaruh lain dari pemendekan pada beton, seperti : regangan elastis, rangkai, dan susut.

3. Teknik Pembuatan Beton

Sebenarnya semua standar teknik pembuatan beton mutu tinggi dapat diterapkan pada beton prategang, asalkan tidak mengurangi kekuatan tinggi yang disyaratkan, tidak boleh memperbesar terjadinya rangkai dan susut, tidak boleh menghasilkan efek yang merugikan, seperti karat pada kabel baja mutu tinggi.

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam pembuatan beton mutu tinggi, yaitu:

- a. cara pemadatan beton,
- b. nilai faktor air semen (fas) dan slump beton yang dipilih diusahakan bernilai rendah,
- c. penambahan zat untuk mempercepat pengikatan harus ditimbang, karena pengikatan yang terlalu cepat dapat mengakibatkan retak-retak akibat susut sebelum penerapan prategang. Pengeringan dengan uap sangat dianjurkan karena tidak menimbulkan retakan.

4. Perencanaan Berat Sendiri Beton

Dalam perencanaan berat sendiri beton harus dipertimbangkan untuk bangunan apa konstruksi beton prategang ini dibuat. Hal ini penting untuk beban mati yang merupakan bagian terbesar dari beban struktur, atau bila berat komponen struktur merupakan faktor yang dipertimbangkan saat pengangkutan dan pengangkatan. Untuk mereduksi masalah tersebut dipilih alternatif yaitu pemakaian beton ringan untuk beton prategang.

2.3.2 Baja Untuk Tendon

Baja mutu tinggi adalah bahan yang harus dipakai agar menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton. Cara pembuatan baja mutu tinggi dapat dikerjakan dengan pencampuran (*alloying*) baja dengan karbon. Semakin tinggi kadar karbon semakin kuat dan keras baja yang dihasilkan tetapi semakin kurang liat. Cara lain untuk memperbaiki sifat baja tersebut dapat

dilakukan dengan beberapa cara, antara lain: pengerjaan panas (*flame hardening*) dan pengerjaan dingin (*cold work*). Pengerjaan panas (*flame hardening*) dilakukan dengan cara memanasi permukaan baja sampai di atas suhu rekristalisasi kemudian didinginkan secara mendadak dengan cara dicelupkan ke dalam air atau minyak. Pengerjaan dingin (*cold work*) dikerjakan dengan cara penggilasan permukaan baja oleh roda baja yang keras.

Pemakaian baja mutu tinggi untuk tendon dipilih di antara tiga jenis, yaitu: kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*), dan batang (*bar*). Tendon jenis kawat di lapangan terdapat dua bentuk, bentuk polos dan berulir, serta disuplai dalam bentuk gulungan panjang. Karena itu tendon kawat cocok digunakan untuk beton pratarik yang memerlukan rekatan langsung dengan beton. Keuntungan lainnya, karena kawat tendon sangat panjang sehingga dapat digunakan untuk membuat beberapa balok beton prategang dalam satu kali tarikan. Meskipun demikian tendon kawat dapat pula digunakan untuk beton pasca tarik tetapi dirasakan tidak efektif dibandingkan dengan tendon jenis untaian kawat (*strand*).

Strand dibuat di pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama sehingga dapat mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada saat operasi penarikan tendon. Tendon jenis ini mempunyai kuat batas yang tinggi

di atas 1700 MPa tergantung jumlah kawatnya. Di Amerika Serikat, *strand* dengan tujuh kawat sering digunakan dalam beton prategang baik untuk pratarik maupun pasca tarik, meskipun harganya lebih mahal dari pada kumpulan kawat dengan kekuatan tarik yang sama. Tendon tujuh kawat mempunyai karakteristik rekatan dengan beton yang lebih baik dan hemat dalam penarikannya.

Pemakaian tendon batang di lapangan terdapat dalam bentuk polos dan ulir. Pemakaian dalam beton prategang terbatas pada balok yang bentangnya pendek. Diameter tendon batang dimulai 25,4 mm sampai 34,9 mm dengan kekuatan tegangan tarik berkisar 1000 MPa sampai 1600 MPa.

2.3.3 Pengangkuran Ujung

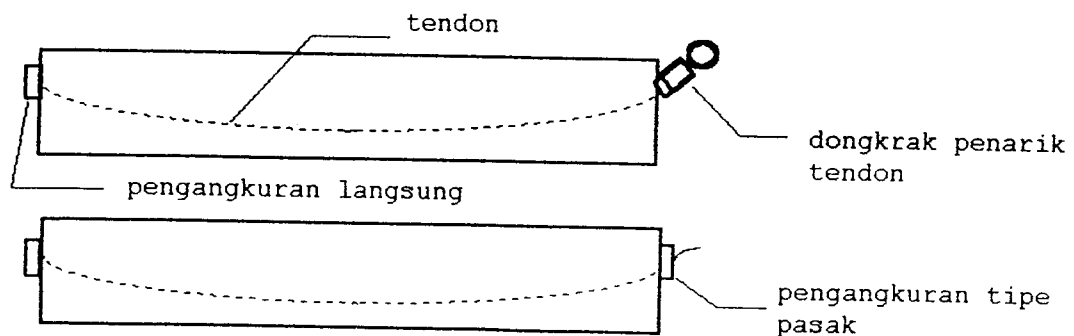
Prinsip pengangkuran ujung tendon dalam prakteknya terdapat perbedaan cara pelaksanaan pengangkuran unung menurut sistem prategang yang dipakai. Untuk sistem pratarik, cara yang sederhana yaitu dengan menarik kabel-kabel di antara dinding penahan (*bulkhead*) dan kemudian diangkurkan pada ujung-ujung pelataran kerja. Setelah beton mengeras kabel-kabel dipotong dan dilepaskan dari dinding penahan dan gaya prategang dialihkan ke beton dengan kabel yang dipasangkan angkur baja menempel di ujung-ujung balok beton.

Prinsip pengangkuran gaya prategang ke ujung-ujung

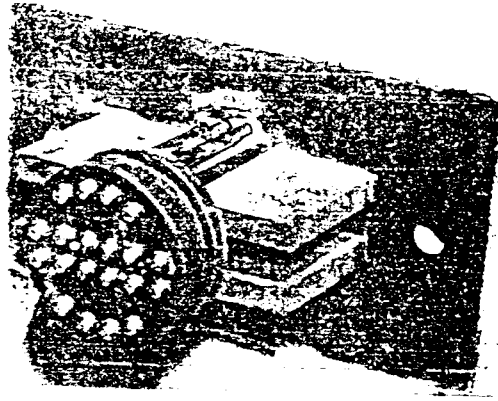
balok beton dengan sistem pasca tarik ada dua metode, yaitu:

1. dengan prinsip kerja pasak yang menghasilkan penjepit geser pada kabel,
2. dengan perletakan langsung dari kepala paku keling atau baut yang dipasang pada ujung kabel.

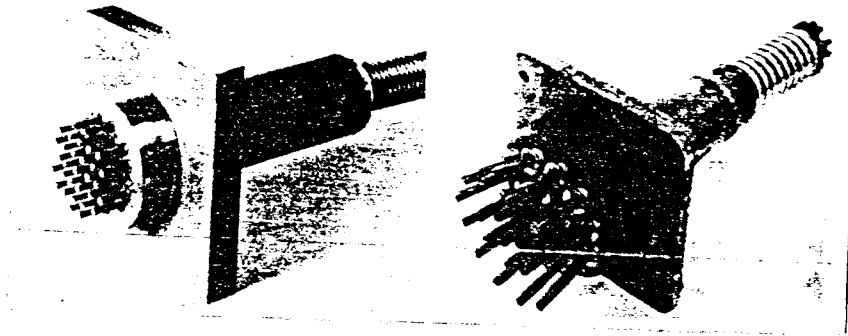
Kedua metode ini dibuat secara sistematis. Setelah beton mengeras, mula-mula tendon-tendon diselipkan melalui selubung kemudian di salah satu ujung tendon dibuat pengangkuran perletakan langsung dari kepala paku keling atau baut. Setelah angkur dibuat, lalu dioperasikan penarikan kemudian gaya prategang ditambahkan pada angkur jenis pengangkuran pasak yang menahan gesekan tendon. Gambar 2.2 di bawah ini menggambarkan metode pengangkuran tendon.



Gambar 2.2 Prinsip pengangkuran pada sistem pasca tarik



Gambar 2.3 Angkur ujung



Gambar 2.4 Angkur tipe pasak

2.3.4 Bahan Pelengkap

Di antara bahan pelengkap yang dibutuhkan untuk beton prategang antara lain adalah bahan pengisi (*grouting*) untuk selubung tendon (*sheath*). Untuk sistem pratarik tidak ada selubung yang diperlukan. Untuk sistem pascatarik, ada dua macam selubung (*conduit*), yaitu untuk sistem prategang dengan rekatan (*bonded*), dan yang untuk tanpa rekatan (*unbonded*).

Jika tendon diberi rekatan, umumnya dengan *grouting* melalui selubungnya, biasanya dipakai semen biasa atau semen yang mempunyai kemampuan tinggi dicampur dengan air. Sedangkan untuk tendon tanpa rekatan, biasanya dipakai plastik atau kertas tebal sebagai pembungkus dan

tendon diberi minyak (*grease*) untuk mempermudah penarikan dan untuk mencegah karat.

2.4 Kehilangan Gaya Prategang

Seperti yang telah dikemukakan di atas, besar gaya prategang tendon setelah terjadinya penyaluran adalah lebih kecil dibandingkan dengan gaya dongkraknya. Dalam hal ini, kehilangan prategang terjadi disebabkan terjadinya perpendekan elastis dari beton, slip pada angkur, dan akibat gesekan yang terjadi sepanjang kabel, serta kehilangan prategang dapat pula disebabkan oleh terjadinya penyusutan dan rangkak pada beton serta relaksasi pada baja yang bertegangan tinggi.

Menurut Komisi 423 ACI-ASCE 1958, besarnya perkiraan kehilangan gaya prategang secara total untuk yang diakibatkan perpendekan elastis, penyusutan, rangkak, serta relaksasi, tetapi tidak termasuk kehilangan yang terjadi akibat gesekan serta slip pada angkur, adalah:

untuk proses pratarik ("*pretensioned*") : 241 MPa

untuk proses pascatarik ("*posttensioned*") : 172 MPa.

Perkiraan ini, umumnya dipakai untuk perancangan konstruksi jembatan. Kemudian pada tahun 1975, AASHTO mengeluarkan ketentuan mengenai nilai kehilangan gaya prategang seperti tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Jumlah Kehilangan Gaya Prategang Total AASTHO

Jenis Baja Prategang	Kehilangan Gaya Prategang Total	
	$f'_c = 28$ MPa	$f'_c = 35$ MPa
Strand Pratarik	-	310 MPa
Kawat atau strand Pasca-tarik ^a	220 Mpa	230 MPa
Batang	150 MPa	160 Mpa

^a Kehilangan gaya prategang tidak termasuk akibat gesekan.

Sedangkan *The Posttensioning Institute* (1976) mencantumkan rekomendasi untuk keseluruhan kehilangan gaya prategang pada Tabel 2.2 sebagai petunjuk untuk beton Prategang sistem Pascatarik.

Tabel 2.2. Nilai Pendekatan Kehilangan Gaya Prategang Sistem Pasca tarik

Material Tendon Pasca Tarik	Kehilangan Gaya Prategang	
	Pelat	Balok dan balok-anak
Strand stress relieved 270 dan kawat stress relieved 240	210 MPa	240 MPa
Batang	140 MPa	170 MPa

Pemakaian perkiraan keseluruhan kehilangan gaya prategang seperti yang diuraikan di atas, direkomendasikan hanya untuk keadaan umum saja.

Untuk kasus-kasus cara perkiraan kehilangan gaya

secara total tidak dipakai, misalnya : pada batang-batang yang mempunyai proporsi yang tidak umum, panjang bentang yang khusus, atau apabila dipakai beton ringan, maka harus dilakukan suatu perkiraan kehilangan secara terpisah. Rumus-rumus untuk mencari perkiraan kehilangan gaya prategang (f_s) untuk masing-masing bagian yang menyebabkan perpendekan beton dapat disebutkan dibawah ini.

1. Slip pada Angkur

$$f_{s,slip} = E_s \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan L adalah panjang kabel

2. Perpendekan elastis beton

$$f_{s,elastis} = \frac{T_o - T_f}{A_s} = \frac{nT_f}{A_c} = \frac{nT_o}{A_T} \dots\dots\dots (2-3)$$

3. Susut pada Beton

$$f_s = \Delta_{sh} \cdot E_s \dots\dots\dots (2-4)$$

dengan Δ_{sh} = regangan susut dalam beton

4. Rangkak dalam beton

$$\Delta f_s = C_t \cdot n \cdot f_c \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan

$C_t = 2,0$ untuk pratarik dan $1,6$ untuk pascatarik

$f_c =$ Tegangan tekan yang terjadi pada beton.

5. Relaksasi dari Tegangan Baja

Umumnya besar kehilangan tegangan diambil antara 2 sampai

3% dari tegangan awal baja.

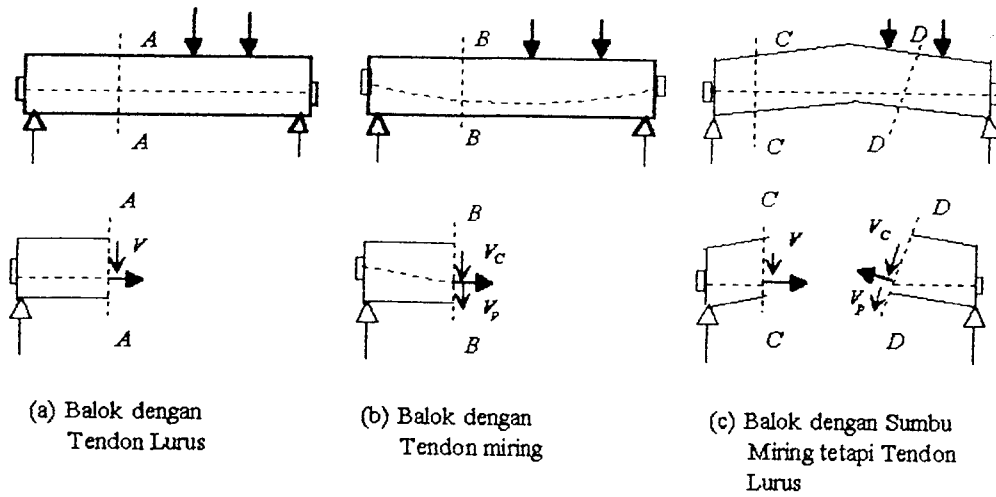
6. Gesekan antara tendon dan bahan lain di sekelilingnya untuk mengatasi kehilangan gaya prategang ini ada beberapa metode, salah satunya adalah metode penarikan berlebihan (*overtensioned*) dari yang direncanakan asal tidak melebihi titik leleh tendon. ACI membatasi gaya dongkrak sampai $0,80f_{pu}$.

2.5 Kekuatan Geser Pada Beton Prategang

Kekuatan beton prategang di dalam menahan lenturan telah cukup dikenal, tetapi kekuatannya di dalam menahan geseran atau kombinasi geser dan lentur tidak dapat diramalkan dengan teliti. Sekitar tahun 1955, banyak balok prategang telah diuji kekuatannya terhadap kekuatan lentur, tetapi hanya sedikit terhadap tarikan. Akan tetapi antara tahun 1955 dan 1961, ratusan contoh balok beton telah diuji untuk menentukan kekuatannya menahan geseran atau momen dan geser. Pada kenyataannya dapat dikatakan bahwa balok beton prategang lebih dapat diandalkan kekuatannya dalam menahan geseran daripada balok beton bertulang konvensional. Hal ini dapat dilihat pada bangunan yang dibuat dengan beton prategang masih tetap berdiri, walaupun telah berusia tua.

Kekuatan geser yang dihasilkan beton prategang dihitung dari persamaan perancangan yang merupakan perluasan dari pengalaman terhadap struktur beton

bertulang biasa.



Gambar 2.3 Gaya Geser yang dipikul beton dan tendon

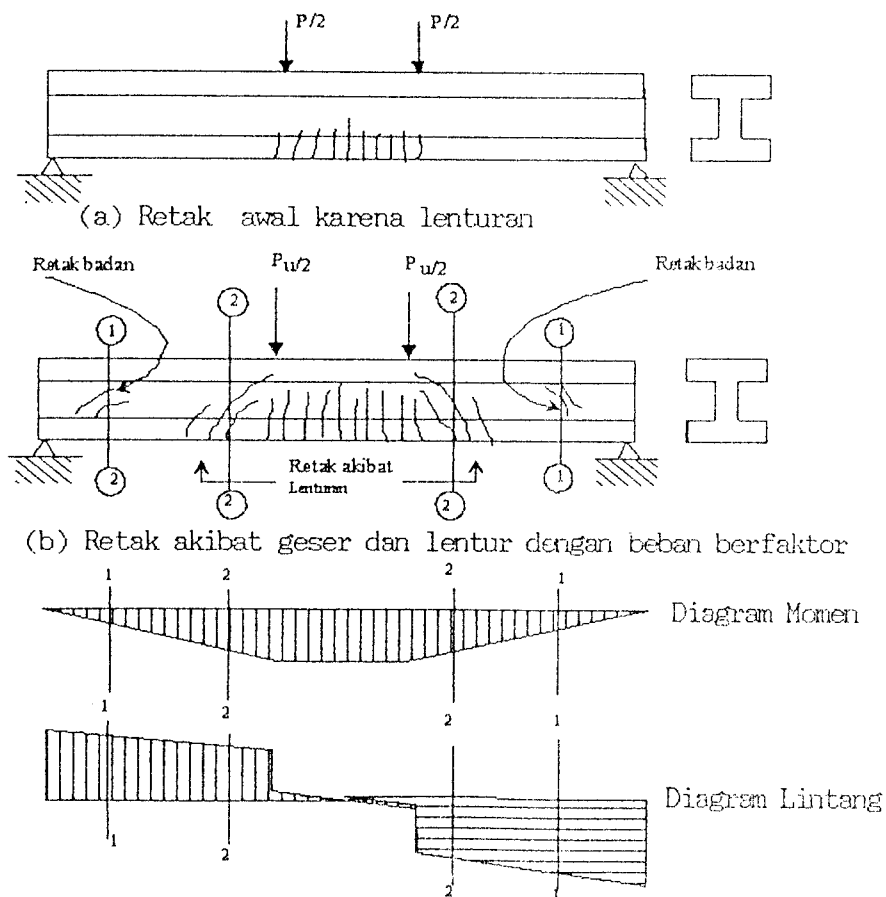
Gambaran umum dari geseran pada balok prategang akan diterapkan Gambar 2.3 di atas. Balok (a) diberi gaya prategang dengan tendon lurus. Dengan meninjau penampang sembarang A - A, gaya geser V pada penampang tersebut sepenuhnya dipikul oleh beton dan bukan oleh tendon yang diberi gaya prategang tegak lurus. Balok (b) diberi gaya prategang dengan tendon yang miring. Penampang B - B memperlihatkan tendon memikul gaya lintang (gaya geser) dan sisanya sebagian lagi dipikul oleh beton, sehingga :

$$V_c = V - V_p \dots\dots\dots (2-6)$$

- dengan V_c = kekuatan geser pada beton,
- V = kekuatan geser total,
- V_p = kekuatan geser tendon

Sedangkan pada penampang C - C balok (c) memperlihatkan bahwa walaupun tendon dibuat menyudut terhadap sumbu balok, sedikit pun tidak memikul gaya geser vertikal. Pada penampang D - D, memperlihatkan tendon tidak tegak lurus terhadap geser sehingga tendon memikul gaya tersebut.

Pendekatan dalam peraturan ACI mempunyai dasar yang rasional untuk mempertimbangkan bagaimana retak akibat geser yang terjadi pada struktur prategang.



Gambar 2.4 Perkembangan Retak balok akibat Geseran

Pada Gambar 2.4 perkembangan retak yang terjadi pada penampang sangat berpengaruh pada gaya geser dan momen. Mula-mula retak dimulai pada tengah bentang yang disebut

retak lentur akibat momen, Gambar 2.4(a); kemudian pengaruh kombinasi geseran dan momen mengakibatkan kehancuran pada penampang 2-2, Gambar 2.4(b) Retak miring di badan (*web*) pada penampang 1-1 dari balok, disebabkan geseran yang dominan.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan, bahwa ada dua jenis kehancuran yang terjadi pada balok akibat geseran: pertama, retak terdapat di badan akibat tarikan utama yang tinggi, dan kedua retak akibat lentur yang mula-mula vertikal dan sedikit demi sedikit berkembang menjadi retak miring akibat geseran.

BAB III

TEORI KEKUATAN GESER DAN KOMBINASINYA DENGAN KOMPONEN LENTUR

3.1 Kekuatan Geser Tanpa Tulangan Geser dan Kombinasi Dengan Lentur

Kekuatan geser tanpa tulangan geser ditinjau dari teori lingkaran Mohr, terdapat perbedaan prinsip mengenai arah dari tegangan tarik utama antara beton bertulang biasa dengan beton prategang. Balok beton prategang umumnya mempunyai kuat geser yang lebih tinggi daripada balok bertulang biasa. Didalam beton bertulang biasa, tegangan normal f_t adalah tegangan tarik pada satu pihak dari garis netral. Untuk beton prategang, f_t merupakan tegangan tekan dalam seluruh unsur. Dengan menggantikan f_t dengan $-f_t$, terlihat bahwa besar dari tegangan tarik utama mengecil.

$$f_{t(maks)} = \frac{f_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{f_t}{2}\right)^2 + v^2} \dots\dots\dots (3-1)$$

Rumus untuk balok beton prategang:

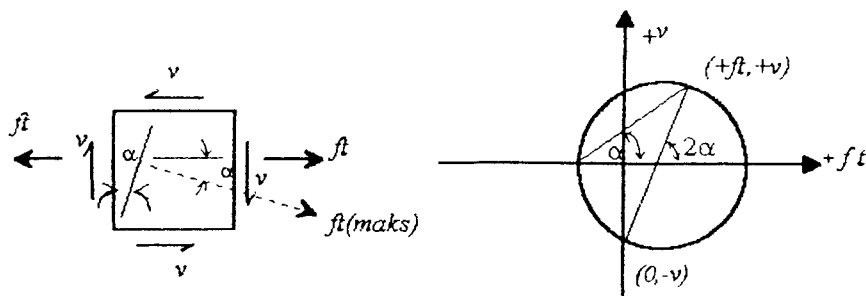
$$f_{t(maks)} = -\frac{f_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{f_t}{2}\right)^2 + v^2} \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan rumus:

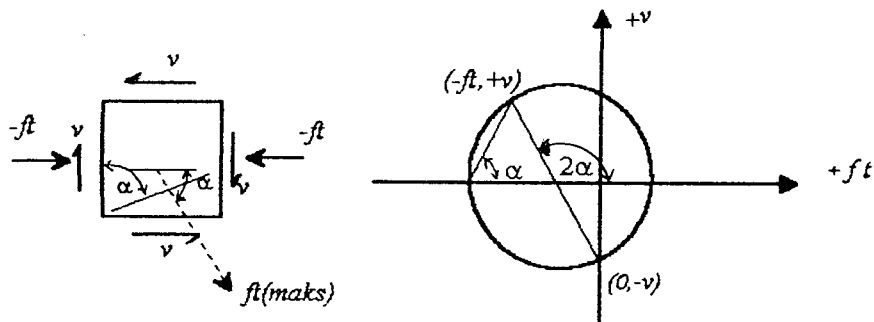
$f_t(maks)$ = tegangan tarik utama,

f_t = tegangan normal,

v = tegangan geser satuan.



(a) Tegangan prinsipal - Balok beton bertulang



(b) Tegangan prinsipal - Balok beton prategang

Gambar 3.1.Perbandingan arah dari tegangan tarik utama

Pada balok beton prategang, sudut α yang dibentuk oleh tegangan tarik utama dengan sumbu balok adalah lebih besar kemiringannya daripada balok beton bertulang biasa, sebagaimana terlihat pada gambar diatas. Apabila terjadi retak miring kecil saja, maka kemungkinan retak miring tersebut akan lebih horisontal dibandingkan dengan retak tersebut dalam beton bertulang biasa. Dalam beton prategang terdapat dua jenis retak miring:

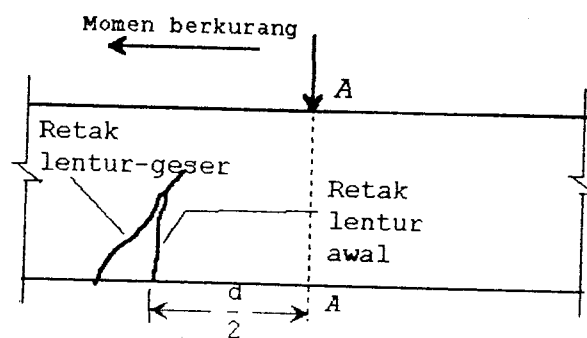
- 1) retak geser lentur yang terjadi di tengah bentangan balok yang diakibatkan beban titik yang besar di atas balok tersebut,

- 2) retak geser badan yang terjadi pada badan yang tipis dekat titik tumpuan dari balok yang diakibatkan oleh gaya geser yang besar.

Dalam perhitungan tegangan yang terjadi, anggapan pada balok bertulang biasa hanya terdapat retak geser lentur saja. Sedangkan anggapan pada balok prategang, retak dapat terjadi disebabkan oleh kedua penyebab seperti di muka.

3.1.1 Kekuatan Retak Geser Akibat Lentur

Retak geser lentur timbul akibat tegangan utama yang tinggi di dekat titik tinjauan dari retak lentur awal. Pada Gambar 3.2, searah berkurangnya momen, retak lentur terjadi pada jarak sekitar $d/2$ dari beban titik.



Gambar 3.2. Retak geser akibat lentur

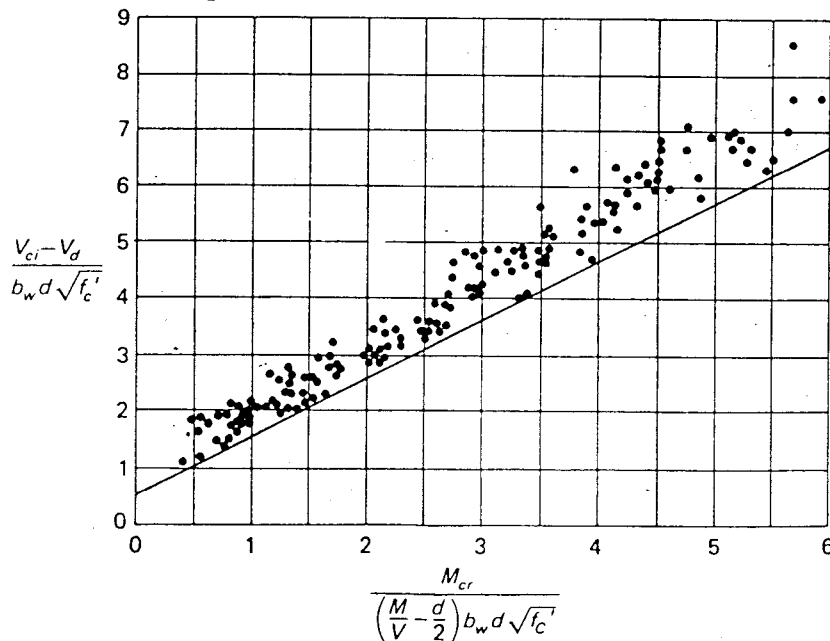
Pada Gambar 3.3 terdapat koordinat cartesius yang menggambarkan adanya hubungan linier. Dalam koordinat cartesius itu, untuk sumbu ordinatnya menggambarkan fungsi $V_{ci} - V_d$, V_d adalah geser akibat beban layan mati V_{ci} adalah

kekuatan geser nominal total. Sedangkan sumbu absisnya mencakup momen retak netto M_{cr} akibat beban layan. Tegangan batas akibat beban layan yang digunakan untuk M_{cr} sama dengan modulus runtuh (secara konservatif digunakan $6\sqrt{f'_c}$ lb/inchi² sedangkan untuk satuan SI, dipakai $0,5\sqrt{f'_c}$ MPa), ditambah tegangan tekan yang diberikan oleh gaya prategang (setelah kehilangan) f_{pe} yang terjadi pada serat ekstrim, dikurangi dengan tegangan tarik f_d akibat beban mati, sehingga ACI membuat rumus sebagai berikut :

$$M_{cr} = \frac{I}{Y_t} \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} + f_{pe} - f_d \right) \dots\dots\dots (3-3)$$

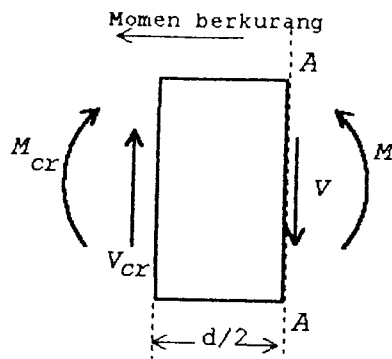
sedangkan dalam satuan SI (SNI 1991) menjadi

$$M_{cr} = \frac{I}{Y_t} \left(\frac{1}{2} \sqrt{f'_c} + f_{pe} - f_d \right)$$



Gambar 3.3. Perbandingan dari geser terhadap retak lentur-geser yang bersangkutan di dalam beton prategang dengan perbandingan dari momen retak lentur terhadap bentang geser.

Pada grafik di muka sumbu absisnya mencakup $M_{cr}/(M/V - d/2)$, yang memberikan geser akibat beban yang bekerja pada jarak $d/2$ dari penampang yang sedang diselidiki. Momen M dan geser V menimbulkan suatu momen retak pada jarak $d/2$ dari suatu penampang (Gambar 3.4) berikut ini.



Gambar 3.4 Hubungan geser-momen

$$M - M_{cr} = \frac{V+V_{cr}}{2} * \left(\frac{d}{2}\right) \dots\dots\dots (3-4)$$

Karena selisih antara V dan V_{cr} umumnya kecil, sehingga $V_{cr} = V$, maka rumus berubah menjadi

$$M - M_{cr} = V \left(\frac{d}{2}\right) \dots\dots\dots (3-5)$$

Dengan menyelesaikan untuk M_{cr} ,

$$M_{cr} = M - V \left(\frac{d}{2}\right) \dots\dots\dots (3-6)$$

$$= V \left(\frac{M}{V} - \frac{d}{2}\right) \dots\dots\dots (3-7)$$

Akhirnya, geser pada penampang yang ditinjau menjadi

$$V = \frac{M_{Cr}}{\left(\frac{M}{V} - \frac{d}{2}\right)} \dots\dots\dots (3-8)$$

Hubungan yang linier untuk kekuatan retak geser akibat lentur yang dihasilkan tegangan utama yang tinggi di sekitar suatu retak lentur, menurut Gambar 3.3 adalah sebagai berikut

$$\frac{V_{ci} - V_d}{b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'_c}} = 0,6 + \frac{M_{Cr}}{\left(\frac{M}{V} - \frac{d}{2}\right) b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (3-9)$$

Sejak tahun 1971, ACI telah menyederhanakan rumus di atas dengan mengabaikan suku pengurang $d/2$. Dengan demikian kekuatan retak geser-lentur V_{ci} , Rumus ACI menjadi

$$V_{ci} = 0,6 \sqrt{f'_c} b_w d + \frac{V_i \cdot M_{Cr}}{M_{maks}} + V_d \geq 1,7 \sqrt{f'_c} b_w d \dots (3-10)$$

atau satuannya dalam SI menjadi

$$V_{ci} = 0,05 \sqrt{f'_c} b_w d + \frac{V_i \cdot M_{Cr}}{M_{maks}} + V_d \geq 1,7 \sqrt{f'_c} b_w d$$

Dalam persamaan (3-10), M_{maks} menggantikan M dari persamaan (3-9) dan mewakili momen maksimum yang dapat terjadi pada penampang yang ditinjau, akibat beban-beban berfaktor yang bekerja (yaitu, beban-beban yang bekerja selain berat balok, dan prategang). V_{ci} menggantikan V dari persamaan (3-8) dan mewakili gaya geser pada penampang yang ditinjau akibat beban berfaktor yang menimbulkan momen maksimum.

3.1.2 Kekuatan Retak Geser Badan Balok

Retak yang terjadi pada badan balok ini timbul lebih awal dari retak karena lentur. Retak ini biasanya terjadi dekat dengan tumpuan dari penampang dengan badan balok yang tipis sebagai hasil dari tegangan utama yang tinggi.

Untuk peninjauan ini, maka balok beton prategang dianggap sebagai bahan yang homogen. Dengan demikian persamaan (3-2) dapat diterapkan secara langsung. Pada beberapa percobaan geser balok beton prategang telah menunjukkan bahwa retak badan balok ini biasanya dimulai dekat titik pusat penampang, maka tinjauan geser yang terbesar terjadi di daerah tersebut. Dengan menyelesaikan suku v dari persamaan (3-2) akan diperoleh rumus seperti di bawah ini.

$$\left(f_{t(maks)} + \frac{f_t}{2}\right)^2 = \left(\frac{f_t}{2}\right)^2 + v^2$$

$$f_{t(maks)}^2 + f_{t(maks)} * f_t + \left(\frac{f_t}{2}\right)^2 = \left(\frac{f_t}{2}\right)^2 + v^2$$

$$v = f_{t(maks)} \sqrt{1 + \frac{f_t}{f_{t(maks)}}} \dots (3-11)$$

Dengan f_t adalah tegangan tekan pada ketinggian titik pusat, dan $f_{t(maks)}$ = tegangan tarik utama \leq kekuatan tarik beton.

Karena persamaan (3-11) seharusnya disesuaikan dengan kriteria untuk kekuatan geser dari balok bertulang biasa,

f_t (maks) diambil sebesar $3,5\sqrt{f'_c}$. Persamaan dengan demikian menjadi

$$v = 3,5\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{f_t}{3,5\sqrt{f'_c}}} \dots\dots\dots (3-12)$$

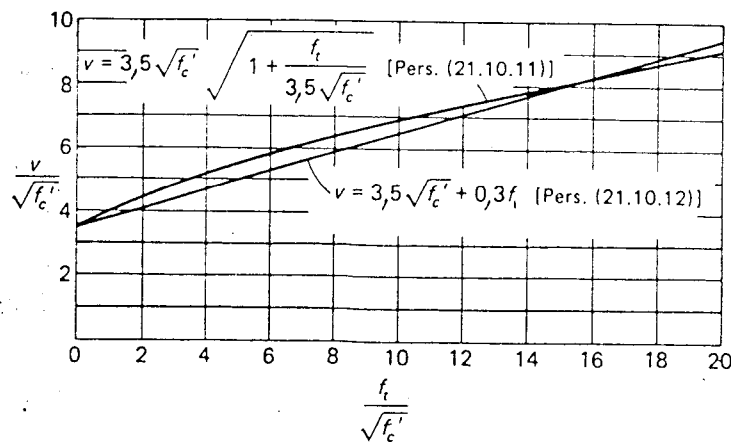
Persamaan (3-12) yang ditunjukkan dalam Gambar 3.5, menunjukkan bahwa persamaan ini dapat didekati dengan suatu garis lurus,

$$v = 3,5\sqrt{f'_c} + 0,3 f_t \dots\dots\dots (3-13)$$

atau, dalam peraturan ACI, dengan mengalikan dengan $b_w d$ untuk memberikan kekuatan geser nominal,

$$V_{ow} = (3,5\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_w d \dots\dots\dots (3-14)$$

menurut rumus diatas, f_{pc} didefinisikan sebagai tegangan tekan dalam beton, setelah kehilangan prategang, pada titik pusat dari penampang yang memikul beban-beban luar, atau bila titik pusat berada pada flens dari tampang T, f_{pc} adalah tegangan pada pertemuan antara flens dan badan.



Gambar 3.5 Perbandingan dari tegangan geser maksimum teoritis dengan pendekatan garis lurus

Bila tendon prategang direntangkan, komponen vertikal V_p akan timbul membantu memikul geser. Pada peraturan ACI-11.4.2 memberikan rumus sebagai berikut,

$$V_{cw} = (3,5\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_w d + V_p \dots\dots\dots (3-15)$$

sedangkan dalam satuan SI (SNI 1991)

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f'_c} + f_{pc})b_w d + V_p$$

Secara alternatif, kekuatan retak geser badan ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan utama (ACI-11.4.2.2), persamaan (3-12), tegangan utama f_t (maks) dibatasi dengan $4 * \sqrt{f'_c}$. Sehingga pada persamaan (3-12) yang dikalikan dengan $b_w d$ dan ditambahkan dengan V_p menjadi,

$$V_{cw} = 4\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{4\sqrt{f'_c}}} * b_w * d + V_p \dots\dots\dots (3-16)$$

sedangkan dalam satuan SI (SNI 1991) menjadi

$$V_{cw} = \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{3f_{pc}}{\sqrt{f'_c}}} * b_w * d + V_p$$

Kekuatan geser nominal V_n pada retak miring terjadi diberikan oleh yang terkecil dari V_{ci} dan V_{cw} , yang ditentukan oleh ACI untuk beton berbobot normal.

Bila menggunakan persamaan (3-10) dan (3-15) atau (3-16) untuk menghitung V_{ci} dan V_{cw} , tinggi efektif d harus diambil sebagai jarak dari serat tekan ekstrim ke titik

pusat dari tendon prategang, atau sebesar 80% dari tinggi total penampang, tergantung mana yang lebih besar.

Di dalam menghitung pengaruh prategang f_{pc} , prategang penuh setelah kehilangan dapat digunakan hanya apabila tendon ditanamkan sejarak yang melebihi panjang, dihitung dari penampang yang ditinjau. Penampang kritis pada geser maksimum umumnya sejarak $h/2$ dari sisi tumpuan, sehingga daerah antara tumpuan dan $h/2$ harus direncanakan untuk geser pada penampang kritis.

3.1.3 Alternatif Sederhana dari Peraturan ACI

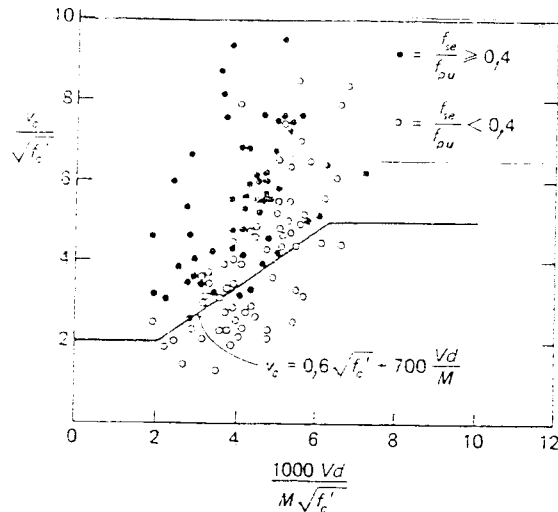
Bila kekuatan tarik tendon yang diberi prategang efektif f_{se} kira-kira sama dengan 40% dari kekuatan tarik f_{pu} dari tulangan lentur, maka kekuatan geser nominal dapat diambil sebesar

$$V_c = \left(0,6 \sqrt{f'_c} + 700 \frac{V_u * d}{M_u} \right) b_w * d \dots\dots\dots (3-17)$$

dalam satuan SI (SNI 1991) menjadi

$$V_c = \left(\frac{1}{20} \sqrt{f'_c} + 5 \frac{V_u * d}{M_u} \right) b_w * d$$

Persamaan ini dapat dipandang sebagai gradien linier antara penggunaan tegangan satuan nominal minimum $v_c = 2 \sqrt{f'_c}$ dan suatu batas atas $v_c(\text{maks}) = 5 \sqrt{f'_c}$. Data penunjang untuk hubungan alternatif ini diperlihatkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 3.6 Persamaan alternatif untuk menghitung v_c

Didalam menerapkan persamaan (3-17) dari ACI-11.4.1, V_u adalah geser maksimum akibat beban berfaktor pada penampang dan M_u adalah momen yang bekerja bersamaan. $V_u d / M_u$ juga dibatasi dengan nilai maksimum 1,0 dan d adalah tinggi efektif sebenarnya ke titik pusat tulangan prategang. Persamaan (3-8) pada dasarnya memberikan kekuatan retak geser lentur yang dinyatakan serupa caranya dengan beton bertulang biasa. Karena prosentase tulangan adalah rendah di dalam beton prategang digunakan nilai yang konstan.

3.2 Kombinasi Geser Dengan Tulangan Geser

Pada dasarnya perhitungan untuk penulangan geser pada beton prategang sama seperti perhitungan untuk beton bertulang biasa. Kekuatan geser nominal total V_n dapat

dinyatakan sebagai jumlah dari V_c yang dikerahkan oleh beton dan V_s yang disumbangkan oleh tulangan, sehingga persamaannya,

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (3-18)$$

Kekuatan nominal V_c yang dikaitkan dengan beton dapat ditentukan dengan,

1. persamaan (3-17) bila prategang efektif paling tidak sebesar 40% dari kekuatan tarik baja,
2. yang terkecil dari persamaan (3-10) dan (3-15) untuk v_{ci} dan V_{cw} dapat digunakan berapapun besarnya prategang.

Untuk sumbangan penulangan geser digunakan persamaan,

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots (3-19)$$

dengan

- A_v = luas efektif dari tulangan geser
- s = jarak dari tulangan geser

Sama dengan balok bertulang biasa, balok beton prategang juga harus diberi jumlah minimum tulangan geser bilamana $V_u > V_c/2$. Namun, persyaratan ini dapat ditanggihkan bila dilakukan percobaan yang menunjukkan bahwa kekuatan lentur dan geser dapat dikembangkan tanpa adanya tulangan geser.

Bila diperlukan tulangan geser minimum, ACI memberikan luas tulangan minimum A_v sebesar

$$A_v = 50 \frac{b_w s}{f_y} \dots \dots \dots (3-20)$$

sedangkan bila dialihkan satuan ke dalam SI, menjadi

$$A_v = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

Rumus ini juga digunakan untuk beton yang bukan prategang.

Secara alternatif, untuk unsur-unsur prategang saja, gaya prategang efektif dapat mencapai 40 % dari kekuatan tarik dari baja, sehingga luas minimum dapat diambil sebesar

$$A_v = \frac{A_p s}{80} \left(\frac{f_{ps}}{f_y} \right) \left(\frac{s}{d} \right) \sqrt{\frac{d}{b_w}} \dots \dots \dots (3-21)$$

BAB IV

DESAIN BALOK TAMPANG I DAN T

4.1 Tinjauan Umum

Balok tampang I dan T dipakai sebagai model untuk mendesain, dikarenakan kedua tampang ini sangat memungkinkan hemat material. Pada perencanaan konstruksi beton bertulang biasa, tegangan-tegangan tarik diagonal membatasi pengurangan tebal badan, sedangkan dengan diperkenalkannya pemakaian gaya prategang dapat memakai penampang-penampang yang lebih ramping, seperti penampang I dan T misalnya. Bentuk penampang I banyak digunakan untuk bentang-bentang jembatan dan girder atap yang panjangnya mencapai kurang lebih 36m. Tampang ini umumnya digunakan untuk struktur beton prategang dengan bentangan panjang dan menerus yang harus menahan momen positif dan negatif. Bentuk T tunggal lebih sesuai untuk bentang-bentang panjangnya sampai 36m, serta untuk memikul beban-beban yang lebih berat, sedangkan bentuk T ganda yang mempunyai sebuah permukaan datar dengan lebar 1,2 sampai 2,4m. Tebal plat dan tinggi badan dapat berubah-ubah, tergantung pada kebutuhannya, dalam hal ini panjang bentangnya dapat mencapai 18m dan untuk penampang T terbalik menyediakan sisi penahan untuk

menunjang ujung-ujung dari struktur lantai pracetak yang mempunyai bentang dalam arah yang tegak lurus, bentuk penampang balok T terbalik tersebut sangat sesuai untuk menerima pelimpahan gaya prategang awal yang besar ditepi bagian bawah, tetapi penampang seperti ini tidak efisien untuk menahan momen positif di tengah-tengah bentang. Kecuali balok tampang I, balok T akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan bentuk tampang lain (persegi) karena tidak timbul masalah akibat tegangan tekan yang sangat besar di bagian tepi bawah pada saat transfer gaya prategang. Disamping itu, penampang berbentuk T juga dapat memberikan kekuatan lentur yang lebih besar, karena besar lengan dalam dari kopel penahan pada beban rencana maksimum lebih besar dari lengan momen pada penampang yang berbentuk persegi.

Secara umum, penampang-penampang I dan T dengan flens dan badan yang relatif tipis lebih efisien bila dibandingkan dengan batang-batang lain dengan dimensi elemen-elemennya yang lebih tebal. Namun demikian ada beberapa faktor yang membatasi keuntungan berupa efisiensi yang dapat diperolehnya. Faktor-faktor ini termasuk ketidakstabilan dari elemen-elemen tekan yang sangat tipis terletak dibagian atas, mudahnya elemen-elemen yang tipis itu pecah pada waktu pelaksanaan (pada kasus konstruksi pracetak) dan

timbulnya kesukaran dalam praktek melakukan pengecoran beton pada elemen yang tipis. Perencana harus menyediakan ruang yang cukup serta pelindung beton dari kabel dan angkur, serta pembatasan tinggi konstruksi untuk mencegah terjadinya tekuk.

4.2 Tinjauan Balok Terhadap Geser

Tegangan geser yang tinggi pada suatu balok akan menimbulkan retak miring, maka upaya untuk mencegah pembentukan retak miring digunakan penulangan transversal yang dikenal dengan istilah penulangan geser yang berbentuk sengkang tertutup arah vertikal ataupun miring untuk menutupi penulangan memanjang di sekeliling muka balok.

Salah satu metode yang akan dipakai adalah metode alternatif berdasarkan SKSNI.T-15-1991-03, dengan meninjau gaya geser yang terjadi dengan syarat jika

1. Tidak diperlukan tulangan geser :

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c \dots\dots\dots (4-1)$$

2. Tulangan geser minimum :

$$0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c \dots\dots\dots (4-2)$$

$$V_c \text{ perlu} = V_s \text{ minimum} = 1/3 \cdot \sqrt{f'_c} B_w \cdot d \text{ MPa} \dots\dots (4-3)$$

3. Dipakai tulangan geser penuh, bila :

$$V_u > \phi V_c \dots\dots\dots (4-4)$$

4. Dimensi diubah, bila

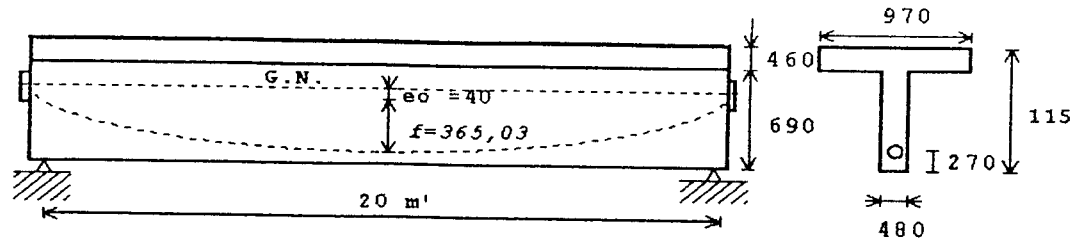
$$V_u > \phi V_c + 2/3 \sqrt{f'_c} B_w \cdot d \dots\dots\dots (4-5)$$

4.3 Desain Tulangan Geser

Perhitungan untuk mendesain tulangan geser pada balok beton prategang untuk tampang I dan T dengan metoda pasca tarik, dilakukan sesuai dengan rumus pada Bab III. Pendesainan tulangan geser pada balok ditinjau untuk panjang bentangan 16m, 20m, dan 25m dengan data sesuai pada pendesainan tampang yang terlampir di halaman belakang.

Untuk mendapatkan suatu gambaran desain geser pada balok beton prategang tampang T dengan bentuk tendon melengkung dengan panjang bentangan 20m. Data yang dibutuhkan untuk pendesainan tulangan geser, diambil dari hasil perhitungan pendesainan tampang dengan mencari momen ultimit tampang. Perhitungan pendesainan tampang tersebut terdapat pada lampiran 1. Data yang diperlukan sebagai berikut: Baja prategang digunakan $f_{pu} = 1700$ MPa, $T_e = 4,4155 \cdot 10^3$ kN, Luas baja prategang (Aps) = 4911,095 mm², dengan tinggi lengkungan maks (f) = 365,03 mm. Mutu beton yang digunakan $f'_c = 40$ MPa, n = 7, Berat jenis beton = 23 kN/m, $A_c = 777400$ mm², $I_c = 8,38592 \cdot 10^{10}$ mm⁴, $c_t = 474,9704$ mm, $c_b = 675,0296$ mm, $S_b = 1,7656 \cdot 10^8$ mm³, $S_t = 1,2423 \cdot 10^8$ mm³. Beban mati $W_D = 20$ kN/m, Beban hidup $W_L = 15$ kN/m. Beban sendiri balok = 18,75 kN/m.

Metode perhitungan desain geser beton prategang ditinjau untuk setengah bentang balok dan dianalisis tiap 1 meter bentang dimulai dari jarak $h/2$ dari tumpuan.



Gambar 4-2. Balok Prategang dengan tendon melengkung

Prosedur I : Tinjauan $h/2 = 0,575$ m dari tumpuan

1. Menggunakan Cara Alternatif Sederhana Dari ACI

$$\begin{aligned} \text{(Rumus 3-17) Karena } f_e/f_{pu} &= \frac{T_e}{A_{ps} f_{pu}} = \frac{4415521,654}{4911,095} / 1700 \\ &= 0,5289 > 0,4 \end{aligned}$$

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} + 5 \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Beban yang bekerja, dengan faktor beban :

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 \cdot (W_o + W_d) + 1,6 \cdot W_L \\ &= 1,2 \cdot (18,75 + 20) + 1,6 \cdot 15 \\ &= 70,50 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= W_u (1/2L - x) \\ &= 70,5 (20/2 - 0,575) \\ &= 664,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 0,5 \cdot W_u \cdot (L \cdot x - x^2) \\ &= 0,5 \cdot 70,5 (20 \cdot 0,575 - 0,575^2) \\ &= 393,72 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{4 \cdot f}{L^2} (L \cdot x - x^2) + e_o \\
 &= \frac{4 \cdot 365,03}{20000^2} (20000 \cdot 575 - 575^2) + 40 \\
 &= 80,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 0,8 \cdot h \text{ (Ketentuan SKSNI untuk beton pratekan)} \\
 &= 0,8 \cdot 1150 \\
 &= 920 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} = \frac{664,46 \cdot 920 \cdot 10^3}{393,72 \cdot 10^5} = 1,55 > 1 \text{ (SK-SNI 1991) NO.}$$

Kapasitas tegangan satuan nominal v_c adalah

$$v_c = \sqrt{40} / 20 + 5 \text{ (1)} = 8,08 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 1/6 \sqrt{f'_c} &= 1,05 \text{ MPa (batas awal)} < v_c \text{ --- O.K.} \\
 0,4 \sqrt{f'_c} &= 2,53 \text{ MPa (batas akhir)} < v_c \text{ --- NO}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian Kekuatan geser V_c pada jarak 0,575 m dari tumpuan menjadi

$$V_c = v_c \cdot b_w \cdot d = 2,53 \cdot (480) \cdot (920) = 1117,17 \text{ kN}$$

2. Metode Kedua Dengan Mencari Kekuatan Geser-Lentur

(Rumus 3-10)

$$V_{ci} = 0,05 \sqrt{f'_c} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{maks}}$$

Mencari M_{cr} (rumus 3-3)

$$M_{cr} = - \frac{I}{c_t} \left(- \sqrt{f'_c} + f_{pe} - f_d \right)$$

f_{pe} = tegangan tekan dan lentur beton akibat gaya prategang

$$\frac{T_e}{A_c} + \frac{T_e e c_b}{I_c} = \frac{4415,5 \cdot 10^3}{777400} + \frac{4415,5 \cdot 10^3 \cdot 80,77 \cdot 675,0296}{8,38592 \cdot 10^{10}}$$

$$= 7,70 \text{ MPa}$$

e = 80,77 mm pada lokasi 0,575 m dari pusat tumpuan

f_d = tegangan akibat berat sendiri = M_o/S_c

$$= \frac{18,75 \cdot 19425 \cdot 575 \cdot 675,0296}{2 \cdot 8,38592 \cdot 10^{10}}$$

$$= 0,84 \text{ MPa}$$

$$\therefore M_{cr} = 1,7656 \cdot 10^8 \cdot (0,5 \sqrt{40} + (7,70) - (0,84))$$

$$= 1768,97 \text{ kN-m}$$

M_{maks} = momen maksimum akibat beban luar berfaktor pada penampang yang ditinjau

$$= 0,5 \cdot (20 \cdot 1,2 + 15 \cdot 1,6) \cdot (0,575) \cdot (19,425) = 268,07 \text{ kN-m}$$

V_i = Geser akibat beban luar pada penampang yang ditinjau

$$= 0,5 \cdot (20 \cdot 1,2 + 15 \cdot 1,6) \cdot (20 - 2 \cdot 0,575) = 452,40 \text{ kN}$$

$$\frac{V_i M_{cr}}{M_{maks}} = \frac{452,40 \cdot 1768,97}{268,07} = 2985,40 \text{ kN}$$

V_d = Kuat Geser Akibat Beban Mati

$$= 0,5 \cdot 18,75 \cdot (20 - 2 \cdot (0,575)) = 176,72 \text{ kN}$$

diketahui $d = 920$ mm

$$\begin{aligned} \therefore V_{ci} &= 0,05 \sqrt{40} \cdot 480 \cdot 920 \cdot 10^{-3} + 176,72 + 2985,40 \\ &= 3301,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menurut Sk-SNI 1991, kekuatan retak geser-lentur tidak boleh diambil kurang dari

$$\begin{aligned} V_{ci,min} &= (\sqrt{f'_c}/7) b_w d = (\sqrt{40}/7) \cdot 480 \cdot 920 = 398,989 \text{ kN} \\ &< V_{ci} \text{ -O.K.} \end{aligned}$$

3. Kuat Retak Geser Badan Balok

Dipakai rumus (3-15) sebagai berikut

$$V_{cw} = 0,3 (\sqrt{f'_c} + f_{pc}) b_w d + V_p$$

di mana

f_{pc} = tegangan tekan dalam beton pada pusat penampang yang memikul akibat semua beban luar.

$$= T_e / A_c = 4415,5 \cdot 10^3 / 777400 = 5,680 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} V_p &= T_e \cdot \sin \alpha \quad \text{---} \quad \sin \alpha \gg \text{tg } \alpha = \frac{e_{o(x)} - e_o}{l_{(x)}} \\ &= 4415,5 \cdot 10^3 \cdot 0,0709 \\ &= 313,09 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{cw} &= 0,3 (\sqrt{40} + 5,680) \cdot 480 \cdot 920 / 10^3 + 313,09 \\ &= 1903,44 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Desain Penggunaan Tulangan Geser

Karena $V_{ci} > V_{cw}$, maka V_c dipakai yang terkecil, $V_c = V_{cw} = 1903,44$ kN pada tinjauan penampang balok 0,575 m dari tumpuan. Dari data di atas, ternyata $\frac{Vu}{\phi} = \frac{664,46}{0,6} = 1107,44$ kN $> V_c/2 = 1903,44/2 = 951,72$ kN. Sesuai dengan ketentuan rumus 4-1, maka balok memerlukan tulangan geser minimum. Tegangan geser tulangan geser yang perlu sebesar

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{Vu}{\phi} - V_c = 1107,44 - 1903,44 = -796,00 \text{ kN.}$$

~Jarak spasi Tulangan Geser (s)

Dicoba dipakai diameter tulangan 10 mm,

$$A_v = \frac{1}{4} * \Pi * 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Diketahui s harus lebih kecil dari

a. $3/4 h = 3/4 1150 = 862,5$ mm

b. $d/2 = 920/2 = 460$ mm

c. 600 mm

d. $\frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{157,08 * 300 * 920}{-796,00} = -54,46$ mm

e. $\frac{3 * A_v * f_y}{b_w} = \frac{3 * 157,08 * 300}{480} = 294,52$ mm

f. $\frac{A_v * 80 * f_y * d}{A_{ps} * f_{pu} * \sqrt{\frac{d}{b_w}}} = \frac{157,08 * 80 * 300 * 920}{4911,095 * 1700 * \sqrt{\frac{920}{480}}} = 300,067$ mm

Sehingga s lebih kecil yang terpakai

$$s \text{ terpakai} = 294,524 \text{ mm}$$

$$V_s \text{ tersedia} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{157,08 \cdot 300 \cdot 920}{294,524}$$

$$= 147,20 \text{ kN} > V_s \text{ perlu} = -796,00 \text{ kN.}$$

$$< \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} (b_w \cdot d) = \frac{1}{3} \sqrt{40} (480 \cdot 920) = 930,97 \text{ kN}$$

O.K.

Untuk perhitungan desain geser untuk selanjutnya diambil tinjauan tiap 1 meter dapat dilihat pada tabel berikut ini.

bertang = 16 m
 beban mati = 20 kN/m
 beban hidup = 15 kN/m
 b.s. = 14 kN/m
 Te = 3,20E+05 N
 I c = 4,050E+10 mm⁴
 Sb = 7,13E+07 mm³
 Ac = 5,77E+05 mm²
 h = 950 mm
 ts = 420 mm
 b = 970 mm
 tw = 400 mm
 TerTu = 0,5251977
 Aps = 3583,7716
 ct = 380,4025 mm
 Pc = 40 MPa
 fy nonptg = 360 MPa
 ipu = 1700 MPa
 St = 1,07E+08 mm³

Tabel 4-2.a. Perhitungan Geser Metode Alternatif ACI-1977

x (m)	iw (kN/m ³)	Vu (kN)	Mu (kN-m)	e (mm)	d (mm)	Vu/dMu < 1	vc (MPa)	Batas awal vc	Batas akhir vc	Ket.	Vc (kN)
0,46	64,8	487,62	238,93	69,91	760,00	1,56	8,07	1,05	2,53	NO	769,07
1,00	64,8	453,60	496,00	100,84	760,00	0,71	3,96	1,05	2,53	NO	769,07
2,00	64,8	368,60	907,20	159,57	760,00	0,33	1,94	1,05	2,53	O.K.	591,22
3,00	64,8	324,00	1.268,60	196,19	760,00	0,13	1,23	1,05	2,53	O.K.	392,84
4,00	64,8	259,20	1.555,20	244,70	760,00	0,13	0,95	1,05	2,53	NO	320,44
5,00	64,8	194,40	1.782,00	268,09	760,00	0,09	0,73	1,05	2,53	NO	320,44
6,00	64,8	129,60	1.944,00	288,37	760,00	0,07	0,57	1,05	2,53	NO	320,44
7,00	64,8	64,80	2.041,20	295,64	760,00	0,02	0,44	1,05	2,53	NO	320,44
8,00	64,8	0,00	2.073,60	299,60	760,00	0,00	0,32	1,05	2,53	NO	320,44

*Perhitungan ini dipakai jika TerTu > 0,1

Tabel 4-2.b. Perhitungan Geser - Lentur Balok Tampang T

x (m)	Mo (kN-m)	Vo (kN)	fd (MPa)	e (mm)	fpv (MPa)	Mcr (kN-m)	Mmaks (kN-m)	Vl (kN)	Vmaks (kN)	d (mm)	Vcl	Vcl min	fpv (MPa)	Vp (kN)	Vov (kN)	Vc (kN)
0,48	51,62	105,35	0,72	69,91	8,16	905,97	176,99	351,20	1.848,74	760,00	2.060,23	274,666	5,54	201,49	1.283,69	1.283,69
1,00	105,00	99,00	1,47	100,94	9,32	940,63	360,00	336,00	678,10	760,00	1.072,24	274,666	5,54	194,63	1.276,87	1.072,24
2,00	196,00	84,00	2,75	153,57	11,29	1.000,42	672,00	288,00	423,75	760,00	608,88	274,666	5,54	181,70	1.263,90	608,88
3,00	273,00	70,00	3,88	198,19	12,96	1.050,95	936,00	240,00	269,45	760,00	435,38	274,666	5,54	168,72	1.250,92	435,58
4,00	336,00	56,00	4,71	224,70	14,33	1.092,10	1.152,00	192,00	192,02	760,00	334,15	274,666	5,54	155,74	1.237,94	334,15
5,00	385,00	42,00	5,40	263,09	15,39	1.124,19	1.320,00	144,00	122,64	760,00	260,77	274,666	5,54	142,77	1.224,96	274,67
6,00	420,00	28,00	5,69	268,37	16,15	1.147,11	1.440,00	96,00	76,47	760,00	200,61	274,666	5,54	129,79	1.211,98	274,67
7,00	441,00	14,00	6,19	295,54	16,80	1.160,86	1.512,00	48,00	36,85	760,00	146,99	274,666	5,54	116,81	1.199,00	274,67
8,00	443,00	0,00	6,28	299,60	16,75	1.165,45	1.536,00	0,00	0,00	760,00	96,13	274,666	5,54	103,83	1.186,02	274,67



Tabel 4-2.c. Analisa Pemakaian Tulangan Geser

X (m)	V_u ϕ $\phi=0,5$ (kN)	V_c (MPa)	$\frac{V_u \cdot 1000}{(0,5 \cdot b_w \cdot d)}$ (MPa)	$\frac{V_c \cdot 1000}{(2 \cdot b_w \cdot d)}$ (MPa)	$v_u/0,6$ $-v_c/2$ (MPa)	Keterangan	$V_u/0,6 - V_c$ (kN)	A_v (Luas tul.) $\phi 10$	$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{A_v \cdot f_y \cdot d / V_s}$ mm	dipakai s terkecil	V_s sedia (kN)	Ket V_s sedia > V_s perlu	V_s sedia < $\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$ (kN)
0,49	612,70	1,283,69	2,678	2,111	0,582	Dengan Tul. Geser	-470,999	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
1,00	756,00	1,072,24	2,457	1,764	0,726	Dengan Tul. Geser	-316,237	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
2,00	848,00	808,66	2,132	1,091	1,130	Dengan Tul. Geser	39,116	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
3,00	640,00	135,66	1,775	0,716	1,060	Dengan Tul. Geser	104,419	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
4,00	432,00	334,15	1,421	0,550	0,871	Dengan Tul. Geser	97,850	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
5,00	324,00	274,67	1,066	0,452	0,614	Dengan Tul. Geser	49,384	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
6,00	216,00	274,67	0,711	0,452	0,369	Dengan Tul. Geser	-58,666	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
7,00	108,00	274,67	0,355	0,452	-0,096	Tanpa Tul. Geser	-166,666	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89
8,00	0,00	274,67	0,000	0,452	-0,452	Tanpa Tul. Geser	-274,666	157,080	341,176	341,176	104,973	O.K.	640,89

Keterangan:
 $s_{min} < \frac{3}{4} h = 712,5 \text{ mm}$
 $s_{d/2} < \frac{d}{2} = 360 \text{ mm}$
 $s < 600 \text{ mm}$
 $s < \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{3 \cdot A_v \cdot f_y \cdot d / V_s}$
 $s < \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{3 \cdot A_v \cdot f_y \cdot d / V_s}$

bentang = 20 m
 beban mati = 20 kN/m
 beban hidup = 15 kN/m
 b.s. = 18,75 kN/m
 Te = 4,42E+06 N
 I c = 3,98E+10 mm⁴
 Sb = 1,24E+08 mm³
 Ac = 7,77E+05 mm²
 h = 1150 mm
 ts = 450 mm
 b = 970 mm
 bw = 480 mm
 Te/Tu = 0,5266771
 Aps = 4911,0947
 ct = 474,97041 mm
 cb = 675,02959 mm
 St = 1,77E+08 mm³
 fc = 40 MPa
 fy nonptg = 360 MPa
 fpu = 1700 MPa

Tampang T
Tabel 4-1.a. Perhitungan Geser Metode Alternatif ACI-1977

x (m)	wu (kN/m ²)	Vu (kN)	Mu (kN-m)	e (mm)	d (mm)	Vu*d/Mu < 1	vc (MPa)	Batas awal vc	Batas Akhir vc	Ket.	Vc (kN)
0,58	70,5	664,46	393,72	80,77	920,00	1,55	6,09	1,05	2,53	NO	1.117,17
1,00	70,5	634,50	669,75	109,36	920,00	0,87	4,67	1,05	2,53	NO	1.117,17
2,00	70,5	564,00	1.269,00	171,41	920,00	0,41	2,36	1,05	2,53	O.K.	1.042,47
3,00	70,5	493,50	1.797,75	226,17	920,00	0,25	1,58	1,05	2,53	O.K.	697,27
4,00	70,5	423,00	2.256,00	273,62	920,00	0,17	1,18	1,05	2,53	O.K.	520,63
5,00	70,5	352,50	2.643,75	313,77	920,00	0,12	0,93	1,05	2,53	NO	465,49
6,00	70,5	282,00	2.961,00	345,92	920,00	0,09	0,75	1,05	2,53	NO	455,49
7,00	70,5	211,50	3.207,75	372,18	920,00	0,06	0,62	1,05	2,53	NO	465,49
8,00	70,5	141,00	3.384,00	390,43	920,00	0,04	0,51	1,05	2,53	NO	465,49
9,00	70,5	70,50	3.489,75	401,38	920,00	0,02	0,41	1,05	2,53	NO	465,49
10,00	70,5	0,00	3.525,00	405,03	920,00	0,00	0,32	1,05	2,53	NO	139,65

*Perhitungan ini dipakai jika Te/Tu > 0,4

Tabel 4-1.b. Perhitungan Geser - Lentur Balok Tampang T

x (m)	Mo (kN-m)	Vo (kN)	fd (MPa)	e (mm)	fpe (MPa)	Mcr (kN-m)	Mmaks (kN-m)	Vi (kN)	VI/Mcr Maks (kN)	Vci (kN)	fdc (MPa)	Vp (kN)	Vcw (kN)	Vc (kN)
0,58	104,71	176,72	0,84	50,77	7,70	1.769,97	265,07	452,40	2.365,40	3.301,76	5,68	313,09	1.903,44	1.903,44
1,00	178,13	163,75	1,43	109,36	8,41	1.790,85	466,00	432,00	1.696,59	2.004,99	5,68	306,24	1.896,59	1.896,59
2,00	337,50	150,00	2,72	171,41	9,97	1.839,35	864,00	384,00	817,04	1.106,69	5,68	290,12	1.850,47	1.106,69
3,00	479,13	131,25	3,86	226,17	11,34	1.860,26	1.224,00	336,00	516,15	797,05	5,68	274,01	1.864,35	767,05
4,00	600,00	112,50	4,83	273,62	12,52	1.916,69	1.536,00	268,00	359,36	611,51	5,68	257,99	1.848,23	611,51
5,00	703,13	93,75	5,66	313,77	13,53	1.947,32	1.800,00	240,00	259,64	493,04	5,68	241,77	1.832,11	493,04
6,00	787,50	75,00	6,34	346,62	14,35	1.972,47	2.016,00	192,00	187,85	402,50	5,68	225,65	1.816,00	402,50
7,00	853,13	56,25	6,87	372,18	14,99	1.992,03	2.164,00	144,00	131,34	327,24	5,68	209,53	1.798,88	398,99
8,00	900,00	37,50	7,24	390,43	15,44	2.006,00	2.304,00	96,00	83,58	260,73	5,68	193,42	1.783,76	398,99
9,00	938,13	18,75	7,47	401,38	15,72	2.014,38	2.376,00	48,00	40,69	199,09	5,68	177,30	1.767,64	398,99
10,00	937,50	0,00	7,55	405,03	15,91	2.017,18	2.400,00	0,00	0,00	139,65	5,68	161,13	1.751,52	398,99

Tabel 4-1.c. Analisa Pemakaian Tulangan Geser

x (m)	$\frac{Vu}{\phi}$ (kN)	Vc (MPa)	$\frac{Vu \cdot 1000}{(0,6 \cdot bw \cdot d)}$ (MPa)	$\frac{Vc \cdot 1000}{(2 \cdot bw \cdot d)}$ (MPa)	$\frac{vu}{0,6} - \frac{vc}{2}$ (MPa)	Keterangan	Vs perlu = Vu/0,6 - Vc (kN)	Av (Luas tul.) φ10	s = $\frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vs}$ mm	s max = $\frac{3 \cdot Av \cdot fy \cdot bw}{3 \cdot Av \cdot fy \cdot bw}$ mm	S = $\frac{3 \cdot Av \cdot 480 \cdot fy \cdot bw \cdot s}{4 \rho \cdot 600 \cdot \frac{1}{10} \cdot d}$ mm	dipakai s terkecil	Vs sedia (kN)	Ket Vs sedia > Vs perlu	Vs sedia < $\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$ (kN)
0,58	1.107,44	1.903,44	2.508	2.155	0,353	Dengan Tul. Geser	-795,999	157,080	-54,46	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
1,00	1.057,50	1.996,59	2.395	2.147	0,247	Dengan Tul. Geser	-839,086	157,080	-61,67	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
2,00	940,00	1.106,69	2.129	1.253	0,876	Dengan Tul. Geser	-166,690	157,080	-260,09	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
3,00	822,50	787,05	1.963	0,891	0,971	Dengan Tul. Geser	35,454	157,080	1.222,84	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
4,00	705,00	611,51	1.596	0,692	0,904	Dengan Tul. Geser	93,494	157,080	463,71	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
5,00	567,50	493,04	1.330	0,558	0,772	Dengan Tul. Geser	94,461	157,080	466,96	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
6,00	470,00	402,50	1.034	0,456	0,609	Dengan Tul. Geser	67,500	157,080	642,29	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
7,00	362,50	398,99	0,798	0,452	0,346	Dengan Tul. Geser	-46,489	157,080	-932,56	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
8,00	236,00	398,99	0,532	0,452	0,080	Dengan Tul. Geser	-163,999	157,080	-264,37	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
9,00	117,50	398,99	0,266	0,452	-0,156	Tanpa Tul. Geser	-281,489	157,080	-164,02	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97
10,00	0,00	398,99	0,000	0,452	-0,452	Tanpa Tul. Geser	-398,899	157,080	-108,66	294,524	300,067	294,524	147,200	O.K.	930,97

Keterangan :
s min = 3/4 h = 862,5 mm

< d/2

< 600 mm

< $\frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vs}$

< $\frac{3 \cdot Av \cdot 480 \cdot fy \cdot bw}{4 \rho \cdot 600 \cdot \frac{1}{10} \cdot d}$

bentang konstruksi =
 beban mati =
 beban hidup =
 b. s. (taksir) =

25 m
 20 kN/m
 15 kN/m
 27 kN/m

$T_e = P_e = 5907219 \text{ N}$
 $I_c = 1,605 \times 10^{11} \text{ mm}^4$
 $A_c = 1067500 \text{ mm}^2$
 $ct = 545,61 \text{ mm}$
 $cb = 804,39 \text{ mm}$
 $St = 1,99E+08 \text{ mm}^3$
 $Sb = 2,94E+08 \text{ mm}^3$

$h = 1950 \text{ mm}$
 $ts = 500 \text{ mm}$
 $b = 1200 \text{ mm}$
 $bw = 550 \text{ mm}$
 $fc = 40 \text{ MPa}$
 $f_y \text{ nonptg} = 300 \text{ MPa}$
 $f_{pu} = 1700 \text{ MPa}$

$A_{ps} = 6538,34 \text{ mm}^2$
 $T_e/T_u = 0,531447 > 0,4$

LEMBANG I

Tabel 4-3.a. Perhitungan Geser Metode Alternatif ACI-1977 *

x (m)	w_u (kN/m)	V_u (kN)	M_u (kN-m)	e (mm)	d (mm)	V_u/dM_u	v_c (MPa)	Batas awal v_c	Batas Akhir v_c	Ket	V_c (kN)
0,68	80,4	950,73	660,06	91,95	1060,00	1,56	6,09	1,05	2,53	NO	1502,71
1,00	80,4	924,60	964,80	115,94	1060,00	1,04	6,49	1,05	2,53	NO	1502,71
2,00	80,4	844,20	1849,20	195,56	1060,00	0,49	2,78	1,05	2,53	NO	1502,71
3,00	80,4	763,80	2653,20	248,65	1060,00	0,31	1,87	1,05	2,53	O.K.	1111,24
4,00	80,4	683,40	3376,60	305,78	1060,00	0,22	1,41	1,05	2,53	O.K.	837,60
5,00	80,4	603,00	4020,00	366,41	1060,00	0,15	1,13	1,05	2,53	O.K.	668,35
6,00	80,4	522,60	4582,60	400,71	1060,00	0,12	0,93	1,05	2,53	NO	626,13
7,00	80,4	442,20	5055,20	436,66	1060,00	0,09	0,79	1,05	2,53	NO	626,13
8,00	80,4	361,80	5467,20	470,32	1060,00	0,07	0,67	1,05	2,53	NO	626,13
9,00	80,4	281,40	5788,60	495,63	1060,00	0,05	0,58	1,05	2,53	NO	626,13
10,00	80,4	201,00	6030,00	513,62	1060,00	0,04	0,50	1,05	2,53	NO	626,13
11,00	80,4	120,60	6190,60	527,27	1060,00	0,02	0,42	1,05	2,53	NO	626,13
12,00	80,4	40,20	6271,20	533,60	1060,00	0,01	0,35	1,05	2,53	NO	626,13

* Perhitungan ini dipakai jika $T_e/T_u > 0,4$

Tabel 4-3.b. Perhitungan Geser - Lentur Balok Tampang I

x (m)	M ₀ (kN-m)	V ₀ (kN)	f _d (MPa)	e (mm)	f _{pe} (MPa)	M _{cr} (kN-m)	M _{maks} (kN-m)	V _i (kN)	V _i *M _{cr} /M _m (kN)	d (mm)	V _{ci} (kN)	V _{ci} min	f _{oc} (MPa)	V _p (kN)	V _{ow} (kN)	V _c (kN)
0,63	221,66	319,26	0,75	91,95	7,14	3.224,66	394,07	567,80	4.644,72	1.080,00	5.151,83	536,68	5,53	454,66	2.567,80	2.567,80
1,00	324,00	310,50	1,10	115,94	7,56	3.248,80	576,00	552,00	3.113,43	1.080,00	3.611,77	536,68	5,53	448,59	2.561,73	2.561,73
2,00	621,00	283,50	2,11	185,55	8,78	3.318,63	1.104,00	504,00	1.515,12	1.080,00	1.966,46	536,68	5,53	429,89	2.543,03	1.966,46
3,00	881,00	256,50	3,03	248,83	9,69	3.362,49	1.584,00	456,00	973,75	1.080,00	1.418,09	536,68	5,53	411,20	2.524,34	1.418,09
4,00	1.134,00	229,50	3,66	305,76	10,68	3.439,79	2.016,00	408,00	696,15	1.080,00	1.113,49	536,68	5,53	392,51	2.505,65	1.113,49
5,00	1.350,00	202,50	4,59	356,41	11,77	3.490,73	2.400,00	360,00	523,61	1.080,00	913,95	536,68	5,53	373,82	2.486,96	913,95
6,00	1.539,00	175,50	5,24	400,71	12,54	3.535,29	2.736,00	312,00	403,15	1.080,00	736,49	536,68	5,53	355,13	2.468,27	736,49
7,00	1.701,00	148,50	5,79	438,68	13,21	3.573,49	3.024,00	264,00	311,97	1.080,00	648,31	536,68	5,53	336,44	2.449,58	648,31
8,00	1.836,00	121,50	6,25	470,32	13,76	3.605,33	3.264,00	216,00	236,59	1.080,00	547,93	536,68	5,53	317,75	2.430,89	547,93
9,00	1.944,00	94,50	6,61	495,63	14,21	3.630,79	3.456,00	168,00	176,50	1.080,00	459,84	536,68	5,53	299,06	2.412,20	459,84
10,00	2.025,00	67,50	6,89	514,62	14,54	3.649,89	3.600,00	120,00	121,66	1.080,00	377,00	536,68	5,53	280,37	2.393,51	377,00
11,00	2.079,00	40,50	7,07	527,27	14,76	3.662,63	3.696,00	72,00	71,35	1.080,00	299,59	536,68	5,53	261,67	2.374,81	299,59
12,00	2.106,00	13,50	7,17	533,50	14,87	3.668,99	3.744,00	24,00	23,52	1.080,00	224,66	536,68	5,53	242,96	2.356,12	224,66

^{*)} V_c dipakai dari V_{ow} dan V_{ci} yang bernilai kecil

Tabel 4-3.c. Analisa Pemakaian Tulangan Geser

x (m)	V _u φ (kN)	V _c (MPa)	V _u *1000 (0,6*bw*d) (MPa)	V _c *1000 (2*bw*d) (MPa)	vw/0,85 -vc/2	Keterangan	V _s perlu = V _u /0,6 - V _c (kN)	A _v (Luas tul.) mm ²	A _v /A _c (V _s) (mm)	s = 3*A _v *fy/bw mm	dipakai s terkecil mm	V _s sedia (kN)	K _{ei} V _s sedia > V _s perlu	V _s sedia < $\frac{1}{3} \sqrt{f'_c} - 0,5 \sigma^* d$ (kN)
0,56	1584,55	2567,60	2,668	2,161	0,508	Dengan tul. Geser	-983,250	226,195	-74,54	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
1,00	1541,00	2561,73	2,594	2,156	0,438	Dengan Tul. Geser	-1020,726	226,195	-71,60	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
2,00	1407,00	1986,46	2,369	1,672	0,657	Dengan Tul. Geser	-679,457	226,195	-126,48	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
3,00	1273,00	1418,09	2,143	1,194	0,949	Dengan Tul. Geser	-145,068	226,195	-505,12	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
4,00	1139,00	1113,49	1,918	0,937	0,950	Dengan Tul. Geser	25,512	226,195	2,672,67	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
5,00	1005,00	913,95	1,692	0,769	0,923	Dengan Tul. Geser	91,052	226,195	604,90	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
6,00	871,00	768,49	1,466	0,645	0,821	Dengan Tul. Geser	104,513	226,195	701,22	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
7,00	737,00	643,31	1,241	0,546	0,835	Dengan Tul. Geser	66,669	226,195	626,34	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
8,00	603,00	547,93	1,015	0,461	0,824	Dengan Tul. Geser	55,073	226,195	1330,73	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
9,00	469,00	536,68	0,790	0,452	0,358	Dengan Tul. Geser	-67,684	226,195	-1063,79	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
10,00	335,00	533,68	0,564	0,452	0,112	Dengan Tul. Geser	-201,684	226,195	-363,58	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
11,00	201,00	533,68	0,338	0,452	-0,113	Tanpa Tul. Geser	-335,684	226,195	-218,32	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26
12,00	67,00	533,68	0,113	0,452	-0,339	Tanpa Tul. Geser	-469,684	226,195	-156,03	370,137	376,412	198,000	O.K.	1.252,26

Keterangan
 s perlu < 3/4 h = 1012,50 mm
 < d/2 = 540,00 mm
 < 500 mm
 < A_v*fy/dV_s
 < 3*A_v*fy/bw
 $\frac{1}{3} \sqrt{f'_c} - 0,5 \sigma^* d$

bertang =
 beban mati =
 beban hidup =
 b.s. (Taker) =

16 m
 20 kN/m
 15 kN/m
 12 kN/m

Te = 3,45E+06 N
 Ic = 5,940E+10 mm⁴
 Sb = 1,08E+08 mm³
 Ac = 6,57E+05 mm²
 ct = 550 mm
 cb = 550 mm
 St = 1,08E+08 mm³

h = 1100 mm
 ts = 350 mm
 b = 550 mm
 bw = 250 mm
 fc = 40 MPa
 fy nomgtg = 300 MPa
 fou = 1700 MPa

Aps =

3716,504 mm²

$T_e/T_u = 0,546124 > 0,4$

TAMPANG I. SYMETRIS

Tabel 4-4.a. Perhitungan Geser Metode Alternatif ACI-1977

1 x (m)	2 wu (kN/m)	3 Vu (kN)	4 Mu (kN-m)	5 e (mm)	6 d (mm)	7 Vu/Mu < 1	8 vc (MPa)	9 Batas awal vc	10 Batas Akhir vc	11 Ket. 9 < 8 < 10	12 Vc (kN)
0,55	62,4	464,88	265,12	71,37	880,00	1,54	6,03	1,05	2,53	NO	556,56
1,00	62,4	436,80	488,00	96,25	880,00	0,82	4,42	1,05	2,53	NO	556,56
2,00	62,4	374,40	873,60	145,00	880,00	0,36	2,20	1,05	2,53	O.K.	484,43
3,00	62,4	312,00	1,215,80	186,25	880,00	0,23	1,44	1,05	2,53	O.K.	317,76
4,00	62,4	249,60	1,497,60	228,00	880,00	0,15	1,06	1,05	2,53	NO	231,90
5,00	62,4	187,20	1,715,00	245,25	880,00	0,10	0,80	1,05	2,53	NO	231,90
6,00	62,4	124,80	1,872,00	265,00	880,00	0,06	0,61	1,05	2,53	NO	231,90
7,00	62,4	62,40	1,985,60	276,25	880,00	0,03	0,46	1,05	2,53	NO	231,90
8,00	62,4	0,00	1,998,80	280,00	880,00	0,00	0,32	1,05	2,53	NO	231,90

¹⁾ Perhitungan ini dipakai jika $T_e/T_u > 0,4$

Tabel 4-4.b. Perhitungan Geser - Lentur Balok Tampang I

x (m)	Mc (kN-m)	Vc (kN)	fd (MPa)	e (mm)	fcpe (MPa)	Mcr (kN-m)	Mmaks (kN-m)	Vi (kN)	Vr/Mcr/Mm (kN)	d (mm)	Vci (kN)	Vci min	fcv (MPa)	Vp (kN)	Vcv (kN)	Vc (kN)
0,55	50,69	69,20	0,47	71,67	7,24	1,241,77	203,94	357,60	2,177,40	880,00	2,336,37	198,772	5,26	199,91	664,21	984,21
1,00	90,00	84,00	0,83	96,25	7,91	1,280,73	360,00	385,00	1,195,95	880,00	1,348,92	198,772	5,26	194,09	958,39	958,39
2,00	168,00	72,00	1,56	145,00	9,26	1,358,62	672,00	268,00	562,37	880,00	723,84	198,772	5,26	181,15	945,45	723,84
3,00	234,00	60,00	2,17	186,25	10,39	1,424,52	936,00	240,00	365,26	880,00	484,83	198,772	5,26	169,21	932,51	484,83
4,00	268,00	48,00	2,67	220,00	11,53	1,478,45	1,152,00	192,00	246,41	880,00	363,96	198,772	5,26	155,27	919,57	363,96
5,00	330,00	36,00	3,06	246,25	12,05	1,520,39	1,320,00	144,00	166,36	880,00	271,43	198,772	5,26	142,33	906,64	271,43
6,00	360,00	24,00	3,33	265,00	12,57	1,550,34	1,440,00	56,00	103,36	880,00	196,93	198,772	5,26	139,39	893,70	196,93
7,00	378,00	12,00	3,50	276,25	12,68	1,568,32	1,512,00	46,00	49,79	880,00	131,96	198,772	5,26	116,45	860,76	196,77
8,00	384,00	0,00	3,56	280,00	12,98	1,574,31	1,536,00	0,00	0,00	880,00	69,57	198,772	5,26	103,51	867,62	196,77

¹⁾ Vc dipakai dari Vcv dan Vci yang bernilai kecil

Tabel 4-4.c. Analisa Pemakaian Tulangan Geser

x (m)	Vu φ (kN)	Vc (MPa)	Vu/1000 (0.15bwfd) (MPa)	Vc/1000 (2bwfd) (MPa)	wu/85 -vc2 (MPa)	Keterangan	Vs perlu = Vu/0.6 - Vc (kN)	Av (Luas tul.) 610	AV/3 (Vs) mm	S =		dipakai s terkecil	Vs sedia (kN)	Ket Vs sedia > Vs perlu	Vs sedia < $\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} (b_w d)$ (kN)
										s max = 3*Av*fy/σw mm	s min = $\frac{250000}{\sqrt{f_c'}}$ mm				
0,55	774,80	864,21	3,522	2,191	1,330	Dengan Tul. Geser	-169,414	157,080	-218,93	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
1,00	728,00	956,39	3,309	2,178	1,131	Dengan Tul. Geser	-230,392	157,080	-179,99	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
2,00	824,00	723,84	2,836	1,645	1,191	Dengan Tul. Geser	-99,636	157,080	-415,37	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
3,00	520,00	494,63	2,364	1,125	1,239	Dengan Tul. Geser	25,167	157,080	1,647,75	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
4,00	416,00	553,98	1,691	0,827	1,064	Dengan Tul. Geser	52,022	157,080	797,14	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
5,00	312,00	271,43	1,416	0,617	0,801	Dengan Tul. Geser	40,570	157,080	1,022,17	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
6,00	208,00	198,77	0,845	0,452	0,494	Dengan Tul. Geser	9,328	157,080	4,493,70	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
7,00	104,00	156,77	0,473	0,452	0,021	Dengan Tul. Geser	-94,772	157,080	-437,57	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80
8,00	0,00	156,77	0,000	0,452	-0,452	Tanpa Tul. Geser	-156,772	157,080	-208,63	565,487	279,872	279,872	148,172	O.K.	463,80

Keterangan :
 s min = 250 mm
 s max = 305 mm
 s min = 450 mm
 s max = 600 mm
 s min = Av*fy/σw
 $s = \frac{250000}{\sqrt{f_c'}}$
 $s = \frac{Av*fy}{\sigma_w}$

bentang = 20 m
 beban mati = 20 kN/m
 beban hidup = 15 kN/m
 b.s (Taksir) = 18,75 kN/m
 $T_e = 4,87E+06$ N
 $I_c = 1,206E+11$ mm⁴
 $S_b = 1,68E+08$ mm³
 $A_c = 6,57E+05$ mm²
 $ct = 650$ mm
 $cb = 650$ mm
 $St = 1,9E+08$ mm³
 $h = 1300$ mm
 $ts = 325$ mm
 $b = 710$ mm
 $bw = 300$ mm
 $f_c = 40$ MPa
 $f_y = 300$ MPa
 $f_{pu} = 1700$ MPa
 $A_{ps} = 5043,827$ mm²
 $T_e/T_u = 0,544702$

TAMPANG I SIMETRIS

Tabel 4-5.a. Perhitungan Geser Metode Alternatif ACI-1977

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x	$\frac{2}{V_u}$ (kN/m)	$\frac{3}{V_u}$ (kN)	$\frac{4}{M_u}$ (kN-m)	$\frac{5}{e}$ (mm)	$\frac{6}{d}$ (mm)	$\frac{7}{V_u d M_u}$ (kN)	$\frac{8}{vc}$ (MPa)	9	10	11	12
(m)								Batas awal	Batas Akhir	Kat.	$\frac{12}{V_c}$
								vc	vc	$9 < \delta < 10$	(kN)
0,65	70,5	659,15	443,36	84,76	1240,00	1,55	6,05	1,05	2,53	NO	789,30
1,00	70,5	634,50	859,75	164,80	1040,00	0,99	5,24	1,05	2,53	NO	789,30
2,00	70,5	564,00	1.269,00	182,40	1040,00	0,46	2,93	1,05	2,53	NO	789,30
3,00	70,5	493,50	1.797,75	213,40	1040,00	0,29	1,74	1,05	2,53	O.K.	544,03
4,00	70,5	423,00	2.356,00	257,60	1040,00	0,20	1,29	1,05	2,53	O.K.	402,88
5,00	70,5	352,50	2.943,75	295,00	1040,00	0,14	0,91	1,05	2,53	NO	328,68
6,00	70,5	282,00	3.561,00	325,90	1040,00	0,10	0,61	1,05	2,53	NO	328,68
7,00	70,5	211,50	4.207,75	349,40	1040,00	0,07	0,46	1,05	2,53	NO	328,68
8,00	70,5	141,00	4.884,00	365,40	1040,00	0,04	0,33	1,05	2,53	NO	328,68
9,00	70,5	70,50	5.489,75	376,60	1040,00	0,02	0,22	1,05	2,53	NO	328,68
10,00	70,5	0,00	6.025,00	380,00	1040,00	0,00	0,00	1,05	2,53	NO	328,68

¹ Perhitungan ini dipakai jika $T_e/T_u > 0,4$

Tabel 4-5.b. Perhitungan Geser - Lentur Balok Tampang I

x	M _o	V _o	f _d	e	f _{pe}	M _{cr}	M _{maks}	V _i	V _T	d	V _{ci}	V _{ci min}	f _{ec}	V _p	V _{cw}	V _c
(m)	(kN-m)	(kN)	(MPa)	(mm)	(MPa)	(kN-m)	(kN-m ²)	(kN)	(kN)	(mm)	(kN)	(kN)	(MPa)	(kN)	(kN)	(kN)
0,65	117,91	175,31	0,84	82,76	8,64	2,834,65	301,86	448,80	4,274,51	1040,00	1486,49	281,894	7,11	307,28	1,565,15	1,565,15
1,00	178,13	168,75	0,96	104,60	9,04	2,654,24	455,00	432,00	2,704,32	1040,00	2,971,43	281,894	7,11	301,72	1,559,60	1,559,60
2,00	387,50	150,00	1,82	162,40	10,10	2,906,09	664,00	384,00	1,291,60	1040,00	1,540,26	281,894	7,11	265,84	1,543,72	1,540,26
3,00	478,13	131,25	2,56	213,40	11,04	2,861,85	1,224,00	336,00	810,31	1040,00	1,040,22	281,894	7,11	269,96	1,527,84	1,040,22
4,00	600,00	112,50	3,23	257,60	11,85	2,891,50	1,536,00	288,00	560,91	1040,00	772,07	281,894	7,11	254,08	1,511,96	772,07
5,00	703,13	93,75	3,79	295,00	12,54	3,035,05	1,850,00	240,00	403,34	1040,00	596,75	281,894	7,11	236,20	1,496,06	596,75
6,00	787,50	75,00	4,24	325,60	13,10	3,052,50	2,016,00	192,00	250,71	1040,00	464,58	281,894	7,11	222,32	1,480,20	464,58
7,00	853,13	56,25	4,60	349,40	13,54	3,073,95	2,184,00	144,00	202,67	1040,00	357,58	281,894	7,11	206,44	1,464,32	357,58
8,00	900,00	37,50	4,65	365,40	13,85	3,089,10	2,304,00	96,00	128,71	1040,00	264,68	281,894	7,11	190,56	1,448,44	264,68
9,00	928,13	18,75	5,00	376,60	14,04	3,098,25	2,376,00	48,00	62,59	1040,00	180,00	281,894	7,11	174,68	1,432,56	261,69
10,00	937,50	0,00	5,05	380,00	14,10	3,101,30	2,400,00	0,00	0,00	1040,00	98,66	281,894	7,11	158,80	1,416,68	261,69

² V_c dipakai dari V_{cw} dan V_{ci} yang bernilai kecil

Tabel 4-5.c. Analisa Pemakaian Tulangan Geser

x (m)	Vu (kN)	Vc (MPa)	Vu*1000 (0.5*bw*d) (MPa)	Vc*1000 (2*bw*d) (MPa)	vu/0.85 -vc/2 (MPa)	Keterangan	Vs perlu = Vu/0.8 - Vc (kN)	Av (Luas tul.) 310	Δv/d (Vs) mm	s max = 3*Av*fy/bw mm	s = Δv*1000*fy Aw*ρv*fy mm	Vs sedia (kN)	Ket Vs sedia > Vs perlu	Vs sedia < $\sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$ (kN)
0.65	1058.63	1565.15	3.521	2.508	1.013	Dengan Tul. Geser	-466.529	157.080	-105.05	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
1.00	1057.50	1559.60	3.389	2.499	0.890	Dengan Tul. Geser	-502.096	157.080	-97.61	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
2.00	940.00	1540.26	3.013	2.468	0.544	Dengan Tul. Geser	-600.260	157.080	-81.65	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
3.00	822.50	1540.22	2.636	1.667	0.969	Dengan Tul. Geser	-217.724	157.080	-225.10	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
4.00	705.00	772.07	2.350	1.237	1.022	Dengan Tul. Geser	-67.069	157.080	-730.72	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
5.00	587.50	585.75	1.893	0.955	0.928	Dengan Tul. Geser	-8.253	157.080	-5938.36	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
6.00	470.00	484.38	1.508	0.744	0.762	Dengan Tul. Geser	5.623	157.080	8716.29	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
7.00	352.50	357.58	1.130	0.573	0.657	Dengan Tul. Geser	-5.065	157.080	-9.638.62	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
8.00	235.00	261.59	0.753	0.452	0.301	Dengan Tul. Geser	-46.894	157.080	-1.046.09	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
9.00	117.50	261.59	0.377	0.452	-0.075	Tanpa Tul. Geser	-154.394	157.080	-298.12	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75
10.00	0.00	261.59	0.000	0.452	-0.452	Tanpa Tul. Geser	-261.694	157.080	-173.66	471.239	245.584	199.561	O.K.	657.75

$\leq \frac{3}{4} h = 975 \text{ mm}$
 $\leq d/2 = 520 \text{ mm}$
 $\leq 600 \text{ mm}$
 $\leq Avfy/dVs$
 $\leq \frac{3 \cdot v \cdot 80 \cdot fy \cdot bw}{4 \cdot \rho \cdot bw \cdot fy} \cdot \frac{d}{Aw}$

Keterangan

Tabel 4-6.b Perhitungan Geser - Lentur Balok Tampang I

x (m)	M ₀ (kN·m)	V ₀ (kN)	f _d (MPa)	e (mm)	f _{pe} (MPa)	N _{0cr} (kN·m ²)	M _{0maks} (kN·m)	V _i (kN)	V _i ·M _{0cr} /M ₀ (kN)	d (mm)	V _{0i} (kN)	V _{0i} ·min	f _{0c} (MPa)	V _p (kN)	V _{0v} (kN)	V _c (kN)
0,74	242,36	317,52	0,87	89,41	8,44	4.631,75	430,88	524,48	6.068,20	1.184,00	6.528,00	406,51	7,11	426,72	2.240,64	2.240,64
1,00	324,00	310,50	1,17	105,05	8,68	4.610,93	576,00	552,00	4.418,81	1.184,00	4.871,58	406,51	7,11	422,15	2.236,07	2.236,07
2,00	621,00	283,50	2,24	166,59	9,58	4.535,17	1.104,00	504,00	2.070,40	1.184,00	2.496,16	406,51	7,11	404,56	2.216,48	2.216,48
3,00	691,00	256,50	3,21	221,63	10,39	4.466,30	1.684,00	456,00	1.265,75	1.184,00	1.684,53	406,51	7,11	366,97	2.200,89	1.684,53
4,00	1.134,00	229,50	4,09	271,17	11,13	4.404,32	2.016,00	456,00	691,35	1.184,00	1.263,13	406,51	7,11	369,38	2.183,30	1.263,13
5,00	1.350,00	202,50	4,87	315,20	11,76	4.349,22	2.400,00	360,00	652,38	1.184,00	997,18	406,51	7,11	351,79	2.165,71	997,18
6,00	1.539,00	175,50	5,55	353,73	12,35	4.301,01	2.736,00	312,00	490,47	1.184,00	806,24	406,51	7,11	334,20	2.148,12	806,24
7,00	1.701,00	148,50	6,14	386,75	12,84	4.259,89	3.024,00	264,00	371,68	1.184,00	662,66	406,51	7,11	316,61	2.130,53	662,66
8,00	1.836,00	121,50	6,62	414,27	13,25	4.225,26	3.264,00	216,00	279,61	1.184,00	543,39	406,51	7,11	299,02	2.112,94	543,39
9,00	1.944,00	94,50	7,01	436,29	13,57	4.197,71	3.456,00	168,00	204,06	1.184,00	440,93	406,51	7,11	281,43	2.095,36	440,93
10,00	2.025,00	67,50	7,31	452,60	13,82	4.177,05	3.600,00	120,00	139,23	1.184,00	349,01	406,51	7,11	263,84	2.077,77	406,51
11,00	2.079,00	40,50	7,50	463,81	13,96	4.163,28	3.696,00	72,00	81,10	1.184,00	263,68	406,51	7,11	246,25	2.060,19	406,51
12,00	2.106,00	13,50	7,60	469,31	14,06	4.156,39	3.744,00	24,00	26,64	1.184,00	162,42	406,51	7,11	228,66	2.042,59	406,51

*) V_c diabaikan dan V_{0v} dan V_{0i} yang bernilai kecil

bentang konstruksi = 25 m
 beban mati = 20 kN/m
 beban hidup = 15 kN/m
 b. s. (taksir) = 27 kN/m
 Te = Pe = 6391500 N
 Ic = 2,05E+11 mm⁴
 Ac = 898400 mm²
 ct = 740 mm
 cb = 740 mm
 St = 2,77E+06 mm³
 Sb = 2,77E+06 mm³
 h = 1480 mm
 ts = 400 mm
 b = 800 mm
 bw = 360 mm
 fc = 40 MPa
 fy nomprg = 300 MPa
 folu = 1700 MPa
 Pe = 6391500,2 N
 Aps = 6891,87 mm²
 TerTu = 0,545528 > 0,4

TAMPANG I SYMETRIS

Tabel 4-6.a Perhitungan Geser Metode Alternatif ACI-1977 *

X (m)	wu (kN/m)	Vu (kN)	Mu (kN-m)	e (mm)	d (mm)	Vur ² /Mu	vc (MPa)	Batas awal vc	Batas Akhir vc	Ket.	Vc (kN)
0,74	60,4	945,50	721,69	59,41	1184,00	1,55	8,07	1,05	2,53	NO	1.136,22
1,00	60,4	924,60	964,30	106,05	1184,00	1,13	5,99	1,05	2,53	NO	1.136,22
2,00	60,4	844,20	1849,20	166,59	1184,00	0,64	3,02	1,05	2,53	NO	1.136,22
3,00	60,4	763,80	2.653,20	221,63	1184,00	0,34	2,02	1,05	2,53	O.K.	909,05
4,00	60,4	683,40	3.376,80	271,17	1184,00	0,24	1,51	1,05	2,53	O.K.	661,32
5,00	60,4	603,00	4.020,00	315,20	1184,00	0,16	1,20	1,05	2,53	O.K.	541,81
6,00	60,4	522,60	4.582,80	353,73	1184,00	0,12	0,99	1,05	2,53	NO	474,26
7,00	60,4	442,20	5.065,20	385,75	1184,00	0,10	0,83	1,05	2,53	NO	474,26
8,00	60,4	361,80	5.467,20	412,27	1184,00	0,08	0,71	1,05	2,53	NO	474,26
9,00	60,4	281,40	5.788,80	436,29	1184,00	0,06	0,60	1,05	2,53	NO	474,26
10,00	60,4	201,00	6.030,00	452,80	1184,00	0,04	0,51	1,05	2,53	NO	474,26
11,00	60,4	120,60	6.190,80	463,81	1184,00	0,02	0,43	1,05	2,53	NO	474,26
12,00	60,4	40,20	6.271,20	469,31	1184,00	0,01	0,35	1,05	2,53	NO	474,26

* Perhitungan ini dilakukan jika TerTu > 0,4

Tabel 4-6.c Analisa Pemakaian Tulangan Geser

x (m)	V _u φ (kN)	V _c (MPa)	V _u < 1000 (0,8 ∙ b ∙ w ∙ d) (MPa)	V _c < 1000 (2 ∙ b ∙ w ∙ d) (MPa)	v _u < 0,65 ∙ v _c / 4	Keterangan	ΔV _s perlu = V _u < 0,65 ∙ V _c (kN)	A _v (Luas tul.) mm ²	s = A _v ∙ f _y / d / V _s mm	s _{max} = 3 ∙ A _v ∙ f _y / b ∙ w mm	S = $\frac{A_v \cdot f_y \cdot s}{b \cdot w}$ mm	dipakai s terkecil mm	V _s sedia (kN)	Kes. V _s sedia > V _s perlu	V _s sedia < $\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d$ (kN)
0,74	1.575,84	2.240,84	3.502	2.490	1,012	Dengan Tul. Geser	-364,804	226,195	-120,65	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
1,00	1.541,00	2.236,07	3.425	2.485	0,940	Dengan Tul. Geser	-695,071	226,195	-115,59	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
2,00	1.407,00	2.218,48	3.127	2.465	0,662	Dengan Tul. Geser	-811,461	226,195	-99,01	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
3,00	1.273,00	1.684,55	2.829	1.872	0,957	Dengan Tul. Geser	-411,531	226,195	-195,23	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
4,00	1.139,00	1.263,13	2.532	1.404	1,128	Dengan Tul. Geser	-124,127	226,195	-647,27	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
5,00	1.005,00	997,16	2.234	1.108	1,126	Dengan Tul. Geser	7,639	226,195	102,487	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
5,00	871,00	808,24	1.936	0.898	1,038	Dengan Tul. Geser	62,758	226,195	1.280,26	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
7,00	737,00	662,66	1.638	0.736	0,902	Dengan Tul. Geser	74,345	226,195	1.080,70	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
8,00	603,00	543,39	1.340	0.604	0,736	Dengan Tul. Geser	59,610	226,195	1.347,33	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
9,00	469,00	440,63	1.042	0.490	0,553	Dengan Tul. Geser	28,167	226,195	2.852,36	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
10,00	335,00	406,51	0.745	0.452	0,293	Dengan Tul. Geser	-71,506	226,195	-1.123,60	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
11,00	201,00	406,51	0.447	0.452	-0,005	Tanpa Tul. Geser	-265,506	226,195	-393,96	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51
12,00	67,00	406,51	0.149	0.452	-0,303	Tanpa Tul. Geser	-339,506	226,195	-236,55	535,724	310,796	310,796	258,512	O.K.	548,51

Keterangan:
 s perlu < 3/4 h = 1110 mm
 < d/2 = 592 mm
 < 600 mm
 < A_v ∙ f_y / d / V_s
 < 3 ∙ A_v ∙ f_y / b ∙ w
 < $\frac{A_v \cdot f_y \cdot s}{b \cdot w} \leq \frac{f_c'}{3}$

tinjauan setengah bentang dihitung tiap 1 meter jarak, didapat kapasitas momen tampang I hasilnya lebih besar daripada tampang T, sehingga bila dilihat dari hasil tinjauan lenturnya maka untuk tampang I lebih kuat dibanding tampang T. Sedangkan pada tinjauan perencanaan tulangan geser balok, justru terjadi pada keadaan sebaliknya, pada tampang T kekuatan beton dalam menahan geser lebih besar dibandingkan dengan tampang I. Keadaan ini berpengaruh terhadap jarak tulangan, dengan semakin besar kekuatan betonnya maka jarak tulangan yang dipakai semakin renggang, sehingga bila ditinjau dari segi ekonomis kebutuhan tulangan yang sedikit dapat menghemat biaya pengerjaan baik pengangkutan, pembungkusan (*sheathing*), maupun *grouting* serta efisiensi kerja, asal masih memenuhi batas-batas keamanan.

Tabel 5-1 Hasil Perbandingan Tampang I dan T

Uraian	Panjang Bentang					
	16 m		20 m		25 m	
	T	I	T	I	T	I
Luas Beton (Ac) mm ²	577400,00	485000,00	777400,00	656500,00	956400,00	898400,00
Momen Inersia (I) m ⁴	40604,12	59404,17	83359,19	120806,15	176033,18	205114,35
Luas Tampang Kabel (Aps), mm ²	3583,77	3716,50	4911,09	5043,83	5831,58	6891,87
Kuat Geser maks yang terjadi, kN	812,70	774,90	1107,44	1098,83	1584,55	1575,84
Kuat Geser Beton (Vc) Max, kN	1283,69	994,21	1903,44	1585,15	2567,80	2240,84

BAB V

PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan tampang yang paling ideal dari dua tampang yang berbeda bentuk cukup sulit untuk memilihnya, karena pada dasarnya masing-masing tampang mempunyai ciri-ciri khusus disamping kelebihan dan kekurangannya. Keputusan yang paling utama diambil adalah menentukan apakah struktur dapat didesain secara ekonomis, bila dilihat dari segi biaya dan efisiensi bahan. Hal lain yang tidak kalah pentingnya ialah harus memperhatikan estetika atau fungsi, sehingga keindahan dan tata letak yang strategis dapat menjadikan kemudahan pada waktu pelaksanaan.

Sebagai perbandingan antara tampang I dan T diambil dua tampang dengan bentang yang berbeda tetapi mempunyai faktor beban yang sama. Dengan menggunakan program komputer (LOTUS) diperoleh kapasitas momen (M_n) yang mempunyai selisih hasil perhitungan tidak terlalu besar (<10%), dari hasil tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kekuatan beton dalam menahan geser (V_c).

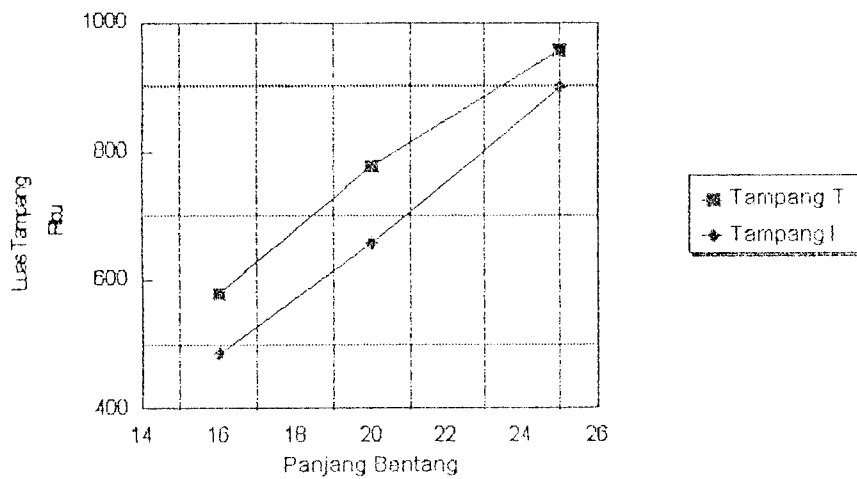
Dari Tabel 5.1 diperlihatkan bahwa perbandingan pada bentang 16 meter, 20 meter dan 25 meter dengan

tinjauan setengah bentang dihitung tiap 1 meter jarak, didapat kapasitas momen tampang I hasilnya lebih besar daripada tampang T, sehingga bila dilihat dari hasil tinjauan lenturnya maka untuk tampang I lebih kuat dibanding tampang T. Sedangkan pada tinjauan perencanaan tulangan geser balok, justru terjadi pada keadaan sebaliknya, pada tampang T kekuatan beton dalam menahan geser lebih besar dibandingkan dengan tampang I. Keadaan ini berpengaruh terhadap jarak tulangan, dengan semakin besar kekuatan betonnya maka jarak tulangan yang dipakai semakin renggang, sehingga bila ditinjau dari segi ekonomis kebutuhan tulangan yang sedikit dapat menghemat biaya pengerjaan baik pengangkutan, pembungkusan (*sheathing*), maupun *grouting* serta efisiensi kerja, asal masih memenuhi batas-batas keamanan.

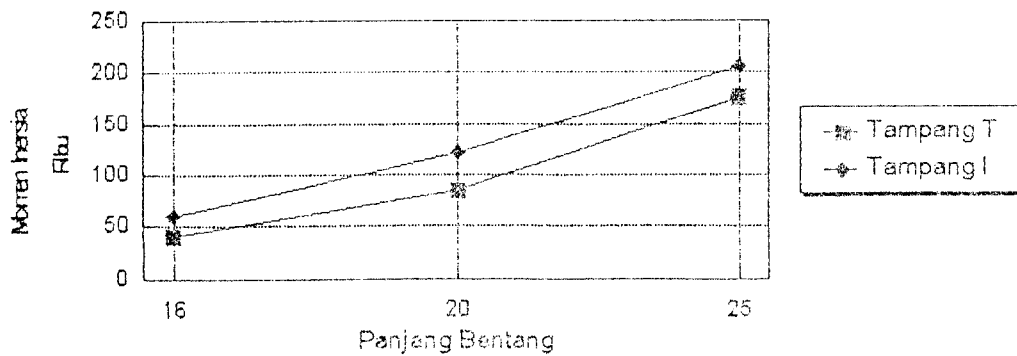
Tabel 5-1 Hasil Perbandingan Tampang I dan T

Uraian	Panjang Bentang					
	16 m		20 m		25 m	
	T	I	T	I	T	I
Luas Beton (Ac), mm ²	577400,00	485000,00	777400,00	656500,00	956400,00	898400,00
Momen Inersia (I), m ⁴	40604,12	59404,17	83858,19	120606,15	176033,18	205114,35
Luas Tampang Kabel (Aps), mm ²	3583,77	3718,50	4911,09	5043,83	5831,58	6891,87
Kuat Geser maks yang terjadi, kN	812,70	774,80	1107,44	1098,63	1584,55	1575,84
Kuat Geser Beton (Vc) Max, kN	879,95	755,37	1316,33	1214,40	1880,49	1793,48

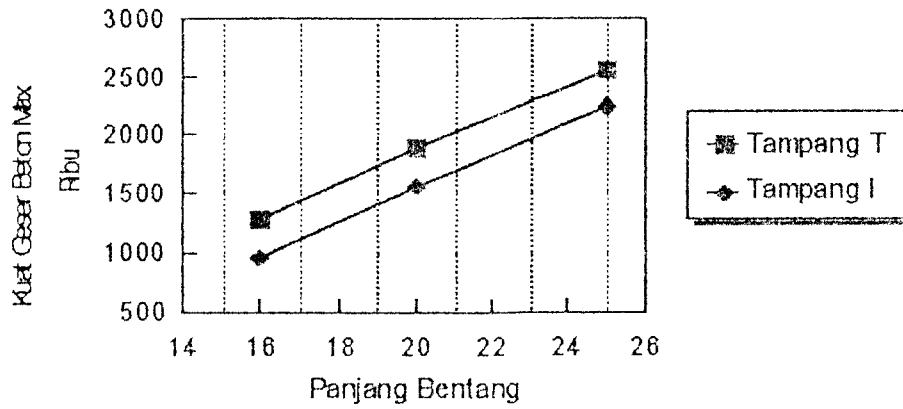
Uraian	Panjang Bentang					
	16 m		20 m		25 m	
	T	I	T	I	T	I
Kuat Geser Tul. (Vs) Max , kN	94,46	52,02	104,42	5,62	104,51	74,34
Kapasitas Momen (Mn) , kNm	2822,24	2780,23	4877,22	5025,95	8254,56	8355,62
Momen UKimit yang Terjadi, kNm	2592,00	2455,44	4341,01	4132,46	7851,56	7108,87



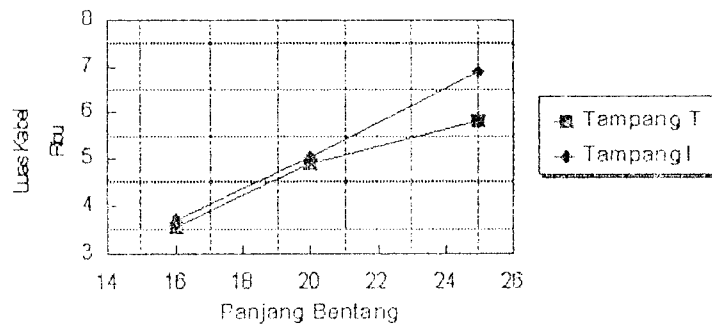
Hubungan Panjang bentang (L) m deng. Luas penampang Beton (Ac) mm²



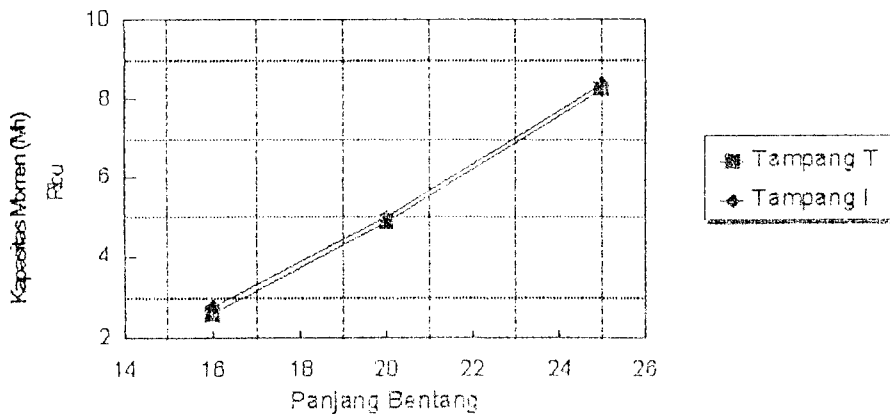
Hubungan Panjang bentang (L) m deng. inersia (I) m⁴



Hubungan Panjang Bentang (L) dg. Kuat Geser Beton (V_c) Max



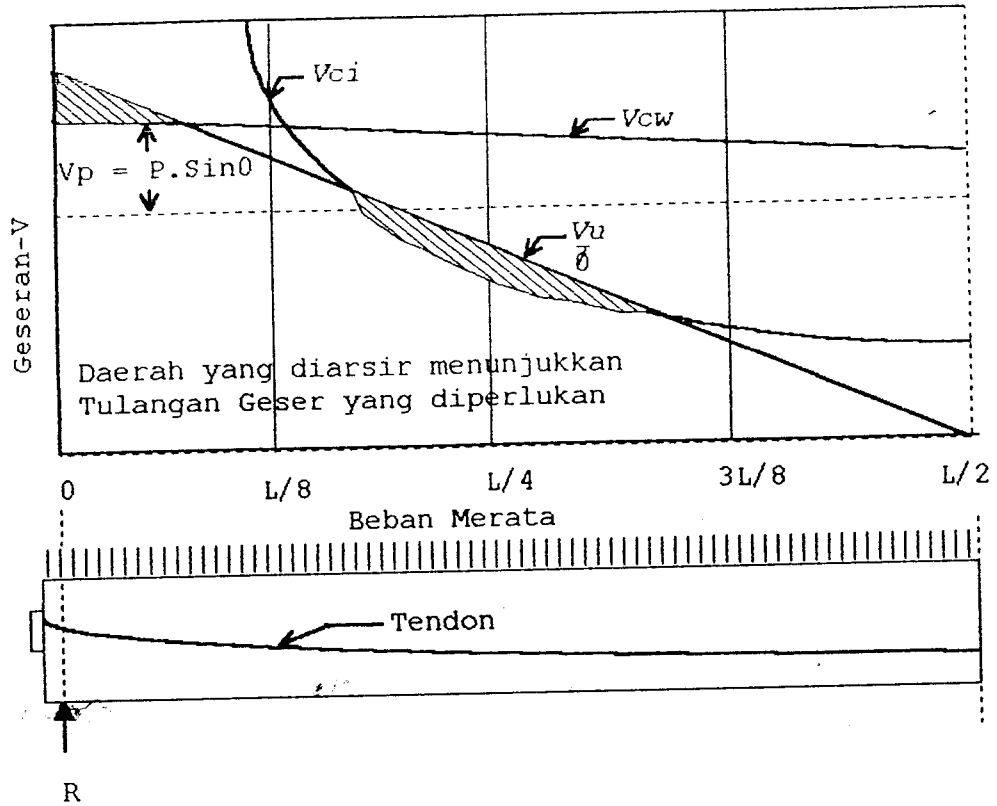
Hubungan Panjang Bentang (L) dg. Luas Tampang Kabel (A_{ps})



Hubungan Panjang Bentang (L) dg. Kapasltas Momen (M_n) , kNm

Hal yang sama dari kedua tampang balok beton prategang dengan tendon melengkung, hubungannya dengan kekuatan dalam menahan geser (Tabel 4.1 sampai Tabel 4.6), yaitu kedua tampang mempunyai pola grafis yang sama. Pola grafis tersebut merupakan variasi tahanan geser sepanjang balok seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Di dekat tumpuan, V_{cw} menjadi kritis sedangkan pada jarak yang jauh dari tumpuan dengan momen yang bergabung dengan gaya geser, V_{ci} dapat menjadi kritis. Secara umum, tahanan geser badan dan tahanan geser lentur dari balok beton jika letaknya di bawah dari gaya geser ultimit (V_u) akibat beban luar, maka diperlukan tulangan geser/ sengkang. Kalau garis-garis lengkung dari V_{cw} dan V_{ci} terletak di atas garis lengkung V_u , tulangan geser tidak diperlukan. Namun, tulangan-tulangan nominal seperti yang ditetapkan di dalam peraturan SNI 1991 harus diberikan.

Tahanan geser setiap tampang dengan variasi bentangan dapat dilihat pada lampiran 3 halaman 1 sampai 6.



Gambar 5.2 Tahanan Geser dari Balok Prategang

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis desain pada bab sebelumnya dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut ini.

1. Untuk mendapatkan suatu tampang yang paling ideal ternyata cukup sulit untuk memilihnya, dikarenakan harus melihat faktor-faktor lain yang saling berpengaruh.
2. Dari hasil perhitungan, kedua jenis tampang dapat disimpulkan bahwa pada tampang T tahanan geser yang terjadi lebih besar dari tampang I, sehingga dalam menahan gaya geser tampang T lebih baik.
3. Dalam menetapkan nilai kuat geser beton prategang (V_c), pada daerah tumpuan nilai kuat geser badan (V_{cw}) yang menentukan, sedangkan di sekitar lapangan yang menentukan ialah nilai kuat geser lenturnya (V_{ci}).
4. Dalam perhitungan desain geser ini sumbangan tulangan geser (sengkang) dalam menahan geser lebih kecil dari

betonnya, dikarenakan dimensi tampang balok yang digunakan relatif besar dan agak boros ($V_c > \frac{V_u}{\Phi}$).

6.2 Saran-saran

1. Untuk penulisan tugas akhir mengenai desain beton prategang selanjutnya, tipe tampang hendaknya lebih bervariasi dan diusahakan sumbangan tulangan geser dapat dimanfaatkan secara optimal agar diperoleh bentangan yang efisien.
2. Pada penyajian rumus teori kekuatan geser, digunakan standar SNI dan ACI. Diharapkan dari kedua peraturan tersebut dapat dijadikan perbandingan standar yang paling efektif, karena keduanya mempunyai bentuk rumus yang tidak berbeda jauh.
3. Untuk pembahasan selanjutnya perlu ditinjau masalah geser lentur dan atau puntir (torsion) sebagaimana disyaratkan dalam SK-SNI 1991.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chu Kia Wang, Charles G Solmon, Binsar Harianja, 1987, DESAIN BETON BERTULANG, Erlangga, Jakarta.
2. George Winter, Arthur H. Nilson, 1993, PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG, Pradnya Paramita, Jakarta.
3. Lin T.Y., Burns H., 1982, DESAIN STRUKTUR BETON PRATEGANG, Edisi ketiga, jilid 1, Erlangga, Jakarta.
4. *BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE* (ACI 318-89), American Concrete Institute, USA.
5. Yayasan LPMB, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK BANGUNAN GEDUNG, SKSNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
6. Istimawan Dipohusodo, 1994, STRUKTUR BETON BERTULANG, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Lampiran 2

Perhitungan Desain Dimensi Balok
Tampang I dan T dengan Program
Lotus

Perencanaan Tampang Balok

Balok Tampang T

Bentang balok, $L = 20$ m

Baja prategang: - $f_{pu} = 1700$ MPa
- $f_y = 0,85 \cdot 1700 = 1445$ MPa

Mutu beton: $f'_c = 40$ MPa

* Saat Transfer:

$$- f_{ci} = 0,6 \cdot f'_{ci} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 40 = -19,2 \text{ MPa}$$

$$- f_{ti} = 0,25 \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \sqrt{0,8 \cdot 40} = 1,4142 \text{ MPa}$$

* Saat Layan:

$$- f_{cs} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 40 = -18 \text{ MPa}$$

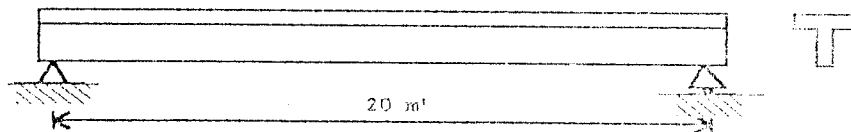
$$- f_{ts} = 0,5 \sqrt{f'_c} = 0,5 \sqrt{40} = 3,1628 \text{ MPa}$$

Beban mati $w_D = 20$ kN/m

Beban hidup $w_L = 15$ kN/m

Kehilangan prategang = 20 %

Balok memakai tendon melengkung, dengan sudut $\alpha = 0,25$



a. Menghitung Momen

* Akibat Berat Sendiri (w_o)

ditaksir : $w_o = 18,75$ kN/m

$$M_o = 1/8 \cdot 18,75 \cdot 20^2$$

$$= 937,50 \text{ KNm}$$

* Akibat Beban Mati (w_D)

$$w_D = 20 \text{ kN/m}$$

$$M_D = 1/8 \cdot 20 \cdot 20^2$$

$$= 1000 \text{ KNm}$$

* Akibat Beban Hidup (w_L)

$$w_L = 15 \text{ kN/m}$$

$$M_L = 1/8 \cdot 15 \cdot 20^2$$

$$= 750 \text{ KNm}$$

b. Menghitung Modulus Penampang Rencana

$$S_{\text{req}} = \frac{(1-R) * M_D + M_D + M_L}{R * f_{ti} - f_{cs}}$$

$$= \frac{[(1-0,8) * 937,50 + 1000 + 750] * 10^6}{0,8 * 1,4142 + 18}$$

$$= 101273511,10 \text{ mm}^3$$

$$S_{\text{brg}} = \frac{(1-R) * M_D + M_D + M_L}{f_{ts} - R * f_{ci}}$$

$$= \frac{[(1-0,8) * 937,5 + 1000 + 750] * 10^6}{3,1623 + 0,8 * 19,2}$$

$$= 104603639,90 \text{ mm}^3$$

*Untuk perencanaan dipakai S terbesar = 104603639,90 mm³

c. Perhitungan Dimensi Penampang

* Taksir tinggi tampang balok (h), menurut T.Y Lin digunakan batasan sebagai berikut :

$$h = 1/17L - 1/25L$$

$$= 1/17 * 20000$$

$$= 1176,47 \text{ mm}$$

*Dari tabel C-1 Lampiran C, Buku karangan T.Y. Lin, diambil :

hf/h = 0,4	diperoleh : A'c = 0,640*b*h
bw/b = 0,4	Ic = 0,0502*b*h ³
	ct = 0,388*h
	Cb = 0,612*h
	r ² = 0,0785*h ²

sehingga :

$$S_t = I_c / c_b = \frac{0,0502 * bh^3}{0,388 * h}$$

$$= 0,1294 h$$

$$S_b = I_c / c_t = \frac{0,0408 * bh^3}{0,626 * h} = 0,0652 h$$

Jika dipakai h = 1150 mm

$$S_t = 104603639,90 \text{ mm}^3$$

$$0,1079 bh = 104603639,90$$

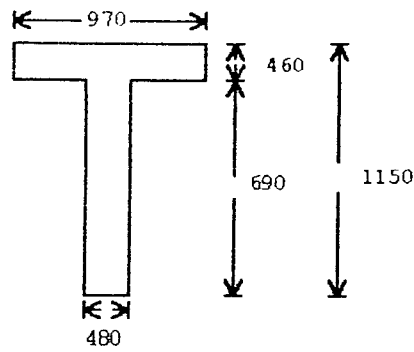
$$b = \frac{104603639,90}{0,107 * (1150)^3} = 733,043 \text{ mm}$$

∴ dipakai b = 970 mm

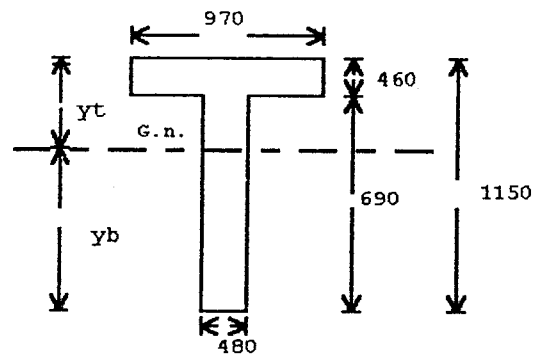
Sehingga didapat dimensi properti sbb :

- hf = 0,4*1150 = 460 mm dipakai hf = 460 mm
- bw = 0,4*970 = 388 mm dipakai bw = 480 mm
- A'c = 0,640*1150*970 = 713920 mm²

$$- r^2 = 0,0785 \cdot 1150^2 = 103816,25 \text{ mm}^2$$



*** Menghitung Properti Tampang**



Menentukan letak pusat berat penampang :

$$\begin{aligned}
 c_t &= \frac{A_f \cdot \frac{1}{2} h_f + A_w \cdot \left(\frac{h - h_f}{2} + h_f \right)}{A_f + A_w} \\
 &= \frac{\left(\frac{970 \cdot 460^2}{2} \right) + (1150 - 460) \cdot 480 \cdot \left(\frac{1150 - 460}{2} + 460 \right)}{(970 \cdot 460) + 480 \cdot (1150 - 460)} \\
 &= 474,970 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned}
 c_b &= [1150 - 474,970] \text{ mm} \\
 &= 675,030 \text{ mm} \\
 A_c &= A_s + A_w \\
 &= 970 \cdot 460 + [1150 - 460] \cdot 480 \\
 &= 777400 \text{ mm}^2 > A_c' = 713920 \text{ mm}^2 \\
 W_o &= A_c \cdot b_j \text{ Beton} \\
 &= 777400 \cdot 10^{-6} \cdot 23 \\
 &= 17,880 \text{ kN/m} \leq W_o \text{ taksiran} \\
 &\leq 18,75 \text{ kN/m} \\
 M_o &= 1/8 \cdot 17,880 \cdot 20^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 894,01 \text{ kN-m} \\
I_c &= 1/12 \cdot 970 \cdot 460^3 + 970 \cdot 460 \cdot [474,970 - 460/2]^2 \\
&\quad + 1/12 \cdot 690^3 \cdot 480 + 690 \cdot 480 \cdot [675,466 - 690/2]^2 \\
&= 83859187653 \text{ mm}^4 \\
&= 8,38591 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \\
S_b &= I_c/C_b = \frac{8,38591 \cdot 10^{10}}{675,030} = 124230377,10 \text{ mm}^3 \\
r^2 &= I_c/A_c = \frac{8,38591 \cdot 10^{10}}{777400} = 107871,3502 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

d. Menghitung Besar Gaya Prategang

Tegangan Beton Pada Pusat Beton [f_{cci}]

$$\begin{aligned}
f_{cci} &= f_{ti} - c_t/h [f_{ti} - f_{ci}] \\
&= 1,4142 - 474,970/1150 \cdot [1,4142 + 19,2] \\
&= - 7,0998 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Gaya Prategang Awal [P_o]

$$\begin{aligned}
P_o &= |f_{cci}| \cdot A_c \\
&= 7,0998 \cdot 777400 \\
&= 5519402,067 \text{ N}
\end{aligned}$$

Gaya Prategang Efektif [P_e]

$$\begin{aligned}
P_e &= P_o \cdot R \quad \text{dimana: } R = 1 - 0,2 = 0,8 \\
&= 5519402,067 \cdot 0,8 \\
&= 4415521,654 \text{ N}
\end{aligned}$$

e. Menghitung Luas Baja Prategang

Sesaat setelah transfer tegangan tendon maksimum menurut SKSNI T-15-1991-03 :

$$\begin{aligned}
f_{ps} &= 0,74 f_{pu} = 0,74 \cdot 1700 = 1258 \text{ MPa} \\
f_{ps} &= 0,82 f_{py} = 0,82 \cdot 1445 = 1184,9 \text{ MPa} \\
&\text{dipakai, } f_{ps} = 1184,9 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Luas Baja Prategang Yang Diperlukan :

$$A_{ps} = P_o/f_{ps} = 5519402,067/1184,9 = 4658,116 \text{ mm}^2$$

Dipakai tendon dengan ukuran dimensi kabel ϕ 13

$$A_s' = 1/4 \cdot \pi \cdot 13^2 = 132,7323 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dengan demikian jumlah tendon } n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{4658,1164}{132,7323} = 35,094$$

Digunakan tendon model 37 K 13 (Anchorage), $A_{ps}' = 4911,095 \text{ mm}^2$

- 37 kabel dalam satu tendon dengan kabel ϕ 13 mm
- Selubung ϕ 110 mm dengan luas = 9503,3178 mm²

f. Menghitung Eksentrisitas

Karena sistem digunakan Pasca-tarik dan Beban perimbangan, sehingga eksentrisitas (e) ditentukan dengan M_{maks} di tengah bentang ;

√a. pada serat atas

$$e = [f_{ti} - f_{cci}] \cdot \frac{S_t}{P_o} + \frac{M_o}{P_o}$$

$$= (1,142 - (-6,3081)) \cdot \frac{8,38591876 \cdot 10^{10}}{474,9704 \cdot 5519402,067} + \frac{894,01 \cdot 10^6}{5519402,067}$$

$$= 434,32599 \text{ mm}$$

√b. pada serat bawah

$$e = [f_{ci} - f_{cci}] \cdot \frac{S_b}{P_o} + \frac{M_o}{P_o}$$

$$= [(-6,3081) - (-19,2)] \cdot \frac{8,38591876 \cdot 10^{10}}{675,0296 \cdot 5519402,067} + \frac{894,01 \cdot 10^6}{5519402,067}$$

$$= [(-6,3081) + 19,2] \cdot 25,9560 + 131,287$$

$$= 434,32599 \text{ mm}$$

$$e_{mp} = c_b - 270$$

$$= 675,0296 - 270$$

$$= 405,0296 \text{ mm} > e = 434,3260 \text{ mm}$$

Jadi dipakai e terkecil = 405,0296 mm

g. Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada Saat Transfer

√a. Tegangan Beton

~ Pada Serat Atas

$$f_t = -\frac{P_o}{A_c \text{ netto}} + \frac{P_o \cdot e_{cb}}{I_c} - \frac{M_o \cdot e_b}{I_c} \leq 0,25 \sqrt{f'_{ci}}$$

$$= -\frac{5519402,067}{(777400-9503,32)} + \frac{5519402,067 \cdot 405,096 \cdot 474,97}{8,38591 \cdot 10^{10}} - \frac{894,01 \cdot 10^6 \cdot 474,97}{8,38591 \cdot 10^{10}}$$

$$= 0,41050 \text{ MPa} < 1,4142 \text{ MPa} \text{ ----- OK}$$

~ Pada Serat Bawah

$$f_b = \frac{P_o}{A_c \text{ netto}} - \frac{P_o \cdot e_{cb}}{I_c} + \frac{M_o \cdot e_b}{I_c} \leq 0,6 f'_{ci}$$

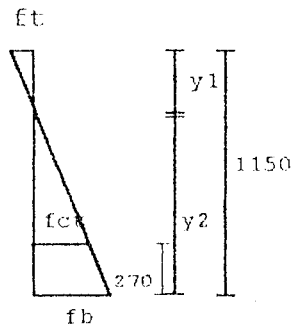
$$= \frac{5519402,067}{777400-9503,32} - \frac{5519402,067 \cdot 405,096 \cdot 675,030}{8,38591 \cdot 10^{10}} + \frac{894,0110^6 \cdot 474,97}{8,38591 \cdot 10^{10}}$$

$$\leq 0,6 \cdot 0,8 \cdot 40$$

$$= -17,9863 \text{ MPa} \leq 19,2 \text{ MPa} \text{ ----- OK}$$

√b. Tegangan Tendon

Tegangan Tendon:



$$f_{si} = \frac{P_e}{A_{ps}} = \frac{5519402,067}{4911,095} = 1123,8639 \text{ MPa}$$

$$y_1 = -\frac{f_t}{f_t + f_b} * h = \frac{0,4105}{0,4105 + 17,9863} * 1150 = 25,661 \text{ mm}$$

$$y_2 = h - y_1 = 1150 - 25,661 = 1124,339 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{y_2 - 270}{y_2} * f_b = \frac{1124,339 - 270}{1124,339} * 17,9863 = 13,667 \text{ MPa}$$

$$f_s = f_{si} + f_{ct} * n$$

$$= 1123,864 + 13,667 * 7$$

$$= 1219,533 \text{ MPa} \leq 0,74 f_{pu} = 1258 \text{ MPa}$$

----- O.K.

h. Tegangan Pada Saat Akhir (Layan)

Tegangan Beton :

~ Pada Serat Atas :

$$f_t = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e * e * c_t}{I_c} - \frac{M_t * c_t}{I_c} < 0,45 f_c$$

$$= -\frac{4415521,654}{777400} + \frac{4415521,654 * 405,0296 * 474,9704}{8,38592 * 10^{10}} - \frac{2687,5 * 10^6 * 474,9704}{8,38592 * 10^{10}}$$

$$= -10,7722 \text{ MPa} \leq f_{cs} = 18 \text{ MPa}$$

~ Pada Serat Bawah :

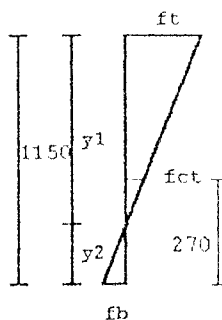
$$f_b = \frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e * e * c_b}{I_c} + \frac{M_t * c_b}{I_c} \leq 0,5 \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{4415521,654}{777400} - \frac{4415521,654 * 405,0296 * 675,0296}{8,38592 * 10^{10}} + \frac{2687,5 * 10^6 * 675,0296}{8,38592 * 10^{10}}$$

$$= 1,5574 \text{ MPa} \leq f_{ts} = 3,1623 \text{ MPa} \text{ ----- O.K.}$$

*Tegangan Tendon

~ Tegangan Efektif Tendon (fse)



$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}} = \frac{4415521,654}{777400} = 568,101 \text{ MPa}$$

$$Y_1 = \frac{f_t}{f_t + f_b} * h = \frac{10,772}{10,772 + 1,557} * 1150 = 1004,742 \text{ mm}$$

$$Y_2 = h - Y_1$$

$$= 1150 - 1004,742 = 145,258 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ct} &= \frac{(d1-Y2) \cdot f_t}{Y1} \\
 &= \frac{(270-145,258) \cdot 10,772}{1004,742} \\
 &= 1,337 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

~ Tegangan Tendon Saat Akhir (Layan)

$$\begin{aligned}
 f_s &= f_{se} + n \cdot f_{ct} \\
 &= 899,091 + 7 \cdot 1,33 \\
 &= 908,453 \text{ MPa} < 0,70f_{pu} = 1190 \text{ MPa} - \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

*** Menghitung Momen Retak (Craking)**

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui } S_b &= 124230377,10 \text{ mm}^3 \\
 r^2 &= 107871,3502 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= f_r \cdot S_b \cdot P_e \left(\frac{r^2}{c_b} + e \right) \quad \text{dimana, } f_r = 0,5 \sqrt{f'_c} \\
 &= 0,5 \sqrt{40} \cdot 124230377,10 \cdot 3245906,14 \cdot \left(\frac{107871,3502}{675,0296} + 405,0296 \right) \\
 &= 1,1571 \cdot 10^{12} \text{ Nmm} \\
 &= 1157078,402 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

i. Menghitung Kapasitas Momen

Data yang telah diketahui:

- ~ $f'_c = 40 \text{ MPa}$
- ~ $P_e = 4415521,654 \text{ N}$
- ~ $A_{ps} = 4911,095 \text{ mm}^2$
- ~ $f_{pu} = 1700 \text{ MPa}$

Metode Pendekatan SKSNI T-15-1991 :

$$f'_c \geq 30 \text{ MPa}$$

$$f_{pu} \geq 1700 \text{ MPa}$$

$$f_{se} \geq 0,5 f_{pu}$$

$$\begin{aligned}
 \sim f_{se} &= \frac{P_e}{A_{ps}} \\
 &= \frac{4415521,654}{4911,095} \\
 &= 899,097 \text{ MPa} \geq \frac{1700}{2} = 850 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\sim f_{py} = 0,85 \cdot 1700 = 1445 \text{ MPa}$$

$$\sim M_o = 937,5 \text{ KNm}$$

$$\sim M_d = 1000 \text{ KNm}$$

$$\sim M_l = 750 \text{ KNm}$$

$$\sim d = 1150 - 270 = 880 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_p &= \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{4911,095}{480 \cdot 880} \\
 &= 0,01163
 \end{aligned}$$

*Tulangan Non-Prategang Tidak Diperhitungkan

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p \rho_p f_{pu}}{\beta_1 f'c}\right)$$

$$\text{dimana : } \frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,85$$

$$\gamma_p = 0,4$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 * (40 - 30) \\ = 0,77$$

maka :

$$f_{ps} = 1700 * \left(1 - \frac{0,4 * 0,01163 * 1700}{0,77 * 40}\right) \\ = 1263,6233 \text{ MPa}$$

***Menentukan Letak Garis Netral**

Ts = gaya tarik tendon

Cc = gaya tekan beton

dimana :

$$T_s = A_{ps} * f_{ps} \\ = 4911,095 * 1263,6233 \\ = 6205773,887 \text{ N}$$

~Keseimbangan Gaya Dalam

$$T_s = C_c$$

$$6205773,887 = 0,85 f'c * b_f * a$$

$$b_f * a = \frac{6205773,887}{0,85 * 40} = 182522,761 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas flens total} = 970 * 460 = 446200 \text{ mm}^2 \geq b_f * a$$

jadi, garis netral jatuh pada flens.

$$\text{dimana, } a = \frac{182522,761}{970} = 188,168 \text{ mm}$$

Maka Kapasitas Momen,

$$M_n = A_{ps} * f_{ps} * (d_p - a/2) \\ = 4911,095 * 1263,6233 * \left[(1150 - 270) - \frac{188,168}{2} \right] \\ = 4877217626 \text{ Nmm} \\ = 4877,2176 \text{ KNm}$$

$$M_{ultimit} = 1,2M_d + 1,6M_l$$

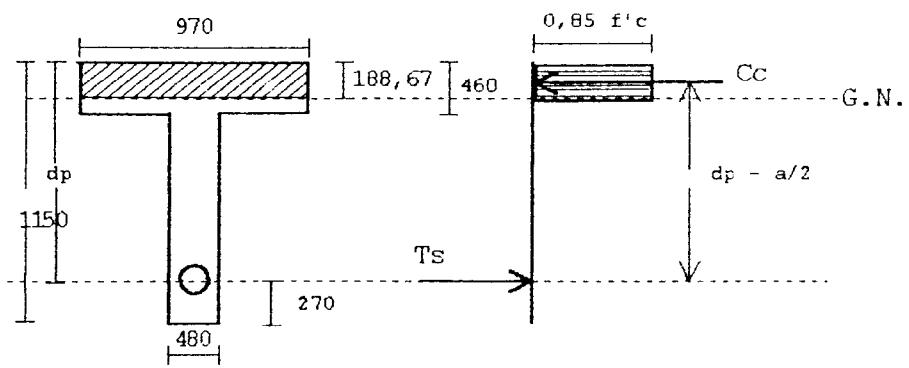
$$= 1,2(937,5 + 1000) + 1,6(750)$$

$$= 3525 \text{ KNm}$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_{ult}}{\phi} = \frac{3525}{0,8}$$

$$= 4406,25 \text{ KNm} \leq M_n \text{ tersedia} = 4877,2176 \text{ KNm.}$$

---O.K.



Dikerahul

Bentang =	16 m	*****	Saat transfer	
- Beban			fci =	19,20 Mpa
Wd =	20 kN/m		fti =	1,41 Mpa
Wl =	15 kN/m		Saat layan	
- Mutu Beton			fcs =	18,00 Mpa
f'c =	40 Mpa		fts =	3,16 Mpa
f'ci =	19,2 Mpa			
- Mutu Baja				
fpu =	1700 Mpa			
fpy =	1445 Mpa			
Kehilangan Prategang =		20%		
Berat jenis Beton =		23 kN/m ³		
Poison Ratio (n) =		7		
beban sendiri (taksir) =		14 kN/m		
Mo =	448 kNm			

***) Penyelesaian**

* Akibat Beban mati		* Akibat Beban hidup	
Md =	640 kNm	MI =	480 kNm
Vd =	160 kN	VI =	120 kN

*** Modulus Rencana**

Strg =	63225997,2 mm ³
Sbrg =	65305143,5 mm ³
dipakai S=	<u>65305143,5</u> mm ³

Dicoba	Penampang	T	bw/b =	0,46
			ts/h =	0,44
h =	950 mm		b =	870 mm
ts =	420 mm		bw =	400 mm
Ac =	577400 mm ²		h-ts =	530 mm
ct =	384,4025 mm		b-bw =	470 mm
lc =	40604115527,075395 mm ⁴		cb =	565,5975 mm
Sb =	105629167,77951 mm ³			

< OK

Menghitung Gaya Prategang

fcci =	-6,92700 Mpa
Po =	3999651,14911 N
Pe =	3199720,91929 N

Kontrol Berat Sendiri

wo =	13,2802 kN/m
...* Pemisalan benar	
...*	Mo = 424,9664 kNm

**** Menghitung Luas Baja Prategang**

fps =	
0,74*fpu =	1258,00000 Mpa
0,82*fpy =	1184,90000 Mpa
dipakai fps =	<u>1184,90000</u> Mpa
Aps =	3375,51789 mm ²
Dipakai Tendon ø13 As =	132,73229 mm ²
n =	27 (Dibulatkan)
As =	3583,7718 mm ²
<u>Selubung dim 95 mm =</u>	7088,2184 mm ²

**** Menghitung Eksentrisitas**

Serat atas	e =	326,539 mm	e terbesar =
Serat bw	e =	326,539 mm	326,539 mm
----- e terkecil dipakai =	emp =	295,59751 mm	
		<u>295,59751</u> mm	

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Transfer

-SERAT ATAS

ft = 0,15652 Mpa < OK
 -SERAT BAWAH
 fb = -17,56224 Mpa < OK

Tegangan Tendon

fct = 12,52638 Mpa y1 = 8,391876 mm
 fsi = 1116,04515 Mpa y2 = 941,6081 mm
 fs = 1203,72981 Mpa < OK

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Layan

- SERAT ATAS
 ft = -11,43174 < OK
 - SERAT BAWAH
 fb = 3,12496 < OK

Tegangan Tendon efektif

fse = 892,83612 Mpa y1 = 746,0587 mm
 fct = 1,01221 Mpa y2 = 203,9413 mm
 fs = 899,92157 Mpa < OK

Menghitung Momen Retak

r = 10277,60516 mm²
 Mcr = 598742417547,791 Nmm
 = 598742,41755 kNm

Menghitung Kapasitas Momen

fse > 0,5fpu = 850 mm < OK
 d = 680,00000 mm
 r = 0,01318
 fpy/fpu = 0,85000
 γ = 0,40000
 β = 0,77000
 fps = 1205,48603 Mpa
 Ts = 4320186,86819 N
 bf*a = 127064,31965 g.n. di flens -- OK
 a = 146,05094 mm
 Mn = 2622243389,23272 Nmm
 tersedia = 2622,24339 kNm
 Mu = 2073,60000 kNm
 Mn perlu = 2592,00000 kNm < OK

Diketahui

Bentang =	20 m	*****	
- Beban		Saat transfer	
Wd =	20 kN/m	fci =	19,20 Mpa
Wl =	15 kN/m	fti =	1,41 Mpa
- Mutu Beton		Saat layan	
fc =	40 Mpa	fcs =	18,00 Mpa
fci =	19,2 Mpa	fts =	3,16 Mpa
- Mutu Baja			
fpu =	1700 Mpa		
fpy =	1445 Mpa		
Kehilangan Prategang =	20%		
Berat jenis Beton =	23 kN/m ³		
Poison Ratio (n) =	7		
beban sendiri (taksir) =	18,75 kN/m		
Mo =	937,5 kNm		

*) Penyelesaian

* Akibat Beban mati		* Akibat Beban hidup	
Md =	1000 kNm	MI =	750 kNm
Vd =	200 kN	VI =	150 kN

* Modulus Rencana

Strg =	101273453,7 mm ³
Sbrg =	104603766,1 mm ³
dipakai S =	<u>101273453,7 mm³</u>

Dicoba Penampang T

h =	1150 mm	b =	970 mm
ts =	460 mm	bw =	480 mm
Ac =	777400 mm ²	h-ts =	690 mm
ct =	474,9704142 mm	b-bw =	490 mm
lc =	83859187653 mm ⁴	cb =	675,0296 mm
S =	176556655,2 mm ³		

OK

Menghitung Gaya Prategang

fci =	-7,09982257 Mpa
Po =	5519402,067 N
Pe =	4415521,654 N

Kontrol Berat Sendiri

wo =	17,8802 kN/m
... *Pemisalan benar	
... * Mo =	894,01 kNm

** Menghitung Luas Baja Prategang

fps =	
0,74*fpu =	1258 Mpa
0,82*fpy =	1184,9 Mpa
dipakai fps =	<u>1184,9 Mpa</u>
Aps =	4658,116353 mm ²
Dipakai Tendon ø 13 As =	132,73229 mm ²
n =	37 (Dibulatkan)
As =	4911,0947 mm ²
<u>Selubung dim 90 mm =</u>	<u>6361,7251 mm²</u>

** Menghitung Eksentrisitas

Serat atas	e =	434,32599 mm	e terbesar =
Serat bw	e =	434,32599 mm	434,326 mm
	emp =	405,02959 mm	
... terkecil	e di pakai =	<u>405,02959 mm</u>	

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Transfer

-SERAT ATAS

ft =	0,439788507 Mpa	OK
------	-----------------	----

-SERAT BAWAH
 $f_b = -17,9569769 \text{ Mpa}$ OK

Tegangan Tendon

$f_{ct} = 14,51731335 \text{ Mpa}$ $y_1 = 27,49161 \text{ mm}$
 $f_{si} = 1123,863901 \text{ Mpa}$ $y_2 = 1122,508 \text{ mm}$
 $f_s = 1225,485095 \text{ Mpa}$ OK

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Layan

- SERAT ATAS
 $f_t = -10,7721787$ OK

- SERAT BAWAH
 $f_b = 1,557365498$ OK

Tegangan Tendon efektif

$f_{se} = 899,0911211 \text{ Mpa}$ $y_1 = 1004,742 \text{ mm}$
 $f_{ct} = 10,99214712 \text{ Mpa}$ $y_2 = 145,2584 \text{ mm}$
 $f_s = 976,0361509 \text{ Mpa}$ OK

Menghitung Momen Retak

$r = 13287,46233 \text{ mm}^2$
 $M_{cr} = 1,1571E+12 \text{ Nmm}$
 $= 1157078,402 \text{ kNm}$

Menghitung Kapasitas Momen

$f_{se} > 0,5f_{pu} = 850 \text{ mm}$ OK
 $d = 880 \text{ mm}$
 $\rho = 0,011626645$
 $f_{py}/f_{pu} = 0,85$
 $\gamma = 0,4$
 $\beta = 0,77$
 $f_{ps} = 1263,623336 \text{ Mpa}$
 $T_s = 6205773,887 \text{ N}$
 $b f' a = 182522,7614$ $g.n. \text{ di flens } -- OK$
 $a = 188,1677952 \text{ mm}$
 $M_n = 4877217626 \text{ Nmm}$
 $= 4877,217626 \text{ kNm}$
 $M_u = 3472,812 \text{ kNm}$
 $M_n \text{ perlu} = 4341,015 \text{ kNm}$ OK

Diketahui

Bentang =	25 m
- Beban	
Wd =	20 kN/m
Wl =	15 kN/m
- Mutu Beton	
f _c =	40 Mpa
f _{ci} =	19,2 Mpa
- Mutu Baja	
f _{pu} =	1700 Mpa
f _{py} =	1445 Mpa
Kehilangan Prategang =	20%
Berat jenis Beton =	23 kN/m ³
Poisson Ratio (n) =	7
beban sendiri (taksir) =	27 kN/m
M _o =	2109,375 kNm

Saat transfer	
f _{ci} =	19,20 Mpa
f _{ti} =	1,41 Mpa
Saat layan	
f _{cs} =	18,00 Mpa
f _{ts} =	3,16 Mpa

***) Penyelesaian***** Akibat Beban mati**

M _d =	1562,5 kNm
V _d =	250 kN

*** Akibat Beban hidup**

M _l =	1171,875 kNm
V _l =	187,5 kN

*** Modulus Rencana**

Str _g =	164977723,0 mm ³
Sbr _g =	170402909,3 mm ³
dipakai S =	<u>170402909,3</u> mm ³

Dicoba Penampang

T		bw/b =	0,46
		ts/h =	0,37
h =	1350 mm	b =	1200 mm
ts =	500 mm	bw =	550 mm
Ac =	1067500 mm ²	h-ts =	850 mm
ct =	545,6089 mm	b-bw =	650 mm
lc =	160369000048,79001 mm ⁴	cb =	804,3911 mm
S _b =	293926657,45609 mm ³		< OK

Menghitung Gaya Prategang

f _{cci} =	-6,91712 Mpa
P _o =	7384024,06790 N
P _e =	5907219,25432 N

Kontrol Berat Sendiri

w _o =	24,5525 kN/m
...* Pemisalan benar	
...* M _o =	1918,164 kNm

**** Menghitung Luas Baja Prategang**

f _{ps} =	
0,74*f _{pu} =	1258,00000 Mpa
0,82*f _{py} =	1184,90000 Mpa
dipakai f _{ps} =	<u>1184,90000</u> Mpa
A _{ps} =	6231,76983 mm ²
Dipakai Tendon ø15 A _s =	176,71459 mm ²
n =	37 (Dibulatkan)
A _s =	6538,4397 mm ²
<u>Selubung dim 130 mm =</u>	13273,229 mm ²

**** Menghitung Eksentrisitas**

Serat atas	e =	591,40716 mm	e terbesar =
Serat bw	e =	591,40716 mm	591,4072 mm
	emp =	534,3911 mm	
----- e terkecil dipakai =		<u>534,3911</u> mm	

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Transfer -SERAT ATAS

ft = -0,10523 Mpa < OK
 -SERAT BAWAH
 fb = -17,17537 Mpa < OK

Tegangan Tendon

fct = 13,76134 Mpa y1 = 8,221072 mm
 fsi = 1129,32510 Mpa y2 = 1341,779 mm
 fs = 1225,65448 Mpa < OK

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Layan

- SERAT ATAS
 ft = -11,27317 < OK
 - SERAT BAWAH
 fb = 2,92801 < OK

Tegangan Tendon efektif

fse = 903,46008 Mpa y1 = 1071,656 mm
 fct = 0,08778 Mpa y2 = 278,3441 mm
 fs = 904,07451 Mpa < OK

Menghitung Momen Retak

r = 17144,28935 mm²
 Mcr = 2162300918126,747 Nmm
 = 2162300,91813 kNm

Menghitung Kapasitas Momen

fse > 0,5fpu = 850 mm < OK
 d = 1080,00000 mm
 r = 0,01101
 fpy/fpu = 0,85000
 γ = 0,40000
 β = 0,77000
 fps = 1286,86233 Mpa
 Ts = 8414071,75839 N
 bfa = 247472,69878 g.n. di flens -- OK
 a = 206,22725 mm
 Mn = 8219592063,33199 Nmm
 tersedia = 8219,59206 kNm
 Mu = 6281,25000 kNm
 Mn perlu = 7851,56250 kNm < OK

Diketahui

Bentang =	16 m	*) Saat transfer	
- Beban		fci =	19,2 Mpa
Wd =	20 kN/m	fti =	1,414 Mpa
Wl =	15 kN/m	*) Saat layan	
- Mutu Beton		fcs =	18 Mpa
f'c =	40 Mpa	fts =	3,162 Mpa
f'ci =	19,2 Mpa		
- Mutu Baja			
fpu =	1700 Mpa		
fpy =	1445 Mpa		
Kehilangan Prategang =	20%		
Berat jenis Beton =	23 kN/m ³		
Poison Ratio (n) =	7		
beban sendiri (taksir) wo =	12 kN/m		
Mo =	384 kNm		

***) Penyelesaian**

* Akibat Beban mati		* Akibat Beban hidup	
Md =	640 kNm	Ml =	480,000 kNm
Vd =	160 kN	Vl =	120 kN
* Modulus Rencana			
Strg =	62556939,0 mm ³		
Sbrg =	64614083,8 mm ³		
dipakai S =	<u>64614083,8</u> mm ³		

Dicoba	Penampang	I symetris	ts/h =	0,32
			bw/b =	0,45
h =	1100 mm	b =	550 mm	
ts =	350 mm	bw =	250 mm	
Ac =	485000 mm ²	h-2ts =	400 mm	
ct =	550 mm	b-bw =	300 mm	
Ic =	59404166666,667 mm ⁴	cb =	550 mm	
S =	108007575,8 mm ³	< OK	S rencana	

Menghitung Gaya Prategang

fcci =	-8,89289 Mpa
Po =	4313053,211 N
Pe =	3450442,569 N

Kontrol Berat Sendiri

wo =	11,155 kN/m
...* Pemisalan benar	
...* Mo =	356,96 kNm

**** Menghitung Luas Baja Prategang**

0,74*fpu =	1258,00000 Mpa
0,82*fy =	1184,90000 Mpa
dipakai fps =	<u>1184,90000</u> Mpa
Aps =	3640,01453 mm ²
Dipakai Tendon ø 13 =	132,7323 mm ²
n =	28 (Dibulatkan)
As =	3716,504 mm ²
<u>Selubung dim 95 mm =</u>	7088,218 mm ²

**** Menghitung Eksentrisitas**

Serat atas	e =	340,8735 mm	e terbesar =	
Serat bwh	e =	340,8735 mm		340,8735 mm
	emp =	280 mm		
... terkecil	e di pakai =	<u>280</u> mm		

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Transfer

-SERAT ATAS		
ft =	-1,14854 Mpa	< OK
-SERAT BAWAH		

$f_b = -16,90104 \text{ Mpa} < \text{OK}$

Tegangan Tendon

$f_{ct} = 13,03452 \text{ Mpa}$
 $f_{si} = 1160,51351 \text{ Mpa}$
 $f_s = 1251,75513 \text{ Mpa} < \text{OK}$

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Layan

- SERAT ATAS

$f_t = -12,09430 < \text{OK}$

- SERAT BAWAH

$f_b = -2,13433 < \text{OK}$

Tegangan Tendon efektif

$f_{se} = 928,41080 \text{ Mpa}$
 $f_{ct} = 9,64958 \text{ Mpa}$
 $f_s = 995,95786 \text{ Mpa} < \text{OK}$
 $y_1 = 934,9973 \text{ mm}$
 $y_2 = 165,0027 \text{ mm}$

Menghitung Momen Retak

$r = 10392,66933 \text{ mm}^2$
 $M_{cr} = 678896650513,403 \text{ Nmm}$
 $= 678896,65051 \text{ kNm}$

Menghitung Kapasitas Momen

$f_{se} > 0,5f_{pu} = 850 \text{ mm} < \text{OK}$
 $d = 830,00000 \text{ mm}$
 $r = 0,01791$
 $f_{py}/f_{pu} = 0,85000$
 $\gamma = 0,40000$
 $\beta = 0,77000$
 $f_{ps} = 1027,76111 \text{ Mpa}$
 $T_s = 3819678,38612 \text{ N}$
 $b^*a = 112343,48194$
 $a = 204,26088 \text{ mm}$
 $z = 727,86956$
 $M_n = 2780227633,38425 \text{ Nmm}$
 $= 2780,22763 \text{ kNm}$
 $M_u = 1964,35200 \text{ kNm}$
 $M_n \text{ perlu} = 2455,44000 \text{ kNm} < \text{OK}$
g.n. di flens -- OK

Diketahui

Bentang = 20 m
- Beban
 Wd = 20 kN/m
 Wl = 15 kN/m
- Mutu Beton
 f_c = 40 Mpa
 f_{ci} = 19,2 Mpa
- Mutu Baja
 f_{pu} = 1700 Mpa
 f_{py} = 1445 Mpa
Kehilangan Prategang = 20%
Berat jenis Beton = 23 kN/m³
Poisson Ratio (n) = 7
beban sendiri (taksir) w_o = 18,75 kN/m
M_o = 937,5 kNm

*) Saat transfer
 f_{ci} = 19,2 Mpa
 f_{ti} = 1,414214 Mpa
*) Saat layan
 f_{cs} = 18 Mpa
 f_{ts} = 3,162278 Mpa

*) Penyelesaian

* Akibat Beban mati

M_d = 1000 kNm
V_d = 200 kN

* Akibat Beban hidup

M_l = 750 kNm
V_l = 150 kN

* Modulus Rencana

S_{trg} = 101273453,7 mm³
S_{brg} = 104603766,1 mm³
dipakai S = 104603766,1 mm³

Dicoba Penampang I simetris

h = 1300 mm
t_s = 325 mm
A_c = 656500 mm²
c_t = 650 mm
I_c = 120606145833 mm⁴
S = 185547916,7 mm³

t_s/h = 0,25
b_w/b = 0,42
b = 710 mm
b_w = 300 mm
h-2t_s = 650 mm
b-b_w = 410 mm
c_b = 650 mm

< OK S rencana

Menghitung Gaya Prategang

f_{cci} = -8,892893219 Mpa
P_o = 5838184,3982 N
P_e = 4670547,5185 N

Kontrol Berat Sendiri

w_o = 15,0995 kN/m
...* Pemisalan benar
...* M_o = 754,975 kNm

** Menghitung Luas Baja Prategang

0,74*f_{pu} = 1258 Mpa
0,82*f_y = 1184,9 Mpa
dipakai f_{ps} = 1184,9 Mpa
A_{ps} = 4927,1536823 mm²
Dipakai Tendon ø 13 = 132,7323 mm²
n = 38 (Dibulatkan)
A_s = 5043,827 mm²
Selubung dim 110 mm = 9503,318 mm²

** Menghitung Eksentrisitas

Serat atas e = 456,895 mm e terbesar =
Serat bwh e = 456,895 mm 456,895 mm
emp = 380 mm
... terkecil e di pakai = 380 mm

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Transfer

-SERAT ATAS

f_t = -1,135875732 Mpa < OK

-SERAT BAWAH

f_b = -16,91115467 Mpa < OK

Tegangan Tendon

fct = 13,634750586 Mpa
fsi = 1157,4910067 Mpa
fs = 1252,9342608 Mpa < OK

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Layan

- SERAT ATAS
ft = -12,03321617 < OK
- SERAT BAWAH
fb = -2,195412982 < OK

Tegangan Tendon efektif

fse = 925,99280538 Mpa
fct = 9,989980122 Mpa
fs = 995,92266623 Mpa < OK
y1 = 1099,416 mm
y2 = 200,5841 mm

Menghitung Momen Retak

r = 13621,597434 mm²
Mcr = 1,33561E+12 Nmm
= 1335608,2725 kNm

Menghitung Kapasitas Momen

fse > 0,5fpu = 850 mm < OK
d = 1030 mm
ρ = 0,0163230647
fpy/fpu = 0,85
γ = 0,4
β = 0,77
fps = 1087,3551025 Mpa
Ts = 5484431,0305 N
bf*a = 161306,79502
a = 227,19266904 mm
g.n. di flens - OK
Mn = 5025952699,5 Nmm
= 5025,9526995 kNm
Mu = 3305,97 kNm
Mn perlu = 4132,4625 kNm < OK

Diketahui

Bentang =	25 m	*) Saat transfer	
- Beban		fcl =	19,2 Mpa
Wd =	20 kN/m	fti =	1,414 Mpa
Wi =	15 kN/m	*) Saat layan	
- Mutu Beton		fcs =	18 Mpa
f'c =	40 Mpa	fts =	3,162 Mpa
f'ci =	19,2 Mpa		
- Mutu Baja			
fpu =	1700 Mpa		
fpy =	1445 Mpa		
Kehilangan Prategang =	20%		
Berat jenis Beton =	23 kN/m ³		
Poisson Ratio (n) =	7		
beban sendiri (taksir) wo =	27 kN/m		
Mo =	2109,375 kNm		

***) Penyelesaian**

* Akibat Beban mati		* Akibat Beban hidup	
Md =	1562,5 kNm	Mi =	1171,875 kNm
Vd =	250 kN	Vi =	187,5 kN

*** Modulus Rencana**

Strg =	164977723,0 mm ³
Sbrg =	170402909,3 mm ³
dipakai S=	<u>170402909,3 mm³</u>

Dicoba	Penampang	I symetris		ts/h =	0,27
				bw/b =	0,48
h =	1480 mm		b =	800 mm	
ts =	400 mm		bw =	380 mm	
Ac =	898400 mm ²		h-2ts =	680 mm	
ct =	740 mm		b-bw =	420 mm	
Ic =	205114346666,667 mm ⁴		cb =	740 mm	
S =	277181549,5 mm ³		< OK	S rencana	

Menghitung Gaya Prategang

fcci =	-8,89289 Mpa
Po =	7989375,268 N
Pe =	6391500,214 N

Kontrol Berat Sendiri

wo =	20,6632 kN/m
... * Pemisalan benar	
... * Mo =	1614,3125 kNm

**** Menghitung Luas Baja Prategang**

0,74*fpu =	1258,00000 Mpa
0,82*fy =	1184,90000 Mpa
dipakai fps =	<u>1184,90000 Mpa</u>
Aps =	6742,65783 mm ²
Dipakai Tendon ø 15 =	176,7146 mm ²
n =	39 (Dibulatkan)
As =	6891,869 mm ²
<u>Selubung dim 130 mm =</u>	13273,23 mm ²

**** Menghitung Eksentrisitas**

Serat atas	e =	559,6498 mm	e terbesar =	
Serat bwh	e =	559,6498 mm		559,6498 mm
	emp =	470 mm		
... terkecil	e di pakai =	<u>470 mm</u>		

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Transfer

-SERAT ATAS		
ft =	-1,30317 Mpa	< OK
-SERAT BAWAH		

$f_b = -16,74932 \text{ Mpa} < \text{OK}$

Tegangan Tendon

$f_{ct} = 13,93145 \text{ Mpa}$
 $f_{si} = 1159,24656 \text{ Mpa}$
 $f_s = 1256,76668 \text{ Mpa} < \text{OK}$

Kontrol Tegangan Beton dan Tendon pada saat Layan

- SERAT ATAS
 $f_t = -13,75164 < \text{OK}$
- SERAT BAWAH
 $f_b = -0,47699 < \text{OK}$

Tegangan Tendon efektif

$f_{se} = 927,39724 \text{ Mpa}$
 $f_{ct} = 11,32991 \text{ Mpa}$
 $f_s = 1006,70665 \text{ Mpa} < \text{OK}$
 $y_1 = 1430,386 \text{ mm}$
 $y_2 = 49,61405 \text{ mm}$

Menghitung Momen Retak

$r = 16648,77021 \text{ mm}^2$
 $M_{cr} = 2397942602183,895 \text{ Nmm}$
 $= 2397942,60218 \text{ kNm}$

Menghitung Kapasitas Momen

$f_{se} > 0,5f_{pu} = 850 \text{ mm} < \text{OK}$
 $d = 1210,00000 \text{ mm}$
 $r = 0,01499$
 $f_{py}/f_{pu} = 0,85000$
 $\gamma = 0,40000$
 $\beta = 0,77000$
 $f_{ps} = 1137,43183 \text{ Mpa}$
 $T_s = 7839031,02834 \text{ N}$
 $b f' a = 230559,73613$
 $a = 288,19967 \text{ mm}$
 $z = 1065,90016$
 $M_n = 8355624465,91810 \text{ Nmm}$
 $= 8355,62447 \text{ kNm}$
 $M_u = 5687,17500 \text{ kNm}$
 $M_n \text{ perlu} = 7108,96875 \text{ kNm} < \text{OK}$
g.n. di flens -- OK


LAMPIRAN 3

Diagram Kuat Geser Beton (V_c)
Dibandingkan dengan Kuat Geser
yang Terjadi (V_u/Φ)

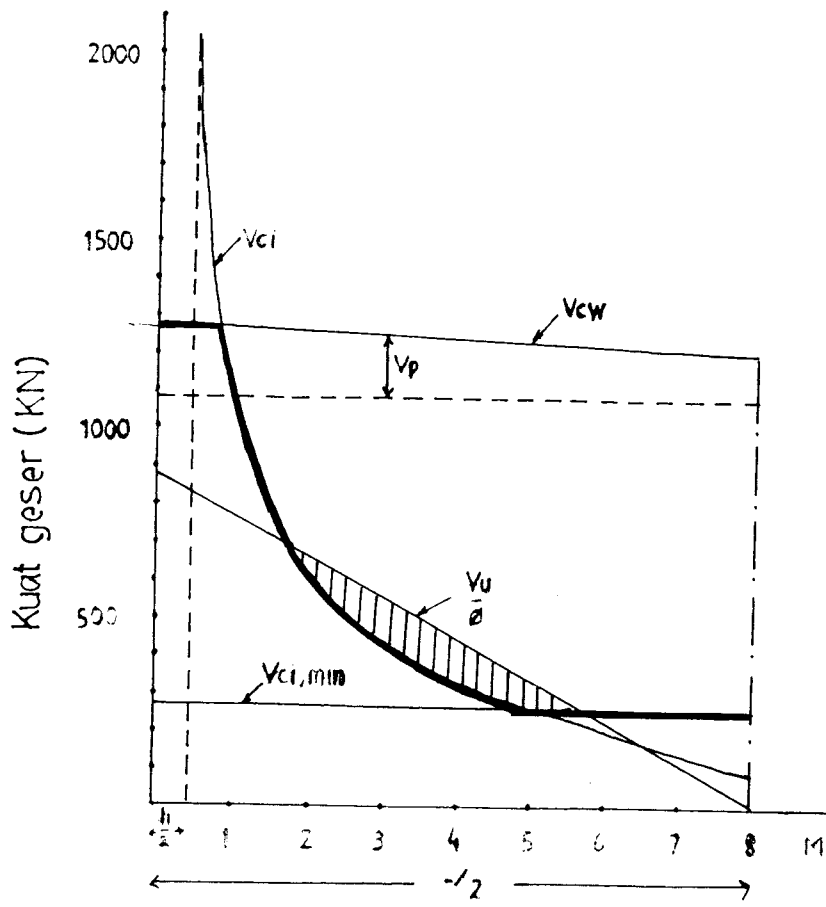


TAMPANG T
BENTANGAN 16

Ket :



 : perlu tulangan geser

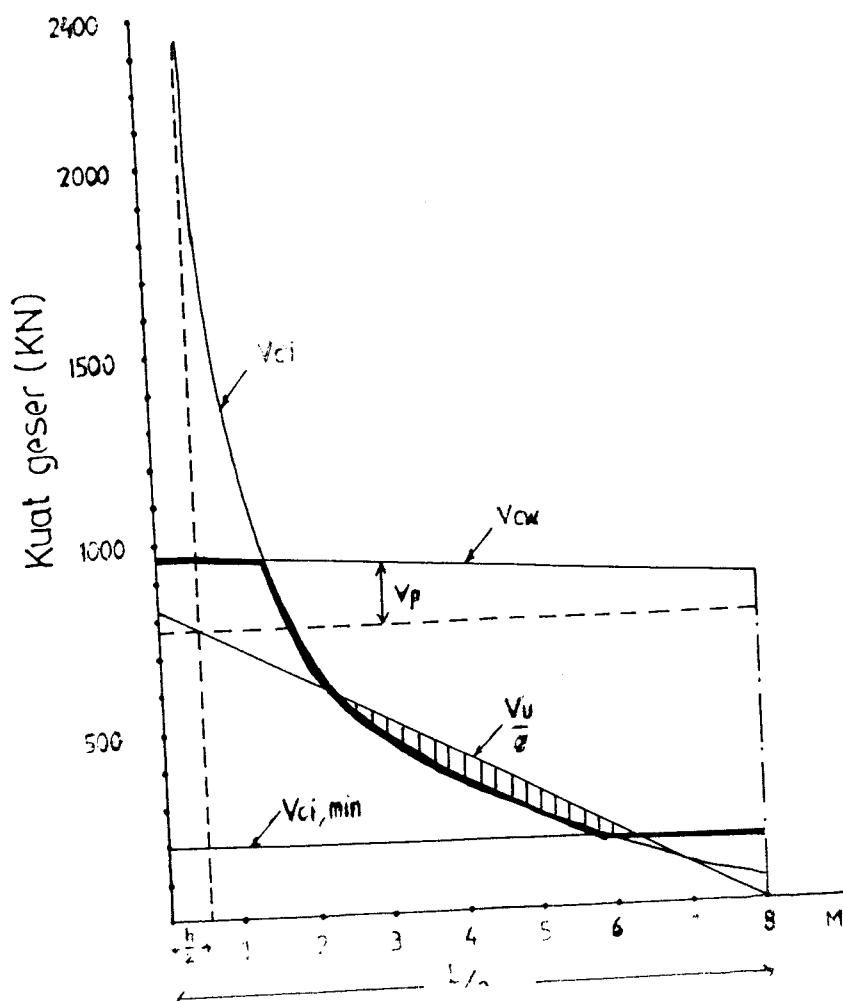
 : V_c



TAMPANG I
BENTANGAN 16


Ket :

-  : perlu tulangan geser
-  : V_c

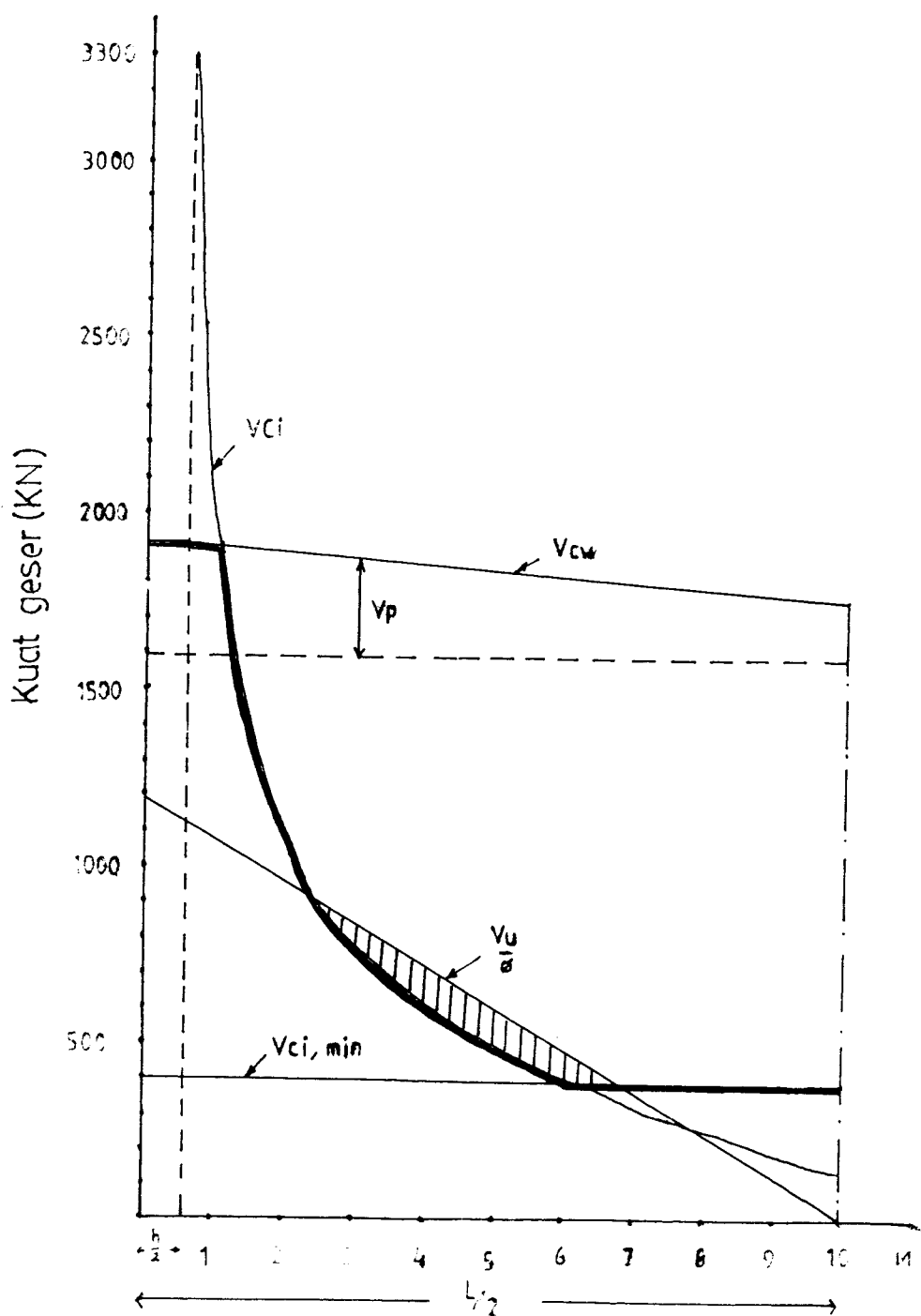


TAMPANG T
BENTANGAN 20

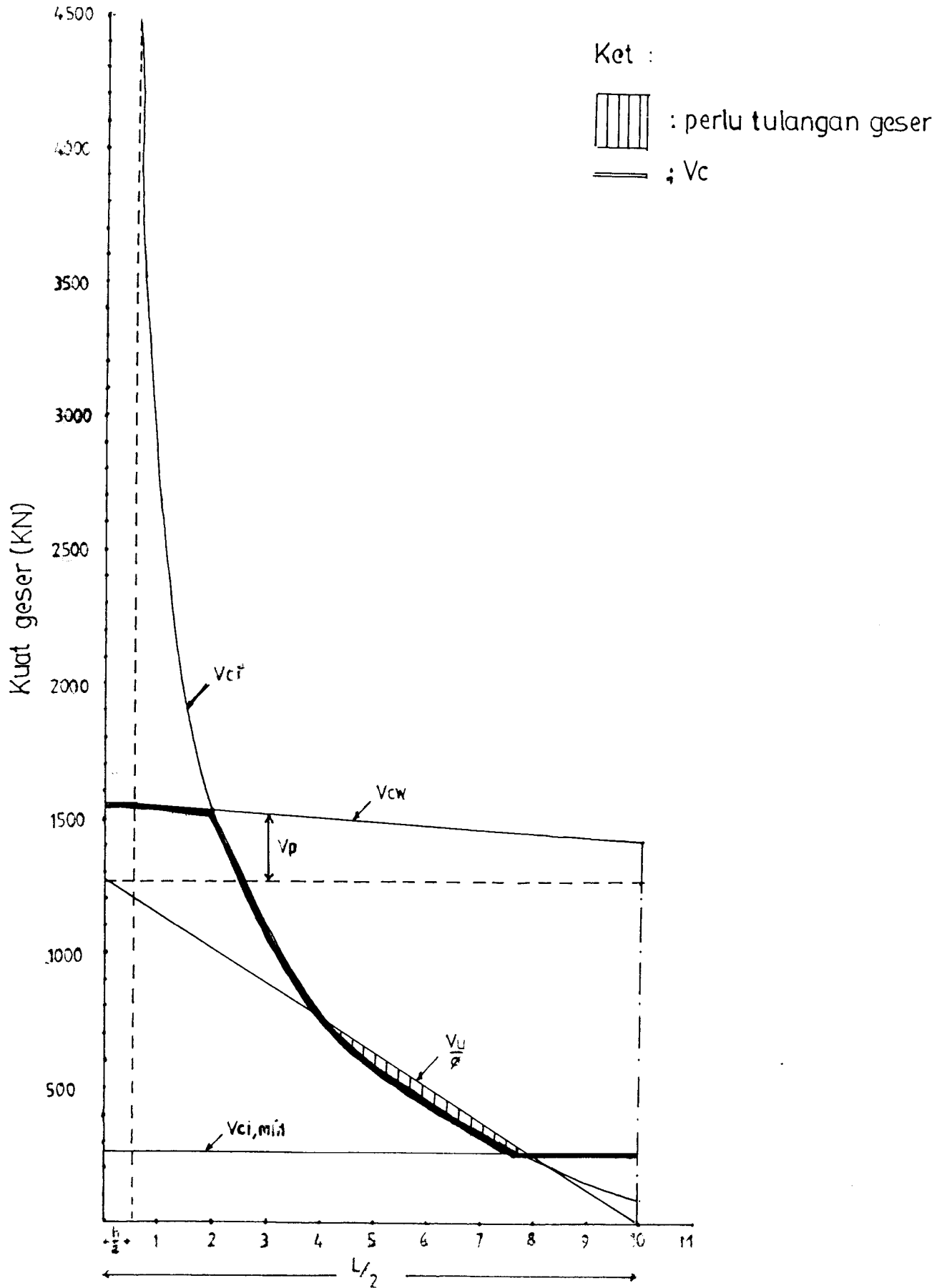
Ket :

 : perlu tulangan geser

 : V_c

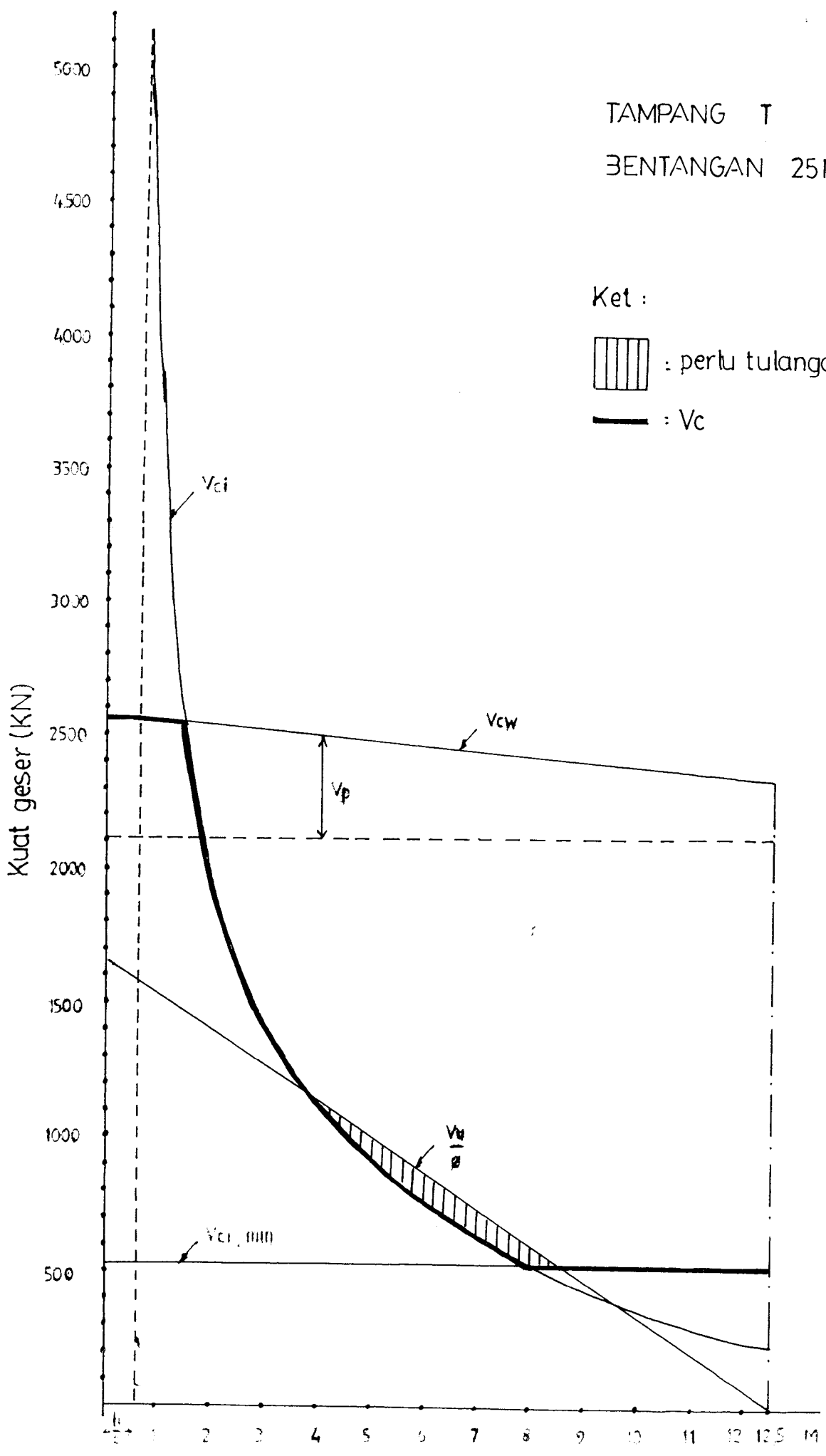


TAMPANG I
BENTANGAN 20



TAMPANG T
BENTANGAN 25M

Ket :
▨ : perlu tulangan geser
— : V_c



TAMPANG I
BENTANGAN 25M

