

PERPUSTAKAAN IAIN
HABIB/WALI
TGL TERIMA : 12 4 2001
NO. JUDUL :
NO. BIV. : 780 74/373
NO. NIRM. :

TUGAS AKHIR

5120003177001

OPTIMASI TATA LETAK TENDON BETON PRATEGANG PADA STRUKTUR BALOK MENERUS NONPRISMATIS

DIAJUKAN KEPADA UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA UNTUK MEMENUHI
SEBAGIAN PERSYARATAN MEMPEROLEH DERAJAT SARJANA TEKNIK SIPIL

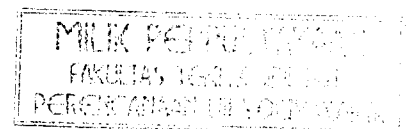


TA
603542
JUN
0
60

Disusun Oleh:

Nama : M. LUTFI YUNIARTO
No. Mhs : 92 310 165
NIRM : 920051013114120165

Nama : DICKY PURNA WIBAWA
No. Mhs : 94 310 124
NIRM : 940051013114120123



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

**TUGAS AKHIR
OPTIMASI TATA LETAK TENDON BETON
PRATEGANG PADA STRUKTUR BALOK MENERUS
NON PRISMATIS**


Nama : M Luthfi Yuniarto
No. Mhs. : 92310165
Nirm. : 920051013114120165

Nama : Dicky Purnawibawa
No. Mhs. : 94310124
Nirm. : 940051013114120123

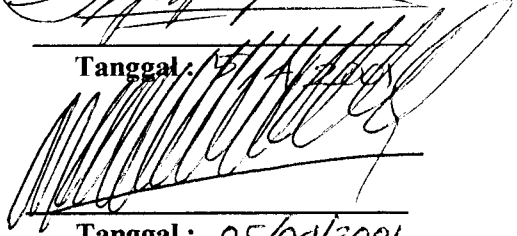
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. M. Teguh, MSCE
Dosen Pembimbing I

Ir. H.A. Kadir Aboe, MT
Dosen Pembimbing II



Tanggal : 05/04/2001



Tanggal : 05/04/2001

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin

**Puji Syukur Kami Panjatkan Ke Hadirat Allah SWT
Yang Telah Melimpahkan Berkah Dan Hidayah Serta Memberikan Kemudahan
Kepada Kami Sehingga Kami Dapat Menyelesaikan Tugas Akhir Ini.**

Kami persembahkan Tugas Akhir Ini Untuk :

**Ayahanda Dan Ibunda Tercinta Sebagai Bukti Baktiku Sebagai Anak, Serta Adik-Adikku
tersayang.**

**Mbah Kakung dan Mbah Puteri serta Semua Handai Taulan Yang Telah Ikut Memberi
Doa Dan Dukungannya.**

**Dan Paling Spesial Untuk Kekasih Kami Tercinta Ulfy Dan Aning Yang Telah
Memberikan Doa dan Dukungan Sehingga Tugas Akhir Ini Dapat terselesaikan Dengan
Baik.**

Terima Kasih Banyak Untuk :

**Zulfan Atas Semua Arahannya, Arfani, Dukun yang telah memberi dukungannya, Yanto,
Agus, Iwan, Thoriq, Heru, Sardan, Amir, Huda, Habib, Anto, Herning, Rudi, Dani"Badak",**

**Semua Temen-Temen Di Pondokan Teratai, Semua Temen-Temen Di Pondokan
Uswatun, Rinda, Dewi Atas Doanya, Dani Atas Doanya, Herlina Andriani, Semua Teman-
Teman FTSP 92 Kelas D, Semua Teman-Teman FTSP 94 , Serta Teman-Teman Yang Tidak
Dapat Saya Sebutkan Satu Persatu Atas Semua Dukungannya.**

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin

**Puji Syukur Kami Panjatkan Ke Hadirat Allah SWT
Yang Telah Melimpahkan Berkah Dan Hidayah Serta Memberikan Kemudahan
Kepada Kami Sehingga Kami Dapat Menyelesaikan Tugas Akhir Ini.**

Kupersembahkan Tugas Akhir Ini Untuk :

**Ayahanda Dan Ibunda Tercinta Sebagai Bukti Baktiku Sebagai Anak, Serta Adik-Adikku
tersayang.**

**Mbah Kakung dan Mbah Puteri serta Semua Handai Taulan Yang Telah Ikut Memberi
Doa Dan Dukungannya.**

**Dan Paling Spesial Untuk Dek Uly yang Telah Memberikan Doa dan Dukungan
Sehingga Tugas Akhir Ini Dapat terselesaikan Dengan Baik.**

Terima Kasih Banyak Untuk :

**Terutama Untuk Dicky Atas Pengertian Dan Kerjasamanya, Zulfan Atas Semua
Arahannya, Arfani, Dukun yang telah memberi dukungannya, Yanto, Agus, Iwan, Thoriq,
Heru, Sardan, Amir, Huda, Habib, Anto, Herning, Rudi, Dani"Badak", Semua Temen-
Temen Di Pondokan Uswatun, Rinda, Dewi Atas Doanya, Dani Atas Doanya, Herlina
Andriani, Semua Teman-Teman FTSP 92 Kelas D, Serta Teman-Teman Yang Tidak Dapat
Saya Sebutkan Satu Persatu Atas Semua Dukungannya.**

Muhammad Lutfi Yuniarto

PRAKATA

Assalamu'alikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya, laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini merupakan syarat mutlak bagi seorang mahasiswa yang ingin menyelesaikan studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tugas akhir ini dilaksanakan setelah mahasiswa menempuh semua mata kuliah dan telah menyelesaikan tugas-tugas yang diwajibkan dalam kurikulum Program Strata I . Selain itu, tugas akhir ini juga dapat melatih ketajaman berfikir dan ketajaman menganalisa suatu permasalahan dan dapat menyelesaikan permasalahan tersebut.

Dalam tugas akhir ini dibahas suatu langkah optimasi mengenai tata letak tendon beton prategang nonprismatis pada struktur menerus, dengan optimasi tersebut akan didapat suatu struktur dengan kekuatan struktur yang lebih tinggi.

Disadari bahwa tugas akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan, maka dibutuhkan kritik dan saran dari pembaca, demi perbaikan dan kesempurnaan. Tugas akhir ini, diharapkan dapat diman faatkan oleh pembaca untuk menambah wawasan di bidang teknik sipil.

ABSTRAK

Penggunaan balok dengan dimensi yang kecil dan ringan , mempunyai dampak yang buruk yaitu terjadinya retak dan lendutan yang besar. Retak yang terjadi di daerah tarik pada suatu penampang balok akibat regangan tarik yang besar dari penggunaan baja tulangan dapat dihindari dengan memberikan gaya tekan di daerah tarik penampang beton tersebut atau sering disebut dengan beton prategang. Sedangkan untuk mendapatkan balok yang ekonomis digunakan balok menerus dengan dimensi penampang berubah-ubah sesuai dengan momen yang terjadi di sepanjang bentangan. Disamping itu dilakukan optimasi tata letak tendon pada lay out tendon prategang agar didapatkan struktur balok yang lebih ekonomis dan kekuatan struktur yang lebih tinggi. Gaya-gaya yang terjadi pada balok menerus nonprismatis beton prategang dianalisis dengan metode Clapeyron dan program komputer SAP90, selanjutnya untuk pemberian gaya prategangan digunakan digunakan sistem pasca tarik dengan tendon terrekat. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa dengan dilakukan optimasi tata letak tendon dapat meningkatkan kapasitas struktur. Hal ini terjadi karena dengan optimasi tata letak tendon momen kapasitas lentur di sepanjang bentangan meningkat sebesar 23,08% hingga 186,08% untuk bentang 48 m, 16,01% hingga 196,30% untuk bentang 60 m, dan 17,55% hingga 252,30% untuk bentang 80 m.

BAB II	METODE PENELITIAN	5
2.1	Data Yang Diperlukan	5
2.2	Pengolahan Data	6
2.3	Pengujian	7
BAB III	TINJAUAN PUSTAKA.....	9
3.1	Pandangan Umum	9
3.1.1	Balok Ditumpu Sederhana	9
3.1.2	Balok Menerus	9
3.2	Beton Prategang	11
3.3	Tata Letak Tendon	12
3.4	Penelitian Terdahulu	14
BAB IV	LANDASAN TEORI	15
4.1	Analisis Pembebanan	15
4.2	Momen Balok Menerus Prismatis	20
4.3	Analisis Penampang Nonprismatis	20
4.4	Desain Beton Prategang	21
4.4.1	Perhitungan Gaya Prategang	21
4.4.2	Perhitungan Luas Baja Prategang	22
4.4.3	Tata Letak Tendon	22
4.4.4	Kontrol Tegangan Beton dan Tendon	23

4.5	Kapasitas layan struktur	25
4.5.1	Kekuatan lentur penampang	25
4.5.2	Analisis kuat geser	27
BAB V	OPTIMASI TATA LETAK TENDON	29
5.1	Data Perencanaan	29
5.2	Analisa Pembebanan	30
5.3	Momen Rencana	31
5.4	Analisa Penampang Nonprismatis	37
5.5	Momen Balok Menerus Nonprismatis	41
5.6	Analisa Balok Beton Prategang	42
5.6.1	Perhitungan Besar Gaya Prategang	43
5.6.2	Luas baja prategang	43
5.6.3	Tata letak tendon	44
5.6.4	Optimasi tata letak tendon	47
5.6.5	Kontrol tegangan beton dan tendon	50
5.7	Kapasitas layan struktur	57
5.7.1	Kekuatan Lentur Penampang	57
5.7.2	Kontrol Kuat Geser	60

BAB VI PEMBAHASAN	63
6.1 Balok Menerus Nonprismatis	63
6.2 Optimasi Tata Letak tendon	64
6.3 Peningkatan Kapasitas Tampang	64
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	70
7.1 Kesimpulan	70
7.2 Saran-saran	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bentangan Gelagar Plat	3
Gambar 1.2	Penampang Lintang Jembatan	4
Gambar 2.1	Bagan Alur Optimasi Tata Letak Tendon	8
Gambar 3.1	Kapasitas Memikul Beban Dari Balok Sederhana	10
Gambar 3.2	Kapasitas Memikul Beban Dari Balok Menerus	11
Gambar 3.3	Tata Letak Tendon Untuk Balok Menerus	14
Gambar 4.1	Penampang Lintang Gelagar Dan Perkerasan	16
Gambar 4.2	Beban “D”	18
Gambar 4.3	Beban “D”	19
Gambar 4.4	Ukuran Tinggi Tiap Pias	21
Gambar 5.1	Penampang Membujur Gelagar	29
Gambar 5.2	Penampang Lintang Gelagar Dan Perkerasan	30
Gambar 5.3	Balok Menerus Prismatis Persegmen	32
Gambar 5.4	Diagram Momen	35
Gambar 5.5	Ukuran Tinggi Tiap Pias	40
Gambar 5.6	Lay Out Tendon Sebelum Optimasi	46
Gambar 5.7	Lay Out Tendon Sesudah Dioptimasi	49
Gambar 6.1	Daerah Batas Tendon	69

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Momen Untuk Beban Mati	34
Tabel 5.2	Momen Untuk Beban Hidup.....	36
Tabel 5.3	Momen Rencana Setengah Bentang	37
Tabel 5.4	Besar modulus penampang	38
Tabel 5.5	Tinggi Minimal Balok	39
Tabel 5.6	Tinggi Balok Tiap Segmen	40
Tabel 5.7	Momen Balok Menerus Nonprismatis	41
Tabel 5.8	Batas Atas, Batas Bawah dan e tengah	45
Tabel 5.9	Hasil e tengah Yang Telah Dioptimasi	48
Tabel 5.10	Propertis Penampang Netto	51
Tabel 5.11	Propertis Penampang Brutto	52
Tabel 5.12	Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer	53
Tabel 5.13	Kontrol Tegangan Beton Saat Layan	55
Tabel 5.14	Kontrol Tegangan Tendon	56
Tabel 5.15	Kontrol Regangan dan Kapasitas Momen Lentur	59
Tabel 5.16	Kontrol Kuat Geser A-B	61
Tabel 5.17	Kontrol Kuat Geser B-C	62
Tabel 6.1	Jembatan Dengan Bentangan 48 m	65
Tabel 6.2	Jembatan Dengan Bentangan 60 m	66
Tabel 6.3	Jembatan Dengan Bentangan 80 m	67

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2 Tabel Prosentase Kehilangan Gaya Prategang Total
- Lampiran 3 Optimasi Balok Menerus Prismatis Bentangan 48 m

DAFTAR NOTASI

- $f'c$ = kekuatan tekan beton
- f_{pu} = kekuatan tarik batas yang dijamin baja prategang
- E_c = modulus elastis beton
- E_s = modulus elastis baja
- ε'_{cu} = regangan tekan ultimit dalam beton
- ε_{py} = regangan leleh baja prategang
- n = modulus rasio
- f_{ti}' = tegangan batas pada tepi tarik saat transfer
- f_{ci}' = tegangan batas pada tepi desak saat transfer
- f_{ts}' = tegangan batas pada tepi tarik saat layan
- f_{cs}' = tegangan batas pada tepi desak saat layan
- M_i = momen hidup
- M_o = momen mati
- M_t = momen total
- S_t = modulus penampang
- S_b = modulus penampang
- R = 1 - LOP
- LOP = kehilangan gaya prategang
- I = momen inersia
- H = tinggi balok

f_{c_i} = tegangan beton pada pusat beton
 P_o = gaya prategang awal
 P_e = gaya prategang efektif
 A_{ps} = luas baja prategang
 f_{ps} = tegangan di dalam tulangan prategangan pada taraf kuat nominal
 $A_{selubung}$ = luas selubung tendon
 A_c = luas penampang beton
 e = eksentrisitas gaya terhadap sumbu
 e_{atas} = batas atas lay out tendon
 e_{bawah} = batas bawah lay out tendon
 e_{tengah} = jalannya tendon normal
 $z_{modifikasi}$ = jalannya tendon yang telah dioptimasi
 b = lebar penampang beton
 A_{netto} = luas penampang netto
 A_{bruto} = luas penampang bruto
 cb_{net} = jarak garis netral ke bagian penampang netto bawah
 ct_{net} = jarak garis netral ke bagian penampang netto atas
 cb_{brut} = jarak garis netral ke bagian penampang bruto bawah
 ct_{brut} = jarak garis netral ke bagian penampang bruto atas
 I_{netto} = inersia penampang netto
 I_{bruto} = inersia penampang bruto
 M_n = momen nominal

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dampak dari pertumbuhan ekonomi yang semakin baik, menyebabkan munculnya daerah-daerah baru sebagai pusat kegiatan ekonomi. Antara daerah satu dengan daerah lainnya membutuhkan sarana dan prasarana perhubungan. Prasarana yang ada biasanya sudah tidak dapat memberikan kontribusi yang memadai, sehingga perlu pembaharuan. Pembaharuan bisa dengan memperlebar jalan atau dengan membuat jalan baru sebagai jalur alternatif. Sedangkan jalan yang melewati sungai harus dibuatkan jembatan.

Sungai yang lebar membutuhkan jembatan yang panjang, sehingga membutuhkan investasi awal yang sangat besar. Masalah ini mendorong orang untuk membuat alternatif struktur yang sudah ada supaya lebih efisien. Salah satunya dengan menggunakan gelagar menerus. Menggunakan gelagar struktur balok menerus, maka momen-momen yang terjadi akan terdistribusi tidak hanya di lapangan tetapi juga terjadi pada tumpuan-tumpuan. Kondisi ini sangat membantu mengurangi lendutan yang terjadi, sehingga desain balok yang dihasilkan dapat lebih efisien.

Pada kenyataannya kondisi di lapangan menuntut penggunaan tumpuan seminimal mungkin, akibatnya mempunyai bentangan yang panjang. Kondisi tersebut akan menimbulkan gaya geser yang besar pada tumpuan dan lendutan

yang besar pula, sehingga bila digunakan struktur beton bertulang tidak akan efisien lagi karena penampang menjadi sangat besar. Lendutan yang besar akan menimbulkan retak-retak yang lebar bila menggunakan beton bertulang. Kondisi ini dapat membahayakan struktur sebab tulangan baja akan mudah mengalami korosi. Dengan melihat kondisi tersebut, maka struktur beton prategang menjadi alternatif pilihan. Walaupun demikian balok prategang masih dapat dioptimasi lagi dengan menggunakan balok nonprismatis, dengan luas penampang didesain berdasarkan kebutuhan.

Untuk mendapatkan suatu desain yang benar-benar optimal secara struktur perlu dilakukan berbagai optimasi. Hal-hal yang dapat dioptimasi antara lain dimensi balok, letak tumpuan, jenis tumpuan, mutu bahan, mutu baja prategang, tata letak tendon serta jenis prategang. Dalam tugas akhir ini, optimasi yang dilakukan adalah terbatas pada tata letak tendon.

1.2 Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Menganalisa balok beton prategang menerus nonprismatis yang dioptimasi tata letak tendonnya sehingga diketahui kapasitasnya.
- b) Membandingkan balok tersebut di atas dengan balok yang tidak dioptimasi tata letak tendonnya sehingga diketahui peningkatan kapasitasnya.

1.3 Manfaat

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan suatu desain balok beton prategang menerus nonprismatis yang optimal secara struktur dengan menempatkan tata letak tendon yang lebih baik.

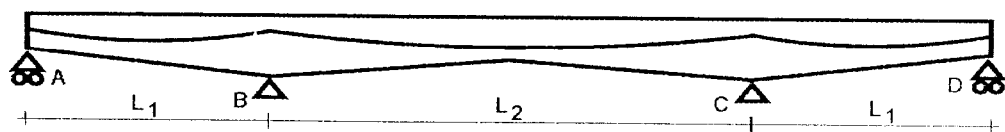
1.4 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dari tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan tata letak tendon yang lebih baik pada struktur balok menerus nonprismatis sehingga kapasitas strukturnya meningkat.

1.5 Batasan Masalah

Dalam perencanaan balok beton prategang menerus untuk jembatan ini dibatasi oleh ketentuan-ketentuan sebagai berikut ini:

- 1) Balok menerus (statis tak tentu) yang terbentuk secara cetak ditempat dengan tiga bentangan.
- 2) Trace tendon secara menerus penuh (*fully continous prestressed*) dan melengkung.
- 3) Bentuk balok nonprismatis, dengan penampang persegi panjang yang mempunyai lebar tetap dan tinggi balok tidak konstan (ukuran tampang balok tidak sama pada seluruh bentangan mengikuti besar momen yang terjadi). Pengaruh plat lantai diabaikan.
- 4) Optimasi yang dilakukan adalah optimasi tata letak tendon.
- 5) Struktur yang dianalisa adalah sebagai berikut:

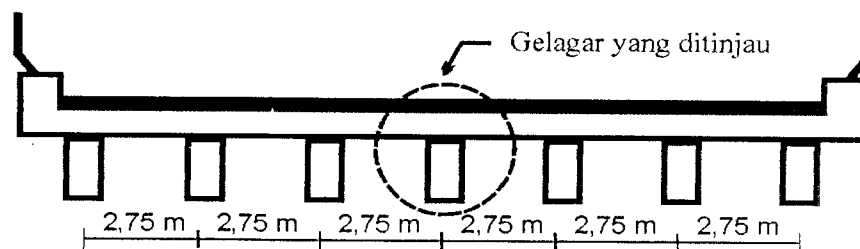


Gambar 1.1 Bentangan gelagar plat

Untuk memberikan gambaran tata letak tendon yang terbaik dibutuhkan beberapa variasi bentang. Variasi bentang total yang digunakan adalah 48, 60, 80 meter dengan tumpuan sendi sebanyak empat buah. Letak tumpuan tidak di

pengaruhi oleh kondisi tanah dasar. Perbandingan bentangan tepi dan bentangan tengah ($L1/L2$) adalah $\frac{1}{2}$ dengan panjang $L1$ berturut-turut adalah 12, 25, dan 20 meter. Bentangan ini ditentukan berdasarkan pertimbangan beton konvensional sudah tidak layak di gunakan untuk lebar bentangan tersebut.

- 6) Perhitungan hanya dilakukan untuk beban primer (beban mati dan beban hidup) berdasarkan “Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya” (PPPJJR), tahun 1987. Dengan batasan beban P bekerja hanya pada tengah-tengah bentangan tengah.
- 7) Beton prategang yang dianalisis menggunakan sistem pascatarik dan tendon terikat.
- 8) Gaya gesekan pada tendon tidak dihitung.
- 9) Analisa kekuatan struktur yang dibahas adalah analisa geser dan lentur penampang.
- 10) Diasumsikan ϕ jembatan sama dengan ϕ gedung.
- 11) Gelagar yang dianalisa adalah gelagar tengah pada jembatan.



Gambar 1.2. Penampang Lintang Jembatan

BAB II

METODELOGI PENELITIAN

Metode Penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian yang diuraikan menurut suatu tahapan yang sistematis, untuk mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini secara sistematis dapat dilihat pada (Gambar 2.1) dengan penjelasan sebagai berikut.

2.1 Data yang diperlukan

Pada penelitian ini digunakan model balok beton prategang dua dimensi. Data yang diperlukan antara lain:

1. Struktur merupakan balok menerus nonprismatis dengan empat tumpuan.
2. Sistem prategang yang digunakan adalah pasca tarik.
3. Dipakai baja pra tegang jenis “VSL System”.
4. Beban yang bekerja menurut ketentuan PPPJRR, tahun 1987.
5. Perhitungan menggunakan bantuan program komputer “SAP 90” dan “Curve fitting”.

Data-data penulisan tugas akhir ini, mengacu pada buku-buku, pendapat para ahli dan teori-teori yang berhubungan.

2.2 Pengolahan Data

Setelah data terkumpul, maka dilakukan pengolahan dan analisa data dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Data struktur balok menerus prismatis.

Data yang telah ditelaah ditetapkan adalah panjang bentang, besar pembebanan, mutu beton, kuat tarik ultimit baja prategang, regangan desak batas beton, regangan leleh baja prategang, jumlah tumpuan dan jenis tumpuan.

2. Dimensi awal balok sebagai balok menerus prismatis.

Langkah awal dalam mendesain struktur dengan merencanakan balok sebagai balok menerus prismatis.

3. Menghitung momen balok menerus prismatis.

Langkah selanjutnya dihitung besar momen yang terjadi dengan EI konstan sepanjang bentangan menggunakan Metode Clapeyron.

4. Mendimensi balok menerus nonprismatis

Setelah diketahui momen balok prismatis kemudian dihitung besar dimensi tiap pias balok berdasarkan momen yang terjadi dari balok menerus prismatis.

5. Menghitung momen balok menerus nonprismatis

Setelah terbentuk desain balok yang sesuai atau diinginkan kemudian dihitung kembali besar momen yang terjadi menggunakan program SAP 90.

6. Analisa balok beton prategang

Pada tahap ini dihitung gaya prategang, luas baja prategang, tata letak

tendon, tegangan beton dan tendon.

7. Optimasi tata letak tendon

Langkah berikutnya mengoptimasi tata letak tendon, dengan jalan meletakkan tendon sedemikian rupa sehingga didapat peningkatan kapasitas struktur yang maksimal.

8. Kontrol tegangan beton dan tendon

Pada tahap ini dikontrol tegangan beton dan tendon yang bekerja padanya dan tidak boleh melampaui batas-batas keamanan.

9. Analisa kekuatan struktur

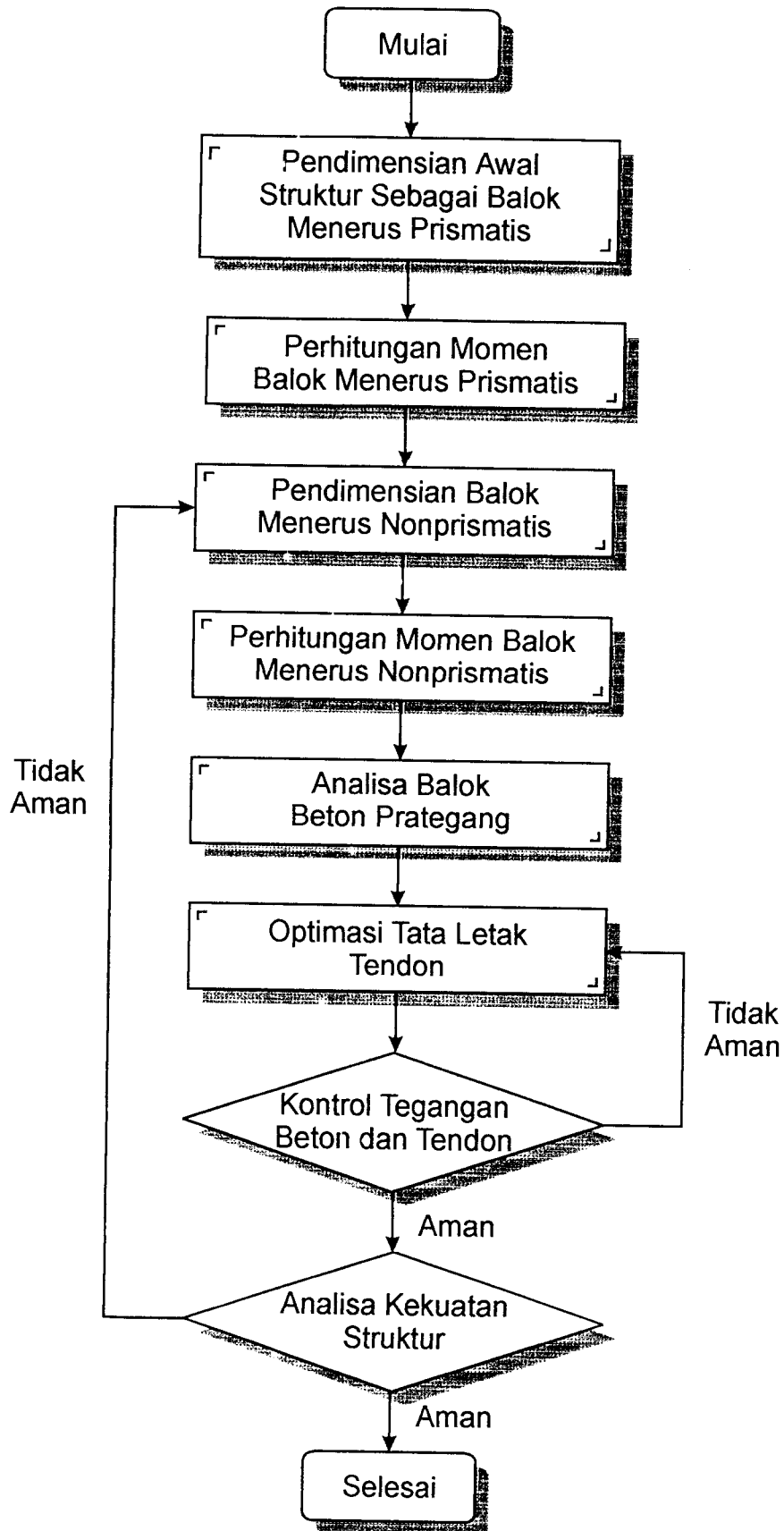
Setelah dilakukan perencanaan maka untuk meninjau kelayakan struktur balok perlu dikontrol dengan analisa lentur penampang dan analisa geser.

2.3 Penelitian Numeris

Pengujian dalam penelitian ini difokuskan pada tata letak tendon struktur balok menerus nonprismatis, dengan cara meletakkan tendon sedemikian rupa sehingga didapatkan kapasitas struktur yang optimal dengan batasan tegangan tendon dan beton dibawah batas keamanan.

Pengujian dilakukan dengan bantuan program komputer untuk memudahkan dan mempercepat perhitungan. Program yang digunakan adalah : Microsof Excel, Curve Fitting, serta SAP 90.

Hasil perhitungan didapatkan kapasitas struktur balok menerus nonprismatis yang dioptimasi dan yang belum dioptimasi. Selanjutnya hasil perhitungan tersebut dilakukan perbandingan.



Gambar 2.1 Bagan Alur Optimasi Tata Letak Tendon

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Pandangan Umum

3.1.1 Balok ditumpu sederhana

Jika suatu balok sederhana yang dibebani secara merata q' . Beban q' total yang dapat dipikul oleh balok tersebut ditentukan oleh kapasitas momen batas dari penampang tengah bentang. Dengan P adalah tarikan batas yang ditimbulkan dalam tendon, yang bekerja dengan lengan momen e , maka momen-lawan batas pada tengah-tengah bentang adalah $P.e$. Seperti tergambar dalam Gambar 3.1(b), dan mengambil momen terhadap tumpuan kiri diperoleh:

$$\frac{q'.L^2}{8} = P.e \quad \text{sehingga} \quad q' = \frac{8.P.e}{L^2}$$

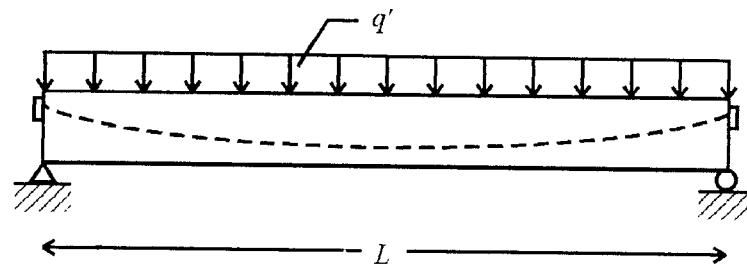
Diagram momen yang dihasilkan oleh beban q' ditunjukkan dalam gambar 3.1(c) (T. Y. Lin., 1982).

3.1.2 Balok menerus

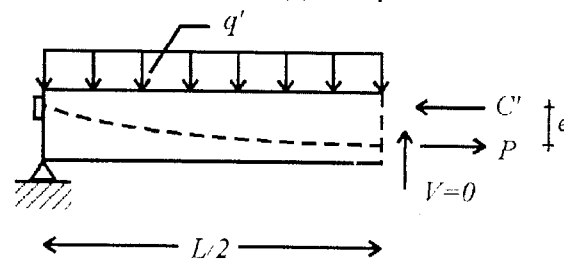
Sekarang ditinjau suatu balok menerus dengan penampang, panjang bentang, dan baja prategang yang sama dengan yang ada pada balok sederhana dalam gambar 3.2(a), dan mengambil momen terhadap tumpuan kiri diperoleh:

$$\frac{q'.L^2}{8} = 2P.e \quad \text{sehingga} \quad q' = \frac{16.P.e}{L^2}$$

Dengan membandingkan antara persamaan balok ditumpu sederhana dengan balok menerus, maka terlihat bahwa $q_c' = 2 \cdot q'$. Berarti bahwa dua kali beban pada balok sederhana dapat dipikul oleh bentang menerus dengan jumlah beton dan baja yang sama. Hal ini membuktikan suatu penghematan yang sangat besar, bila menggunakan struktur balok prategang menerus. Karena kekuatan yang dipunyai oleh konstruksi menerus ini dapat digunakan penampang-penampang beton yang lebih kecil untuk beban dan bentang yang sama, yang mengurangi beban mati dari struktur tersebut (T. Y. Lin., 1982).

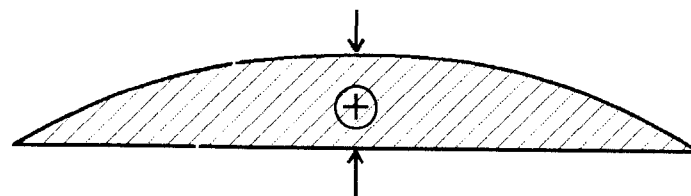


(a) Tampak balok



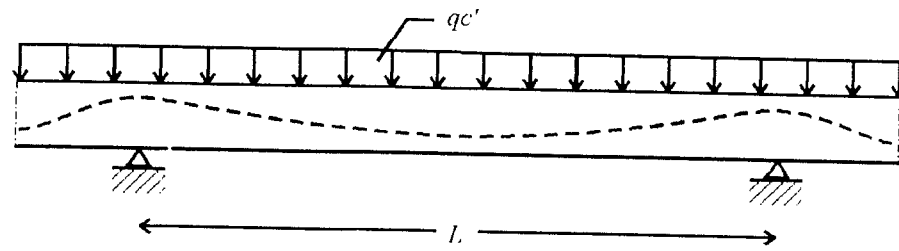
(b) Benda-bebas setengah bentang

$$\frac{q' \cdot L^2}{8} = P \cdot e$$

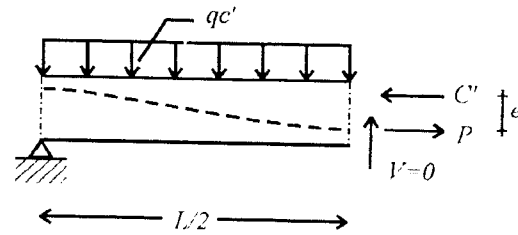


(c) Diagram Momen

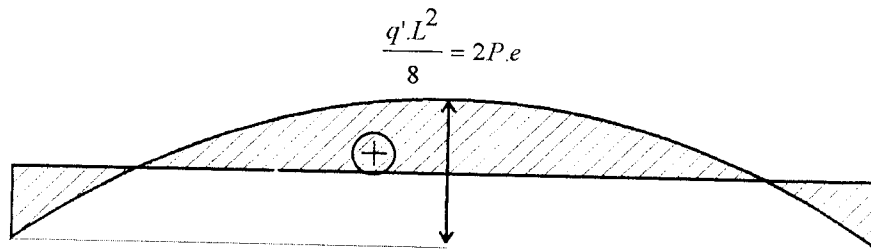
Gambar 3.1 Kapasitas memikul beban dari balok sederhana



(a) Tampak balok



(b) Benda-bebas setengah bentang



(c) Diagram momen

Gambar 3.2 Kapasitas memikul beban dari balok menerus

3.2 Beton Prategang

Struktur beton prategang adalah struktur beton khusus yang diberi tegangan awal tertentu. Tujuan memberikan tegangan awal adalah untuk menimbulkan tegangan awal tekan beton pada daerah yang timbul tegangan tarik pada waktu struktur mendukung beban. Sehingga diharapkan sewaktu beban bekerja sepenuhnya tegangan tarik total berkurang atau lenyap sama sekali.

Lenyapnya tegangan tarik yang terjadi dalam beton akan mengurangi atau bahkan tercapainya keadaan bebas retak pada tingkat beban kerja. Hal ini berarti

juga mencegah berlangsungnya korosi tulangan baja. Penampang balok yang bebas retak akan memiliki kekakuan yang lebih besar karena seluruh penampangnya dapat bekerja efektif. Selain itu, dengan sengaja memasang tendon melengkung akan menimbulkan gaya vertikal yang sangat membantu memikul geser. Ketahanan balok dalam menahan geser yang lebih baik serta penggunaan penampang yang efektif akan membuat dimensi penampang balok prategang menjadi lebih ramping, yang berarti berkurangnya beban mati (Istimawan Dipohusodo, 1994).

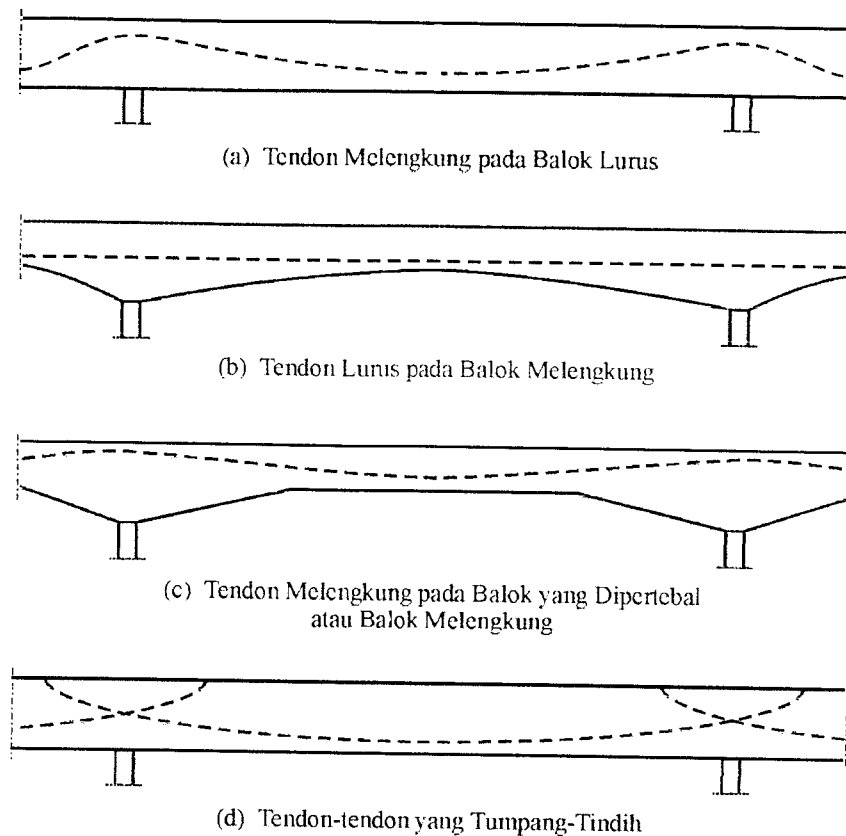
3.3 Tata Letak Tendon

Beberapa metode untuk memberikan kesinambungan dalam konstruksi beton prategang telah diterapkan dalam praktek. Menurut T.Y.Lin (1982) ada beberapa macam bentuk balok dan tata letak tendon yang umum digunakan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.3.

- a. Suatu balok lurus dengan tendon yang melengkung, yang mengikuti sisi tarik dari balok, diperlihatkan dalam gambar 3.3(a). Tata letak ini sering digunakan untuk pelat atau balok berbentang pendek, di mana bekisting yang sederhana lebih penting daripada penghematan baja dan beton. Keberatan utama disini adalah banyaknya kehilangan tegangan akibat gesekan dan sulitnya pemasukan tendon melalui lubang, terutama bila balok dibuat menerus diatas beberapa bentang.
- b. Untuk bentang yang lebih besar dan beban yang lebih berat, mungkin akan lebih ekonomis untuk memberikan pertebalan (haunch) atau lengkungan, pada balok seperti dalam gambar 3.3(b). Ini tidak hanya akan menghemat beton dan

baja namun juga memungkinkan penggunaan tendon yang lurus, dan juga ditempatkan pada sisi tarik dari balok. Akan tetapi, sering sulit untuk mendapatkan eksentrisitas yang optimum disepanjang balok apabila seluruh tendon dipasang lurus.

- c. Tata-letak tendon yang terbaik sering diperoleh dengan mengambil jalan tengah antara kedua cara di atas, yaitu dengan menggunakan balok yang melengkung dan sedikit melengkungkan tendon, seperti dalam gambar 3.3(c). Ini akan memberikan tebal balok yang optimum dan posisi baja yang ideal pada semua titik, tanpa menimbulkan kehilangan prategang yang berlebihan akibat gesekan.
- d. Kabel-kabel yang bersilangan pada titik-titik peralihan, seperti dalam gambar 3.3(d), memberikan kemungkinan gaya prategang yang berbeda disepanjang balok. Pengaturan yang terlihat disini tidak mempunyai titik balik pada kurva tendon, sehingga kabel dan batang yang lebih berat dapat dipasang dengan lebih mudah dan dapat ditegangkan dengan kehilangan prategang akibat gesekan yang lebih sedikit. Pengaturan ini memerlukan angker ujung yang lebih banyak dalam mendapatkan pasca-tarik (posttensioning) untuk balok yang berbentang banyak.



Gambar 3.3 Tata Letak Tendon Untuk Balok Menerus

3.4 Penelitian Terdahulu

Arfani dan Zulfan (1998), telah menganalisa balok hyperstatis nonprismatis pada beton prategang dengan hasil perencanaan dimensi panampang sesuai dengan momen pada masing-masing segmen. Sedangkan tugas akhir ini adalah pengembangan dari laporan Arfani dan Zulfan. Pengembangan yang kami lakukan adalah:

1. Mengaplikasikan balok tersebut sebagai jembatan dengan pembebanan menurut PPJJR.
2. Mengoptimasikan letak tendon yang paling optimal sehingga meningkatkan kapasitas struktur dalam menahan momen lentur.

BAB IV

LANDASAN TEORI

4.1. Analisis Pembebanan

Perencanaan suatu struktur memerlukan kriteria-kriteria perencanaan tertentu. Kriteria yang dimaksud adalah berupa standar spesifikasi yang diperoleh dari suatu kajian pustaka. Demikian pula dalam perencanaan suatu gelagar jembatan yang sesuai dengan batasan masalah, yaitu :”Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya”, tahun 1987. Sedangkan tinjauan pembebanan hanya dilakukan pada beban primer (beban mati dan beban hidup yang terdiri dari beban “D” dan beban “P”), adapun beban-beban lain tidak dianalisis.

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

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

Adapun persyaratan pemakain beban primer adalah sebagai berikut:

a. Beban mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan tetap yang dianggap sebagai satu kesatuan tetap dengannya. Untuk menentukan muatan digunakan nilai berat volume untuk bahan-bahan sabagai berikut:

(a) perkerasan jalan beraspal : 2200 kg/m^3

(b) beton bertulang : 2400 kg/m^3

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

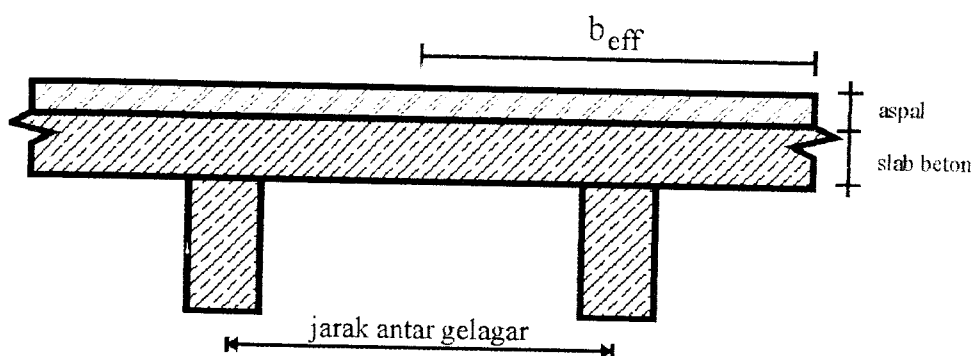
(a) berat sendiri balok

(b) beban tambahan

(b) 1. slab beton bertulang

(b) 2. beban perkerasan (perkerasan aspal beton)

Sedangkan mekanisme pembebanannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Penampang lintang gelagar dan perkerasan

b. Beban hidup

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

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

Sesuai dalam peraturan yang dipakai maka lantai kendaraan pada jembatan dibagi menjadi beberapa jalur lalu lintas. Setiap jalur lalu lintas mempunyai lebar minimum 2,75 m dan lebar maksimum 3,75 m. Lebar jalur minimum ini harus digunakan untuk menentukan beban "D" per jalur. Jumlah jalur lalu lintas untuk lantai kendaraan dengan lebar 5,5 m atau lebih ditentukan menurut tabel 1 dan 5 (Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya). Untuk jumlah jalur lalu lintas pada lantai kendaraan yang lebar kurang dari 5,5 meter ditentukan dengan rumus:

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

$$n = \text{jumlah jalur lalu lintas yang mempunyai nilai maksimum satu}$$

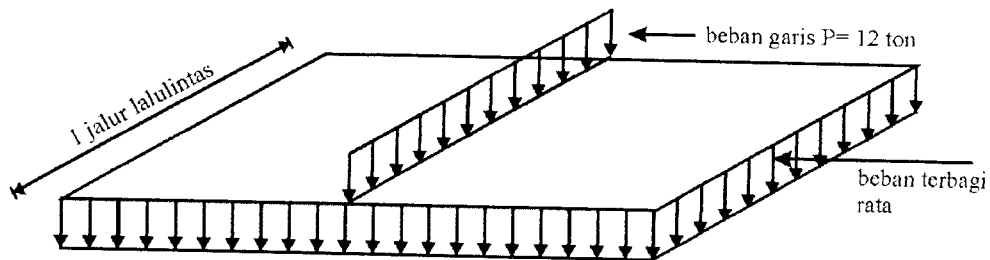
Beban "D" seperti tertera pada gambar 3.2 yang dipergunakan untuk perhitungan kekuatan gelagar-gelagar. Beban "D" atau beban jalur yaitu susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi merata sebesar "q" (ton/meter panjang/jalur) dan beban garis "P" (ton/jalur lalu lintas).

Adapun besar "q" ditentukan sebagai berikut ini,

$$q = 2,2 \text{ ton/meter} \dots\dots\dots \text{ untuk } L < 30 \text{ meter} \quad (4.1)$$

$$q = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (L - 30) \text{ ton/meter} \dots\dots\dots \text{ untuk } 30 < L < 60 \text{ m} \quad (4.2)$$

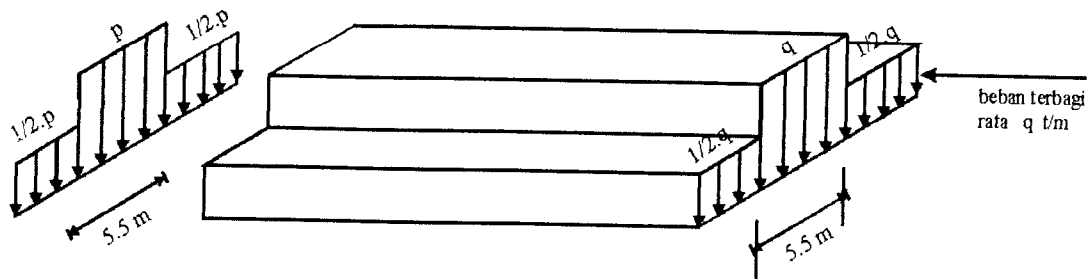
$$q = 1,1 \cdot \left(1 + \frac{30}{L}\right) \text{ ton/meter} \dots\dots\dots \text{ untuk } L > 60 \text{ meter} \quad (4.3)$$



Gambar 4.2 Beban “D”

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

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



Gambar 4.3 Beban "D"

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

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

$$\text{Beban terbagi rata} = \frac{q \text{ (ton/meter)}}{2.75 \text{ (meter)}} \quad (4.4)$$

$$\text{Beban garis} = \frac{P \text{ (ton)}}{2.75 \text{ (meter)}} \quad (4.5)$$

Angka pembagi 2,75 meter pada formula (4.4) dan (4.5) diatas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu lintas.

c. Beban kejut

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

$$K = 1 + \frac{20}{(50 + L)} \quad (4.6)$$

dengan:

K = Koefisien kejut

L = Panjang batanng dalam meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan (keadaan ststis) dan kedudukan muatan garis “P” sesuai tabel III pada PPPJJR.

4.2. Momen Balok Menerus Prismatis

Momen dihitung dengan menganggap bahwa penampang awal adalah balok prismatis 2 dimensi dengan nilai EI konstan sepanjang bentangan. Untuk menghitung momen yang terjadi digunakan metode Clayperon.

4.3. Analisis Penampang Non Prismatis

Berdasarkan hasil dari momen rencana, selanjutnya direncanakan dimensi penampang gelagar. Dimensi penampang yang direncanakan harus mampu menahan tegangan akibat momen yang terjadi, yaitu momen akibat berat sendiri (M_o), momen akibat beban mati (M_d), dan momen akibat beban hidup (M_l). Dasar perhitungan dengan memakai modulus penampang, dengan batas sisi tepi atas dan tepi bawah adalah sebagai berikut (Nilson,Arthur H,1987):

$$S_t \geq \frac{(1-R).M_o + M_d + M_l}{Rf_{ti} - f_{cs}} \quad (4.7)$$

$$S_b \geq \frac{(1-R).M_o + M_d + M_l}{f_{ts} - Rf_{ci}} \quad (4.8)$$

Hasil dari S_t dan S_b diambil yang besar untuk perencanaan.

Setelah modulus penampang diketahui, maka dimensi penampang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

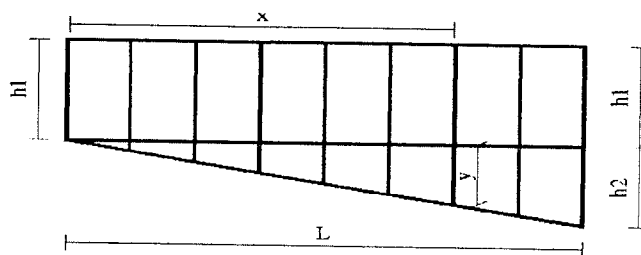
$$S = \frac{I}{C} \quad (4.9)$$

dengan $I = 1/12.b.h^2 =$ momen inersia

$C = 1/2.h =$ jarak garis netral ke sisi luar penampang

Agar tinggi balok h dapat dihitung maka lebar balok “ b ” perlu ditetapkan terlebih dahulu. Tinggi balok h dihitung dengan menggunakan persamaan segitiga.

Dengan batasan tinggi balok tidak lebih kecil dari lebar balok.



$$y = \frac{x}{L}.h_2$$

Gambar 4.4 Mencari tinggi balok

4.4. Desain Beton Prategang

Dalam mendesain beton prategang diperlukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut.

4.4.1. Perhitungan Gaya Prategang

- a. Tegangan beton pada pusat beton (f_{ci})

$$f_{ci} = f_{ti} - \frac{ct}{h}(f_{ti} - f_{ci}) \quad (4.10)$$

pada penampang simetris $c_1 = c_2 = 1/2.h$

- b. Gaya prategang awal (P_0)

$$P_o = |f_{c_{ci}}| \cdot A_c \quad (4.11)$$

c. Gaya prategang efektif (P_e)

$$R = 1 - \text{LOP} \quad (4.12)$$

$$P_e = P_o \cdot R \quad (4.13)$$

Perkiraan kehilangan prategang total ini sudah termasuk kehilangan prategang yang terjadi akibat perpendekan elastis, penyusutan, rangkai serta relaksasi, tetapi tidak termasuk kehilangan akibat gesekan serta slip pada ankur. Secara umum T.Y. Lin (1982) juga mengungkapkan sebuah dasar untuk mempertimbangkan besar kehilangan gaya prategang yang terjadi. Dasar ini dapat dilihat pada lampiran 1.

4.4.2. Perhitungan Luas Baja Prategang

Dalam menentukan luas baja prategang digunakan rumus:

$$A_{ps} = \frac{P_o}{f_{ps}} \text{ dengan:} \quad (4.14)$$

$$f_{ps} = 0.7 \cdot f_{pu} \text{ untuk tendon pasca tarik}$$

$$f_{ps} = 0.94 \cdot f_{py} \leq 0.85 \cdot f_{pu} \text{ , akibat gaya penjangkaran tendon.}$$

$$f_{ps} = 0.82 \cdot f_{py} \leq 0.74 \cdot f_{pu} \text{ , sesaat setelah pemindahan gaya prategang.}$$

4.4.3. Tata Letak Tendon

Dalam menentukan tata letak tendon disepanjang bentang digunakan rumus seperti dijelaskan dibawah ini (Arthur H. Nilson, 1987). Bentuk penampang balok pada tiap segmennya adalah segiempat dengan lebar tetap dan tinggi yang berubah-ubah. Sehingga dapat digunakan rumus modulus penampang sebagai

berikut:

$$S_t = S_b = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (4.15)$$

Dalam menentukan lokasi titik berat tendon disepanjang bentangan, harus dipastikan bahwa pada semua titik disepanjang bentangan tidak mengalami tegangan yang melampaui tegangan batas/izin baik untuk bagian tarik maupun bagian tekan. Penyelesaian diperoleh berdasarkan hubungan bahwa eksentrisitas tendon dan momen merupakan fungsi dari jarak x disepanjang bentangan, sehingga diperoleh pertidaksamaan dibawah ini.

$$\text{Dari } f_{ti} \geq -\frac{P_s}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) \cdot c_t}{r^2} \right) - \frac{M_o(x)}{S_t} \text{ didapat persamaan eksentrisitas:}$$

$$e(x) \leq \frac{f_{ti} \cdot S_t}{P_o} + \frac{S_t}{A_c} + \frac{M_o(x)}{P_o} \quad (4.16)$$

$$\text{Dari } f_{ct} \geq -\frac{P_s}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) \cdot c_b}{r^2} \right) - \frac{M_o(x)}{S_b} \text{ didapat persamaan eksentrisitas:}$$

$$e(x) \leq -\frac{f_{ct} \cdot S_b}{P_o} - \frac{S_b}{A_c} + \frac{M_o(x)}{P_o} \quad (4.17)$$

$$\text{Dari } f_{cs} \geq -\frac{P_s}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) \cdot c_t}{r^2} \right) - \frac{M_o(x)}{S_t} \text{ didapat persamaan eksentrisitas:}$$

$$e(x) \geq \frac{f_{cs} \cdot S_t}{P_e} + \frac{S_t}{A_c} + \frac{M_o(x)}{P_e} \quad (4.18)$$

$$\text{Dari } f_{ts} \geq -\frac{P_s}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) \cdot c_b}{r^2} \right) - \frac{M_o(x)}{S_b} \text{ didapat persamaan eksentrisitas:}$$

$$e(x) \geq -\frac{f_{ts} \cdot S_b}{P_e} - \frac{S_b}{A_c} + \frac{M_o(x)}{P_e} \quad (4.19)$$

Persamaan (4.16) dan (4.17) memberikan batas bawah (*lower limit*), sedangkan persamaan (4.18) dan (4.19) memberikan batas atas (*upper limit*) eksentrisitas tendon sepanjang gelagar.

4.4.4. Kontrol Tegangan Beton dan Tendon

Kontrol tegangan dilakukan pada beton prategang sistem pasca tarik dengan kondisi terekat.

Pada saat transfer, dipakai penampang netto

$$A_{c \text{ netto}} = A_c - A_{\text{selubung}}$$

Pada saat layan, dipakai penampang bruto

$$A_{c \text{ bruto}} = A_c + (n-1) \cdot A_{ps}$$

A. Tegangan pada saat transfer

1. Tegangan beton (terrekat)

a. Pada serat tarik:

$$f_{ti} = -\frac{P_o}{A_{c_{net}}} + \frac{P_o \cdot e_{net} \cdot C_{t_{net}}}{I_{c_{net}}} - \frac{M_o \cdot C_{t_{net}}}{I_{c_{net}}} \leq 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ct}} \quad (4.20)$$

b. Pada serat tekan:

$$f_{ci} = -\frac{P_o}{A_{c_{net}}} - \frac{P_o \cdot e_{net} \cdot C_{b_{net}}}{I_{c_{net}}} + \frac{M_o \cdot C_{b_{net}}}{I_{c_{net}}} \leq 0,6 \cdot f'_{ci} \quad (4.21)$$

2. Tegangan tendon

a. Tegangan pada saat penarikan (f_{si})

$$f_{si} = \frac{P_o}{A_{ps}} \quad (4.22)$$

b. Tegangan beton di daerah tendon (f_{ct})

$$f_{ct} = -\frac{Po}{A_{net}} - \left(\frac{e_{net}}{c_b net} \cdot \left(\frac{Po \cdot e_{net} \cdot c_b net}{I_{net}} \right) \right) + \left(\frac{e_{net}}{c_b net} \cdot \left(\frac{Mo \cdot c_b net}{I_{net}} \right) \right) \quad (4.23)$$

c. Tegangan tendon saat transfer (f_s)

$$f_s = f_{si} + n \cdot f_{ct} \leq f_{si} \quad (4.24)$$

B. Tegangan pada saat akhir/layan

1. Tegangan beton (terrekat)

a. Pada serat tarik:

$$f_{ts} = -\frac{P_e}{Ac_{brut}} - \frac{P_e \cdot e_{brut} \cdot Ct_{brut}}{Ic_{brut}} + \frac{Mt \cdot Ct_{brut}}{Ic_{brut}} \leq 0,5 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (4.25)$$

b. Pada serat tekan:

$$f_{cs} = -\frac{P_e}{Ac_{brut}} + \frac{P_e \cdot e_{brut} \cdot Cb_{brut}}{Ic_{brut}} - \frac{Mt \cdot Cb_{brut}}{Ic_{brut}} \leq 0,45 \cdot f'_c \quad (4.26)$$

2. Tegangan tendon

a. Tegangan efektif tendon

$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}} \quad (4.27)$$

Tegangan beton di daerah tendon (f_{ct})

$$f_{ct} = -\frac{Pe}{A_{net}} - \left(\frac{e_{net}}{c_b net} \cdot \left(\frac{Pe \cdot e_{net} \cdot c_b net}{I_{net}} \right) \right) + \left(\frac{e_{net}}{c_b net} \cdot \left(\frac{Mo \cdot c_b net}{I_{net}} \right) \right) + \left(\frac{e_{bruto}}{c_b bruto} \cdot \left(\frac{Mt \cdot c_b bruto}{I_{bruto}} \right) \right) \quad (4.28)$$

b. Tegangan tendon saat akhir/layan (f_s)

$$f_s = f_{se} + n \cdot f_{ct} \leq f_{si} \quad (4.29)$$

4.5. Kapasitas layan struktur

Setelah diketahui dimensi penampang beton prategang, langkah selanjutnya adalah memeriksa keamanan struktur balok tersebut. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi tegangan-tegangan yang timbul, momen lentur dan kemampuan terhadap geser .

4.5.1. Kekuatan lentur penampang

Untuk baja prategang (baja mutu tinggi), keruntuhan terjadi hanya setelah baja melampaui tegangan leleh, f_{py} . Namun kuat tarik baja prategang tidak menunjukkan titik leleh yang jelas, sehingga diambil nilai tegangan rata-rata saat dicapainya kuat momen nominal, yaitu f_{ps} .

Untuk perencanaan nilai f_{ps} menggunakan persamaan dibawah ini (Nilson, Arthur H., 1987) ini.

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p \cdot e_p \cdot f_{pu}}{\beta_1 \cdot f_c'} \right) \quad (4.30)$$

dengan : $\gamma_p = 0,28$ untuk $f_{py} / f_{pu} \geq 0,9$

$$\gamma_p = 0,40 \text{ untuk } f_{py} / f_{pu} = 0,85$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f_c' - 30) \geq 0,65$$

$$e_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \text{rasio penulangan penampang komponen prategang}$$

A_{ps} = luas penampang baja prategang.

Untuk nilai tegangan prategang efektifnya adalah:

$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}}$$

dengan : P_e = Gaya prategang efektif

Persamaan momen nominalnya adalah:

$$M_n = \sum N_T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{\rho_p \cdot f_{ps} \cdot d}{1,7 \cdot f_c'} \right) \quad (4.31)$$

1. Kontrol regangan baja akibat gaya prategang efektif (P_e)

$$\varepsilon_1 = \frac{f_{se}}{E_p}, \quad \text{dengan } E_p = \frac{f_{py}}{\varepsilon_{py}} \quad (4.32)$$

2. Kontrol regangan baja akibat tata letak tendon

$$\varepsilon_2 = \frac{P_e \cdot e}{A_{bruto} \cdot E_c} \left(1 + \frac{e^2}{r^2} \right), \quad \text{dengan } r^2 = \frac{I_{bruto}}{A_{bruto}} \quad (4.33)$$

3. Kontrol regangan baja pada keadaan bebas batas

$$\varepsilon_3 = \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_{cu} \quad (4.34)$$

$$\text{dengan : } a = \frac{A_p \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

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

4. Regangan baja total

$$\varepsilon_{ps} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \leq \varepsilon_{py} \quad (4.35)$$

5. Kapasitas Momen Tampang

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) \quad (4.36)$$

$$M_{n,perlu} = \frac{Mu}{\phi} < M_n$$

4.5.2. Analisis Kuat Geser

Perhitungan gaya geser yang terjadi pada struktur beton prategang pada dasarnya sama dengan beton bertulang. Kuat geser nominal total dinyatakan sebagai jumlah kuat geser yang disumbangkan oleh beton V_c dan tulangan geser V_s (Istimawan Dipohusodo, 1995).

1. Menentukan kuat geser nominal (V_c)

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} + \frac{5.V_u.d}{M_u} \right) b_w.d \quad (4.37)$$

dengan : b_w = lebar balok

d = jarak pusat tendon ke tepi luar sisi desak

V_u = gaya geser akibat beban terfaktor

M_u = momen ultimit akibat beban terfaktor

f'_c = kuat desak beton

$$V_c \text{ min} = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_c \text{ maks} = 0,3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$\text{Syarat } V_c \text{ min} \leq V_c \leq V_c \text{ maks}$$

Jika $V_c < V_c \text{ min}$, maka dipakai $V_c = V_c \text{ min}$

Jika $V_c > V_c \text{ maks}$, maka dipakai $V_c = V_c \text{ maks}$

2. Kuat geser yang ditahan tulangan geser

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

(4.38)

dengan ϕ = reduksi kekuatan = 0,6

$$V_s \text{ maks} \leq \frac{2 \cdot \sqrt{f'_c}}{3} \cdot b \cdot d$$

(4.39)

3. Perhitungan tulangan geser

Dalam merencanakan tulangan geser digunakan persyaratan sebagai berikut:

- Jika $V_u \leq 1/2 \cdot \phi \cdot V_c$, maka tidak diperlukan tulangan geser.
- Jika $V_u \geq 1/2 \cdot \phi \cdot V_c$, maka diperlukan tulangan geser.
- Jika $V_u \geq \phi \cdot V_c + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$, maka penampang diperbesar.

BAB V

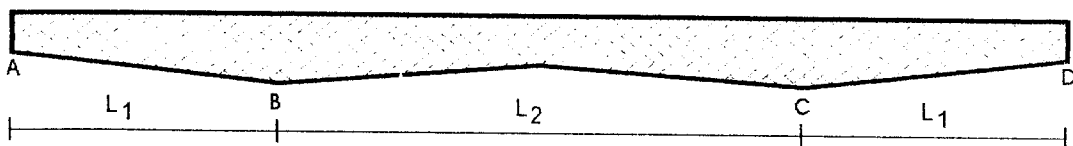
OPTIMASI TATA LETAK TENDON

Perhitungan yang dilakukan meliputi tiga varian, yang masing-masing mempunyai panjang bentangan total 48, 60 dan 80 meter. Masing-masing bentangan selanjutnya dibagi menjadi 48 segmen. Panjang tiap segmen untuk bentangan 48 m adalah 1 m, bentangan 60 m adalah 1,25 m, serta bentangan 80 m adalah 1,67 m. Penjabaran perhitungan yang dilakukan hanya untuk bentang 48 meter, sedangkan yang lain disajikan dalam bentuk tabel.

Sebelum melakukan optimasi terhadap tata letak tendon perlu dilakukan tahap-tahap perhitungan seperti diuraikan di bawah ini.

5.1 Data Perencanaan

Direncanakan sebuah balok dengan bentuk sebagai berikut :



GAMBAR 5.1 Penampang bujur gelagar

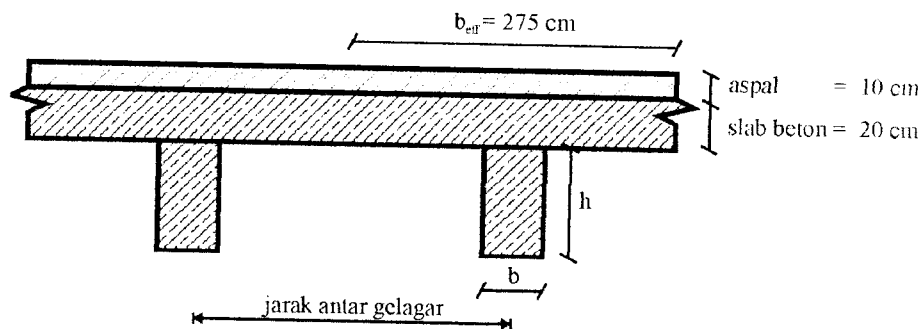
Data teknis

1. Diambil $L_1 = 12$ m dan $L_2 = 24$ meter.
2. Mutu beton (f'_c) = 45 Mpa
3. Kuat tarik ultimit baja prategang (f_{pu}) = 1800 Mpa
4. Modulus elatis beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 31529$ Mpa

5. Modulus elastis baja prategang $E_s = 2.10^5$ Mpa
6. Regangan desakan beton $(\epsilon'_{cu}) = 0,003$
7. Regangan leleh baja prategang $(\epsilon_{py}) = 0,01$
8. Modulus rasio $(n) = E_c / E_s = 7$
9. $f_{ti}' = 0,25 \cdot \sqrt{45} = 1,6771$ Mpa, $f_{ci}' = -0,6 \cdot 45 = -27$ Mpa
10. $f_{ts}' = 0,5 \cdot \sqrt{45} = 3,3541$ Mpa, $f_{cs}' = -0,45 \cdot 45 = -20,25$ Mpa

5.2 Analisa Pembebanan

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



GAMBAR 5.2. Penampang lintang gelagar dan perkerasan

1. Beban mati

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

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| (a) perkerasan jalan beraspal | : 2200 kg/m ³ |
| (b) beton bertulang | : 2400 kg/m ³ |

Mekanisme pembebanannya adalah sebagai berikut:

Penampang balok diambil 1350 x 700

$$B_{eff} = 2,75$$

$$\text{Berat aspal} = 0,1 \times 2,75 \times 2200 = 605 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat slab beton} = 0,2 \times 2,75 \times 2400 = 1.320 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat gelagar} = 0,7 \times 1,35 \times 2400 = \underline{2.268 \text{ kg/m}}$$

$$\text{Beban mati (Qd)} = 4.193 \text{ kg/m} = 41,93 \text{ KN/m}$$

2. Beban hidup / beban D

Pada varian pertama jembatan mempunyai bentang 48 m, dengan bentang tepi 12 m dan bentang tengah 24 m. Menurut PPPJJR SKBI 1.3.28/1987 maka dipakai panjang bentang 24 m untuk perencanaan beban hidup. Perencanaan untuk satu jalur dengan bentang dibawah 30 m maka dipakai $q = 2,2 \text{ t/m}^2 = 22 \text{ KN/m}$.

$$\square \text{ Faktor kejut (K)} = 1 + \frac{20}{50 + L} = 1 + \frac{20}{50 + 24} = 1.2703$$

$$\square \text{ Faktor distribusi } (\alpha) = 1,00 \text{ bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan}$$

$$\square \text{ Beban garis } P_L = \frac{P.a.s'.K}{2,75} = \frac{12.1.2,75.1,2703}{2,75} = 15,2423 \text{ t}$$

$$\square \text{ Air hujan} = 0,05.2,75.1000 = 137,5 \text{ kg/m} = 1,375 \text{ KN/m}$$

$$\square \text{ Beban terbagi rata} = ql = \frac{q.\alpha.s'}{2,75} = \frac{2,2.1.2,75}{2,75} = 2,2 \text{ t/m} = 22 \text{ KN/m}$$

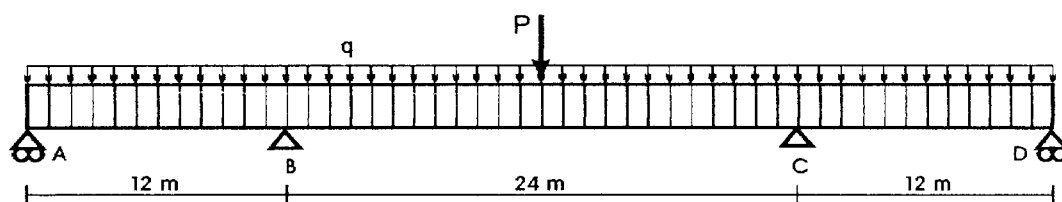
Beban merata yang bekerja adalah $q = 22 + 1,375 = 23,375 \text{ KN/m}$, sedangkan beban titik yang bekerja adalah $P = 15,2423 \text{ t} = 152,423 \text{ KN}$

5.3 Momen Rencana

Langkah pertama dalam mendesain adalah menganggap penampang awal berbentuk prismatis dua dimensi. Kemudian balok dibagi menjadi 48 segmen,

dengan panjang tiap segmen 1 m. Karena balok mempunyai bentuk dan sistem tumpuan yang simetris, maka perhitungan dibuat untuk setengah bentangan. Faktor pembebanan mengacu pada AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials), untuk beban hidup digunakan faktor 1,75 dan beban mati 1,25.

Skema pembebanan ditunjukkan dalam gambar 5.3 di bawah ini.



GAMBAR 5.3. Penampang gelagar prismatis

Momen yang timbul dihitung dengan dengan metoda Clapeyron seperti diuraikan di bawah ini.

1. Momen akibat beban mati

Struktur statis tertentu:

$$R_a = R_{b1} = R_{c2} = R_d = 256.08 \text{ KN}$$

$$R_{b2} = R_{c1} = 512.16 \text{ KN}$$

Struktur statis tak tentu:

Titik B :

$$\frac{q \cdot L_1^3}{24} + \frac{q \cdot L_2^3}{24} = \frac{M_b \cdot L_1}{3} + \frac{M_b \cdot L_2}{3} + \frac{M_c \cdot L_2}{6}$$

$$\frac{41,93 \cdot 12^3}{24} + \frac{41,93 \cdot 24^3}{24} = \frac{M_b \cdot 12}{3} + \frac{M_b \cdot 24}{3} + \frac{M_c \cdot 24}{6}$$

$$663759,36 = 288 \cdot M_b + 96 \cdot M_c$$

$$6914,16 = 3 \cdot M_b + 1 \cdot M_c$$

Titik C :

Langkah-langkah perhitungan sama seperti pada titik B, sehingga didapat:

$$6914,16 = 1.Mb + 3.Mc$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks seperti dibawah ini:

$$\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Mb \\ Mc \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 6914,16 \\ 6914,16 \end{Bmatrix}$$

Selanjutnya dengan metode Cramer didapat:

$$|D| = \begin{vmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{vmatrix} = 3.3 - 1.1 = 8$$

$$|D_1| = \begin{vmatrix} 6914,16 & 1 \\ 6914,16 & 3 \end{vmatrix} = 13828,32$$

$$|D_2| = \begin{vmatrix} 3 & 6914,16 \\ 1 & 6914,16 \end{vmatrix} = 13828,32$$

Momen yang terjadi:

$$Mb = \frac{|D_1|}{|D|} = 1728,54 \text{ KN/m}$$

$$Mc = \frac{|D_2|}{|D|} = 1728,54 \text{ KN/m}$$

Reaksi yang terjadi:

$$Ra = Rd = 256,08 - \frac{Mb}{L_1} = 256,08 - \frac{1728,54}{12} = 112,035 \text{ KN}$$

$$Rb_1 = Rc_2 = 256,08 + \frac{Mb}{L_1} = 256,08 + \frac{1728,54}{12} = 400,125 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} Rb_2 = Rc_1 &= 512,16 + \frac{Mb}{L_2} - \frac{Mc}{L_2} = 512,16 + \frac{1728,54}{12} - \frac{1728,54}{12} \\ &= 512,16 \text{ KN} \end{aligned}$$

Perhitungan momen selanjutnya ditampilkan dalam bentuk tabel 5.1. Perhitungan

dilakukan untuk setengah bentangan karena panjang bentangan, sistem pembebanan dan tumpuan adalah simetris, dengan :

momen 1 = momen statis tertentu, momen 2 = momen statis tak tentu, dan

mo = momen beban mati

Pada titik 1:

$$\begin{aligned} \text{momen 1} &= R_a \cdot x - q/2 \cdot x^2 \\ &= 256,08 \cdot 0 - 41,93/2 \cdot 0^2 = 0 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{momen 2} &= M_b \cdot x/L_1 \\ &= 1728,54 \cdot 0/12 = 0 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{momen 3} &= \text{momen 1} - \text{momen 2} \\ &= 0 - 0 = 0 \text{ KNm} \end{aligned}$$

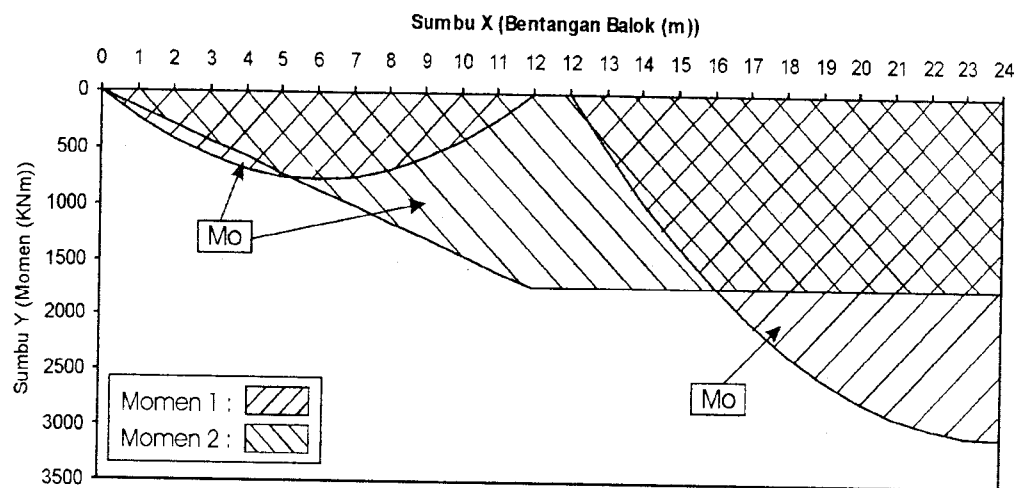
TABEL 5.1 Momen untuk beban mati

Titik	Momen 1	Momen 2	Mo
1	0.000	0.000	0.000
2	234.740	144.045	90.695
3	426.800	288.090	138.710
4	576.180	432.135	144.045
5	682.880	576.180	106.700
6	746.900	720.225	26.675
7	768.240	864.270	-96.030
8	746.900	1008.315	-261.415
9	682.880	1152.360	-469.480
10	576.180	1296.405	-720.225
11	426.800	1440.450	-1013.650
12	234.740	1584.495	-1349.755
13	0.000	1728.540	-1728.540
13	0.000	1728.540	-1728.540
14	490.820	1728.540	-1237.720
15	938.960	1728.540	-789.580
16	1344.420	1728.540	-384.120
17	1707.200	1728.540	-21.340
18	2027.300	1728.540	298.760
19	2304.720	1728.540	576.180
20	2539.460	1728.540	810.920
21	2731.520	1728.540	1002.980

Lanjutan tabel 5.1

Titik	Momen 1	Momen 2	Mo
22	2880.900	1728.540	1152.360
23	2987.600	1728.540	1259.060
24	3051.620	1728.540	1323.080
25	3072.960	1728.540	1344.420

Sedangkan Gambar 5.4 memberikan penjelasan tentang diagram momen.



GAMBAR 5.4 Diagram momen

2. Momen Akibat beban hidup

Struktur statis tertentu:

Reaksi beban merata :

$$R_a = R_{b_1} = R_{c_2} = R_d = 150 \text{ KN}$$

$$R_{b_2} = R_{c_1} = 300 \text{ KN}$$

Reaksi beban titik :

$$R_{b_2} = R_{c_1} = 75 \text{ KN}$$

Sehingga reaksi yang bekerja:

$$R_a = R_{b_1} = R_{c_2} = R_d = 150 \text{ KN}$$

$$R_{b_2} = R_{c_1} = 375 \text{ KN}$$

Struktur statis tak tentu:

$$\frac{q.L_1^3}{24} + \frac{q.L_2^3}{24} + \frac{P.L_2^2}{16} = \frac{Mb.L_1}{3} + \frac{Mb.L_2}{3} + \frac{Mc.L_2}{6}$$

$$\frac{23,375.12^3}{24} + \frac{23,375.24^3}{24} + \frac{145,423.24^2}{16} = \frac{Mb.12}{3} + \frac{Mb.24}{3} + \frac{Mc.24}{6}$$

$$518400 = 288.Mb + 96.Mc$$

$$5400 = 3.Mb + 1.Mc$$

Langkah-langkah selanjutnya seperti perhitungan pada momen mati dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.2.

TABEL 5.2 Momen untuk beban hidup

Titik	Momen 1	Momen 2	MI
1	0.000	0.000	0.000
2	137.500	112.500	25.000
3	250.000	225.000	25.000
4	337.500	337.500	0.000
5	400.000	450.000	-50.000
6	437.500	562.500	-125.000
7	450.000	675.000	-225.000
8	437.500	787.500	-350.000
9	400.000	900.000	-500.000
10	337.500	1012.500	-675.000
11	250.000	1125.000	-875.000
12	137.500	1237.500	-1100.000
13	0.000	1350.000	-1350.000
13	0.000	1350.000	-1350.000
14	362.500	1350.000	-987.500
15	700.000	1350.000	-650.000
16	1012.500	1350.000	-337.500
17	1300.000	1350.000	-50.000
18	1562.500	1350.000	212.500
19	1800.000	1350.000	450.000
20	2012.500	1350.000	662.500
21	2200.000	1350.000	850.000
22	2362.500	1350.000	1012.500
23	2500.000	1350.000	1150.000
24	2612.500	1350.000	1262.500
25	2700.000	1350.000	1350.000

3. Momen terjadi

Dari perhitungan di atas maka didapat momen total pada tabel 5.3.

TABEL 5.3 Momen rencana setengah bentang

Titik	Momen Hidup	Momen Mati	Momen Total
1	0.00	0.00	0.00
2	90.70	25.00	115.70
3	138.71	25.00	163.71
4	144.05	0.00	144.05
5	106.70	-50.00	56.70
6	26.67	-125.00	-98.33
7	-96.03	-225.00	-321.03
8	-261.42	-350.00	-611.42
9	-469.48	-500.00	-969.48
10	-720.23	-675.00	-1395.23
11	-1013.65	-875.00	-1888.65
12	-1349.76	-1100.00	-2449.76
13	-1728.54	-1350.00	-3078.54
13	-1728.54	-1350.00	-3078.54
14	-1237.72	-987.50	-2225.22
15	-789.58	-650.00	-1439.58
16	-384.12	-337.50	-721.62
17	-21.34	-50.00	-71.34
18	298.76	212.50	511.26
19	576.18	450.00	1026.18
20	810.92	662.50	1473.42
21	1002.98	850.00	1852.98
22	1152.36	1012.50	2164.86
23	1259.06	1150.00	2409.06
24	1323.08	1262.50	2585.58
25	1344.42	1350.00	2694.42

Berdasarkan momen total diatas kemudian didesain struktur menerus nonprismatis.

5.4 Analisis Penampang Non Prismatis

Berdasarkan hasil dari momen rencana, selanjutnya direncanakan dimensi penampang gelagar. Penampang gelagar direncanakan berdasarkan persamaan modulus penampang yaitu persamaan (4.7) dan (4.8).

$$St \geq \frac{(1-R).Mo + MI}{Rf_{ti} - f_{cs}}$$

$$Sb \geq \frac{(1-R).Mo + MI}{f_{ts} - Rf_{ci}}$$

Modulus penampang pada titik 1 adalah :

$$St \geq \frac{(1-0,8).0 + 0}{0,8.1,6771 - (-20,25)} = 0$$

$$Sb \geq \frac{(1-0,8).0 + 0}{3,3541 - 0,8.(-27)} = 0$$

Dari hasil St dan Sb diambil nilai yang terbesar, perhitungan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk tabel 5.4.

TABEL 5.4 Modulus penampang

Titik	St (mm ³)	Sb (mm ³)	S (mm ³)
1	0.00	0.00	0.00
2	1997949.13	1728733.82	1997949.13
3	2442704.59	2113560.33	2442704.59
4	1334266.36	1154479.53	1334266.36
5	1327365.54	1148508.57	1327365.54
6	5542191.13	4795403.98	5542191.13
7	11310210.39	9786206.71	11310210.39
8	18631423.34	16120916.74	18631423.34
9	27505829.96	23799534.07	27505829.96
10	37933430.26	32822058.72	37933430.26
11	49914224.24	43188490.67	49914224.24
12	63448211.91	54898829.93	63448211.91
13	78535393.25	67953076.50	78535393.25
13	78535393.25	67953076.50	78535393.25
14	57200099.44	49492624.57	57200099.44
15	37417999.31	32376079.94	37417999.31
16	19189092.86	16603442.61	19189092.86
17	2513380.09	2174712.60	2513380.09
18	12609139.00	10910110.10	12609139.00
19	26178464.42	22651025.50	26178464.42
20	38194596.15	33048033.59	38194596.15
21	48657534.20	42101134.37	48657534.20
22	57567278.57	49810327.84	57567278.57
23	64923829.27	56175614.01	64923829.27
24	70727186.28	61196992.87	70727186.28
25	74977349.61	64874464.41	74977349.61

Setelah modulus penampang diketahui langkah selanjutnya adalah mendesain penampang nonprismatis. Dengan ketentuan lebar balok (b) telah ditentukan maka tinggi balok (h) dapat dicari dengan rumus (4.9):

$$S = \frac{I}{C} \quad \text{dengan } I = 1/12.b.h^2 = \text{momen inersia}$$

$$C = \frac{1}{2}.h = \text{jarak garis netral ke sisi luar penampang}$$

Dengan menjabarkan rumus diatas, maka didapat $h = \sqrt{\frac{6.S}{b}}$

Lebar b diambil seperti pada awal perencanaan = 70 cm = 700 mm.

Tinggi minimal pada titik 1 adalah

$$h = \sqrt{\frac{6.S}{b}} = \sqrt{\frac{6.0}{700}} = 0 \text{ mm}$$

Perhitungan tinggi minimal balok selengkapnya untuk tiap segmen dapat dilihat pada tabel 5.5

TABEL 5.5 Tinggi minimal balok

Titik	S (mm ³)	H min (mm)
1	0	0.0000
2	1997949.133	130.8636
3	2442704.587	144.6979
4	1334266.362	106.9419
5	1327365.543	106.6650
6	5542191.128	217.9553
7	11310210.39	311.3594
8	18631423.34	399.6222
9	27505829.96	485.5556
10	37933430.26	570.2137
11	49914224.24	654.0919
12	63448211.91	737.4563
13	78535393.25	820.4636
13	78535393.25	820.4636
14	57200099.44	700.2047
15	37417999.31	566.3265
16	19189092.86	405.5588
17	2513380.087	146.7762

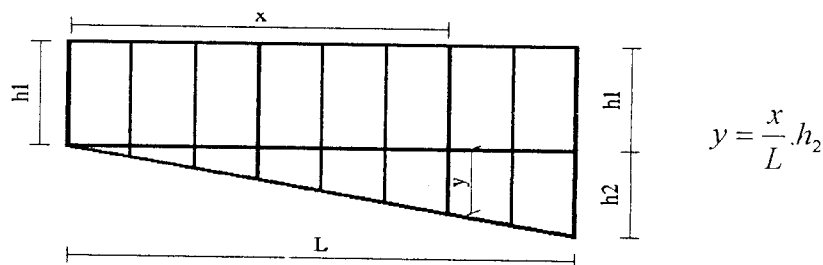
Lanjutan tabel 5.5

Titik	S (mm ³)	H min (mm)
18	12609139	328.7527
19	26178464.42	473.6949
20	38194596.15	572.1733
21	48657534.2	645.8054
22	57567278.57	702.4484
23	64923829.27	745.9826
24	70727186.28	778.6097
25	74977349.61	801.6626

Dari tinggi minimal yang didapat pada tabel 5.5 di atas, maka dapat direncanakan tinggi balok yang sebenarnya, dengan batasan bahwa tinggi balok yang direncanakan tidak boleh kurang dari tinggi balok. Diambil tinggi minimum,

- H1 = 800 cm
- H13 = 1335 cm
- H25 = 1235 cm

Tinggi balok tiap segmen dicari dengan rumus sebagai berikut:



Gambar 5.5 Gambar menghitung tinggi balok

Dengan menggunakan rumus diatas perhitungan tinggi balok tiap segmen ditampilkan dalam bentuk tabel 5.6.

TABEL 5.6 Tinggi balok tiap segmen

No.	x (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	y (mm)	H (mm)	Keterangan
1	0	800	535	0.000	800.000	$h > h_{\min}$
2	1000	800	535	44.583	844.583	$h > h_{\min}$
3	2000	800	535	89.167	889.167	$h > h_{\min}$
4	3000	800	535	133.750	933.750	$h > h_{\min}$

Lanjutan tabel 5.6

No.	x (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	y (mm)	H (mm)	Keterangan
5	4000	800	535	178.333	978.333	h > h min
6	5000	800	535	222.917	1022.917	h > h min
7	6000	800	535	267.500	1067.500	h > h min
8	7000	800	535	312.083	1112.083	h > h min
9	8000	800	535	356.667	1156.667	h > h min
10	9000	800	535	401.250	1201.250	h > h min
11	10000	800	535	445.833	1245.833	h > h min
12	11000	800	535	490.417	1290.417	h > h min
13	12000	800	535	535.000	1335.000	h > h min
13	12000	800	535	535.000	1335.000	h > h min
14	11000	1235	100	91.667	1326.667	h > h min
15	10000	1235	100	83.333	1318.333	h > h min
16	9000	1235	100	75.000	1310.000	h > h min
17	8000	1235	100	66.667	1301.667	h > h min
18	7000	1235	100	58.333	1293.333	h > h min
19	6000	1235	100	50.000	1285.000	h > h min
20	5000	1235	100	41.667	1276.667	h > h min
21	4000	1235	100	33.333	1268.333	h > h min
22	3000	1235	100	25.000	1260.000	h > h min
23	2000	1235	100	16.667	1251.667	h > h min
24	1000	1235	100	8.333	1243.333	h > h min
25	0	1235	100	0.000	1235.000	h > h min

5.5 Momen Balok Menerus Nonprismatis

Dari penampang balok nonprismatis tersebut (tinggi balok yang didapat dari tabel 5.6) kemudian dihitung momen yang terjadi. Untuk keperluan ini perhitungan momen dilakukan dengan menggunakan program SAP 90, yang hasilnya seperti tercantum dalam tabel 5.7. Dengan:

Ml = momen hidup, Mo = momen mati, dan Mt = momen total.

TABEL 5.7 Momen balok menerus nonprismatis

Titik	Ml	Mo	Mt
1	0.00	0.00	0.00
2	19.35	58.93	78.28
3	15.33	84.43	99.76
4	-12.07	75.74	63.67
5	-62.85	32.11	-30.74

5.6.1 Perhitungan Gaya Prategang

1. Tegangan beton pada pusat beton (f_{ci})

Dengan menggunakan persamaan (4.10) seperti dibawah ini diperoleh:

$$f_{ci} = f_{ti} - \frac{ct}{h}(f_{ti} - f_{ci}), \text{ pada penampang simetris } c_1 = c_2 = \frac{1}{2}h$$

$$f_{ci} = 1,6771 - \frac{1}{2}(1,6771 + 27) = -12,6615 \text{ Mpa}$$

2. Gaya prategang awal (P_o)

Dihitung dengan persamaan (4.11) yaitu $P_o = |f_{ci}| \cdot A_c$

$$P_o = |-12,6615| \cdot 700.1235 = 10945844,71 \text{ N}$$

3. Gaya prategang efektif (P_e)

Menggunakan persamaan (4.12), didapat $R = 1 - LOP = 1 - 0,2 = 0,8$

Selanjutnya P_e dihitung dengan persamaan (4.13) yaitu $P_e = P_o \cdot R$

$$P_e = 10945844,71 \cdot 0,8 = 8756675,77 \text{ N}$$

5.6.2 Luas baja prategang

Rumus yang digunakan dalam menentukan luas baja prategang adalah persamaan

$$(4,14): A_{ps} = \frac{P_o}{f_{ps}} \text{ dengan:}$$

$$f_{ps} = 0.7 * f_{pu} \text{ untuk tendon pasca tarik}$$

$$f_{ps} = 0.7 * 1800 = 1260 \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = \frac{10945844,71}{1260} = 8678,1783 \text{ mm}^2$$

dipakai baja pra tegang jenis “VSL System” dengan tendon d15

$$\text{luas d15} = 176,7146$$

jumlah strand (n) = $A_{ps} / \text{luas tendon}$

$$= 50 \text{ buah}$$

dipakai tendon ukuran 55 K15 dengan diameter selubung = 170 mm

$$A_{\text{selubung}} = 22698,007 \text{ mm}^2$$

5.6.3. Tata Letak Tendon

Perletakan tendon dalam beton prategang harus berada dalam daerah batas tendon. Daerah batas merupakan daerah yang dibatasi oleh batas atas dan batas bawah tendon. Tendon yang diletakkan pada daerah ini membuat tegangan yang terjadi tidak melampaui tegangan batas atau izin baik untuk bagian tarik maupun bagian tekan.

Dalam menentukan tata letak tendon disepanjang bentang diuraikan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Bentuk penampang balok pada tiap segmennya adalah segiempat dengan lebar tetap dan tinggi yang beubah-ubah. Sehingga dapat digunakan persamaan modulus penampang (4.15) yaitu:

$$S_t = S_b = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

Berdasarkan hubungan eksentrisitas tendon dan momen merupakan fungsi dari jarak x disepanjang bentangan, maka untuk batas bawah menggunakan persamaan (4.16) dan (4.17) berturut-turut sebagai berikut:

$$e.(x) \leq \frac{F_{ti} \cdot S_t}{P_o} + \frac{S_t}{A_c} + \frac{M_o.(x)}{P_o} \qquad e.(x) \leq -\frac{f_{ct} \cdot S_b}{P_o} - \frac{S_b}{A_c} + \frac{M_o.(x)}{P_o}$$

Sedangkan untuk menentukan batas atas menggunakan persamaan (4.18) dan (4.19) berturut-turut sebagai berikut:



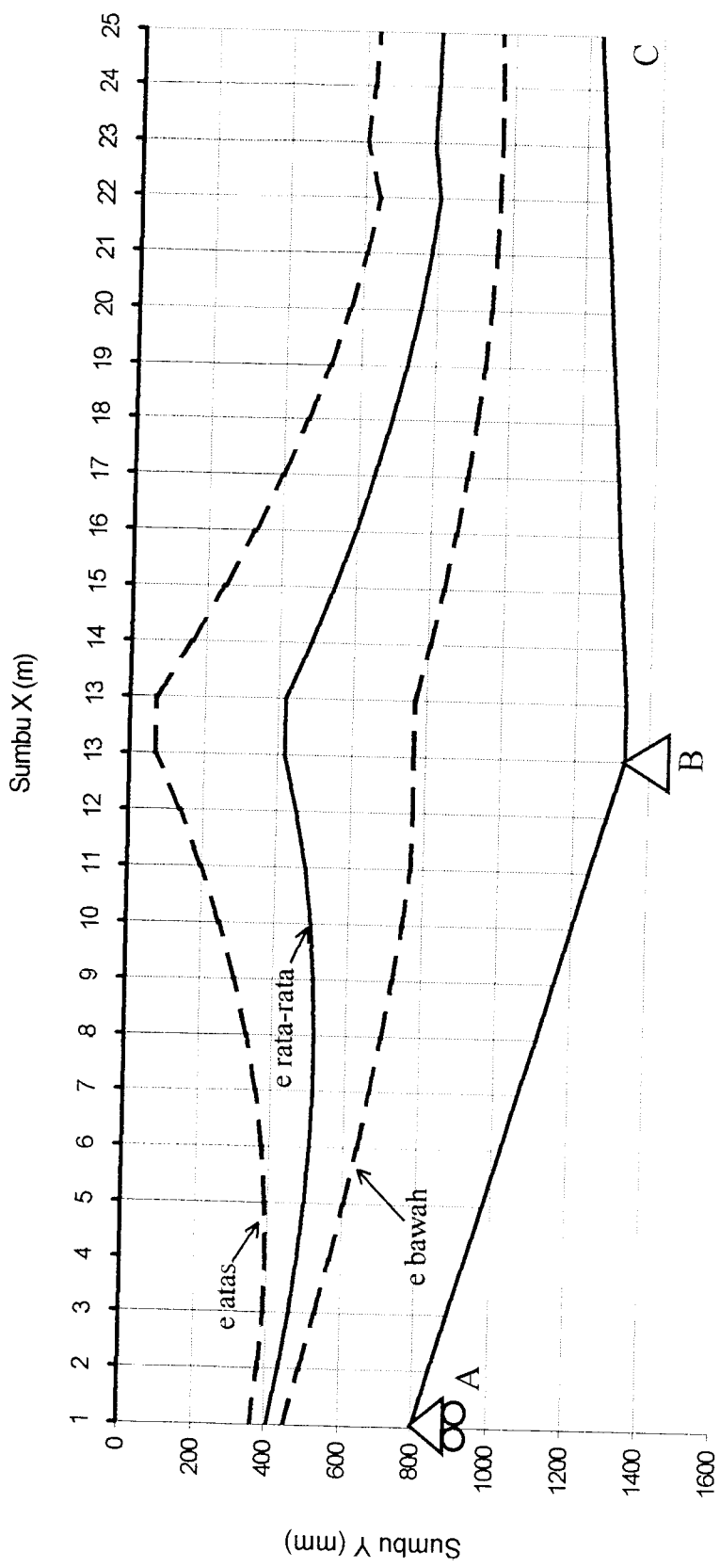
$$e.(x) \geq -\frac{f_{ts} \cdot S_b}{P_e} - \frac{S_b}{A_c} + \frac{M_t.(x)}{P_e} \quad (4.19)$$

Baik untuk e bawah maupun e atas diambil nilai e yang terkecil, tanpa memperhatikan tanda positif ataupun negatif. Hasil perhitungan ditampilkan dalam tabel 5.8.

TABEL 5.8 Batas atas dan batas bawah tendon

Titik	St = Sb	Ac mm ²	e bawah Mm	e atas mm	e rata-rata (z) mm
1	74666666.67	560000.00	450.8461	360.6651	405.7556
2	83220784.14	591208.33	492.1914	379.5452	435.8683
3	92238692.13	622416.67	531.6265	390.8663	461.2464
4	101720390.63	653625.00	569.0821	394.5404	481.8113
5	111665879.63	684833.33	604.4897	390.4820	497.4859
6	122075159.14	716041.67	637.7807	378.6065	508.1936
7	132948229.17	747250.00	668.8875	358.8294	513.8584
8	144285089.70	778458.33	697.7416	331.0639	514.4027
9	156085740.74	809666.67	724.2736	295.2232	509.7484
10	168350182.29	840875.00	748.4158	251.2239	499.8199
11	181078414.35	872083.33	766.4571	198.9805	482.7188
12	194270436.92	903291.67	769.9560	138.4061	454.1810
13	207926250.00	934500.00	769.7866	69.4150	419.6008
13	207926250.00	934500.00	769.7866	69.4150	419.6008
14	205338518.52	928666.67	806.7038	162.8321	484.7680
15	202766590.74	922833.33	839.8294	248.8003	544.3148
16	200211666.67	917000.00	869.1742	327.3320	598.2531
17	197672546.30	911166.67	894.7530	398.4457	646.5994
18	195149629.63	905333.33	916.5767	462.1560	689.3664
19	192642916.67	899500.00	934.6599	518.4802	726.5701
20	190152407.41	893666.67	949.0154	567.4354	758.2254
21	187678101.85	887833.33	959.6542	609.0341	784.3441
22	185220000.00	882000.00	966.5908	643.2958	804.9433
23	182778101.85	876166.67	969.8372	605.6811	787.7592
24	180352407.41	870333.33	969.4062	623.4095	796.4079
25	177942916.67	864500.00	965.3104	633.8801	799.5953

Untuk memperjelas letak dari e bawah, e atas, serta e rata-rata maka data dari tabel 5.8 diatas dibuat dalam bentuk gambar 5.6.



GAMBAR 5.6 Lay out tendon sebelum optimasi

5.6.4 Optimasi Tata Letak Tendon

Sebelum melakukan optimasi tata letak tendon perlu menganalisa data batas atas dan batas bawah tendon dari perhitungan sebelumnya. Kemudian didapat daerah batas tendon dan dari daerah batas tersebut selanjutnya dilakukan optimasi dengan jalan:

1. Pada tiap titik observasi dilakukan coba-coba dengan syarat: eksentrisitas tendon tidak boleh melampaui daerah batas tendon serta batas tegangan beton dan tendon tidak melampaui tegangan ijin.
2. Proses optimasi dilakukan berulang-ulang sampai didapat hasil yang paling optimal dengan memperhatikan syarat diatas. Proses tersebut dapat dilihat pada lampiran 5.
3. Titik-titik eksentrisitas tendon yang dihasilkan akan membentuk suatu grafik dengan persamaan:

Pada bentang tepi:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

e_{on} = eksentrisitas tendon optimasi

e_{an} = batas atas tendon

e_{bn} = batas bawah tendon

n = nodal = 1, 2, 3, ... 13

a = konstanta = 0.00315

b = konstanta = 0.8025

Pada bentang tengah:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

n = nodal = 14, 15, 16, ... 25

a = konstanta = 0.00755

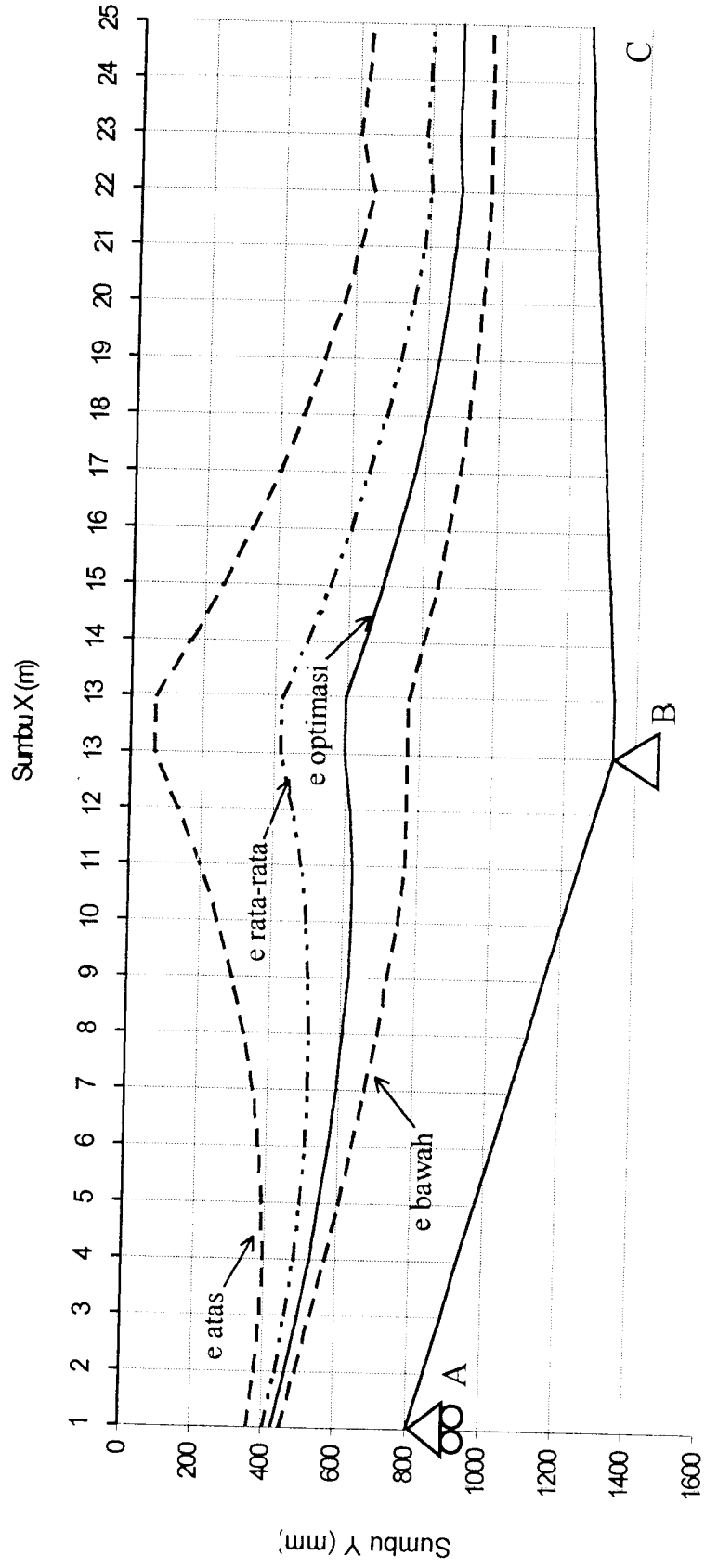
b = konstanta = 0.8403

Perhitungan untuk mendapatkan opimasi tata letak tendon dengan formula diatas dibuat dalam tabel 5.9 dibawah ini.

TABEL 5.9 Hasil e rata-rata yang telah dioptimasi

Titik	e bawah mm	e atas mm	e rata-rata mm	e optimasi mm
1	450.8461	360.6651	405.7556	433.0354
2	492.1914	379.5452	435.8683	470.2986
3	531.6265	390.8663	461.2464	504.7132
4	569.0821	394.5404	481.8113	536.2596
5	604.4897	390.4820	497.4859	564.9197
6	637.7807	378.6065	508.1936	590.6758
7	668.8875	358.8294	513.8584	613.5111
8	697.7416	331.0639	514.4027	633.4080
9	724.2736	295.2232	509.7484	650.3482
10	748.4158	251.2239	499.8199	664.3158
11	766.4571	198.9805	482.7188	672.2559
12	769.9560	138.4061	454.1810	667.1081
13	769.7866	69.4150	419.6008	657.9373
13	769.7866	69.4150	419.6008	657.9373
14	806.7038	162.8321	484.7680	708.7387
15	839.8294	248.8003	544.3148	754.3666
16	869.1742	327.3320	598.2531	794.9148
17	894.7530	398.4457	646.5994	830.4812
18	916.5767	462.1560	689.3664	861.1601
19	934.6599	518.4802	726.5701	887.0490
20	949.0154	567.4354	758.2254	908.2436
21	959.6542	609.0341	784.3441	924.8376
22	966.5908	643.2958	804.9433	936.9285
23	969.8372	605.6811	787.7592	939.1753
24	969.4062	623.4095	796.4079	942.8855
25	965.3104	633.8801	799.5953	942.4086

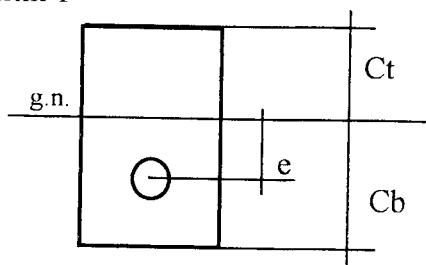
Untuk memperjelas letak dari e bawah, e atas, e rata-rata, serta e optimasi maka data dari tabel 5.9 diatas dibuat dalam bentuk gambar 5.7.



GAMBAR 5.7 Lay out tendon yang telah dioptimasi

5.6.5 Kontrol tegangan beton dan tendon

Pada titik 1



Untuk A netto

Elemen	Luas (A), mm ²	Lengan terhadap tengah balok	Luas lengan mm ³
1	700 . 800 = 560.000,00	800 / 2 = 400	224.000.000,000
2	- ¼.pi().d ² = -22698,007	800 - 433,0354 = 366,9646	- 8.329.365,06
	Jumlah		215.670.634,600

$$C_b = 215670634,6 / 537,30199 = 401,3956 \text{ mm}$$

$$C_t = 800 - 401,3956 = 398,6044 \text{ mm}$$

$$e = 401,3956 - 366,9646 = 34,4309 \text{ mm}$$

Momen Inersia:

$$1/12 \times 700 \times 800^3 + 560.000 \times (400 - 401,3956)^2 - 1/64 \times \pi \times 170^4 - (\pi/4) \times 170^2 \times 34,4309^2 = 29.799850,781 \text{ mm}^4$$

Perhitungan selanjutnya ditampilkan pada tabel 5.10.

Untuk A brutto

Ele- men	Luas (A), mm ²	Lengan terhadap tengah balok	Luas lengan mm ³
1	700 . 800 = 560.000,0000	560.000x400.00 =	224.000.000,000
2	(7-1)x9719,302 = 58.315,8138	58.315,8183x366,9646 =	21399840,94
	Jumlah		245.399.840,104

$$C_b = 245399840,104 / 618315,814 = 396,8843 \text{ mm}$$

$$C_t = 800 - 396,9914 = 403,1157 \text{ mm}$$

$$e = 396,8843 - 366,9646 = 29,9197 \text{ mm}$$

Momen Inersia:

$$\begin{aligned} & 1/12 \times 700 \times 800^3 + 560.000 \times (400-396,8843)^2 - (7-1) \times 9719,3023 \times 29,9197^2 \\ & = 29.924.306,505 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Perhitungan propertis penampang brutto selengkapnya ditampilkan dalam bentuk tabel 5.11.

TABEL 5.10 Propertis penampang netto

Titik	A netto mm ²	Cb netto	Ct netto	e netto mm	I netto mm ⁴
1	537,301.99	401.3956	398.6044	34.4309	29,799,850,781
2	568,510.33	424.2084	420.3750	49.9236	35,048,045,500
3	599,718.66	446.8591	442.3076	62.4056	40,881,614,036
4	630,926.99	469.3712	464.3788	71.8807	47,336,504,750
5	662,135.33	491.7635	486.5699	78.3498	54,447,509,840
6	693,343.66	514.0517	508.8650	81.8108	62,248,256,988
7	724,551.99	536.2487	531.2513	82.2598	70,771,194,421
8	755,760.33	558.3652	553.7181	79.6899	80,047,583,111
9	786,968.66	580.4104	576.2563	74.0919	90,107,478,195
10	818,176.99	602.3919	598.8581	65.4578	100,979,700,638
11	849,385.33	624.2352	621.5982	50.6578	112,699,032,198
12	880,593.66	645.7728	644.6439	22.4642	125,292,740,030
13	911,801.99	667.2619	667.7381	-9.8008	138,747,646,292
13	911,801.99	667.2619	667.7381	-9.8008	138,747,646,292
14	905,968.66	664.4709	662.1958	46.5430	136,118,917,901
15	900,135.33	661.5672	656.7661	97.6005	133,405,343,322
16	894,301.99	658.5511	651.4489	143.4659	130,642,026,359
17	888,468.66	655.4229	646.2438	184.2374	127,859,628,375
18	882,635.33	652.1826	641.1507	220.0094	125,084,630,226
19	876,801.99	648.8307	636.1693	250.8797	122,339,499,387
20	870,968.66	645.3674	631.2993	276.9443	119,642,943,408
21	865,135.33	641.7928	626.5405	298.2971	117,010,137,968
22	859,301.99	638.1074	621.8926	315.0358	114,452,852,476
23	853,468.66	634.1667	617.5000	321.6753	112,059,799,587
24	847,635.33	630.2683	613.0651	329.8205	109,673,351,584
25	841,801.99	626.2607	608.7393	333.6693	107,378,015,777

TABEL 5.11 Propertis penampang brutto

Titik	A brutto mm ²	Cb brutto	Ct brutto	e brutto mm	I brutto mm ⁴
1	618,315.814	396.8843	403.1157	29.9197	29,924,306,505
2	649,524.147	417.9815	426.6018	43.6968	35,265,775,467
3	680,732.480	439.4322	449.7344	54.9787	41,200,569,273
4	711,940.814	461.1916	472.5584	63.7012	47,748,456,345
5	743,149.147	483.2222	495.1111	69.8086	54,931,612,387
6	774,357.480	505.4926	517.4241	73.2517	62,774,753,076
7	805,565.814	527.9760	539.5240	73.9871	71,305,256,126
8	836,774.147	550.6499	561.4334	71.9746	80,553,248,045
9	867,982.480	573.4950	583.1717	67.1765	90,551,701,629
10	899,190.814	596.4944	604.7556	59.5602	101,336,545,884
11	930,399.147	619.8242	626.0092	46.2468	112,929,826,290
12	961,607.480	643.8802	646.5364	20.5716	125,371,176,879
13	992,815.814	668.0617	666.9383	-9.0010	138,795,791,379
13	992,815.814	668.0617	666.9383	-9.0010	138,795,791,379
14	986,982.480	660.6506	666.0161	42.7226	136,321,007,211
15	981,149.147	653.5083	664.8250	89.5416	134,154,345,741
16	975,315.814	646.6343	663.3657	131.5490	132,211,982,123
17	969,482.480	640.0272	661.6394	168.8418	130,420,721,865
18	963,649.147	633.6865	659.6469	201.5132	128,717,360,719
19	957,815.814	627.6108	657.3892	229.6598	127,048,268,785
20	951,982.480	621.7994	654.8673	253.3763	125,368,772,159
21	946,149.147	616.2512	652.0821	272.7555	123,642,595,494
22	940,315.814	610.9651	649.0349	287.8936	121,841,546,144
23	934,482.480	606.2794	645.3872	293.7880	119,756,955,558
24	928,649.147	601.4953	641.8381	301.0475	117,758,342,753
25	922,815.814	596.9679	638.0321	304.3765	115,646,867,673

a. Tegangan pada saat transfer

a.1. Tegangan beton (terekat)

a.1.1. Pada serat tarik:

$$f_{ti} = -\frac{P_o}{A_{c_{net}}} + \frac{P_o \cdot e_{net} \cdot Ct_{net}}{I_{c_{net}}} - \frac{M_o \cdot Ct_{net}}{I_{c_{net}}} \leq 0,25 \cdot \sqrt{f'_c}$$

b.1.1. Pada serat tekan:

$$f_{ci} = -\frac{P_o}{A_{c_{net}}} - \frac{P_o \cdot e_{net} \cdot Cb_{net}}{I_{c_{net}}} + \frac{M_o \cdot Cb_{net}}{I_{c_{net}}} \leq 0,6 \cdot f'_c$$

a.2. Tegangan tendon

a.2.1. Tegangan pada saat penarikan (f_{si}), pada titik 1 adalah:

$$f_{si} = \frac{P_o}{A_{ps}} = \frac{10945844,71}{9719,3023} = 1126,1966 \text{ Mpa}$$

a.2.2. Tegangan beton di daerah tendon (f_{ct}), pada titik 1 adalah:

$$f_{ct} = -\frac{P_o}{A_{net}} - \left(\frac{e_{net}}{c_{b,net}} \cdot \left(\frac{P_o \cdot e_{net} \cdot c_{b,net}}{I_{net}} \right) \right) + \left(\frac{e_{net}}{c_{b,net}} \cdot \left(\frac{M_o \cdot c_{b,net}}{I_{net}} \right) \right)$$

$$f_{ct} = -\frac{10945844,71}{537301,99} - \left(\frac{34,4309}{401,3956} \cdot \left(\frac{10945844,71 \cdot 34,4309 \cdot 401,3956}{29799850781} \right) \right) + \left(\frac{34,4309}{401,3956} \cdot \left(\frac{0,401,3956}{29799850781} \right) \right) = -20,8073 \text{ Mpa}$$

a.2.3. Tegangan tendon saat transfer (f_s), pada titik 1 adalah:

$$f_s = 1126,1966 + 7 \cdot (-20,8073) = 980,5454 \text{ Mpa} \leq 1126,1966 \text{ Mpa}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat dalam tabel 5.13.

b. Tegangan pada saat akhir/layan

b.1. Tegangan beton (terrekat)

b.1.1. Pada serat tarik:

$$f_{ts} = -\frac{P_e}{A_{c_{brut}}} - \frac{P_e \cdot e_{brut} \cdot C_{t_{brut}}}{I_{c_{brut}}} + \frac{M_t \cdot C_{t_{brut}}}{I_{c_{brut}}} \leq 0,5 \cdot \sqrt{f'_c}$$

b.1.2. Pada serat tekan:

$$f_{cs} = -\frac{P_e}{A_{c_{brut}}} + \frac{P_e \cdot e_{brut} \cdot C_{b_{brut}}}{I_{c_{brut}}} - \frac{M_t \cdot C_{b_{brut}}}{I_{c_{brut}}} \leq 0,45 \cdot f'_c$$

Pada titik 1, nilainya adalah:

$$f_{ts} = -\frac{8756675,77}{618315,814} - \frac{8756675,77 \cdot (29,9197) \cdot 403,1157}{29924306505} + \frac{0,403,1157}{29924306505} \leq 0,5 \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$f_{ts} = -17,6915 \text{ Mpa} \leq 3,3541 \text{ Mpa}$$

$$f_{ts} = -\frac{8756675,77}{618315,814} - \frac{8756675,77 \cdot (29,9197) \cdot 396,6843}{29924306505} + \frac{0,396,6843}{29924306505} \leq 0,45 \cdot f'_c$$

$$f_{cs} = -10,6873 \text{ Mpa} \leq 20,25 \text{ Mpa}$$

Perhitungan kontrol tegangan selanjutnya ditampilkan dalam tabel 5.13.

TABEL 5.13 Kontrol tegangan beton saat layan

Titik	f_{cs}	$0,45 \cdot f'_c$	Cek	f_{ts}	$0,5 \cdot \text{sqrt}(f'_c)$	Cek
1	-10.6873	20.2500	Aman	-17.6915	3.3541	Aman
2	-9.8743	20.2500	Aman	-17.1634	3.3541	Aman
3	-8.7928	20.2500	Aman	-17.0298	3.3541	Aman
4	-7.5269	20.2500	Aman	-17.1902	3.3541	Aman
5	-6.1354	20.2500	Aman	-17.5700	3.3541	Aman
6	-4.6598	20.2500	Aman	-18.1138	3.3541	Aman
7	-3.1299	20.2500	Aman	-18.7798	3.3541	Aman
8	-1.5675	20.2500	Aman	-19.5364	3.3541	Aman
9	0.0113	20.2500	Aman	-20.3588	3.3541	Aman
10	1.5939	20.2500	Aman	-21.2277	3.3541	Aman
11	3.0398	20.2500	Aman	-21.9875	3.3541	Aman
12	4.0791	20.2500	Aman	-22.3461	3.3541	Aman
13	5.1205	20.2500	Aman	-22.7371	3.3541	Aman
14	5.1205	20.2500	Aman	-22.7371	3.3541	Aman
14	3.4128	20.2500	Aman	-21.2569	3.3541	Aman
15	1.7702	20.2500	Aman	-19.8053	3.3541	Aman
16	0.2107	20.2500	Aman	-18.4051	3.3541	Aman
17	-1.2521	20.2500	Aman	-17.0753	3.3541	Aman
18	-2.6079	20.2500	Aman	-15.8315	3.3541	Aman
19	-3.8496	20.2500	Aman	-14.6862	3.3541	Aman
20	-4.9716	20.2500	Aman	-13.6499	3.3541	Aman
21	-5.9701	20.2500	Aman	-12.7311	3.3541	Aman
22	-6.8416	20.2500	Aman	-11.9374	3.3541	Aman
23	-7.8049	20.2500	Aman	-11.0373	3.3541	Aman
24	-8.4007	20.2500	Aman	-10.5273	3.3541	Aman
25	-8.8560	20.2500	Aman	-10.1657	3.3541	Aman

b.2. Tegangan tendon

b.2.1. Tegangan efektif tendon, pada titik 1 adalah:

$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}} = \frac{8756675,77}{9719,3023} = 900,9572 \text{ mpa}$$

b.2.2. Tegangan beton di daerah tendon (f_{ct})

$$f_{ct} = -\frac{P_e}{A_{net}} - \left(\frac{e_{net}}{c_{b,net}} \left(\frac{P_e \cdot e_{net} \cdot c_{b,net}}{I_{net}} \right) \right) + \left(\frac{e_{net}}{c_{b,net}} \left(\frac{M_o \cdot c_{b,net}}{I_{net}} \right) \right) + \left(\frac{e_{bruto}}{c_{b,bruto}} \left(\frac{M_t \cdot c_{b,bruto}}{I_{bruto}} \right) \right)$$

$$f_{ct} = -\frac{8756675,77}{537301,99} - \left(\frac{34,4309}{401,3956} \left(\frac{8756675,77 \cdot 34,4309 \cdot 401,3956}{29799850781} \right) \right) + \left(\frac{34,4309}{401,3956} \left(\frac{0,401,3956}{29799850781} \right) \right)$$

$$+ \left(\frac{29,9197}{396,8843} \left(\frac{0,396,8843}{29924306505} \right) \right) = -16,6458 \text{ Mpa}$$

b.2.3. Tegangan tendon saat akhir/layan (f_s)

$$f_s = f_{se} + n \cdot f_{ct} \leq f_{si}$$

$$f_s = 900,9572 + 7 \cdot (-16,6458) = 784,4363 \text{ Mpa} \leq 900,9572 \text{ Mpa}$$

Perhitungan kontrol tegangan tendon selengkapnya dapat dilihat dalam tabel 5.14.

TABEL 5.14 Kontrol tegangan tendon

Titik	Transfer				Layan			
	fsi	fct	fs	fs < fsi	fse	fct	fs	fs < fse
1	1126.20	-20.8073	980.5454	Aman	900.96	-16.6458	784.4363	Aman
2	1126.20	-20.0319	985.9729	Aman	900.96	-16.0256	788.7783	Aman
3	1126.20	-19.2944	991.1361	Aman	900.96	-15.4355	792.9089	Aman
4	1126.20	-18.5436	996.3915	Aman	900.96	-14.8349	797.1132	Aman
5	1126.20	-17.7652	1001.8400	Aman	900.96	-14.2122	801.4720	Aman
6	1126.20	-16.9640	1007.4489	Aman	900.96	-13.5712	805.9591	Aman
7	1126.20	-16.1536	1013.1212	Aman	900.96	-12.9229	810.4970	Aman
8	1126.20	-15.3516	1018.7354	Aman	900.96	-12.2813	814.9883	Aman
9	1126.20	-14.5757	1024.1665	Aman	900.96	-11.6606	819.3332	Aman
10	1126.20	-13.8428	1029.2971	Aman	900.96	-11.0742	823.4377	Aman
11	1126.20	-13.1360	1034.2444	Aman	900.96	-10.5088	827.3955	Aman
12	1126.20	-12.4742	1038.8774	Aman	900.96	-9.9793	831.1019	Aman
13	1126.20	-12.0122	1042.1111	Aman	900.96	-9.6098	833.6889	Aman
13	1126.20	-12.0122	1042.1111	Aman	900.96	-9.6098	833.6889	Aman
14	1126.20	-12.2561	1040.4037	Aman	900.96	-9.8049	832.3230	Aman
15	1126.20	-12.9418	1035.6039	Aman	900.96	-10.3535	828.4831	Aman

Lanjutan tabel 5.14

Titik	Transfer				Layan			
	fsi	Fct	fs	fs < fsi	Fse	fct	fs	fs < fse
16	1126.20	-13.9640	1028.4483	Aman	900.96	-11.1712	822.7586	Aman
17	1126.20	-15.2257	1019.6164	Aman	900.96	-12.1806	815.6931	Aman
18	1126.20	-16.6370	1009.7372	Aman	900.96	-13.3096	807.7898	Aman
19	1126.20	-18.1152	999.3902	Aman	900.96	-14.4921	799.5122	Aman
20	1126.20	-19.5844	989.1060	Aman	900.96	-15.6675	791.2848	Aman
21	1126.20	-20.9760	979.3644	Aman	900.96	-16.7808	783.4916	Aman
22	1126.20	-22.2297	970.5884	Aman	900.96	-17.7838	776.4708	Aman
23	1126.20	-22.9324	965.6696	Aman	900.96	-18.3459	772.5358	Aman
24	1126.20	-23.7702	959.8050	Aman	900.96	-19.0162	767.8440	Aman
25	1126.20	-24.3521	955.7319	Aman	900.96	-19.4817	764.5855	Aman

5.7 Kapasitas Layan Struktur

5.7.1 Kekuatan lentur penampang

$$\gamma_p = 0,28 \text{ untuk } f_{py} / f_{pu} \geq 0,9$$

$$\gamma_p = 0,40 \text{ untuk } f_{py} / f_{pu} = 0,85$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f_c - 30)$$

A_{ps} = luas penampang baja prategang

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \text{rasio penulangan penampang komponen prategang}$$

$$\rho_p = \frac{9719,3023}{800,431,8999} = 0,0321$$

$$f_c = 45 \text{ Mpa, sehingga } \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (45 - 30) = 0,73$$

$$f_{py} / f_{pu} = 0,85 \text{ sehingga } \gamma_p = 0,4$$

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

$$f_{ps} = 1800 \cdot \left(1 - \frac{0,4 \cdot 0,0321 \cdot 1800}{0,73 \cdot 45} \right) = 535,0211 \text{ Mpa} \leq 0,7 \cdot f_{pu} = 1260 \text{ Mpa}$$

Untuk nilai tegangan prategang efektifnya adalah:

$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}} = \frac{8756675,77}{9719,3023} = 900,9572 \text{ Mpa}$$

A. Kontrol regangan baja akibat gaya prategang efektif (P_e)

$$\epsilon_1 = \frac{f_{se}}{E_p}, \text{ dengan } E_p = \frac{f_{py}}{\epsilon_{py}}$$

$$E_p = \frac{0,85 \cdot 1800}{0,01} = 153000 \qquad \epsilon_1 = \frac{900,9572}{1530} = 0,0059$$

B. Kontrol regangan baja akibat tata letak tendon

$$\epsilon_2 = \frac{P_e}{A_{bruto} \cdot E_c} \left(1 + \frac{e^2}{r^2} \right), \text{ dengan } r^2 = \frac{I_{bruto}}{A_{bruto}}$$

$$r^2 = \frac{29924306505}{618315,814} = 48390,1777$$

$$\epsilon_2 = \frac{8756675,77}{618315,814 \cdot 3158,5585} \left(1 + \frac{28,8913^2}{48390,1777^2} \right) = 0,00046$$

C. Kontrol regangan baja pada keadaan bebas batas

$$a = \frac{A_p \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = 194,2122 \qquad c = \frac{a}{\beta_1} = 266,0441$$

$$\epsilon_3 = \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_{cu} = 0,0019 \text{ mm}$$

D. Regangan baja total

$$\epsilon_{ps} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 \leq \epsilon_{py}$$

$$\epsilon_{ps} = 0,0059 + 0,00046 + 0,0019 = 0,00823 \leq \epsilon_{py} = 0,001$$

E. Kapasitas Momen Tampang

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right)$$

$$M_n = 9719,3023.531,6953.(433,0354 - 1/2.194,2122)$$

$$M_n = 1746842884 \text{ Nmm}$$

$$M_{n,perlu} = \frac{Mu}{\phi} < M_n$$

$$M_{n,perlu} = \frac{0}{0,85} = 0 < M_n \quad (\text{struktur aman})$$

Perhitungan selengkapnya dibuat dalam tabel 5.15.

TABEL 5.15 Kontrol regangan dan kapasitas momen lentur

Titik	Etot	ket	Mn	Mn perlu	Mn > Mnperlu
1	0.00823	etot < 0,01	1,746,842,884	0,000	Aman
2	0.00780	etot < 0,01	2,191,840,718	97,850,000	Aman
3	0.00758	etot < 0,01	2,604,789,811	124,700,000	Aman
4	0.00746	etot < 0,01	2,988,511,132	79,587,500	Aman
5	0.00739	etot < 0,01	3,342,833,461	-38,425,000	Aman
6	0.00735	etot < 0,01	3,666,411,633	-230,262,500	Aman
7	0.00733	etot < 0,01	3,957,538,722	-496,850,000	Aman
8	0.00732	etot < 0,01	4,214,478,428	-839,137,500	Aman
9	0.00732	etot < 0,01	4,435,622,984	-1,258,075,000	Aman
10	0.00732	etot < 0,01	4,619,590,792	-1,754,575,000	Aman
11	0.00731	etot < 0,01	4,724,817,348	-2,329,575,000	Aman
12	0.00729	etot < 0,01	4,656,541,796	-2,984,025,000	Aman
13	0.00727	etot < 0,01	4,535,397,549	-3,718,862,500	Aman
13	0.00727	etot < 0,01	4,535,397,549	-3,718,862,500	Aman
14	0.00734	etot < 0,01	5,214,182,992	-2,701,025,000	Aman
15	0.00743	etot < 0,01	5,839,171,026	-1,764,312,500	Aman
16	0.00753	etot < 0,01	6,405,797,746	-908,587,500	Aman
17	0.00763	etot < 0,01	6,910,820,329	-133,650,000	Aman
18	0.00773	etot < 0,01	7,352,021,844	560,662,500	Aman
19	0.00782	etot < 0,01	7,728,099,104	1,174,537,500	Aman
20	0.00790	etot < 0,01	8,038,408,235	1,708,162,500	Aman
21	0.00797	etot < 0,01	8,282,813,338	2,161,675,000	Aman
22	0.00802	etot < 0,01	8,461,669,210	2,535,287,500	Aman
23	0.00804	etot < 0,01	8,494,975,243	2,829,162,500	Aman
24	0.00807	etot < 0,01	8,550,023,330	3,043,450,000	Aman
25	0.00808	etot < 0,01	8,542,944,196	3,178,362,500	Aman

5.7.2 Kontrol kuat geser

a. Menentukan kuat geser nominal (V_c)

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

dengan : $b.w$ = lebar balok

d = jarak pusat tendon ke tepi luar sisi desak

V_u = gaya geser akibat beban terfaktor

M_u = momen ultimit akibat beban terfaktor

f'_c = kuat desak beton

$$V_c \text{ min} = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b.d$$

$$V_c \text{ maks} = 0,3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b.d$$

Syarat $V_c \text{ min} \leq V_c \leq V_c \text{ maks}$

Jika $V_c < V_c \text{ min}$, maka dipakai $V_c = V_c \text{ min}$

Jika $V_c > V_c \text{ maks}$, maka dipakai $V_c = V_c \text{ maks}$

b. Kuat geser yang ditahan tulangan geser

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

dengan ϕ = reduksi kekuatan = 0,6

$$V_s \text{ maks} \leq \frac{2 \cdot \sqrt{f'_c}}{3} \cdot b.d$$

c. Perhitungan tulangan geser

Dalam merencanakan tulangan geser digunakan persyaratan sebagai berikut:

- Jika $V_u \leq 1/2 \cdot \phi \cdot V_c$, maka tidak diperlukan tulangan geser.

- Jika $V_u \geq 1/2 \cdot \phi \cdot V_c$, maka diperlukan tulangan geser.
- Jika $V_u \geq \phi \cdot V_c + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$, maka besarnya penampang diperbesar.

TABEL 5.16 Kontrol kuat geser A-B

x	vu	mu	Vc	vcmin	vcmaks
1	50.0000	78.2800	604883.972	368066.872	883360.493
2	-7.1800	99.7600	54331.153	395000.535	948001.284
3	-65.1300	63.6700	903683.322	419689.500	1007254.801
4	-123.8100	-30.7400	4631400.877	442119.579	1061086.990
5	-183.2500	-184.2100	1353461.706	462276.915	1109464.595
6	-243.4300	-397.4800	950855.369	480148.394	1152356.146
7	-304.3700	-671.3100	785385.274	495720.169	1189728.405
8	-366.0400	-1006.4600	691077.169	508977.979	1221547.148
9	-428.4800	-1403.6600	627477.355	519909.376	1247782.502
10	-491.6600	-1863.6600	575124.709	526123.498	1262696.395
11	-555.5900	-2387.2200	519140.405	522094.643	1253027.144
12	-620.2600	-2975.0900	470346.886	514917.361	1235801.666

Lanjutan tabel 5.16

x	vc pakai	0,6*vc	0,5*0,6*vc	rumus	ket
1	604883.972	362930.383	181465.192	1835197.871	tidak perlu
2	54331.153	32598.692	16299.346	1612600.832	tidak perlu
3	903683.322	542209.993	271104.997	2220967.995	tidak perlu
4	4631400.877	2778840.526	1389420.263	4547318.844	tidak perlu
5	1353461.706	812077.024	406038.512	2661184.682	tidak perlu
6	950855.369	570513.221	285256.611	2491106.797	tidak perlu
7	785385.274	471231.165	235615.582	2454111.84	tidak perlu
8	691077.169	414646.301	207323.151	2450558.216	tidak perlu
9	627477.355	376486.413	188243.207	2456123.916	tidak perlu
10	575124.709	345074.825	172537.413	2449568.817	tidak perlu
11	519140.405	311484.243	155742.122	2399862.816	tidak perlu
12	470346.886	282208.132	141104.066	2341877.575	tidak perlu

TABEL 5.17 Kontrol kuat geser B-C

x	vu	mu	vc	vcmin	vcmaks
13	781.7900	-2160.8200	469677.508	554675.801	1331221.923
14	716.9500	-1411.4500	834594.984	590385.222	1416924.534
15	652.2400	-726.8700	1797904.233	622119.207	1493086.097
16	587.6300	-106.9200	13073141.500	649954.368	1559890.484
17	523.2600	448.5300	3230231.348	673964.395	1617514.547
18	458.9800	939.6300	1553508.739	694225.620	1666141.487
19	394.8300	1366.5300	1047431.453	710813.041	1705951.299
20	330.8300	1729.3400	789835.115	723799.910	1737119.785
21	266.9600	2028.2300	624377.627	733262.531	1759830.076
22	203.2500	2263.3300	497738.692	735020.911	1764050.186
23	139.6600	2434.7600	399862.444	737924.638	1771019.130
24	76.2200	2542.6900	314445.280	737551.396	1770123.350

Lanjutan tabel 5.17

x	vc pakai	0,6*vc	0,5*0,6*vc	rumus	ket
13	469677.508	281806.505	140903.2524	2500509.709	tidak perlu
14	834594.984	500756.990	250378.4952	2862297.880	tidak perlu
15	1797904.233	1078742.540	539371.2698	3567219.368	tidak perlu
16	13073141.500	7843884.900	3921942.45	10443702.374	tidak perlu
17	3230231.348	1938138.809	969069.4045	4633996.388	tidak perlu
18	1553508.739	932105.244	466052.6218	3709007.722	tidak perlu
19	1047431.453	628458.872	314229.4358	3471711.036	tidak perlu
20	789835.115	473901.069	236950.5346	3369100.711	tidak perlu
21	624377.627	374626.576	187313.288	3307676.702	tidak perlu
22	497738.692	298643.215	149321.6077	3238726.858	tidak perlu
23	399862.444	239917.467	119958.7333	3191616.017	tidak perlu
24	314445.280	188667.168	94333.58398	3138872.751	tidak perlu

BAB VI

PEMBAHASAN

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

6.1. Balok Menerus Nonprismatis

Dalam perencanaan balok menerus prismatis penampang balok dibuat sama sepanjang bentangan dengan penentuan dimensi penampang balok berdasarkan momen maksimum yang terjadi. Sehingga penampang balok yang terjadi kurang efisien karena pada bagian yang momennya lebih kecil dibuat sama seperti pada bagian yang momennya maksimum. Padahal pada bagian tersebut cukup diberikan penampang yang lebih kecil, namun pada balok prismatis hal ini tidak dilakukan, sehingga terjadi pemborosan penggunaan material.

Hal ini tidak terjadi bila direncanakan dengan balok menerus nonprismatis. Karena dimensi penampang balok menerus nonprismatis direncanakan bervariasi sepanjang bentangan berdasarkan kebutuhan momen pada tiap pias. Sehingga dengan dibuatnya variasi penampang sepanjang bentangan tidak terjadi pemborosan material, maka otomatis akan mengurangi berat sendiri balok.

6.2. Optimasi Tata Letak Tendon

Dari perhitungan Bab Optimasi Tata Letak Tendon pada gambar 5.6 dapat dilihat daerah tendon yang cukup luas. Hal ini memberikan kemungkinan untuk dilakukan optimasi pada perletakan tendon. Proses optimasi tata letak tendon dilakukan dengan meletakkan tendon sedemikian rupa agar kemampuan struktur dalam menahan momen lentur meningkat. Perletakan tendon dilakukan dengan mencari nilai eksentrisitas terbesar yang masih dapat digunakan di dalam daerah batas tendon. Hasil perletakan tendon selanjutnya dikontrol dengan batasan tegangan beton dan tendon yang tidak melampaui angka aman .

6.3 Peningkatan Kapasitas Tampang

Hasil optimasi tata letak tendon yang paling signifikan adalah adanya peningkatan kapasitas tampang. Berikut ini disajikan tabel perbandingan hasil antara kapasitas tampang yang telah dioptimasi dan yang belum dioptimasi untuk jembatan dengan variasi bentangan sebagai berikut :

Tabel 6.1 Jembatan dengan bentangan 48 m

Titik	Mn	Mn	Prosentase (%)
	Optimasi	Standard	Peningkatan Kapasitas Tampang
1	1,746,842,884	1,417,366,317	23.25
2	2,191,840,718	1,780,765,228	23.08
3	2,604,789,811	2,083,784,853	25.00
4	2,988,511,132	2,329,509,911	28.29
5	3,342,833,461	2,517,667,409	32.78
6	3,666,411,633	2,646,839,686	38.52
7	3,957,538,722	2,715,422,199	45.74
8	4,214,478,428	2,722,021,406	54.83
9	4,435,622,984	2,665,645,403	66.40
10	4,619,590,792	2,545,775,359	81.46
11	4,724,817,348	2,340,377,989	101.88
12	4,656,541,796	1,999,491,935	132.89
13	4,535,397,549	1,757,924,778	186.08
13	4,535,397,549	1,757,924,778	186.08
14	5,214,182,992	2,364,929,417	120.48
15	5,839,171,026	3,087,511,567	89.12
16	6,405,797,746	3,762,569,962	70.25
17	6,910,820,329	4,386,496,286	57.55
18	7,352,021,844	4,953,142,305	48.43
19	7,728,099,104	5,456,767,124	41.62
20	8,038,408,235	5,892,655,038	36.41
21	8,282,813,338	6,257,114,616	32.37
22	8,461,669,210	6,547,465,444	29.24
23	8,494,975,243	6,305,076,445	34.73
24	8,550,023,330	6,426,852,488	33.04
25	8,542,944,196	6,471,843,905	32.00

Tabel 6.2 Jembatan dengan bentangan 60 m

Titik	Mn	Mn	Prosentase (%)
	Optimasi	Standard	Peningkatan Kapasitas Tampang
1	3,011,797,584	2,596,066,348	16.01
2	3,611,120,482	3,100,871,259	16.46
3	4,153,499,890	3,515,016,549	18.16
4	4,638,933,169	3,838,429,046	20.85
5	5,064,997,029	4,068,408,306	24.50
6	5,428,491,780	4,201,686,903	29.20
7	5,726,132,649	4,235,254,975	35.20
8	5,954,898,277	4,166,793,415	42.91
9	6,112,140,537	3,994,756,769	53.00
10	6,195,689,402	3,718,287,647	66.63
11	6,203,856,867	3,336,642,034	85.93
12	6,135,459,810	2,847,600,223	115.46
13	6,646,519,849	2,243,181,988	196.30
13	6,646,519,849	2,243,181,988	196.30
14	8,579,105,311	4,315,185,203	98.81
15	10,291,024,351	5,854,399,800	75.78
16	11,416,861,153	7,068,744,193	61.51
17	12,398,976,388	8,175,533,918	51.66
18	13,271,955,034	9,181,739,335	44.55
19	14,032,826,962	10,076,715,934	39.26
20	14,679,885,107	10,852,291,848	35.27
21	15,212,405,456	11,502,365,135	32.25
22	15,630,418,580	12,022,476,158	30.01
23	15,934,570,615	12,409,509,076	28.41
24	15,997,071,877	11,856,043,024	34.93
25	16,088,725,108	11,962,623,729	34.49

Tabel 6.3 Jembatan dengan bentangan 80 m

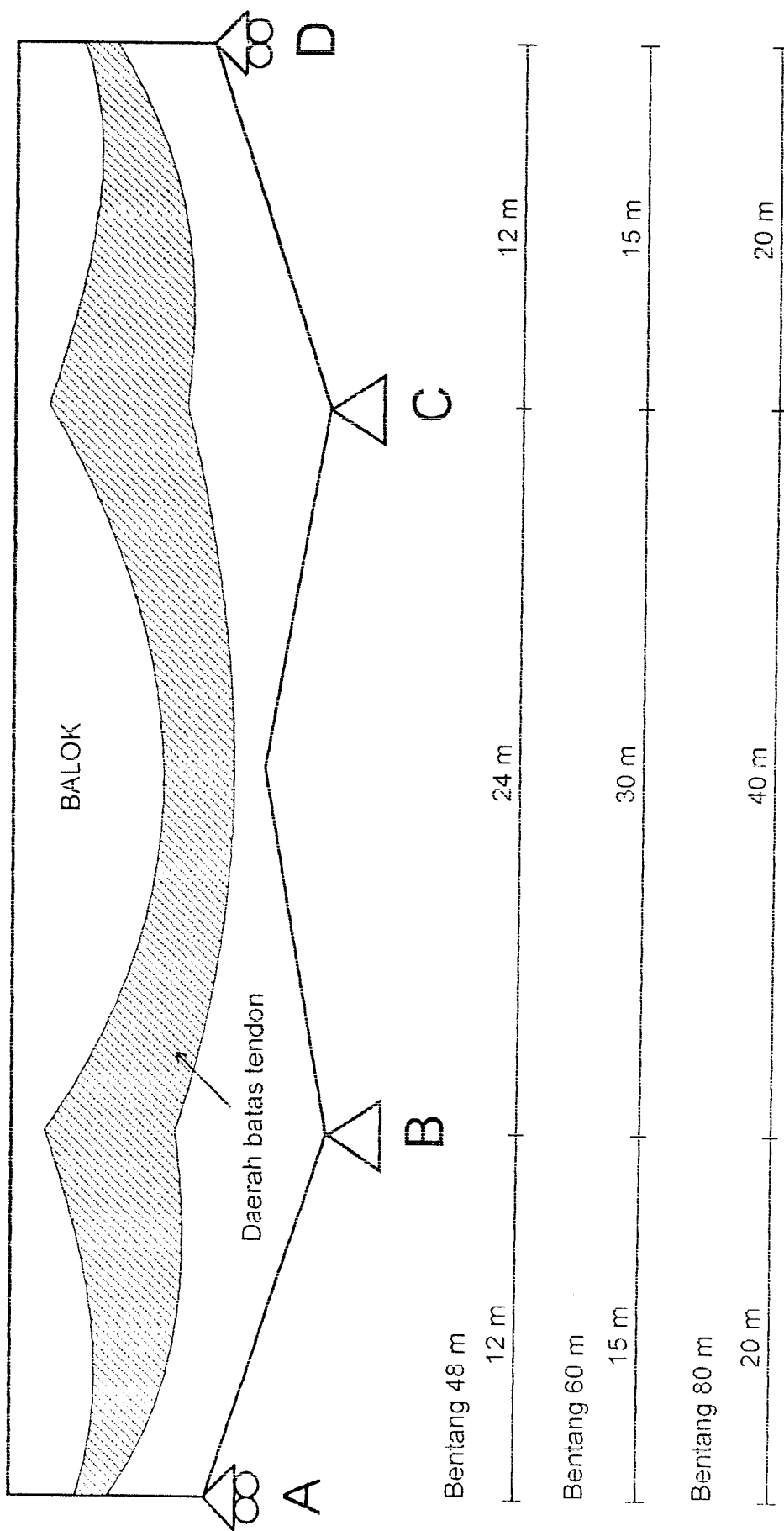
Titik	Mn	Mn	Prosentase (%)
	Optimasi	Standard	Peningkatan Kapasitas Tampang
1	7,954,112,589	6,763,546,732	17.60
2	9,088,102,342	7,731,356,814	17.55
3	10,065,548,722	8,485,854,105	18.62
4	10,880,614,233	9,022,014,126	20.60
5	11,525,470,234	9,332,281,669	23.50
6	11,992,159,814	9,409,163,913	27.45
7	12,273,425,049	9,246,324,163	32.74
8	12,363,132,206	8,838,888,725	39.87
9	12,256,553,844	8,183,083,317	49.78
10	11,950,464,101	7,274,365,593	64.28
11	11,443,195,637	6,102,326,868	87.52
12	10,734,585,887	4,636,882,513	131.50
13	9,825,534,500	2,788,994,476	252.30
13	9,825,534,500	2,788,994,476	252.30
14	14,874,844,969	7,459,623,558	99.40
15	18,867,234,710	11,091,178,831	70.11
16	22,771,840,560	14,581,036,253	56.17
17	26,545,223,939	17,920,412,037	48.13
18	30,153,598,913	21,067,368,652	43.13
19	33,199,803,839	23,783,467,033	39.59
20	35,921,892,228	26,173,943,505	37.24
21	37,400,400,914	27,756,543,881	34.74
22	38,498,540,048	28,971,571,914	32.88
23	39,305,263,415	29,857,130,133	31.64
24	39,822,325,243	30,408,437,929	30.96
25	40,052,532,834	30,622,924,958	30.79

Dalam tabel tersebut terlihat bahwa pada kolom prosentase peningkatan kapasitas tampang semua bagian menunjukkan tanda positif. Hal ini menunjukkan bahwa pada semua bagian terjadi peningkatan kapasitas. Peningkatan kapasitas tergantung pada daerah batas tendon. Daerah batas yang terjadi tergantung pada dimensi penampang pada bagian tersebut. Daerah batas tendon yang terjadi

berbanding lurus dengan dimensi penampang. Sedangkan dimensi penampang berbanding lurus dengan momen yang terjadi.

Semakin luas daerah batas tendon maka semakin besar pula peningkatan kapasitas tampang yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena semakin luas daerah batas tendon yang terjadi maka semakin besar kemungkinan optimasi yang dapat dilakukan. Pada tugas akhir ini daerah batas tendon yang terbesar terjadi pada daerah tumpuan tengah yaitu pada titik B dan C, sehingga peningkatan yang terjadi pada daerah tersebut juga yang terbesar. Sedangkan pada daerah tengah bentangan daerah batas tendon yang terjadi tidak sebesar pada daerah tumpuan B dan C, sehingga peningkatan yang terjadi tidak sebesar pada daerah tumpuan B dan C. Keterangan di atas dapat diperjelas dengan gambar 6.1.

Dengan melihat hasil tabel 6.1, tabel 6.2 dan tabel 6.3 terlihat perbedaan prosentase peningkatan kapasitas tampang. Peningkatan terbesar terjadi pada tabel 6.3, sedangkan peningkatan terkecil terjadi pada tabel 6.1. Hal ini disebabkan pada tabel 6.1 merupakan data dari bentangan 80 m, dimana pada bentang ini daerah batas tendonnya paling luas.



Gambar 6.1 Daerah Batas Tendon

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis optimasi tata letak tendon pada balok menerus nonprismatis pada perencanaan balok nonprismatis, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Dimensi penampang balok yang direncanakan sesuai dengan kebutuhan pada tiap-tiap pias akan menghasilkan penampang yang lebih efisien.
2. Dengan melakukan optimasi tata letak tendon akan meningkatkan kapasitas struktur.
3. Peningkatan kapasitas struktur berbanding lurus dengan besar daerah batas tendon. Sedangkan besar daerah batas tendon berbanding lurus dengan besar dimensi penampang dan dimensi penampang berbanding lurus dengan besar momen yang terjadi.
4. Formula untuk optimasi tata letak tendon dalam tugas akhir ini dibagi menjadi dua bagian yaitu bentang tepi dan bentang tengah. Dengan menggunakan kedua formula tersebut kapasitas struktur di sepanjang bentangan dapat meningkat.
5. Formula yang diperoleh tidak berlaku untuk umum karena bersifat empiris.

7.2 Saran-saran

1. Untuk mendapatkan struktur yang lebih efisien perlu dicoba berbagai bentuk penampang.
2. Semakin banyak variasi bentangan yang digunakan semakin teliti formula yang dihasilkan.
3. Jumlah tumpuan diperbanyak dan jenis tumpuan lebih divariasikan.
4. Dicoba menggunakan struktur beton paretang parsial.
5. Dicoba menganalisa beton prategang dengan sistem pratarik
6. Dalam perhitungan mutu baja dan mutu beton tidak hanya satu macam.
7. Agar formula yang dihasilkan lebih optimal perlu penelitian lebih lanjut .

DAFTAR PUSTAKA

Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2000, JEMBATAN, edisi pertama, Penerbit UGM, Yogyakarta,

Ghali, A. dan nville, AM., 1990, ANALISA STRUKTUR, edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta,

Istimawan Dipohusodo., 1994, STRUKTUR BETON BERTULANG, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta,

Kinney, J.S., 1957, INDETERMINATE STRUCTURAL ANALYSIS, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, USA,

Lin,T.Y., 1993, DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES, second edition, John Willey & Sons, USA,

Lin,T.Y. dan Burns, Ned H., 1982, DESIGN OF PRESTERSED CONCRETE STRUCTURES, third edition, John Willey & Sons, NewYork,

Nilson, Arthur H, 1987, DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE, second edition, John Willey & Sons, Inc, Singapura,

Raju, N. Krishna, 1989, BETON PRATEGANG, edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta,

Wang, Chu-Kia dan Salmon,C.G., 1989, DESAIN BETON BERTULANG, edisi keempat, jilid dua, Penerbit Erlangga, Jakarta,

Winter, George dan Nilson, Arthur H, 1993, PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG, PT. Pradya, Jakarta,

_____, 1987, PERATURAN PEMBEBANAN JEMBATAN JALAN RAYA, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.

_____, 1991, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNGAN GEDUNG (SK SNI T -15-1991-03), Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.

LAMPIRAN



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

Program 166
 TA 3 M. Am.

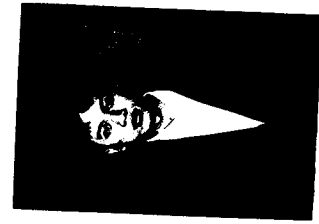
KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	M. FATHYUNARIZO	92.00105		TSS
2	M. SYAFIQ ALWALI	92.00104		TSS

JUDUL TUGAS AKHIR :

Dosen Pembimbing I :
 Dosen Pembimbing II :

2



Yogyakarta,
 Dekan
 Fakultas Teknik Sipil
 dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia
 (Signature)

Lampiran 1

Tabel prosentase kehilangan gaya prategang total

No	Tipe kehilangan	Persentase kehilangan tegangan	
		Pratarik (%)	Paska tarik (%)
1	Perpendekan elastis dan lenturan beton	4	1
2	Rangkak beton	6	5
3	Susut beton	7	6
4	Rangkak pada baja	8	8
Jumlah		25	20

28/01/2001
 01
 28/01/2001
 01

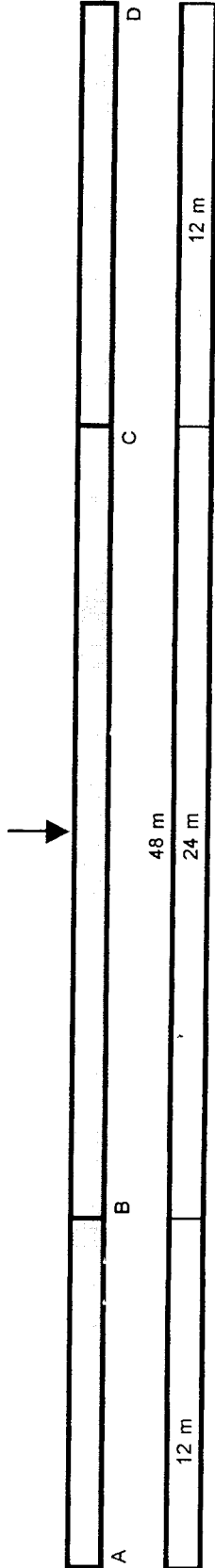
CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke :	KETERANGAN	Paraf
1	12/07/00	1	- Transkrip dan wawancara optikalisasi ? Cara formulasi: letak tendon	
2	30/09/00	2	- RUC di susun lagi & pp unglap → seminar	
3	9/10/00	3	- Siapan seminar proposal Pendidikan & keagamaan	
4	23/10/00	4	- Transkrip	
5	8/11/00	5	- Transkrip dan wawancara Transkrip wawancara guru	
6	11/11/00	6	- Wawancara ke dalam Forum 2 pendidikan di provinsi	
7	21/11/00	7	- Wawancara ke dalam Forum 2 pendidikan di provinsi	
8	25/11/00		- Wawancara ke dalam Forum 2 pendidikan di provinsi	
9	7/12/00		- Wawancara ke dalam Forum 2 pendidikan di provinsi	
10	14/12/00		- Wawancara ke dalam Forum 2 pendidikan di provinsi	
11/12/00	11/12/00		- Wawancara ke dalam Forum 2 pendidikan di provinsi	

Lampiran 2

Diketahui :

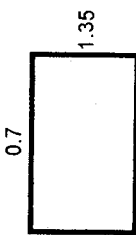
- Mutu Beton $f_c = 45 \text{ Mpa}$
- Kuat tarik ultimit baja prategang $f_{pu} = 1800 \text{ Mpa}$
- Modulus Elastisitas beton $E_c = 31528.55848 \text{ Mpa}$
- Modulus Elastisitas baja prategang $E_s = 2.00E+05 \text{ Mpa}$
- Regangan desak batas beton $\epsilon_{cu} = 0.003$
- Regangan leleh baja prategang $E_{py} = 0.01$
- Modulus ratio $E_s/E_c = 7$
- $f_t' = "0.25 \cdot \text{sqrt}(f_c)" = 1.6771 \text{ Mpa}$
- $f_c' = "-0.6 \cdot f_c" = -27.0000 \text{ Mpa}$
- $f_{ts}' = "0.5 \cdot \text{sqrt}(f_c)" = 3.3541 \text{ Mpa}$
- $f_{cs}' = "-0.45 \cdot f_c" = -20.2500 \text{ Mpa}$



BEBAN MATI

Ukuran Balok =

Luas = 0.945 m²
 Luas = 945000 mm²
 Volume = 45.36 m³
 ratio = L / T = 0.52



B_l beton = 24 KN
 B_{mati} = 20 KN
 q = 42.68 KN/m

BEBAN HIDUP

q = 25 KN/m
 P = 150 KN

MOMEN AKIBAT BEBAN MATI

Perhitungan dengan Metode Clayperon
Struktur statis tertentu

$$Ra = Rb1 = Rc2 = Rd = 256.08 \text{ KN}$$

$$Rb2 = Rc1 = 512.16 \text{ KN}$$

$$24 \frac{qL^3 + \dots}{24} = \dots$$

$qL^3 +$	qL^3	$Mb.L1 +$	$Mb.L2 +$	$Mc.L2$
24	24	3	3	6
	663759.36	96	192	96

Struktur statis tak tentu:

Titik B

Mb	Mc
663759.36	96
6914.16	1
6914.16	3

Titik C

Mb	Mc
288	96
3	1
1	3

Matriks

$\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Mb \\ Mc \end{bmatrix}$
--	--

Dengan Metode Cramer

$D =$	8
$D1 =$	13828.32
$D2 =$	13828.32

Momen yang terjadi

$Mb =$	1728.54 KN/m
$Mc =$	1728.54 KN/m

Reaksi yang terjadi

$Ra=Rd =$	112.0350 KN/m
$Rb1=Rc2 =$	400.1250 KN/m
$Rb2=Rc1 =$	512.1600 KN/m

MOMEN AKIBAT BEBAN HIDUP

Reaksi untuk tiap macam beban

Reaksi beban merata =

$$Ra = Rb1 = Rc2 = Rd = 150 \text{ KN}$$

$$Rb2 = Rc1 = 300 \text{ KN}$$

Reaksi beban titik =

$$Rb2 = Rc1 = 75.0000 \text{ KN}$$

Perhitungan dengan Metode Clayperon

Struktur statis tertentu

$$Ra = Rb1 = Rc2 = Rd = 150.00 \text{ KN}$$

$$Rb2 = Rc1 = 375.00 \text{ KN}$$

0

$$24 \frac{qL^1^3 + \frac{qL^2^3}{24} + \frac{P.L^3^2}{16}}{24} = \frac{Mb.L1 + Mb.L2 + Mc.L2}{3 \quad 3 \quad 6}$$

$$518400 = \frac{3 \quad 96 \quad 192}{3 \quad 3 \quad 6}$$

Struktur statis tak tentu

Titik B

$$518400 = 288$$

$$5400 = 3$$

$$5400 = 1$$

Matriks

$$\begin{bmatrix} 3 & 1 & Mb \\ 1 & 3 & Mb \\ & & Mc \end{bmatrix}$$

Dengan Metode Cramer

$$D = 8$$

$$D1 = \begin{bmatrix} 5400 & 1 \\ 5400 & 3 \end{bmatrix} = 10800$$

$$D2 = \begin{bmatrix} 3 & 5400 \\ 1 & 5400 \end{bmatrix} = 10800$$

Momen yang terjadi

$$Mb = 1350$$

$$Mc = 1350$$

Reaksi yang terjadi

$R_a = R_d = 37.5000 \text{ KN/m}$
 $R_{b1} = R_{c2} = 262.5000 \text{ KN/m}$
 $R_{b2} = R_{c1} = 375.0000 \text{ KN/m}$

Momen yang terjadi ditampilkan dalam tabel

$\text{Momen 1} = Ra.X - 1/2.q.X^2$
 $\text{Momen 2} = Ra.X$
 $\text{Momen 3} = Ma, Mb, Mc, Md$
 $M. \text{ Terjadi} = \text{Momen.1} - \text{Momen.2}$

Titik	Nodal	Momen.1	Momen.2	Momen.3	Mi
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	137.500	0.000	112.500	25.000
3	2	250.000	0.000	225.000	25.000
4	3	337.500	0.000	337.500	0.000
5	4	400.000	0.000	450.000	-50.000
6	5	437.500	0.000	562.500	-125.000
7	6	450.000	0.000	675.000	-225.000
8	7	437.500	0.000	787.500	-350.000
9	8	400.000	0.000	900.000	-500.000
10	9	337.500	0.000	1012.500	-675.000
11	10	250.000	0.000	1125.000	-875.000
12	11	137.500	0.000	1237.500	-1100.000
13	0	0.000	0.000	1350.000	-1350.000
14	1	287.500	0.000	1350.000	-1350.000
15	2	550.000	75.000	1350.000	-987.500
16	3	787.500	150.000	1350.000	-650.000
17	4	1000.000	225.000	1350.000	-337.500
18	5	1187.500	300.000	1350.000	-50.000
19	6	1350.000	375.000	1350.000	212.500
20	7	1487.500	450.000	1350.000	450.000
21	8	1600.000	525.000	1350.000	662.500
22	9	1687.500	600.000	1350.000	850.000
23	10	1750.000	675.000	1350.000	1012.500
24	11	1787.500	750.000	1350.000	1150.000
			825.000	1350.000	1262.500

Tumpuan

Tumpuan
Tumpuan

Mo	Mt
0.000	0.000
90.695	115.695
138.710	163.710
144.045	144.045
106.700	56.700
26.675	-98.325
-96.030	-321.030
-261.415	-611.415
-469.480	-969.480
-720.225	-1395.225
-1013.650	-1888.650
-1349.755	-2449.755
-1728.540	-3078.540
-1728.540	-3078.540
-1237.720	-2225.220
-789.580	-1439.580
-384.120	-721.620
-21.340	-71.340
298.760	511.260
576.180	1026.180
810.920	1473.420
1002.980	1852.980
1152.360	2164.860
1259.060	2409.060
1323.080	2585.580

Titik	Nodal	Momen.1	Momen.2	Momen.3	MI
25	12	1800.000	900.000	1350.000	1350.000

Tengah

Mo	Mt
1344.420	2694.420

DESAIN BETON PRATEGANG

1. Besar Gaya Prategang

Tegangan beton pada pusat beton

$f_{oci} = f_{ti} - c_1 / h \cdot (f_{ti} - f_{ci})$
 $f_{oci} = -12.6615 \text{ Mpa}$
 $c_1 = c_2 = h / 2$

Gaya prategang awal

$P_o = \text{Abs} (f_{oci }) \cdot A_c$
 $P_o = 11965093.41 \text{ N}$
 $P_o = 11,965.0934 \text{ KN}$

Gaya Prategang Efektif

$P_e = R \cdot P_o$
 $P_e = 9572074.728 \text{ N}$
 $P_e = 9572.0747 \text{ KN}$

2. Luas Baja Prategang

$A_{ps} = P_o / f_{ps}$
 $A_{ps} = 9496.105881 \text{ mm}^2$
 $f_{ps} = \text{untuk pasca tarik} \leq 0,7 f_{pu} \text{ (SKSNI)}$
 $f_{ps} = 1260 \text{ MPa}$

Dipakai baja prategang jenis VSL type E dengan tendon d15
 Luas d15 = 176.7146 mm²

Jumlah strain (n) =
 $A_{ps} / (\text{Luas } d)$
 54

Dipakai tendon ukuran dengan diameter selubung = 55 K 170 mm 15

Aselubung =
Aselubung =

$1/4 \cdot \pi \cdot d^2$
22698.00692 mm²

3. Tata Letak Tendon

Titik I
St = Sb = 212,625,000 mm³
Ac = 945,000 mm²

fti' = 1.6771 Mpa fci' = -27.0000 Mpa
fts' = 3.3541 Mpa fcs' = -20.2500 Mpa

ei1(x) <=	fti.St	+ St	+ Mo.(x)
ei2(x) <=	Po	+ Ac	+ Po
es1(x) <=	-(fci . Sb)	- (Sb)	+ Mo.(x)
es2(x) <=	- Po	- Ac	+ Po
	fcs.St	+ St	+ Mt.(x)
	Pe	+ Ac	+ Pe
	- fts.Sb	- Sb	+ Mt.(X)
	- Pt	- Ac	+ Pe

Titik	e bawah			e atas			a asli	
	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e bawah	e atas
1	254.8019	254.8019	-224.8143	-299.5048	-299.5048	-299.5048	254.8019	-299.5048
2	262.3819	262.3819	-212.7276	-287.4181	-287.4181	-287.4181	262.3819	-287.4181
3	266.3948	266.3948	-207.7114	-282.4020	-282.4020	-282.4020	266.3948	-282.4020
4	266.8407	266.8407	-209.7659	-284.4564	-284.4564	-284.4564	266.8407	-284.4564
5	263.7195	263.7195	-218.8908	-293.5814	-293.5814	-293.5814	263.7195	-293.5814
6	257.0313	257.0313	-235.0864	-309.7769	-309.7769	-309.7769	257.0313	-309.7769
7	246.7761	246.7761	-258.3525	-333.0430	-333.0430	-333.0430	246.7761	-333.0430
8	232.9538	232.9538	-288.6892	-363.3797	-363.3797	-363.3797	232.9538	-363.3797
9	215.5645	215.5645	-326.0964	-400.7870	-400.7870	-400.7870	215.5645	-400.7870
10	194.6081	194.6081	-370.5743	-445.2648	-445.2648	-445.2648	194.6081	-445.2648
11	170.0847	170.0847	-422.1226	-496.8132	-496.8132	-496.8132	170.0847	-496.8132
12	141.9942	141.9942	-480.7416	-555.4321	-555.4321	-555.4321	141.9942	-555.4321
13	110.3367	110.3367	-546.4311	-621.1216	-621.1216	-621.1216	110.3367	-621.1216
13	110.3367	110.3367	-546.4311	-621.1216	-621.1216	-621.1216	110.3367	-621.1216

Tumpuan

Tumpuan
Tumpuan

Titik	e bawah			e atas			a asli	
	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e bawah	e atas
14	151.3577	151.3577	-457.2843	-531.9748			151.3577	-531.9748
15	188.8116	188.8116	-375.2080	-449.8986			188.8116	-449.8986
16	222.6986	222.6986	-300.2024	-374.8929			222.6986	-374.8929
17	253.0184	253.0184	-232.2672	-306.9578			253.0184	-306.9578
18	279.7712	279.7712	-171.4027	-246.0932			279.7712	-246.0932
19	302.9570	302.9570	-117.6087	-192.2992			302.9570	-192.2992
20	322.5758	322.5758	-70.8853	-145.5758			322.5758	-145.5758
21	338.6274	338.6274	-31.2325	-105.9230			338.6274	-105.9230
22	351.1121	351.1121	1.3498	-73.3407			351.1121	-73.3407
23	360.0297	360.0297	26.8615	-47.8290			360.0297	-47.8290
24	365.3803	365.3803	45.3027	-29.3879			365.3803	-29.3879
25	367.1638	367.1638	56.6732	-18.0173			367.1638	-18.0173

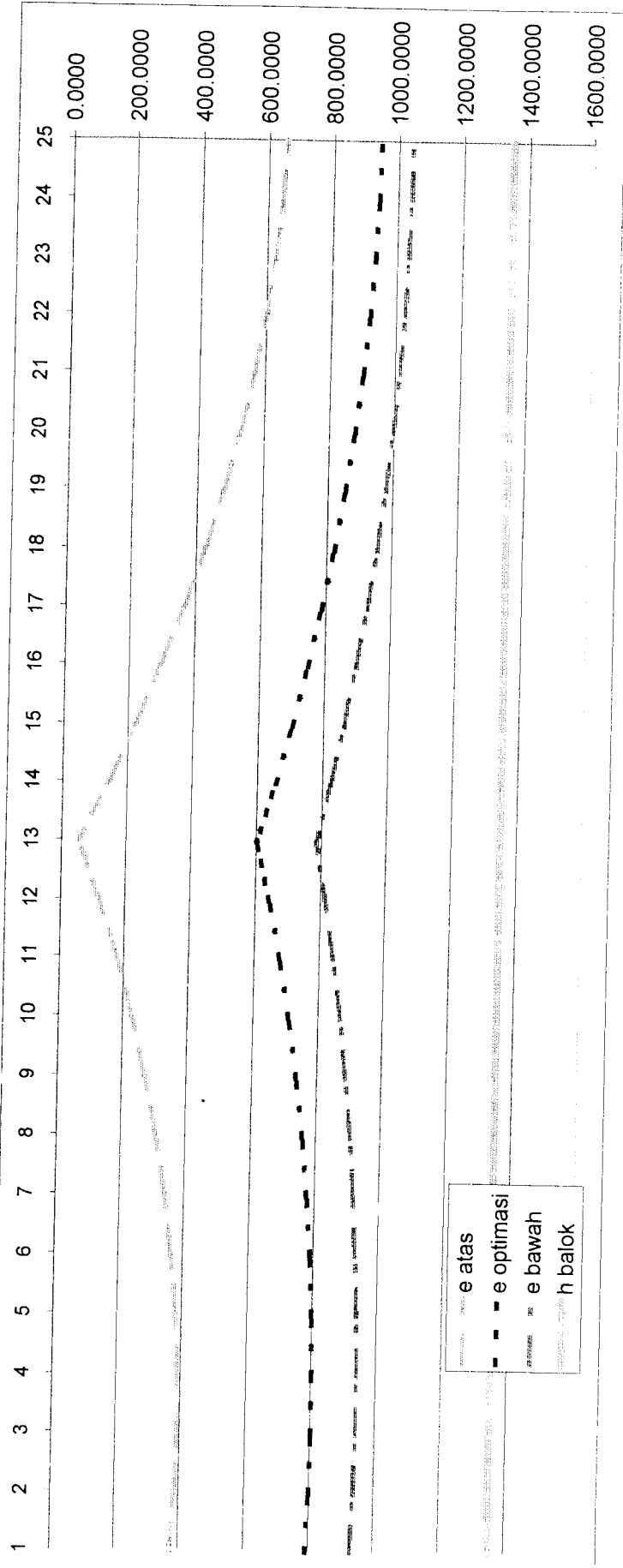
Tengah

faktor kali =		0.75
	Selisih	Optimasi
	554.3068	415.7301
	549.8000	412.3500
	548.7968	411.5976
	551.2971	413.4728
	557.3009	417.9757
	566.8083	425.1062
	579.8191	434.8643
	596.3335	447.2501
	616.3514	462.2636
	639.8729	479.9047
	666.8978	500.1734
	697.4263	523.0697
	731.4583	548.5938
	731.4583	548.5938
	683.3325	512.4994
	638.7102	479.0327
	597.5914	448.1936
	559.9762	419.9821
	525.8645	394.3983

Titik	e aplikasi			Optimasi	
	e bawah	e atas	e tengah	e	
1	929.8019	375.4952	652.6485	791.2252	
2	937.3819	387.5819	662.4819	799.9319	
3	941.3948	392.5980	666.9964	804.1956	
4	941.8407	390.5436	666.1922	804.0164	
5	938.7195	381.4186	660.0691	799.3943	
6	932.0313	365.2231	648.6272	790.3293	
7	921.7761	341.9570	631.8665	776.8213	
8	907.9538	311.6203	609.7870	758.8704	
9	890.5645	274.2130	582.3888	736.4766	
10	869.6081	229.7352	549.6717	709.6399	
11	845.0847	178.1868	511.6358	678.3602	
12	816.9942	119.5679	468.2810	642.6376	
13	785.3367	53.8784	419.6075	602.4721	
13	785.3367	53.8784	419.6075	602.4721	
14	826.3577	143.0252	484.6914	655.5246	
15	863.8116	225.1014	544.4565	704.1341	
16	897.6986	300.1071	598.9028	748.3007	
17	928.0184	368.0422	648.0303	788.0244	
18	954.7712	428.9068	691.8390	823.3051	

Titik	e aplikasi			Optimasi e
	e bawah	e atas	e tengah	
19	977.9570	482.7008	730.3289	854.1429
20	997.5758	529.4242	763.5000	880.5379
21	1013.6274	569.0770	791.3522	902.4898
22	1026.1121	601.6593	813.8857	919.9989
23	1035.0297	627.1710	831.1004	933.0650
24	1040.3803	645.6121	842.9962	941.6882
25	1042.1638	656.9827	849.5733	945.8685

Selisih	Optimasi
495.2563	371.4422
468.1516	351.1137
444.5504	333.4128
424.4528	318.3396
407.8587	305.8940
394.7681	296.0761
385.1811	288.8858



b = 700 mm

d selubung = 170 mm

A sel = 22698.00692 mm²

Dipakai tendon = 55 buah

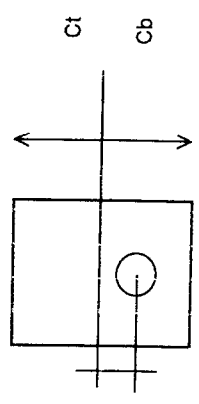
d tendon = 15 mm

Atendon = 9719.3023 mm²

A netto = 922,301.99 mm²

Lengan bawah balok = 675 mm

A brutto = 1,003,315.814 mm²



Titik	Leng. bwh		Luas leng. mm ²	Cb net	Ct net	e net mm	I netto		
	Sel						blk 1	blk 2	ten 1
1	558.7748		625,191,926.7	677.8603	672.1397	119.0856	143,521,875,000	7,731,466.56	-40,998,275
2	550.0681		625,389,550.4	678.0746	671.9254	128.0065	143,521,875,000	8,933,211.80	-40,998,275
3	545.8044		625,486,328.6	678.1795	671.8205	132.3752	143,521,875,000	9,553,369.94	-40,998,275
4	545.9836		625,482,261.3	678.1751	671.8249	132.1916	143,521,875,000	9,526,887.45	-40,998,275
5	550.6057		625,377,348.4	678.0614	671.9386	127.4557	143,521,875,000	8,856,498.35	-40,998,275
6	559.6707		625,171,590.0	677.8383	672.1617	118.1675	143,521,875,000	7,612,724.23	-40,998,275
7	573.1787		624,864,986.2	677.5058	672.4942	104.3272	143,521,875,000	5,933,874.22	-40,998,275
8	591.1296		624,457,536.8	677.0641	672.9359	85.9345	143,521,875,000	4,026,045.01	-40,998,275
9	613.5234		623,949,241.8	676.5129	673.4871	62.9896	143,521,875,000	2,163,120.85	-40,998,275
10	640.3601		623,340,101.4	675.8525	674.1475	35.4924	143,521,875,000	686,773.53	-40,998,275
11	671.6398		622,630,115.5	675.0827	674.9173	3.4429	143,521,875,000	6,462.41	-40,998,275
12	707.3624		621,819,284.0	674.2036	675.7964	-33.1588	143,521,875,000	599,434.40	-40,998,275
13	747.5279		620,907,607.0	673.2151	676.7849	-74.3128	143,521,875,000	3,010,723.97	-40,998,275
13	747.5279		620,907,607.0	673.2151	676.7849	-74.3128	143,521,875,000	3,010,723.97	-40,998,275
14	694.4754		622,111,791.8	674.5207	675.4793	-19.9547	143,521,875,000	217,087.69	-40,998,275
15	645.8659		623,215,131.1	675.7170	674.2830	29.8511	143,521,875,000	485,807.18	-40,998,275
16	601.6993		624,217,624.9	676.8039	673.1961	75.1046	143,521,875,000	3,075,226.54	-40,998,275
17	561.9756		625,119,273.2	677.7815	672.2185	115.8059	143,521,875,000	7,311,477.41	-40,998,275
18	526.6949		625,920,076.0	678.6498	671.3502	151.9549	143,521,875,000	12,588,478.98	-40,998,275
19	495.8571		626,620,033.2	679.4087	670.5913	183.5517	143,521,875,000	18,367,938.02	-40,998,275
20	469.4621		627,219,145.0	680.0583	669.9417	210.5962	143,521,875,000	24,179,348.81	-40,998,275
21	447.5102		627,717,411.2	680.5986	669.4014	233.0884	143,521,875,000	29,619,993.24	-40,998,275

Titik	Leng. bwh		Luas leng. mm ²	Cb net	Ct net	e net		I netto	
	Sel					mm		blk 1	blk 2
22	430.0011		628,114,831.9	681.0295	668.9705	251.0284	143,521,875,000	34,354,940.71	-40,998,275
23	416.9350		628,411,407.0	681.3510	668.6490	264.4160	143,521,875,000	38,117,048.20	-40,998,275
24	408.3118		628,607,136.7	681.5632	668.4368	273.2515	143,521,875,000	40,706,960.24	-40,998,275
25	404.1315		628,702,020.8	681.6661	668.3339	277.5346	143,521,875,000	41,993,108.90	-40,998,275

Titik	ten 2		Total
1	-32188874.5816		143,166,719,317.0
2	-371921868.8016		143,117,888,068.0
3	-397741291.7400		143,092,688,803.2
4	-396638729.9926		143,093,764,862.5
5	-368728010.8826		143,121,005,212.5
6	-316945202.4611		143,171,544,246.8
7	-247048613.5068		143,239,761,985.7
8	-167618793.5259		143,317,283,976.5
9	-90058532.7524		143,392,981,313.1
10	-28592862.1480		143,452,970,636.4
11	-269053.4019		143,480,614,134.0
12	-24956618.9309		143,456,519,540.5
13	-125347311.8796		143,358,540,137.1
13	-125347311.8796		143,358,540,137.1
14	-9038144.3831		143,472,055,668.3
15	-20225907.3882		143,461,136,624.8
16	-128032786.8165		143,355,919,164.7
17	-304403209.3172		143,183,784,993.1
18	-524103842.2669		142,969,361,361.7
19	-764723593.7702		142,734,521,069.2
20	-1006673612.6592		142,498,382,461.2
21	-1233187288.4936		142,277,309,429.7
22	-1430320251.5609		142,084,911,414.1
23	-1586950372.8760		141,932,043,400.3
24	-169477764.1816		141,826,805,921.1
25	-1748324777.9482		141,774,545,056.0

Titik	L. lengan		Cb brut		Ct brut		e brut		I brutto				
	mm3	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	blk 1	blk 2	ten 1	Total	
1	670,460,404,639	668,2446	681,7554	109,4699	143,521,875,000	43,125,098	698,836,470	144,263,836,568					
2	669,952,668,983	667,7386	682,2614	117,6705	143,521,875,000	49,828,274	807,460,544	144,379,163,818					
3	669,704,026,051	667,4908	682,5092	121,6864	143,521,875,000	53,287,434	863,515,773	144,438,678,206					
4	669,714,475,844	667,5012	682,4988	121,5176	143,521,875,000	53,139,718	861,122,057	144,436,136,775					
5	669,984,018,362	667,7698	682,2302	117,1641	143,521,875,000	49,400,376	800,526,523	144,371,801,899					
6	670,512,653,604	668,2967	681,7033	108,6260	143,521,875,000	42,462,769	688,103,516	144,252,441,285					
7	671,300,381,571	669,0818	680,9182	95,9031	143,521,875,000	33,098,365	536,354,507	144,091,327,973					
8	672,347,202,263	670,1252	679,8748	78,9956	143,521,875,000	22,456,746	363,908,588	143,908,240,335					
9	673,653,115,679	671,4268	678,5732	57,9034	143,521,875,000	12,065,602	195,521,474	143,729,462,076					
10	675,218,121,820	672,9866	677,0134	32,6265	143,521,875,000	3,830,732	62,076,500	143,587,782,232					
11	677,042,220,686	674,8047	675,1953	3,1649	143,521,875,000	36,046	584,128	143,522,495,175					
12	679,125,412,276	676,8810	673,1190	-30,4814	143,521,875,000	3,343,566	54,182,039	143,579,400,605					
13	681,467,696,592	679,2155	670,7845	-68,3123	143,521,875,000	16,793,420	272,135,137	143,810,803,557					
13	681,467,696,592	679,2155	670,7845	-68,3123	143,521,875,000	16,793,420	272,135,137	143,810,803,557					
14	678,373,899,902	676,1320	673,8680	-18,3435	143,521,875,000	1,210,886	19,622,253	143,542,708,139					
15	675,539,195,936	673,3066	676,6934	27,4407	143,521,875,000	2,709,768	43,911,433	143,568,496,201					
16	672,963,584,696	670,7395	679,2605	69,0402	143,521,875,000	17,153,207	277,965,434	143,816,993,641					
17	670,647,066,180	668,4307	681,5693	106,4550	143,521,875,000	40,782,454	660,874,236	144,223,531,690					
18	668,589,640,389	666,3800	683,6200	139,6852	143,521,875,000	70,216,870	1,137,855,042	144,729,946,913					
19	666,791,307,322	664,5877	685,4123	168,7306	143,521,875,000	102,453,928	1,660,252,276	145,284,581,204					
20	665,252,066,980	663,0535	686,9465	193,5914	143,521,875,000	134,869,209	2,185,537,586	145,842,281,795					
21	663,971,919,363	661,7776	688,2224	214,2674	143,521,875,000	165,216,404	2,677,309,840	146,364,401,244					
22	662,950,864,470	660,7599	689,2401	230,7588	143,521,875,000	191,627,315	3,105,295,132	146,818,797,447					
23	662,188,902,303	660,0005	689,9995	243,0655	143,521,875,000	212,611,862	3,445,346,776	147,179,833,629					
24	661,686,032,859	659,4993	690,5007	251,1875	143,521,875,000	227,058,039	3,679,445,310	147,428,378,349					
25	661,442,256,141	659,2563	690,7437	255,1248	143,521,875,000	234,232,006	3,795,698,492	147,551,805,499					

KONTROL TEGANGAN BETON DAN TENDON

Tegangan saat transfer

Tegangan beton pada serat tarik
 $f_{ti} = \frac{-P_o + P_o.(e \text{ net}).(Ct \text{ net})}{Ac \text{ net}} - \frac{M_o.(Ct \text{ net})}{I \text{ net}}$ $\leq 0,25.\sqrt{f'_{ci}}$

Tegangan beton pada serat tekan
 $f_{ci} = \frac{-P_o - P_o.(e \text{ net}).(Cb \text{ net})}{Ac \text{ net}} - \frac{M_o.(Cb \text{ net})}{I \text{ net}}$ $\leq 0,6.f_{ci}$

Tegangan saat layan

Tegangan beton pada serat tarik
 $f_{ts} = \frac{-P_e - P_e.(e_s \text{ brut}).(Ct \text{ brut})}{Ac \text{ brut}} + \frac{M_t.(Ct \text{ brut})}{I_c \text{ brut}}$ $\leq 0,5.\sqrt{f'_{co}}$

Tegangan beton pada serat tekan
 $f_{cs} = \frac{-P_e + P_e.(e_s \text{ brut}).(Cb \text{ brut})}{Ac \text{ brut}} - \frac{M_t.(Cb \text{ brut})}{I_c \text{ brut}}$ $\leq 0,45.f_c$

Titik	f _{ti}	Saat transfer				
		0,25.√f' _{ci}	Cek	f _{ci}	0,6.f _{ci}	Cek
1	-6.2836	1.6771	Aman	-19.7195	27	Aman
2	-6.2081	1.6771	Aman	-19.7999	27	Aman
3	-6.1880	1.6771	Aman	-19.8224	27	Aman
4	-6.2234	1.6771	Aman	-19.7866	27	Aman
5	-6.3142	1.6771	Aman	-19.6926	27	Aman
6	-6.4604	1.6771	Aman	-19.5408	27	Aman
7	-6.6617	1.6771	Aman	-19.3315	27	Aman
8	-6.9177	1.6771	Aman	-19.0656	27	Aman
9	-7.2282	1.6771	Aman	-18.7438	27	Aman
10	-7.5927	1.6771	Aman	-18.3670	27	Aman
11	-8.0112	1.6771	Aman	-17.9362	27	Aman
12	-8.4836	1.6771	Aman	-17.4519	27	Aman
13	-9.0104	1.6771	Aman	-16.9148	27	Aman
14	-9.0104	1.6771	Aman	-16.9148	27	Aman
14	-8.2699	1.6771	Aman	-17.6696	27	Aman
15	-7.5832	1.6771	Aman	-18.3744	27	Aman
16	-6.9493	1.6771	Aman	-19.0291	27	Aman

Saat transfer						
Titik	fti	0.25.sqrt(fc)	Cek	fci	0.6.fc	Cek
17	-6.3676	1.6771	Aman	-19.6332	27	Aman
18	-5.8384	1.6771	Aman	-20.1854	27	Aman
19	-5.3619	1.6771	Aman	-20.6843	27	Aman
20	-4.9389	1.6771	Aman	-21.1285	27	Aman
21	-4.5704	1.6771	Aman	-21.5163	27	Aman
22	-4.2571	1.6771	Aman	-21.8462	27	Aman
23	-3.9999	1.6771	Aman	-22.1167	27	Aman
24	-3.7996	1.6771	Aman	-22.3267	27	Aman
25	-3.6566	1.6771	Aman	-22.4754	27	Aman

Saat layan						
Titik	fts	0.5.sqrt(fc)	Cek	fos	0.45.fc	Cek
1	-14.4923	3.3541	Aman	-4.6867	20.2500	Aman
2	-14.3163	3.3541	Aman	-4.8663	20.2500	Aman
3	-14.2708	3.3541	Aman	-4.9142	20.2500	Aman
4	-14.3561	3.3541	Aman	-4.8306	20.2500	Aman
5	-14.5722	3.3541	Aman	-4.6154	20.2500	Aman
6	-14.9188	3.3541	Aman	-4.2678	20.2500	Aman
7	-15.3956	3.3541	Aman	-3.7871	20.2500	Aman
8	-16.0013	3.3541	Aman	-3.1722	20.2500	Aman
9	-16.7343	3.3541	Aman	-2.4224	20.2500	Aman
10	-17.5914	3.3541	Aman	-1.5374	20.2500	Aman
11	-18.5680	3.3541	Aman	-0.5181	20.2500	Aman
12	-19.6574	3.3541	Aman	0.6330	20.2500	Aman
13	-20.8499	3.3541	Aman	1.9111	20.2500	Aman
14	-20.8499	3.3541	Aman	1.9111	20.2500	Aman
14	-19.1625	3.3541	Aman	0.1140	20.2500	Aman
15	-17.5638	3.3541	Aman	-1.5573	20.2500	Aman
16	-16.0700	3.3541	Aman	-3.0928	20.2500	Aman
17	-14.6931	3.3541	Aman	-4.4871	20.2500	Aman
18	-13.4411	3.3541	Aman	-5.7381	20.2500	Aman
19	-12.3188	3.3541	Aman	-6.8465	20.2500	Aman
20	-11.3287	3.3541	Aman	-7.8144	20.2500	Aman

Saat layan						
Titik	fs	0,5.sqrt(fc)	Cek	fos	0,45.fc	Cek
21	-10.4715	3.3541	Aman	-8.6452	20.2500	Aman
22	-9.7469	3.3541	Aman	-9.3425	20.2500	Aman
23	-9.1540	3.3541	Aman	-9.9100	20.2500	Aman
24	-8.6918	3.3541	Aman	-10.3510	20.2500	Aman
25	-8.3591	3.3541	Aman	-10.6679	20.2500	Aman

fsi = Po / Aps =

1231.0651

fse = Pe / Aps =

984.8520

fct transfer =

$-(Po / Anet) - (e \text{ net} / Cb \text{ net}) \cdot (Po \cdot e \text{ net} / Cb \text{ net} / I \text{ net}) +$

$(e \text{ net} / cb \text{ net}) \cdot (Mo \cdot Cb \text{ net} / I \text{ net})$

fct layan =

$-(Pe / Anet) - (e \text{ net} / Cb \text{ net}) \cdot (Pe \cdot e \text{ net} / Cb \text{ net} / I \text{ net}) +$

$(e \text{ net} / cb \text{ net}) \cdot (Mo \cdot Cb \text{ net} / I \text{ net}) + (e \text{ brut} / Cb \text{ brut}) \cdot (Mt \cdot Cb \text{ brut} / I \text{ brut})$

fs transfer =

fsi + n.fct transfer

fs layan =

fse + n.fct layan

Titik	fct transfer	fs transfer	fs trans-fsi	fct layan	fs layan	fs layan-fse
1	-14.1583	1131.9571	Aman	-11.3266	905.5657	Aman
2	-14.3430	1130.6643	Aman	-11.4744	904.5314	Aman
3	-14.4383	1129.9968	Aman	-11.5507	903.9974	Aman
4	-14.4343	1130.0253	Aman	-11.5474	904.0202	Aman
5	-14.3312	1130.7468	Aman	-11.4649	904.5975	Aman
6	-14.1400	1132.0848	Aman	-11.3120	905.6678	Aman
7	-13.8822	1133.8893	Aman	-11.1058	907.1114	Aman
8	-13.5896	1135.9378	Aman	-10.8717	908.7503	Aman
9	-13.3041	1137.9360	Aman	-10.6433	910.3488	Aman
10	-13.0781	1139.5180	Aman	-10.4625	911.6144	Aman
11	-12.9741	1140.2466	Aman	-10.3793	912.1973	Aman
12	-13.0648	1139.6116	Aman	-10.4518	911.6893	Aman
13	-13.4340	1137.0271	Aman	-10.7472	909.6217	Aman
13	-13.4340	1137.0271	Aman	-10.7472	909.6217	Aman
14	-13.0063	1140.0211	Aman	-10.4050	912.0169	Aman

Titik	fct transfer	fs transfer	fs trans<fsj	fct layan	fs layan	fs layan<fse
15	-13.0474	1139.7333	Aman	-10.4379	911.7866	Aman
16	-13.4439	1136.9579	Aman	-10.7551	909.5664	Aman
17	-14.0938	1132.4087	Aman	-11.2750	905.9270	Aman
18	-14.9055	1126.7266	Aman	-11.9244	901.3812	Aman
19	-15.7973	1120.4838	Aman	-12.6379	896.3870	Aman
20	-16.6971	1114.1857	Aman	-13.3576	891.3486	Aman
21	-17.5421	1108.2705	Aman	-14.0337	886.6164	Aman
22	-18.2796	1103.1076	Aman	-14.6237	882.4861	Aman
23	-18.8671	1098.9954	Aman	-15.0937	879.1964	Aman
24	-19.2722	1096.1594	Aman	-15.4178	876.9276	Aman
25	-19.4737	1094.7495	Aman	-15.5789	875.7996	Aman

Kapasitas layan struktur

kekuatan lentur penampang

$$r_p = A_{ps}/(b \cdot d)$$

$$f_c = 45 \text{ mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c - 30) = 0,73$$

$$f_{py} / f_{pu} = 0,85 \text{ sehingga } y_p = 0,4$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot (1 - (y_p \cdot r_p \cdot f_{pu}) / (B_1 \cdot f_c))$$

$$f_{ps} = 1107,6805$$

$$f_{se} = P_e / A_{ps} = 984,8520 \text{ mpa}$$

kontrol regangan

regangan baja akibat P_e

$$E_p = f_{py} / E_{py} = 153000$$

$$\epsilon_1 = f_{se} / E_p = f_{se} / (0,85 \cdot f_{pu} / E_{py}) = 0,0064$$

regangan baja akibat tata letak tendon

$$r^2 = I_{brut} / A_{brut}$$

$$\epsilon_2 = P_e \cdot (1 + (e \cdot s_{brut}^2 / r^2)) / (A_{brut} \cdot E_c)$$

$$P_e / (A_{brut} \cdot E_c) \cdot (1 + (e \cdot s_{brut}^2 / (I_{brut} / A_{brut})))$$

regangan baja pada keadaan beban batas

$$a = \frac{(Aps * fps)}{0.85 * f * c * b}$$

$$c = \frac{a}{B1}$$

$$\epsilon_3 = \frac{(d - c)}{c} * \epsilon_{cu}$$

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 < 0,01$$

Catatan : d = z

kapasitas momen tumpang

$$M_n = Aps * fps * (d - (0.5 * a))$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi}$$

Catatan : d = z

$M_n > M_n \text{ perlu}$ aman

Titik	rp	fps	e2	a	c	e3	etot	ket
1	0.0175	1107.6805	0.00033	402.0871	550.8042	0.00131	0.00807	etot < 0,01
2	0.0174	1115.2159	0.00033	404.8224	554.5513	0.00133	0.00810	etot < 0,01
3	0.0173	1118.8465	0.00033	406.1403	556.3566	0.00134	0.00811	etot < 0,01
4	0.0173	1118.6947	0.00033	406.0852	556.2811	0.00134	0.00811	etot < 0,01
5	0.0174	1114.7554	0.00033	404.6553	554.3223	0.00133	0.00809	etot < 0,01
6	0.0176	1106.8957	0.00033	401.8022	550.4140	0.00131	0.00807	etot < 0,01
7	0.0179	1094.8434	0.00032	397.4272	544.4209	0.00128	0.00804	etot < 0,01
8	0.0183	1078.1631	0.00032	391.3723	536.1264	0.00125	0.00800	etot < 0,01
9	0.0189	1056.2145	0.00031	383.4050	525.2123	0.00121	0.00795	etot < 0,01
10	0.0196	1028.0864	0.00030	373.1945	511.2254	0.00116	0.00791	etot < 0,01
11	0.0205	992.4930	0.00030	360.2741	493.5262	0.00112	0.00786	etot < 0,01
12	0.0216	947.6057	0.00030	343.9801	471.2056	0.00109	0.00783	etot < 0,01
13	0.0230	890.7784	0.00031	323.3518	442.9477	0.00108	0.00783	etot < 0,01
13	0.0230	890.7784	0.00031	323.3518	442.9477	0.00108	0.00783	etot < 0,01
14	0.0212	964.3629	0.00030	350.0629	479.5382	0.00110	0.00784	etot < 0,01
15	0.0197	1022.0507	0.00030	371.0035	508.2240	0.00116	0.00790	etot < 0,01
16	0.0186	1067.9672	0.00031	387.6712	531.0564	0.00123	0.00798	etot < 0,01
17	0.0176	1104.8684	0.00033	401.0663	549.4059	0.00130	0.00807	etot < 0,01
18	0.0169	1134.6566	0.00034	411.8794	564.2183	0.00138	0.00816	etot < 0,01
19	0.0163	1158.6780	0.00036	420.5991	576.1632	0.00145	0.00825	etot < 0,01

Titik	rp	fps	e2	a	c	e3	etot	ket
20	0.0158	1177.9022	0.00038	427.5775	585.7226	0.00151	0.00833	etot < 0,01
21	0.0154	1193.0340	0.00040	433.0703	593.2470	0.00156	0.00840	etot < 0,01
22	0.0151	1204.5855	0.00041	437.2635	598.9911	0.00161	0.00846	etot < 0,01
23	0.0149	1212.9234	0.00042	440.2902	603.1372	0.00164	0.00850	etot < 0,01
24	0.0147	1218.2994	0.00043	442.2416	605.8105	0.00166	0.00853	etot < 0,01
25	0.0147	1220.8702	0.00044	443.1748	607.0888	0.00167	0.00855	etot < 0,01

Titik	Mn	Mn perlu	Mn > Mnperlu
1	6353826452	0	Aman
2	6476598693	144618750	Aman
3	6536883282	204637500	Aman
4	6534347560	180056250	Aman
5	6469005408	70875000	Aman
6	6341217896	-122906250	Aman
7	6151710080	-401287500	Aman
8	5901604313	-764268750	Aman
9	5592470248	-1211850000	Aman
10	5226389836	-1744031250	Aman
11	4806029599	-2360812500	Aman
12	4334695588	-3062193750	Aman
13	3816301162	-3848175000	Tak Aman
13	3816301162	-3848175000	Tak Aman
14	4503630515	-2781525000	Aman
15	5151896201	-1799475000	Aman
16	5755290145	-902025000	Aman
17	6308803860	-89175000	Aman
18	6808349428	639075000	Aman
19	7250669275	1282725000	Aman
20	7633202267	1841775000	Aman
21	7953958662	2316225000	Aman
22	8211417682	2706075000	Aman
23	8404448660	3011325000	Aman

Titik	8211417682	2706075000	Aman
24	8532253067	3231975000	Aman
25	8594324243	3368025000	Aman

Lampiran 4

A. Input data Sap 90 untuk balok prismatis

1. Balok prismatis bentangan 48 m dengan beban hidup. (File : COBA48H)

BALOK PRISMATIS (48 m) UNTUK BEBAN HIDUP (70x110), SATUAN : KN, M

SYSTEM

L=1

JOINTS

1 X=0 Y=0 Z=0
5 X=48 G=1,5,1

RESTRAINTS

1 5 4 R=0,1,1,1,0,1 :SENDI ROL
2 4 2 R=1,1,1,1,0,1 :SENDI

FRAME

NM=1 NL=1 NSEC=13 z=-1,0
C ...PROPERTIES POTONGAN
1 SH=R T=1.10,0.7 E=3.1528e7
C ...BEBAN MERATA
1 WG=0,0,-23.375
C ...ELEMEN BALOK
1 1 2 M=1 NSL=1 LP=-2,0
2 2 3 M=1 NSL=1 LP=-2,0
3 3 4 M=1 NSL=1 LP=-2,0
4 4 5 M=1 NSL=1 LP=-2,0

LOADS

3 F=0,0,-152.4324 :BEBAN TITIK

2. Balok prismatis bentangan 48 m dengan beban mati. (File : COBA48M)

BALOK PRISMATIS (48 m) UNTUK BEBAN MATI (70x110), SATUAN : KN, M

SYSTEM

L=1

JOINTS

1 X=0 Y=0 Z=0
5 X=48 G=1,5,1

RESTRAINTS

1 5 4 R=0,1,1,1,0,1 :SENDI ROL
2 4 2 R=1,1,1,1,0,1 :SENDI

FRAME

NM=1 NL=1 NSEC=13 z=-1,0
C ...PROPERTIES POTONGAN + BERAT BALOK
1 SH=R T=1.10,0.7 w=1.10*0.7*24 E=3.1528e7
C ...BEBAN MERATA
1 WG=0,0,-19.25
C ...ELEMEN BALOK

1	1	2	M=1	NSL=1	LP=-2,0
2	2	3	M=1	NSL=1	LP=-2,0
3	3	4	M=1	NSL=1	LP=-2,0
4	4	5	M=1	NSL=1	LP=-2,0

B. Input data Sap 90 untuk balok nonprismatis

1. Balok nonprismatis bentangan 48 m dengan beban hidup. (File : COBA48HN)

```

BALOK NONPRISMATIS (48 m) UNTUK BEBAN HIDUP, SATUAN : KN, M

SYSTEM
L=1

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
5      X=48                                G=1,5,1

RESTRAINTS
1      5      4      R=0,1,1,1,0,1      :SENDI ROL
2      4      2      R=1,1,1,1,0,1      :SENDI

FRAME
NM=3      NL=1      NSEC=13      z=-1,0
C ...PROPERTIES POTONGAN
1      SH=R      T=0.8,0.7      E=3.1528e7      : Penampang A dan E
2      SH=R      T=1.335,0.7      E=3.1528e7      : Penampang B dan D
3      SH=R      T=1.235,0.7      E=3.1528e7      : Penampang C
C ...BEBAN MERATA
1      WG=0,0,-23.375
C ...ELEMEN BALOK
1      1      2      M=1,2,1 NSL=1      LP=-2,0
2      2      3      M=2,3,1 NSL=1      LP=-2,0
3      3      4      M=3,2,1 NSL=1      LP=-2,0
4      4      5      M=2,1,1 NSL=1      LP=-2,0

LOADS
3      F=0,0,-152.4324      : Beban TITIK

```

2. Balok nonprismatis bentangan 48 m dengan beban mati. (File : COBA48MN)

```

BALOK NONPRISMATIS (48 m) UNTUK BEBAN MATI, SATUAN : KN, M

SYSTEM
L=1

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
5      X=48                                G=1,5,1

RESTRAINTS
1      5      4      R=0,1,1,1,0,1      :SENDI ROL
2      4      2      R=1,1,1,1,0,1      :SENDI

FRAME

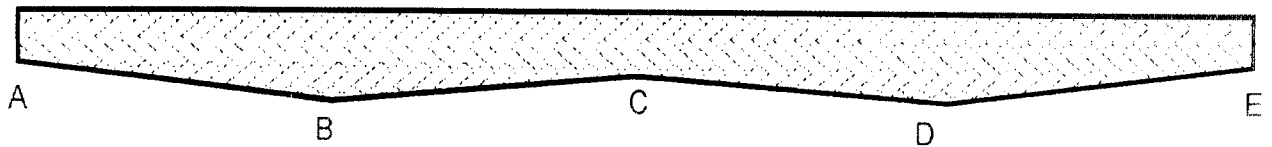
```

```

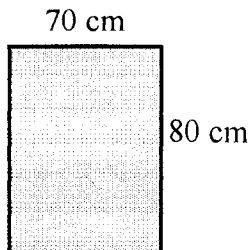
NM=3      NL=1      NSEC=13      z=-1,0
C ...PROPERTIES POTONGAN + BERAT BALOK
1  SH=R      T=0.8,0.7      W=0.8*0.7*24      E=3.1528e7      : Penampang
A dan E
2  SH=R      T=1.335,0.7      W=1.335*0.7*24      E=3.1528e7      : Penampang
B dan D
3  SH=R      T=1.235,0.7      W=1.235*0.7*24      E=3.1528e7      : Penampang
C
C ...BEBAN MERATA
1      WG=0,0,-19.25
C ...ELEMEN BALOK
1      1      2      M=1,2,1 NSL=1      LP=-2,0
2      2      3      M=2,3,1 NSL=1      LP=-2,0
3      3      4      M=3,2,1 NSL=1      LP=-2,0
4      4      5      M=2,1,1 NSL=1      LP=-2,0

```

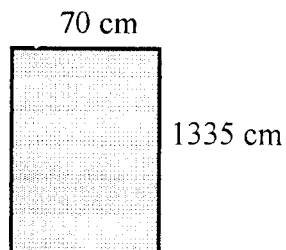
Propertis Penampang:



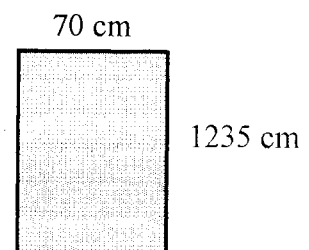
Penampang A dan E

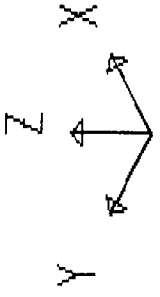


Penampang B dan D



Penampang C

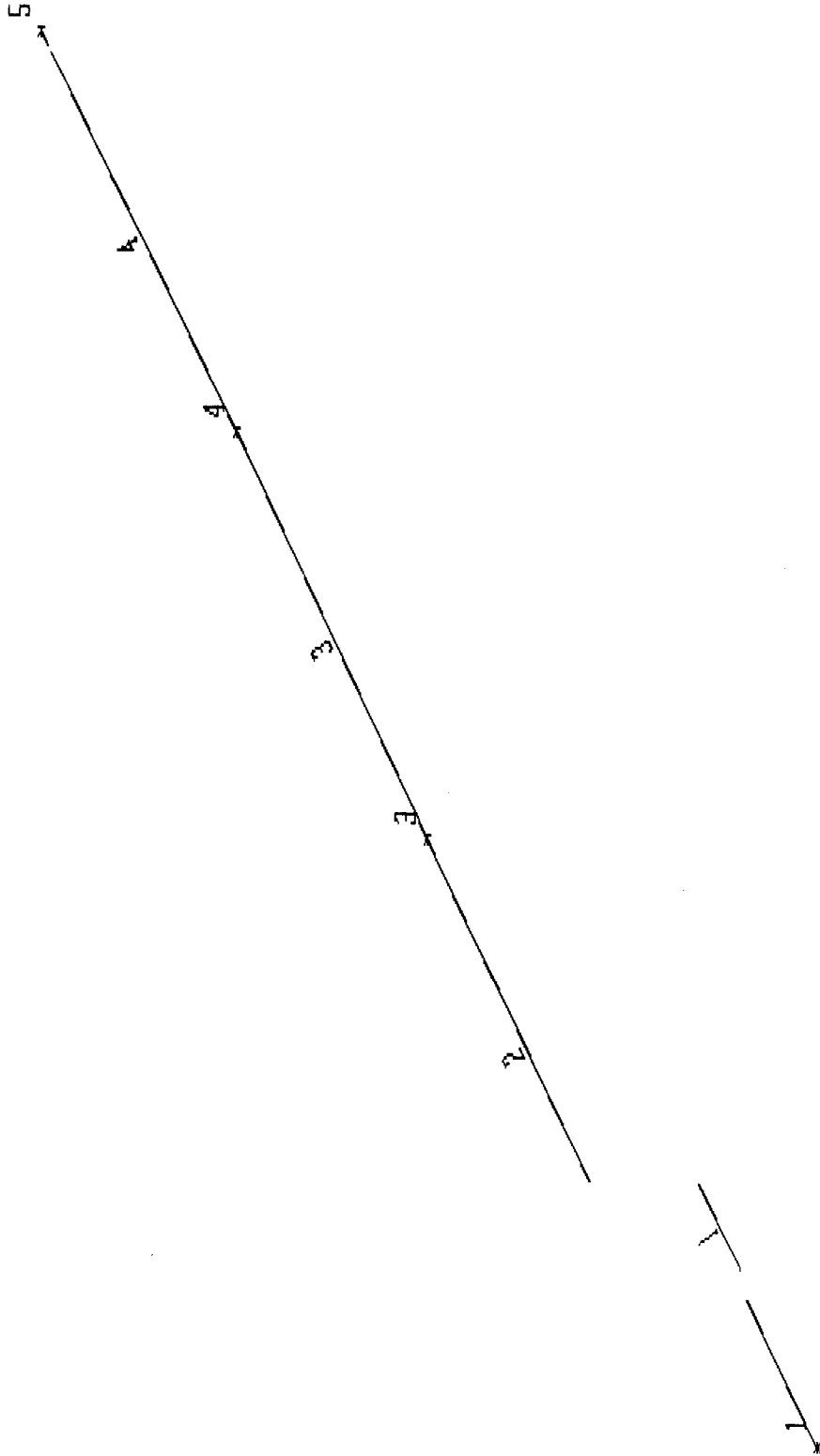


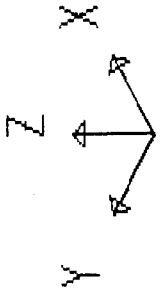


COBA48HN
UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS
JOINT IDS
ALL JOINTS
ELEMENT IDS
WIRE FRAME

SAP90





coba48hn

FRAME
LOADS

LOAD 1

MINIMA

w -.2338E+02

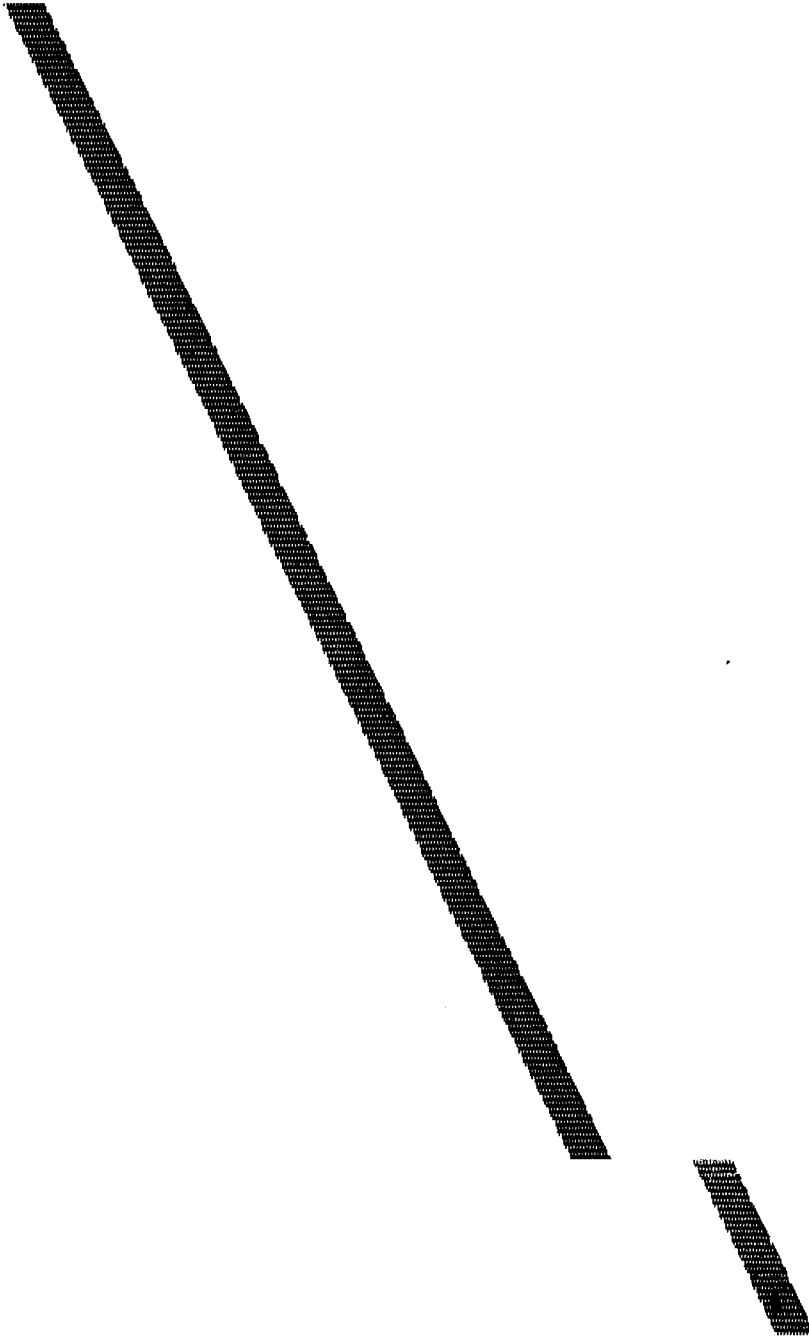
P .0000E+00

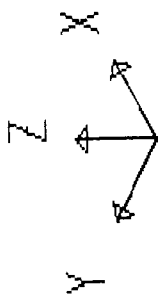
MAXIMA

w -.2338E+02

P .0000E+00

SAP90





coba48hn
JOINT
LOADS
LOAD I

MINIMA
P -.1524E+03
MAXIMA
P -.1524E+03

SAP90

LAMPIRAN 5

Dibawah ini adalah data-data yang menjadi dasar sebagai patokan untuk menentukan rumus optimasi dari tata letak tendon yang digunakan.

DATA 1

Pada data 1 digunakan rumus sebagai berikut

Pada bentang tepi:

$$e_{on} = e_{an} + \left((e_{an} - e_{bn}) * \left(((n - 1) * a) + b \right) \right)$$

Keterangan:

e_{on} = eksentrisitas tendon optimasi

e_{an} = batas atas tendon

e_{bn} = batas bawah tendon

n = nodal = 1, 2, 3, ... 13

a = konstanta = 0.00015

b = konstanta = 0.8025

Pada bentang tengah:

$$e_{on} = e_{an} + \left((e_{an} - e_{bn}) * \left(((n - 1) * a) + b \right) \right)$$

Keterangan:

n = nodal = 14, 15, 16, ... 25

a = konstanta = 0.00455

b = konstanta = 0.8403

TABEL 1.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 48M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan
	Mm	Standard		(%)
1	433,0354	1.417.366.317	1.746.842.884	23,25
2	469,9607	1.780.765.228	2.187.804.460	22,86
3	503,8686	2.083.784.853	2.594.595.514	24,51
4	534,6887	2.329.509.911	2.969.256.093	27,46
5	562,3516	2.517.667.409	3.310.843.109	31,50
6	586,7882	2.646.839.686	3.617.248.075	36,66
7	607,9301	2.715.422.199	3.886.014.979	43,11
8	625,7078	2.722.021.406	4.114.680.108	51,16

Lanjutan TABEL 1.1

9	640,0510	2.665.645.403	4.300.938.912	61,35
10	650,8917	2.545.775.359	4.442.753.354	74,51
11	655,2316	2.340.377.989	4.499.776.764	92,27
12	646,2669	1.999.491.935	4.382.145.044	119,16
13	632,7239	1.585.365.726	4.205.593.752	165,28
13	632,7239	1.585.365.726	4.205.593.752	165,28
14	683,6277	2.364.929.417	4.876.328.220	106,19
15	729,5433	3.087.511.567	5.497.427.100	78,05
16	770,5319	3.762.569.962	6.063.852.492	61,16
17	806,6585	4.386.496.286	6.571.753.283	49,82
18	837,9847	4.953.142.305	7.018.266.422	41,69
19	864,5753	5.456.767.124	7.401.439.930	35,64
20	886,4935	5.892.655.038	7.719.995.861	31,01
21	903,8004	6.257.114.616	7.973.180.633	27,43
22	916,5609	6.547.465.444	8.160.753.851	24,64
23	915,1410	6.305.076.445	8.139.844.538	29,10
24	919,0117	6.426.852.488	8.196.865.197	27,54
25	918,5456	6.471.843.905	8.189.995.072	26,55

TABEL 1.2 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 60M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	506,9612	2.596.066.348	3.011.797.584	16,01
2	543,4462	3.100.871.259	3.606.098.054	16,29
3	576,0153	3.515.016.549	4.141.007.831	17,81
4	604,5545	3.838.429.046	4.615.591.100	20,25
5	628,9485	4.068.408.306	5.026.499.486	23,55
6	649,0831	4.201.686.903	5.369.623.688	27,80
7	664,8435	4.235.254.975	5.640.798.046	33,19
8	676,1157	4.166.793.415	5.836.167.008	40,06
9	682,7848	3.994.756.769	5.952.314.396	49,00
10	684,7369	3.718.287.647	5.986.389.993	61,00
11	681,8574	3.336.642.034	5.936.138.755	77,91
12	674,0313	2.847.600.223	5.799.950.449	103,68
13	661,1448	2.243.181.988	6.198.096.444	176,31
13	696,8192	2.243.181.988	6.198.096.444	176,31
14	800,8052	4.315.185.203	8.075.279.152	87,14
15	889,2010	5.854.399.800	9.742.628.571	66,42
16	946,6561	7.068.744.193	10.857.148.305	53,59
17	996,1402	8.175.533.918	11.834.253.335	44,75
18	1039,6386	9.181.739.335	12.705.102.040	38,37
19	1077,2178	10.076.715.934	13.465.704.829	33,63
20	1108,9438	10.852.291.848	14.113.378.943	30,05
21	1134,8833	11.502.365.135	14.646.465.455	27,33
22	1155,1026	12.022.476.158	15.064.098.198	25,30
23	1169,6689	12.409.509.076	15.366.065.829	23,82
24	1166,9280	11.856.043.024	15.309.175.991	29,13
25	1170,6433	11.962.623.729	15.386.295.831	28,62

TABEL 1.3 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 80M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	699,7957	6.763.546.732	7.954.112.589	17,60
2	737,9203	7.731.356.814	9.074.727.452	17,38
3	770,3094	8.485.854.105	10.034.628.000	18,25
4	796,7807	9.022.014.126	10.826.453.406	20,00
5	817,1507	9.332.281.669	11.440.896.424	22,59
6	831,2367	9.409.163.913	11.868.577.175	26,14
7	838,8562	9.246.324.163	12.100.899.297	30,87
8	839,8257	8.838.888.725	12.130.509.962	37,24
9	833,9629	8.183.083.317	11.951.619.003	46,05
10	821,0850	7.274.365.593	11.560.116.982	58,92
11	801,0089	6.102.326.868	10.953.613.266	79,50
12	773,5521	4.636.882.513	10.131.244.921	118,49
13	738,5318	2.788.994.476	9.092.770.990	226,02
13	771,0950	2.788.994.476	9.092.770.990	226,02
14	900,5890	7.459.623.558	14.009.562.637	87,81
15	1022,2066	11.091.178.831	17.909.632.649	61,48
16	1136,0420	14.581.036.253	21.718.920.121	48,95
17	1242,1892	17.920.412.037	25.392.648.667	41,70
18	1340,7424	21.067.368.652	28.894.457.890	37,15
19	1422,2861	23.783.467.033	31.849.498.907	33,91
20	1493,7739	26.173.943.505	34.478.074.543	31,73
21	1532,8331	27.756.543.881	35.927.903.901	29,44
22	1561,6000	28.971.571.914	37.001.456.688	27,72
23	1582,3715	29.857.130.133	37.779.544.041	26,53
24	1595,2262	30.408.437.929	38.262.258.613	25,83
25	1600,2417	30.622.924.958	38.450.839.792	25,56

DATA 2

Pada data 2 digunakan rumus sebagai berikut

Pada bentang tepi:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

e_{on} = eksentrisitas tendon optimasi

e_{on} = batas atas tendon

e_{on} = batas bawah tendon

n = nodal = 1, 2, 3, ... 13

a = konstanta = 0.00115

b = konstanta = 0.8025

Pada bentang tengah:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

n = nodal = 14, 15, 16, ... 25

a = konstanta = 0.00555

b = konstanta = 0.8403

TABEL 2.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 48M

Titik	e Optimasi		Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard			
1	433,0354	1.417.366.317	1.746.842.884	23,25	
2	470,0733	1.780.765.228	2.189.149.855	22,93	
3	504,1501	2.083.784.853	2.597.993.206	24,68	
4	535,2123	2.329.509.911	2.975.672.608	27,74	
5	563,2076	2.517.667.409	3.321.501.149	31,93	
6	588,0840	2.646.839.686	3.633.623.068	37,28	
7	609,7904	2.715.422.199	3.909.829.530	43,99	
8	628,2745	2.722.021.406	4.147.895.702	52,38	
9	643,4834	2.665.645.403	4.345.744.297	63,03	
10	655,3664	2.545.775.359	4.501.549.228	76,82	
11	660,9064	2.340.377.989	4.574.550.786	95,46	
12	653,2140	1.999.491.935	4.473.248.740	123,72	
13	641,1284	1.585.365.726	4.314.992.697	172,18	

Lanjutan TABEL 2.1

13	641,1284	1.585.365.726	4.314.992.697	172,18
14	691,9981	2.364.929.417	4.988.448.032	110,93
15	738,9998	3.087.511.567	5.627.138.194	82,25
16	780,8269	3.762.569.962	6.207.790.276	64,99
17	817,5772	4.386.496.286	6.726.763.440	53,35
18	849,3452	4.953.142.305	7.181.519.628	44,99
19	876,2283	5.456.767.124	7.570.506.216	38,74
20	898,3225	5.892.655.038	7.892.890.116	33,94
21	915,7215	6.257.114.616	8.148.391.744	30,23
22	928,5228	6.547.465.444	8.337.259.206	27,34
23	929,7072	6.305.076.445	8.354.770.732	32,51
24	933,8896	6.426.852.488	8.416.655.756	30,96
25	933,7914	6.471.843.905	8.415.202.035	30,03

TABEL 2.2 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 60M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	506,9612	2.596.066.348	3.011.797.584	16,01
2	543,5487	3.100.871.259	3.607.772.152	16,35
3	576,2672	3.515.016.549	4.145.171.412	17,93
4	605,0191	3.838.429.046	4.623.370.008	20,45
5	629,7051	4.068.408.306	5.039.326.898	23,86
6	650,2274	4.201.686.903	5.389.234.322	28,26
7	666,4875	4.235.254.975	5.669.217.693	33,86
8	678,3881	4.166.793.415	5.875.695.741	41,01
9	685,8309	3.994.756.769	6.005.502.877	50,33
10	688,7187	3.718.287.647	6.056.008.034	62,87
11	686,9539	3.336.642.034	6.025.134.925	80,57
12	680,4384	2.847.600.223	5.911.402.447	107,59
13	669,0755	2.243.181.988	6.346.907.372	182,94
13	705,2658	2.243.181.988	6.346.907.372	182,94
14	809,8242	4.315.185.203	8.242.551.900	91,01
15	900,0261	5.854.399.800	9.950.871.496	69,97
16	958,6637	7.068.744.193	11.092.849.929	56,93
17	1009,0963	8.175.533.918	12.092.517.325	47,91
18	1053,3840	9.181.739.335	12.982.455.033	41,39
19	1091,6290	10.076.715.934	13.759.297.408	36,55
20	1123,9330	10.852.291.848	14.421.046.235	32,88
21	1150,3980	11.502.365.135	14.966.762.848	30,12
22	1171,1260	12.022.476.158	15.396.320.067	28,06
23	1186,2196	12.409.509.076	15.710.250.464	26,60
24	1187,5201	11.856.043.024	15.737.341.475	32,74
25	1192,1830	11.962.623.729	15.834.539.178	32,37

TABEL 2.3 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 80M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	699,7957	6.763.546.732	7.954.112.589	17,60
2	738,0714	7.731.356.814	9.079.185.584	17,43
3	770,6555	8.485.854.105	10.044.933.760	18,37
4	797,3813	9.022.014.126	10.844.503.088	20,20
5	818,0812	9.332.281.669	11.469.077.659	22,90
6	832,5887	9.409.163.913	11.909.749.537	26,58
7	840,7373	9.246.324.163	12.158.364.985	31,49
8	842,3601	8.838.888.725	12.207.972.634	38,12
9	837,2914	8.183.083.317	12.053.130.288	47,29
10	825,3650	7.274.365.593	11.690.016.371	60,70
11	806,4148	6.102.326.868	11.116.477.994	82,17
12	780,2754	4.636.882.513	10.331.896.999	122,82
13	746,7813	2.788.994.476	9.336.471.455	234,76
13	779,7833	2.788.994.476	9.336.471.455	234,76
14	909,7513	7.459.623.558	14.296.926.503	91,66
15	1033,2663	11.091.178.831	18.273.268.830	64,75
16	1149,0253	14.581.036.253	22.162.311.086	51,99
17	1257,1734	17.920.412.037	25.919.749.283	44,64
18	1357,8555	21.067.368.652	29.510.530.089	40,08
19	1441,3868	23.783.467.033	32.548.520.198	36,85
20	1514,9288	26.173.943.505	35.262.175.433	34,72
21	1555,1739	27.756.543.881	36.761.230.143	32,44
22	1585,0391	28.971.571.914	37.879.639.821	30,75
23	1606,9473	29.857.130.133	38.703.180.244	29,63
24	1621,0175	30.408.437.929	39.233.426.421	29,02
25	1627,3675	30.622.924.958	39.473.069.208	28,90

DATA 3

Pada data 3 digunakan rumus sebagai berikut

Pada bentang tepi:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

e_{on} = eksentrisitas tendon optimasi

e_{an} = batas atas tendon

e_{bn} = batas bawah tendon

n = nodal = 1, 2, 3, ... 13

a = konstanta = 0.00215

b = konstanta = 0.8025

Pada bentang tengah:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

n = nodal = 14, 15, 16, ... 25

a = konstanta = 0.00655

b = konstanta = 0.8403

TABEL 3.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 48M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan
	Mm	Standard		(%)
1	433,0354	1.417.366.317	1.746.842.884	23,25
2	470,2986	1.780.765.228	2.191.840.718	23,08
3	504,7132	2.083.784.853	2.604.789.811	25,00
4	536,2596	2.329.509.911	2.988.511.132	28,29
5	564,9197	2.517.667.409	3.342.833.461	32,78
6	590,6758	2.646.839.686	3.666.411.633	38,52
7	613,5111	2.715.422.199	3.957.538.722	45,74
8	633,4080	2.722.021.406	4.214.478.428	54,83
9	650,3482	2.665.645.403	4.435.622.984	66,40
10	664,3158	2.545.775.359	4.619.590.792	81,46
11	672,2559	2.340.377.989	4.724.817.348	101,88
12	667,1081	1.999.491.935	4.656.541.796	132,89
13	657,9373	1.585.365.726	4.535.397.549	186,08

Lanjutan TABEL 3.1

13	657,9373	1.585.365.726	4.535.397.549	186,08
14	708,7387	2.364.929.417	5.214.182.992	120,48
15	754,3666	3.087.511.567	5.839.171.026	89,12
16	794,9148	3.762.569.962	6.405.797.746	70,25
17	830,4812	4.386.496.286	6.910.820.329	57,55
18	861,1601	4.953.142.305	7.352.021.844	48,43
19	887,0490	5.456.767.124	7.728.099.104	41,62
20	908,2436	5.892.655.038	8.038.408.235	36,41
21	924,8376	6.257.114.616	8.282.813.338	32,37
22	936,9285	6.547.465.444	8.461.669.210	29,24
23	939,1753	6.305.076.445	8.494.975.243	34,73
24	942,8855	6.426.852.488	8.550.023.330	33,04
25	942,4086	6.471.843.905	8.542.944.196	32,00

TABEL 3.2 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 60M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	506,9612	2.596.066.348	3.011.797.584	16,01
2	543,6512	3.100.871.259	3.609.446.295	16,40
3	576,5192	3.515.016.549	4.149.335.431	18,05
4	605,4837	3.838.429.046	4.631.150.696	20,65
5	630,4617	4.068.408.306	5.052.159.409	24,18
6	651,3716	4.201.686.903	5.408.857.014	28,73
7	668,1315	4.235.254.975	5.697.662.554	34,53
8	680,6605	4.166.793.415	5.915.272.826	41,96
9	688,8769	3.994.756.769	6.058.778.265	51,67
10	692,7005	3.718.287.647	6.125.774.539	64,75
11	692,0504	3.336.642.034	6.114.374.356	83,25
12	686,8455	2.847.600.223	6.023.238.902	111,52
13	677,0062	2.243.181.988	6.496.382.878	189,61
13	713,7124	2.243.181.988	6.496.382.878	189,61
14	818,8433	4.315.185.203	8.410.497.158	94,90
15	908,1450	5.854.399.800	10.107.597.827	72,65
16	965,6155	7.068.744.193	11.229.726.516	58,86
17	1014,9854	8.175.533.918	12.210.229.418	49,35
18	1058,3324	9.181.739.335	13.082.546.555	42,48
19	1095,7465	10.076.715.934	13.843.368.344	37,38
20	1127,3176	10.852.291.848	14.490.663.087	33,53
21	1153,1358	11.502.365.135	15.023.395.674	30,61
22	1173,2913	12.022.476.158	15.441.298.120	28,44
23	1187,8747	12.409.509.076	15.744.730.832	26,88
24	1188,9567	11.856.043.024	15.767.278.520	32,99
25	1193,1195	11.962.623.729	15.854.070.934	32,53

TABEL 3.3 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 80M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	699,7957	6.763.546.732	7.954.112.589	17,60
2	738,2225	7.731.356.814	9.083.643.881	17,49
3	771,0015	8.485.854.105	10.055.240.666	18,49
4	797,9819	9.022.014.126	10.862.556.694	20,40
5	819,0117	9.332.281.669	11.497.268.922	23,20
6	833,9407	9.409.163.913	11.950.943.732	27,01
7	842,6185	9.246.324.163	12.215.873.529	32,12
8	844,8946	8.838.888.725	12.285.513.286	38,99
9	840,6199	8.183.083.317	12.154.774.997	48,54
10	829,6450	7.274.365.593	11.820.131.447	62,49
11	811,8207	6.102.326.868	11.279.670.375	84,84
12	786,9987	4.636.882.513	10.533.005.721	127,16
13	755,0308	2.788.994.476	9.580.711.738	243,52
13	788,4716	2.788.994.476	9.580.711.738	243,52
14	918,9135	7.459.623.558	14.585.354.170	95,52
15	1041,5610	11.091.178.831	18.546.939.758	67,22
16	1156,5419	14.581.036.253	22.419.799.933	53,76
17	1263,9843	17.920.412.037	26.159.994.536	45,98
18	1364,0162	21.067.368.652	29.732.862.333	41,13
19	1446,8441	23.783.467.033	32.748.692.977	37,70
20	1519,7057	26.173.943.505	35.439.606.809	35,40
21	1559,1164	27.756.543.881	36.908.585.142	32,97
22	1588,2065	28.971.571.914	37.998.545.248	31,16
23	1609,4049	29.857.130.133	38.795.721.355	29,94
24	1622,8169	30.408.437.929	39.301.312.462	29,24
25	1628,5469	30.622.924.958	39.517.600.779	29,05

DATA 4

Pada data 4 digunakan rumus sebagai berikut

Pada bentang tepi:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

e_{on} = eksentrisitas tendon optimasi

e_{on} = batas atas tendon

e_{on} = batas bawah tendon

n = nodal = 1, 2, 3, ... 13

a = konstanta = 0.00415

b = konstanta = 0.8025

Pada bentang tengah:

$$e_{on} = e_{an} + ((e_{an} - e_{bn}) * (((n - 1) * a) + b))$$

Keterangan:

n = nodal = 14, 15, 16, ... 25

a = konstanta = 0.00855

b = konstanta = 0.8403

TABEL 4.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 48M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	433,0354	1.417.366.317	1.746.842.884	23,25
2	470,4112	1.780.765.228	2.193.186.187	23,16
3	504,9947	2.083.784.853	2.608.188.728	25,17
4	536,7832	2.329.509.911	2.994.933.153	28,56
5	565,7757	2.517.667.409	3.353.507.755	33,20
6	591,9716	2.646.839.686	3.682.825.228	39,14
7	615,3715	2.715.422.199	3.981.433.353	46,62
8	635,9747	2.722.021.406	4.247.845.402	56,05
9	653,7806	2.665.645.403	4.480.695.718	68,09
10	668,7906	2.545.775.359	4.678.834.954	83,79
11	677,9307	2.340.377.989	4.800.306.533	105,11
12	674,0551	1.999.491.935	4.748.725.422	137,50
13	666,3417	1.585.365.726	4.646.394.739	193,08

Lanjutan TABEL 4.1

13	666,3417	1.585.365.726	4.646.394.739	193,08
14	717,1091	2.364.929.417	5.327.784.835	125,28
15	762,6410	3.087.511.567	5.953.971.376	92,84
16	803,0424	3.762.569.962	6.520.567.422	73,30
17	838,4221	4.386.496.286	7.024.540.458	60,14
18	868,8853	4.953.142.305	7.463.891.611	50,69
19	894,5402	5.456.767.124	7.837.534.549	43,63
20	915,4936	5.892.655.038	8.145.036.480	38,22
21	931,8500	6.257.114.616	8.386.466.838	34,03
22	943,7177	6.547.465.444	8.562.378.227	30,77
23	947,1867	6.305.076.445	8.613.912.816	36,62
24	950,8434	6.426.852.488	8.668.291.398	34,88
25	950,3629	6.471.843.905	8.661.142.669	33,83

TABEL 4.1.1 Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer

Titik	fti	$0,25 \cdot \sqrt{f_c}$	Cek	fci	$0,6 \cdot f_c$	Cek
1	-15,3308	1,6771	Aman	-25,4483	-27,0000	Aman
2	-13,3907	1,6771	Aman	-25,1700	-27,0000	Aman
3	-11,7401	1,6771	Aman	-24,8305	-27,0000	Aman
4	-10,3150	1,6771	Aman	-24,4588	-27,0000	Aman
5	-9,0675	1,6771	Aman	-24,0753	-27,0000	Aman
6	-7,9610	1,6771	Aman	-23,6942	-27,0000	Aman
7	-6,9672	1,6771	Aman	-23,3252	-27,0000	Aman
8	-6,0643	1,6771	Aman	-22,9752	-27,0000	Aman
9	-5,2347	1,6771	Aman	-22,6486	-27,0000	Aman
10	-4,4646	1,6771	Aman	-22,3483	-27,0000	Aman
11	-3,9330	1,6771	Aman	-21,8829	-27,0000	Aman
12	-4,0024	1,6771	Aman	-20,8772	-27,0000	Aman
13	-4,0590	1,6771	Aman	-19,9496	-27,0000	Aman
13	-4,0590	1,6771	Aman	-19,9496	-27,0000	Aman
14	-3,3332	1,6771	Aman	-20,8662	-27,0000	Aman
15	-2,6650	1,6771	Aman	-21,7309	-27,0000	Aman
16	-2,0517	1,6771	Aman	-22,5449	-27,0000	Aman
17	-1,4911	1,6771	Aman	-23,3093	-27,0000	Aman
18	-0,9814	1,6771	Aman	-24,0248	-27,0000	Aman
19	-0,5211	1,6771	Aman	-24,6920	-27,0000	Aman
20	-0,1086	1,6771	Aman	-25,3115	-27,0000	Aman
21	0,2577	1,6771	Aman	-25,8840	-27,0000	Aman
22	0,5796	1,6771	Aman	-26,4108	-27,0000	Aman
23	0,6055	1,6771	Aman	-26,6277	-27,0000	Aman
24	0,8704	1,6771	Aman	-27,0937	-27,0000	Tak Aman
25	1,1020	1,6771	Aman	-27,5238	-27,0000	Tak Aman

TABEL 4.1.2 Kontrol Tegangan Beton Saat Layan

Titik	fcs	0,45.fc	Cek	fts	0,5.sqrt(fc)	Cek
1	-10,6873	20,2500	Aman	-17,6915	3,3541	Aman
2	-9,8638	20,2500	Aman	-17,1743	3,3541	Aman
3	-8,7692	20,2500	Aman	-17,0545	3,3541	Aman
4	-7,4871	20,2500	Aman	-17,2319	3,3541	Aman
5	-6,0761	20,2500	Aman	-17,6323	3,3541	Aman
6	-4,5778	20,2500	Aman	-18,2003	3,3541	Aman
7	-3,0218	20,2500	Aman	-18,8943	3,3541	Aman
8	-1,4299	20,2500	Aman	-19,6825	3,3541	Aman
9	0,1816	20,2500	Aman	-20,5403	3,3541	Aman
10	1,8003	20,2500	Aman	-21,4482	3,3541	Aman
11	3,2845	20,2500	Aman	-22,2493	3,3541	Aman
12	4,3617	20,2500	Aman	-22,6475	3,3541	Aman
13	5,4439	20,2500	Aman	-23,0811	3,3541	Aman
13	5,4439	20,2500	Aman	-23,0811	3,3541	Aman
14	3,7334	20,2500	Aman	-21,5991	3,3541	Aman
15	2,0865	20,2500	Aman	-20,1438	3,3541	Aman
16	0,5216	20,2500	Aman	-18,7385	3,3541	Aman
17	-0,9473	20,2500	Aman	-17,4026	3,3541	Aman
18	-2,3098	20,2500	Aman	-16,1520	3,3541	Aman
19	-3,5583	20,2500	Aman	-14,9997	3,3541	Aman
20	-4,6871	20,2500	Aman	-13,9562	3,3541	Aman
21	-5,6919	20,2500	Aman	-13,0306	3,3541	Aman
22	-6,5690	20,2500	Aman	-12,2308	3,3541	Aman
23	-7,4778	20,2500	Aman	-11,3887	3,3541	Aman
24	-8,0715	20,2500	Aman	-10,8809	3,3541	Aman
25	-8,5224	20,2500	Aman	-10,5239	3,3541	Aman

TABEL 4.2 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 60M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	506,9612	2.596.066.348	3.011.797.584	16,01
2	543,8561	3.100.871.259	3.612.794.714	16,51
3	577,0231	3.515.016.549	4.157.664.789	18,28
4	606,4129	3.838.429.046	4.646.717.429	21,06
5	631,9749	4.068.408.306	5.077.839.765	24,81
6	653,6601	4.201.686.903	5.448.138.634	29,67
7	671,4195	4.235.254.975	5.754.627.996	35,87
8	685,2053	4.166.793.415	5.994.572.098	43,87
9	694,9691	3.994.756.769	6.165.589.647	54,34
10	700,6641	3.718.287.647	6.265.752.470	68,51
11	702,2434	3.336.642.034	6.293.582.132	88,62

Lanjutan TABEL 4.2

12	699,6597	2.847.600.223	6.248.064.781	119,42
13	692,8677	2.243.181.988	6.797.314.394	203,02
13	730,6056	2.243.181.988	6.797.314.394	203,02
14	836,8815	4.315.185.203	8.748.366.629	102,73
15	927,0889	5.854.399.800	10.475.064.054	78,93
16	984,5749	7.068.744.193	11.604.545.829	64,17
17	1033,8307	8.175.533.918	12.588.217.045	53,97
18	1077,0262	9.181.739.335	13.461.810.014	46,62
19	1114,2753	10.076.715.934	14.222.693.604	41,14
20	1145,6914	10.852.291.848	14.869.484.759	37,02
21	1171,3884	11.502.365.135	15.401.770.014	33,90
22	1191,4800	12.022.476.158	15.819.878.148	31,59
23	1206,0805	12.409.509.076	16.124.740.925	29,94
24	1210,9854	11.856.043.024	16.227.346.439	36,87
25	1215,5958	11.962.623.729	16.323.876.132	36,46

TABEL 4.2.1 Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer

Titik	fti	$0,25 \cdot \sqrt{f_c}$	Cek	fci	$0,6 \cdot f_c$	Cek
1	-17,1388	1,6771	Aman	-25,8213	-27,0000	Aman
2	-15,4148	1,6771	Aman	-25,6154	-27,0000	Aman
3	-13,9318	1,6771	Aman	-25,3334	-27,0000	Aman
4	-12,6414	1,6771	Aman	-25,0020	-27,0000	Aman
5	-11,5060	1,6771	Aman	-24,6416	-27,0000	Aman
6	-10,4954	1,6771	Aman	-24,2674	-27,0000	Aman
7	-9,5861	1,6771	Aman	-23,8911	-27,0000	Aman
8	-8,7587	1,6771	Aman	-23,5213	-27,0000	Aman
9	-7,9977	1,6771	Aman	-23,1646	-27,0000	Aman
10	-7,2904	1,6771	Aman	-22,8260	-27,0000	Aman
11	-6,6263	1,6771	Aman	-22,5091	-27,0000	Aman
12	-5,9969	1,6771	Aman	-22,2165	-27,0000	Aman
13	-5,3948	1,6771	Aman	-21,9501	-27,0000	Aman
13	-4,6186	1,6771	Aman	-21,9330	-27,0000	Aman
14	-3,2549	1,6771	Aman	-22,5885	-27,0000	Aman
15	-2,5510	1,6771	Aman	-22,6161	-27,0000	Aman
16	-1,9720	1,6771	Aman	-23,2345	-27,0000	Aman
17	-1,4487	1,6771	Aman	-23,8508	-27,0000	Aman
18	-0,9752	1,6771	Aman	-24,4161	-27,0000	Aman
19	-0,5493	1,6771	Aman	-24,9321	-27,0000	Aman
20	-0,1683	1,6771	Aman	-25,4006	-27,0000	Aman
21	0,1703	1,6771	Aman	-25,8235	-27,0000	Aman
22	0,4693	1,6771	Aman	-26,2031	-27,0000	Aman
23	0,7316	1,6771	Aman	-26,5420	-27,0000	Aman
24	0,7448	1,6771	Aman	-26,6183	-27,0000	Aman
25	0,9760	1,6771	Aman	-26,9184	-27,0000	Aman

TABEL 4.2.2 Kontrol Tegangan Beton Saat Layan

Titik	fc	0,45.fc	Cek	fts	0,5.sqrt(fc)	Cek
1	-12,0300	20,2500	Aman	-18,0965	3,3541	Aman
2	-11,4187	20,2500	Aman	-17,5214	3,3541	Aman
3	-10,5113	20,2500	Aman	-17,3352	3,3541	Aman
4	-9,3798	20,2500	Aman	-17,4560	3,3541	Aman
5	-8,0776	20,2500	Aman	-17,8201	3,3541	Aman
6	-6,6448	20,2500	Aman	-18,3768	3,3541	Aman
7	-5,1122	20,2500	Aman	-19,0863	3,3541	Aman
8	-3,5038	20,2500	Aman	-19,9161	3,3541	Aman
9	-1,8390	20,2500	Aman	-20,8396	3,3541	Aman
10	-0,1338	20,2500	Aman	-21,8349	3,3541	Aman
11	1,5983	20,2500	Aman	-22,8832	3,3541	Aman
12	3,3454	20,2500	Aman	-23,9684	3,3541	Aman
13	5,0972	20,2500	Aman	-25,0764	3,3541	Aman
13	5,1195	20,2500	Aman	-24,6010	3,3541	Aman
14	3,3426	20,2500	Aman	-22,4807	3,3541	Aman
15	1,5370	20,2500	Aman	-20,2695	3,3541	Aman
16	0,1284	20,2500	Aman	-18,9123	3,3541	Aman
17	-1,1508	20,2500	Aman	-17,6971	3,3541	Aman
18	-2,3065	20,2500	Aman	-16,5866	3,3541	Aman
19	-3,3345	20,2500	Aman	-15,5903	3,3541	Aman
20	-4,2323	20,2500	Aman	-14,7152	3,3541	Aman
21	-4,9987	20,2500	Aman	-13,9667	3,3541	Aman
22	-5,6327	20,2500	Aman	-13,3493	3,3541	Aman
23	-6,1334	20,2500	Aman	-12,8666	3,3541	Aman
24	-6,6390	20,2500	Aman	-12,3723	3,3541	Aman
25	-6,8473	20,2500	Aman	-12,1931	3,3541	Aman

TABEL 4.3 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 80M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	699,7957	6.763.546.732	7.954.112.589	17,60
2	738,5246	7.731.356.814	9.092.560.968	17,61
3	771,6936	8.485.854.105	10.075.857.930	18,74
4	799,1830	9.022.014.126	10.898.675.712	20,80
5	820,8728	9.332.281.669	11.553.681.618	23,80
6	836,6447	9.409.163.913	12.033.397.836	27,89
7	846,3808	9.246.324.163	12.331.019.663	33,36
8	849,9636	8.838.888.725	12.440.829.664	40,75
9	847,2768	8.183.083.317	12.358.467.498	51,02
10	838,2049	7.274.365.593	12.081.016.083	66,08
11	822,6325	6.102.326.868	11.607.058.560	90,21
12	800,4453	4.636.882.513	10.936.650.920	135,86
13	771,5298	2.788.994.476	10.070.978.035	261,10

Lanjutan TABEL 4.3

13	805,8481	2.788.994.476	10.070.978.035	261,10
14	937,2381	7.459.623.558	15.165.397.063	103,30
15	1060,9154	11.091.178.831	19.188.608.939	73,01
16	1177,0419	14.581.036.253	23.124.928.740	58,60
17	1285,7795	17.920.412.037	26.931.469.366	50,28
18	1387,2900	21.067.368.652	30.575.335.361	45,13
19	1471,4021	23.783.467.033	33.651.900.102	41,49
20	1545,6375	26.173.943.505	36.405.165.609	39,09
21	1585,3997	27.756.543.881	37.893.175.844	36,52
22	1614,8130	28.971.571.914	38.999.477.875	34,61
23	1636,4383	29.857.130.133	39.815.750.132	33,35
24	1650,4076	30.408.437.929	40.344.303.361	32,67
25	1656,8521	30.622.924.958	40.588.472.281	32,54

TABEL 4.3.1 Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer

Titik	fti	$0,25 \cdot \sqrt{f_c}$	Cek	fci	$0,6 \cdot f_c$	Cek
1	-15,9672	1,6771	Aman	-25,5107	-27,0000	Aman
2	-14,7374	1,6771	Aman	-25,4308	-27,0000	Aman
3	-13,6627	1,6771	Aman	-25,2738	-27,0000	Aman
4	-12,7174	1,6771	Aman	-25,0576	-27,0000	Aman
5	-11,8798	1,6771	Aman	-24,7974	-27,0000	Aman
6	-11,1316	1,6771	Aman	-24,5059	-27,0000	Aman
7	-10,4574	1,6771	Aman	-24,1938	-27,0000	Aman
8	-9,8441	1,6771	Aman	-23,8702	-27,0000	Aman
9	-9,2803	1,6771	Aman	-23,5426	-27,0000	Aman
10	-8,7562	1,6771	Aman	-23,2175	-27,0000	Aman
11	-8,2635	1,6771	Aman	-22,9003	-27,0000	Aman
12	-7,7949	1,6771	Aman	-22,5955	-27,0000	Aman
13	-7,3441	1,6771	Aman	-22,3069	-27,0000	Aman
13	-6,6863	1,6771	Aman	-22,2860	-27,0000	Aman
14	-5,3401	1,6771	Aman	-23,0280	-27,0000	Aman
15	-4,1232	1,6771	Aman	-23,6728	-27,0000	Aman
16	-3,0151	1,6771	Aman	-24,2361	-27,0000	Aman
17	-1,9996	1,6771	Aman	-24,7300	-27,0000	Aman
18	-1,0637	1,6771	Aman	-25,1648	-27,0000	Aman
19	-0,5812	1,6771	Aman	-25,1507	-27,0000	Aman
20	-0,2384	1,6771	Aman	-25,0086	-27,0000	Aman
21	0,0850	1,6771	Aman	-25,3608	-27,0000	Aman
22	0,3775	1,6771	Aman	-25,7247	-27,0000	Aman
23	0,6394	1,6771	Aman	-26,0538	-27,0000	Aman
24	0,8733	1,6771	Aman	-26,3505	-27,0000	Aman
25	1,0821	1,6771	Aman	-26,6175	-27,0000	Aman

TABEL 4.3.2 Kontrol Tegangan Beton Saat Layan

Titik	fcs	0,45.f _c	Cek	fts	0,5.sqrt(f _c)	Cek
1	-11,2545	20,2500	Aman	-17,9447	3,3541	Aman
2	-10,9305	20,2500	Aman	-17,4596	3,3541	Aman
3	-10,3429	20,2500	Aman	-17,2822	3,3541	Aman
4	-9,5344	20,2500	Aman	-17,3670	3,3541	Aman
5	-8,5391	20,2500	Aman	-17,6752	3,3541	Aman
6	-7,3845	20,2500	Aman	-18,1739	3,3541	Aman
7	-6,0933	20,2500	Aman	-18,8345	3,3541	Aman
8	-4,6848	20,2500	Aman	-19,6319	3,3541	Aman
9	-3,1762	20,2500	Aman	-20,5434	3,3541	Aman
10	-1,5834	20,2500	Aman	-21,5479	3,3541	Aman
11	0,0783	20,2500	Aman	-22,6256	3,3541	Aman
12	1,7937	20,2500	Aman	-23,7573	3,3541	Aman
13	3,5474	20,2500	Aman	-24,9242	3,3541	Aman
13	3,6018	20,2500	Aman	-24,5640	3,3541	Aman
14	1,8862	20,2500	Aman	-22,6282	3,3541	Aman
15	0,4461	20,2500	Aman	-20,9094	3,3541	Aman
16	-0,7223	20,2500	Aman	-19,4256	3,3541	Aman
17	-1,6349	20,2500	Aman	-18,1779	3,3541	Aman
18	-2,3136	20,2500	Aman	-17,1568	3,3541	Aman
19	-3,0349	20,2500	Aman	-16,0750	3,3541	Aman
20	-3,6153	20,2500	Aman	-15,1365	3,3541	Aman
21	-4,1670	20,2500	Aman	-14,5785	3,3541	Aman
22	-4,6134	20,2500	Aman	-14,1557	3,3541	Aman
23	-4,9426	20,2500	Aman	-13,8510	3,3541	Aman
24	-5,1530	20,2500	Aman	-13,6677	3,3541	Aman
25	-5,2426	20,2500	Aman	-13,6092	3,3541	Aman

DATA 5

Pada data 5 digunakan rumus sebagai berikut

Pada bentang tepi:

$$e_{on} = e_{an} + \left((e_{an} - e_{bn}) * \left(((n - 1) * a) + b \right) \right)$$

Keterangan:

e_{on} = eksentrisitas tendon optimasi

e_{an} = batas atas tendon

e_{bn} = batas bawah tendon

n = nodal = 1, 2, 3, ... 13

a = konstanta = 0.00515

b = konstanta = 0.8025

Pada bentang tengah:

$$e_{on} = e_{an} + \left((e_{an} - e_{bn}) * \left(((n - 1) * a) + b \right) \right)$$

Keterangan:

n = nodal = 14, 15, 16, ... 25

a = konstanta = 0.00955

b = konstanta = 0.8403

TABEL 5.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 48M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan
	Mm	Standard		(%)
1	433,0354	1.417.366.317	1.746.842.884	23,25
2	470,5239	1.780.765.228	2.194.531.681	23,24
3	505,2762	2.083.784.853	2.611.588.056	25,33
4	537,3068	2.329.509.911	3.001.357.018	28,84
5	566,6317	2.517.667.409	3.364.187.486	33,62
6	593,2675	2.646.839.686	3.699.251.715	39,76
7	617,2318	2.715.422.199	4.005.354.664	47,50
8	638,5415	2.722.021.406	4.281.262.668	57,28
9	657,2130	2.665.645.403	4.525.856.970	69,78
10	673,2653	2.545.775.359	4.738.226.950	86,12
11	683,6055	2.340.377.989	4.876.030.607	108,34
12	681,0022	1.999.491.935	4.841.262.925	142,12
13	674,7462	1.585.365.726	4.757.915.018	200,11
13	674,7462	1.585.365.726	4.757.915.018	200,11

Lanjutan TABEL 5.1

14	725,4794	2.364.929.417	5.441.867.077	130,11
15	770,9154	3.087.511.567	6.069.202.836	96,57
16	811,1700	3.762.569.962	6.635.720.105	76,36
17	846,3631	4.386.496.286	7.138.599.697	62,74
18	876,6104	4.953.142.305	7.576.061.808	52,95
19	902,0314	5.456.767.124	7.947.237.108	45,64
20	922,7436	5.892.655.038	8.251.903.692	40,04
21	938,8624	6.257.114.616	8.490.336.031	35,69
22	950,5069	6.547.465.444	8.663.284.244	32,32
23	955,1981	6.305.076.445	8.733.122.634	38,51
24	958,8014	6.426.852.488	8.786.825.948	36,72
25	958,3173	6.471.843.905	8.779.607.662	35,66

TABEL 5.1.1 Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer

Titik	fti	$0,25 \cdot \sqrt{f_c}$	Cek	fci	$0,6 \cdot f_c$	Cek
1	-15,3308	1,6771	Aman	-25,4483	-27,0000	Aman
2	-13,3753	1,6771	Aman	-25,1856	-27,0000	Aman
3	-11,7055	1,6771	Aman	-24,8657	-27,0000	Aman
4	-10,2568	1,6771	Aman	-24,5182	-27,0000	Aman
5	-8,9809	1,6771	Aman	-24,1637	-27,0000	Aman
6	-7,8413	1,6771	Aman	-23,8165	-27,0000	Aman
7	-6,8097	1,6771	Aman	-23,4861	-27,0000	Aman
8	-5,8642	1,6771	Aman	-23,1794	-27,0000	Aman
9	-4,9878	1,6771	Aman	-22,9004	-27,0000	Aman
10	-4,1667	1,6771	Aman	-22,6520	-27,0000	Aman
11	-3,5823	1,6771	Aman	-22,2398	-27,0000	Aman
12	-3,6029	1,6771	Aman	-21,2825	-27,0000	Aman
13	-3,6080	1,6771	Aman	-20,4058	-27,0000	Aman
13	-3,6080	1,6771	Aman	-20,4058	-27,0000	Aman
14	-2,8778	1,6771	Aman	-21,3293	-27,0000	Aman
15	-2,2080	1,6771	Aman	-22,1979	-27,0000	Aman
16	-1,5955	1,6771	Aman	-23,0132	-27,0000	Aman
17	-1,0378	1,6771	Aman	-23,7766	-27,0000	Aman
18	-0,5327	1,6771	Aman	-24,4890	-27,0000	Aman
19	-0,0782	1,6771	Aman	-25,1516	-27,0000	Aman
20	0,3276	1,6771	Aman	-25,7655	-27,0000	Aman
21	0,6870	1,6771	Aman	-26,3320	-27,0000	Aman
22	1,0024	1,6771	Aman	-26,8529	-27,0000	Aman
23	1,1123	1,6771	Aman	-27,1582	-27,0000	Tak Aman
24	1,3819	1,6771	Aman	-27,6300	-27,0000	Tak Aman
25	1,6212	1,6771	Aman	-28,0688	-27,0000	Tak Aman

TABEL 5.1.2 Kontrol Tegangan Beton Saat Layan

Titik	fcs	0,45.fc	Cek	fts	0,5.sqrt(fc)	Cek
1	-10,6873	20,2500	Aman	-17,6915	3,3541	Aman
2	-9,8533	20,2500	Aman	-17,1852	3,3541	Aman
3	-8,7456	20,2500	Aman	-17,0791	3,3541	Aman
4	-7,4473	20,2500	Aman	-17,2736	3,3541	Aman
5	-6,0169	20,2500	Aman	-17,6946	3,3541	Aman
6	-4,4959	20,2500	Aman	-18,2869	3,3541	Aman
7	-2,9138	20,2500	Aman	-19,0088	3,3541	Aman
8	-1,2926	20,2500	Aman	-19,8286	3,3541	Aman
9	0,3515	20,2500	Aman	-20,7217	3,3541	Aman
10	2,0061	20,2500	Aman	-21,6686	3,3541	Aman
11	3,5284	20,2500	Aman	-22,5109	3,3541	Aman
12	4,6433	20,2500	Aman	-22,9487	3,3541	Aman
13	5,7660	20,2500	Aman	-23,4247	3,3541	Aman
13	5,7660	20,2500	Aman	-23,4247	3,3541	Aman
14	4,0525	20,2500	Aman	-21,9407	3,3541	Aman
15	2,4012	20,2500	Aman	-20,4816	3,3541	Aman
16	0,8309	20,2500	Aman	-19,0712	3,3541	Aman
17	-0,6442	20,2500	Aman	-17,7292	3,3541	Aman
18	-2,0133	20,2500	Aman	-16,4718	3,3541	Aman
19	-3,2686	20,2500	Aman	-15,3123	3,3541	Aman
20	-4,4042	20,2500	Aman	-14,2616	3,3541	Aman
21	-5,4153	20,2500	Aman	-13,3292	3,3541	Aman
22	-6,2980	20,2500	Aman	-12,5234	3,3541	Aman
23	-7,1530	20,2500	Aman	-11,7388	3,3541	Aman
24	-7,7445	20,2500	Aman	-11,2333	3,3541	Aman
25	-8,1911	20,2500	Aman	-10,8809	3,3541	Aman

TABEL 5.2 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 60M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan
	Mm	Standard		(%)
1	506,9612	2.596.066.348	3.011.797.584	16,01
2	543,9586	3.100.871.259	3.614.468.991	16,56
3	577,2751	3.515.016.549	4.161.830.130	18,40
4	606,8775	3.838.429.046	4.654.503.481	21,26
5	632,7315	4.068.408.306	5.090.687.625	25,13
6	654,8044	4.201.686.903	5.467.797.590	30,13
7	673,0635	4.235.254.975	5.783.148.610	36,55
8	687,4777	4.166.793.415	6.034.294.287	44,82
9	698,0152	3.994.756.769	6.219.125.532	55,68
10	704,6459	3.718.287.647	6.335.963.535	70,40
11	707,3399	3.336.642.034	6.383.549.695	91,32
12	706,0668	2.847.600.223	6.361.053.071	123,38
13	700,7984	2.243.181.988	6.948.761.935	209,77
13	739,0522	2.243.181.988	6.948.761.935	209,77

Lanjutan TABEL 5.2

14	845,9006	4.315.185.203	8.918.271.306	106,67
15	936,5609	5.854.399.800	10.659.706.025	82,08
16	994,0545	7.068.744.193	11.792.770.513	66,83
17	1043,2534	8.175.533.918	12.777.942.398	56,29
18	1086,3731	9.181.739.335	13.652.103.457	48,69
19	1123,5397	10.076.715.934	14.412.961.041	43,03
20	1154,8783	10.852.291.848	15.059.455.459	38,77
21	1180,5147	11.502.365.135	15.591.483.252	35,55
22	1200,5743	12.022.476.158	16.009.671.055	33,16
23	1215,1833	12.409.509.076	16.315.236.161	31,47
24	1221,9998	11.856.043.024	16.458.092.370	38,82
25	1226,8340	11.962.623.729	16.559.513.665	38,43

TABEL 5.2.1 Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer

Titik	fti	$0,25 \cdot \sqrt{f_c}$	Cek	fci	$0,6 \cdot f_c$	Cek
1	-17,1388	1,6771	Aman	-25,8213	-27,0000	Aman
2	-15,4021	1,6771	Aman	-25,6282	-27,0000	Aman
3	-13,9033	1,6771	Aman	-25,3623	-27,0000	Aman
4	-12,5931	1,6771	Aman	-25,0512	-27,0000	Aman
5	-11,4332	1,6771	Aman	-24,7155	-27,0000	Aman
6	-10,3936	1,6771	Aman	-24,3709	-27,0000	Aman
7	-9,4503	1,6771	Aman	-24,0290	-27,0000	Aman
8	-8,5840	1,6771	Aman	-23,6986	-27,0000	Aman
9	-7,7792	1,6771	Aman	-23,3862	-27,0000	Aman
10	-7,0232	1,6771	Aman	-23,0965	-27,0000	Aman
11	-6,3058	1,6771	Aman	-22,8331	-27,0000	Aman
12	-5,6185	1,6771	Aman	-22,5985	-27,0000	Aman
13	-4,9541	1,6771	Aman	-22,3943	-27,0000	Aman
13	-4,1761	1,6771	Aman	-22,3796	-27,0000	Aman
14	-2,8082	1,6771	Aman	-23,0423	-27,0000	Aman
15	-2,1061	1,6771	Aman	-23,0700	-27,0000	Aman
16	-1,5253	1,6771	Aman	-23,6920	-27,0000	Aman
17	-1,0011	1,6771	Aman	-24,3108	-27,0000	Aman
18	-0,5276	1,6771	Aman	-24,8777	-27,0000	Aman
19	-0,1019	1,6771	Aman	-25,3947	-27,0000	Aman
20	0,2790	1,6771	Aman	-25,8642	-27,0000	Aman
21	0,6181	1,6771	Aman	-26,2887	-27,0000	Aman
22	0,9188	1,6771	Aman	-26,6709	-27,0000	Aman
23	1,1847	1,6771	Aman	-27,0141	-27,0000	Tak Aman
24	1,2961	1,6771	Aman	-27,1931	-27,0000	Tak Aman
25	1,5417	1,6771	Aman	-27,5087	-27,0000	Tak Aman

TABEL 5.2.2 Kontrol Tegangan Beton Saat Layan

Titik	fcs	0,45.fc	Cek	fts	0,5.sqrt(fc)	Cek
1	-12,0300	20,2500	Aman	-18,0965	3,3541	Aman
2	-11,4100	20,2500	Aman	-17,5304	3,3541	Aman
3	-10,4916	20,2500	Aman	-17,3556	3,3541	Aman
4	-9,3463	20,2500	Aman	-17,4909	3,3541	Aman
5	-8,0270	20,2500	Aman	-17,8727	3,3541	Aman
6	-6,5739	20,2500	Aman	-18,4508	3,3541	Aman
7	-5,0173	20,2500	Aman	-19,1854	3,3541	Aman
8	-3,3813	20,2500	Aman	-20,0444	3,3541	Aman
9	-1,6852	20,2500	Aman	-21,0011	3,3541	Aman
10	0,0553	20,2500	Aman	-22,0337	3,3541	Aman
11	1,8265	20,2500	Aman	-23,1236	3,3541	Aman
12	3,6170	20,2500	Aman	-24,2547	3,3541	Aman
13	5,4163	20,2500	Aman	-25,4132	3,3541	Aman
13	5,4391	20,2500	Aman	-24,9391	3,3541	Aman
14	3,6587	20,2500	Aman	-22,8170	3,3541	Aman
15	1,8476	20,2500	Aman	-20,6004	3,3541	Aman
16	0,4356	20,2500	Aman	-19,2404	3,3541	Aman
17	-0,8473	20,2500	Aman	-18,0221	3,3541	Aman
18	-2,0067	20,2500	Aman	-16,9083	3,3541	Aman
19	-3,0380	20,2500	Aman	-15,9089	3,3541	Aman
20	-3,9385	20,2500	Aman	-15,0312	3,3541	Aman
21	-4,7067	20,2500	Aman	-14,2811	3,3541	Aman
22	-5,3414	20,2500	Aman	-13,6632	3,3541	Aman
23	-5,8412	20,2500	Aman	-13,1816	3,3541	Aman
24	-6,2836	20,2500	Aman	-12,7552	3,3541	Aman
25	-6,4834	20,2500	Aman	-12,5852	3,3541	Aman

TABEL 5.3 Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur dari Bentangan 80M

Titik	e Optimasi	Mn	Mn	Peningkatan (%)
	Mm	Standard		
1	699,7957	6.763.546.732	7.954.112.589	17,60
2	738,6757	7.731.356.814	9.097.019.760	17,66
3	772,0397	8.485.854.105	10.086.168.292	18,86
4	799,7836	9.022.014.126	10.916.741.140	21,00
5	821,8033	9.332.281.669	11.581.903.096	24,11
6	837,9967	9.409.163.913	12.074.657.847	28,33
7	848,2620	9.246.324.163	12.388.657.484	33,98
8	852,4980	8.838.888.725	12.518.605.916	41,63
9	850,6053	8.183.083.317	12.460.516.579	52,27
10	842,4849	7.274.365.593	12.211.789.001	67,87
11	828,0384	6.102.326.868	11.771.263.509	92,90
12	807,1686	4.636.882.513	11.139.212.959	140,23
13	779,7793	2.788.994.476	10.317.076.629	269,92
13	814,5364	2.788.994.476	10.317.076.629	269,92

Lanjutan TABEL 5.3

14	946,4004	7.459.623.558	15.457.007.560	107,21
15	1070,5926	11.091.178.831	19.511.050.874	75,92
16	1187,2918	14.581.036.253	23.479.049.845	61,02
17	1296,6770	17.920.412.037	27.318.714.860	52,44
18	1398,9268	21.067.368.652	30.998.054.766	47,14
19	1483,6811	23.783.467.033	34.104.964.342	43,40
20	1558,6035	26.173.943.505	36.889.408.776	40,94
21	1598,5414	27.756.543.881	38.386.892.218	38,30
22	1628,1163	28.971.571.914	39.501.341.234	36,35
23	1649,9550	29.857.130.133	40.327.163.808	35,07
24	1664,2029	30.408.437.929	40.867.228.434	34,39
25	1671,0047	30.622.924.958	41.125.399.481	34,30

TABEL 5.3.1 Kontrol Tegangan Beton Saat Transfer

Titik	f_{ti}	$0,25 \cdot \sqrt{f_c}$	Cek	f_{ci}	$0,6 \cdot f_c$	Cek
1	-15,9672	1,6771	Aman	-25,5107	-27,0000	Aman
2	-14,7238	1,6771	Aman	-25,4445	-27,0000	Aman
3	-13,6336	1,6771	Aman	-25,3033	-27,0000	Aman
4	-12,6698	1,6771	Aman	-25,1060	-27,0000	Aman
5	-11,8102	1,6771	Aman	-24,8681	-27,0000	Aman
6	-11,0361	1,6771	Aman	-24,6029	-27,0000	Aman
7	-10,3316	1,6771	Aman	-24,3214	-27,0000	Aman
8	-9,6835	1,6771	Aman	-24,0329	-27,0000	Aman
9	-9,0801	1,6771	Aman	-23,7451	-27,0000	Aman
10	-8,5116	1,6771	Aman	-23,4645	-27,0000	Aman
11	-7,9694	1,6771	Aman	-23,1965	-27,0000	Aman
12	-7,4463	1,6771	Aman	-22,9458	-27,0000	Aman
13	-6,9356	1,6771	Aman	-22,7161	-27,0000	Aman
13	-6,2758	1,6771	Aman	-22,6979	-27,0000	Aman
14	-4,9269	1,6771	Aman	-23,4458	-27,0000	Aman
15	-3,7050	1,6771	Aman	-24,0986	-27,0000	Aman
16	-2,5893	1,6771	Aman	-24,6720	-27,0000	Aman
17	-1,5635	1,6771	Aman	-25,1785	-27,0000	Aman
18	-0,6145	1,6771	Aman	-25,6286	-27,0000	Aman
19	-0,1240	1,6771	Aman	-25,6239	-27,0000	Aman
20	0,2273	1,6771	Aman	-25,4914	-27,0000	Aman
21	0,5588	1,6771	Aman	-25,8530	-27,0000	Aman
22	0,8604	1,6771	Aman	-26,2273	-27,0000	Aman
23	1,1332	1,6771	Aman	-26,5684	-27,0000	Aman
24	1,3802	1,6771	Aman	-26,8793	-27,0000	Aman
25	1,6047	1,6771	Aman	-27,1631	-27,0000	Tak Aman