

STUDI PERENCANAAN JEMBATAN BETON PRATEKAN

Bowo Leksono

Fakultas Teknik Universitas Gresik

ABSTRACT

With a growing population, traffic density will grow well from one region to another. Therefore, the number of passenger car units that pass through the highway will continue to increase as well, so that the daily traffic volume reached over 20 000 smp. Therefore, the construction of the bridge with high capacity is required. Thus the construction of reinforced concrete bridges and construction of prestressed concrete (prestressed concrete) is indispensable presence. Construction of reinforced concrete and prestressed concrete kosntruksi initially quite expensive compared to using other construction materials, but given the relatively low maintenance cost for long term economic value is very profitable.

Broadly speaking, the bridge consists of building up and building down. Superstructure consists of pavement, the vehicle floor, which is the main beam kosntruksi prestressed concrete. While the building is a pillar of the bridge, the bridge head, beams and piles Poer.

In the analysis refers to the regulation of construction charge for Highway Bridges 1970 (PMJJR '70) and Indonesia Reinforced Concrete Regulation 1971 NI-2 (PBI '71). There are two kinds of concrete construction is of reinforced concrete construction (reinforced concrete) method of boundary strength (ultimate strength analysis) and construction of prestressed concrete (prestressed concrete) method comparable strength (load balancing method) with a parabolic tendon. Using the foundation piles.

For large concrete bridge spans a very profitable given the treatment does not require great expense to the construction of prestressed concrete primarily to address the effect of the earthquake with the concept of partial prestressing.

Keywords : Concrete Construction, power limits, prestressed force balance (load balancing method).

1. PENDAHULUAN

Lokasi jembatan dalam studi ini adalah sesuai dengan yang ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum yaitu, di Desa Selopuro Kecamatan Pitu Kabupaten Ngawi. Jembatan ini merupakan peningkatan jembatan lama yang berkapasitas kecil. Jembatan ini untuk memperlancar arus lalu lintas dari Kecamatan Pitu ke kota Ngawi sebagai ibukota kabupaten. Oleh karena itu jembatan ini untuk jalan protokol sehingga perlu dilengkapi dengan bangunan trotoar di kanan-kirinya dan tiang-tiang lampu untuk penerangan umum.

2. DESAIN JEMBATAN

Secara umum jembatan ada dua bagian yaitu: bangunan atas dan bangunan bawah.

1.1. Bangunan Atas

- a. Trotoar: terletak pada sisi jembatan di kiri-kanan, terdiri dari pagar pengaman (*hand rail*), tiang lampu dan lantai trotoar.
- b. Lantai kendaraan: merupakan lantai beton bertulang yang menjadi satu kesatuan dengan balok-balok beton pratekan dan lapisan atasnya adalah aspal beton.
- c. Balok induk: merupakan beton pratekan *POSTTENSIONED PRESTRESSED CONCRETE* pada perletakan rol-sendi (*simply supported*).

2.2. Bangunan Bawah

Merupakan bangunan yang meneruskan beban bangunan atas ke pondasi.

- a. Kepala Jembatan (*abutment*), terletak di ujung-ujung bentang jembatan.
- b. Pilar, terletak pada bentang jembatan, yang menyangga bangunan atas dan menahan tekanan aliran sungai serta meneruskan beban ke pondasi.
- c. Pondasi, adalah suatu sistem konstruksi yang menahan konstruksi di atasnya sehingga konstruksi jembatan itu stabil dan kokoh. Pondasi terdiri dari kelompok tiang pancang yang dirangkai oleh balok poer.

2.3. DATA TANAH

Penyelidikan tanah dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah ITS - Surabaya.

- a. Di Lapangan
 - Sondir, pakai konus paten Delf – Belanda dengan kapasitas 2,5 ton.
 - Pengeboran dengan alat Type Iwan.
- b. Di Laboratorium
 - Volumetri dan Gravimetri triaksial test (UU) ASTM D.3080.
 - Analisa ayakan ASTM – E – 11 – 39.
- c. Hasil Penyelidikan Tanah
Hasil Penyelidikan Tanah dari Laboratorium Mekanika Tanah ITS – Surabaya

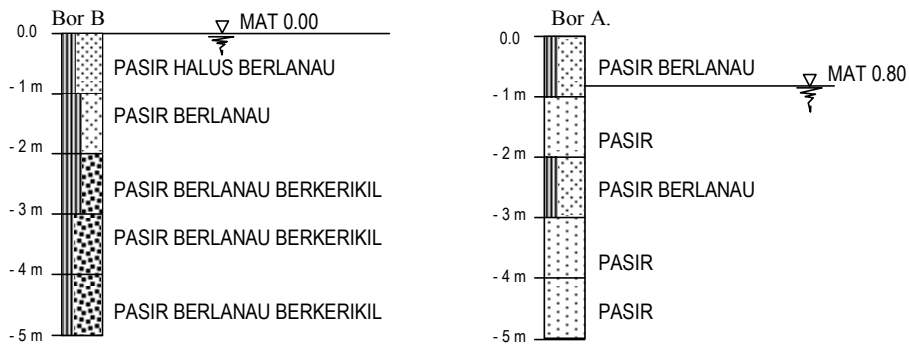
| Titik bor | Kedalaman (D _f) m | Volumetri & Gravimetri | | | | TRIAXIAL TEST | | |
|-----------|----------------------------------|------------------------|----------------|--------------------|-------|---------------|--------|--------------------|
| | | γ_t | W _c | γ_s | n | e | ϕ | c |
| | | ton/m ³ | % | ton/m ³ | % | | ...° | kg/cm ² |
| A | - 1.00 | 1,773 | 21,98 | 2,705 | 46,25 | 0,861 | 25 | 0 |
| | - 2.00 | 1,810 | 32,99 | 2,734 | 48,90 | 0,982 | 28 | 0 |
| | - 3.00 | 1,982 | 33,04 | 2,699 | 41,35 | 0,705 | 30 | 0 |
| | - 4.00 | 1,900 | 25,33 | 2,738 | 44,65 | 0,807 | 35 | 0 |
| | - 5.00 | 1,968 | 19,36 | 2,680 | 38,48 | 0,626 | 28 | 0 |
| B | - 1.00 | 1,716 | 37,52 | 2,647 | 52,88 | 1,122 | 27 | 0 |
| | - 2.00 | 1,676 | 40,42 | 2,655 | 55,05 | 1,225 | 32 | 0 |
| | - 3.00 | 1,681 | 44,27 | 2,720 | 57,16 | 1,334 | 32 | 0 |
| | - 4.00 | 1,766 | 38,13 | 2,711 | 52,83 | 1,120 | 31 | 0 |
| | - 5.00 | 1,776 | 35,77 | 2,695 | 51,45 | 1,059 | 32 | 0 |

Keterangan:

- γ_t = berat volume tanah
- W_c = kadar air
- γ_s = berat volume butir
- n = kadar pori
- e = angka pori
- ϕ = sudut geser dalam
- c = kohesi

d. Profil Boring

Boring dilakukan dua tempat di ujung jembatan pada masing-masing tepi sungai. Boring A sisi pada Desa Selopuro dan boring B di Desa Karang Tengah.



Gambar 1 : PROFIL BORING

e. Daya Dukung Tanah pada Titik Boring Perhitungan menurut TERZAGI (local shear)

| Df | Daya Dukung (σ) kg/cm ² | | Keterangan | Df | Daya Dukung (σ) kg/cm ² | | Keterangan |
|-----|---|-------|--|-----|---|-------|--|
| | n = 2 | n = 3 | | | n = 2 | n = 3 | |
| - 1 | 0,345 | 0,230 | Bor A MAT + 0.80 dari muka tanah setempat | - 1 | 0,400 | 0,273 | Bor B MAT + 0.00 dari muka tanah setempat |
| - 2 | 0,905 | 0,600 | | - 2 | 0,850 | 0,560 | |
| - 3 | 1,490 | 0,990 | | - 3 | 1,170 | 0,780 | |
| - 4 | 2,120 | 1,410 | | - 4 | 1,560 | 1,040 | |
| - 5 | 2,140 | 1,420 | | - 5 | 1,930 | 1,290 | |

2.4. GERUSAN AIR SUNGAI (scouring)

Gerusan air pada pangkal pilar diperhitungkan apabila aliran air sungai kecepatannya diatas aliran kritis yaitu lebih besar 3 m/detik.

2.5. DATA BANJIR MAKSIMUM

Data dari DPU Kabupaten Ngawi sebagaimana dalam tabel.

| No | Bulan | Debit maks | Duga (H) |
|----|--------------|-----------------------|----------|
| | | m ³ /detik | meter |
| 1. | Maret '81 | 1,780 | 8,31 |
| 2. | Maret '82 | 2,034 | 8,80 |
| 3. | Januari '83 | 1,719 | 8,71 |
| 4. | Februari '84 | 2,954 | 9,70 |
| 5. | Februari '85 | 2,928 | 9,65 |
| 6. | Maret '86 | 2,417 | 9,63 |

Dari data tersebut:

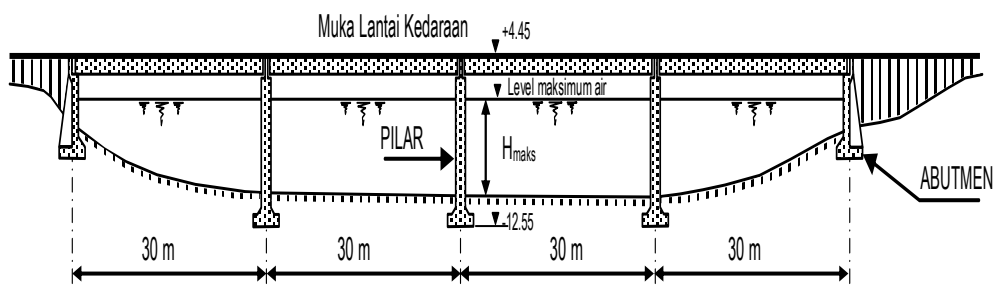
Kecepatan rata-rata (v) = 1,00 s/d 1,50 m/detik diambil $v = 1,45$ m/detik.

Luas penampang rata-rata $F = 902$ m².

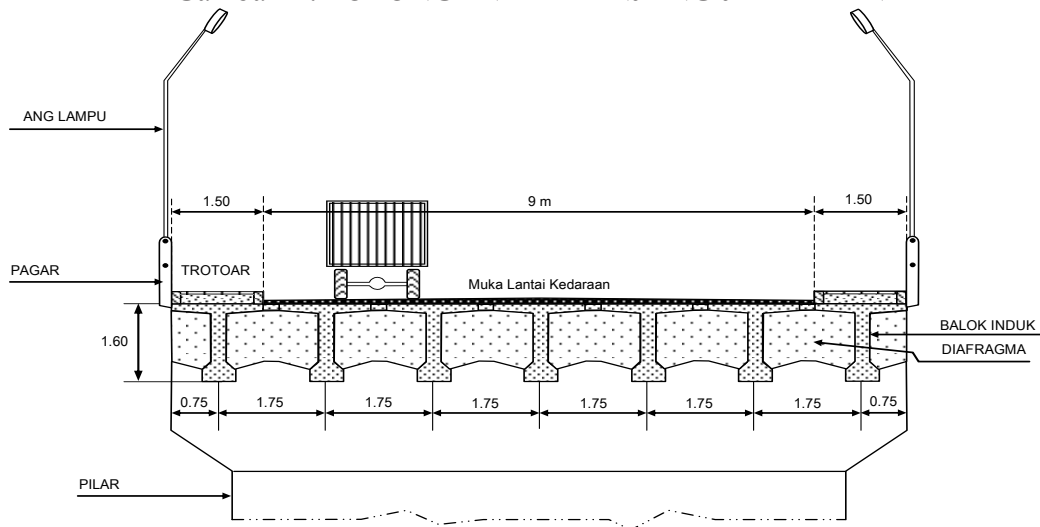
Tinggi sungai, tebing sampai dasar $H = 8,96$ m

Tinggi air banjir: H maksimum = 10,79 m

DUGA AIR BANJIR



Gambar 2 : POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN



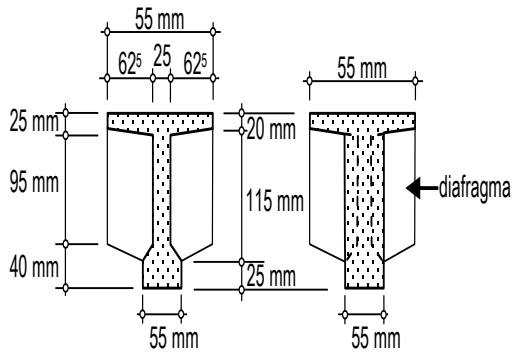
Gambar 3 : POTONGAN MELINTANG JEMBATAN

2.6. JALUR LALU LINTAS

Jembatan ini direncanakan melayani jalan protokol dengan lebar 9 meter untuk tiga jalur. Lapisan aus (surface) dari aspal beton dengan tebal 10 cm.

2.7. GELAGAR INDUK.

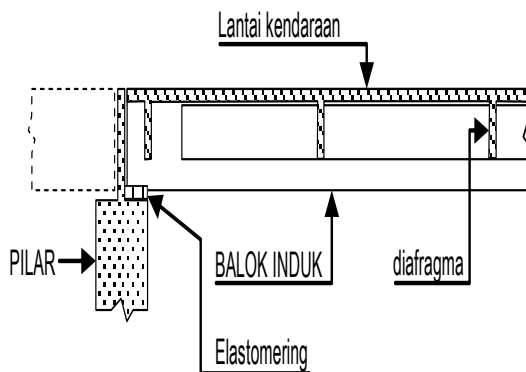
Gelagar (balok) induk dari konstruksi beton pratekan (*posttensioned prestressed concrete*) dengan bentang teoritis = 30 meter dan tinggi penampang = 1.60 cm.



Gambar 4 : POTONGAN MELINTANG BALOK INDUK

2.8. DIAFRAGMA

Untuk memperkuat rangkaian balok induk dipasang diafragma diantara balok induk dengan jarak 4.80 cm.



Gambar 5 : PERLETAKAN BALOK INDUK

2.9. UJUNG BALOK (*end block*)

Ujung balok digunakan untuk angker-angker tendon dan menahan gaya tekan tendon. Ujung balok yang terletak pada kepala pilar dengan alas karet (*elastomering*) Type 60 IHRD dengan kemampuan beban 106 ton.

2.10. BANGUNAN BAWAH

a. Kepala Jembatan (*abutment*)

Kepala jembatan terletak diujung-ujung bentang jembatan pada bantaran sungai. Kepala jembatan ini dengan pondasi tiang pancang.

b. Pilar Jembatan.

Untuk menyangga jembatan di tengah bentang dipasang pilar yang merupakan konstruksi beton bertulang biasa (*non-pratekan*). Pilar terdiri dari, kepala, badan dan landasan. Landasan merupakan pondasi yang terdiri dari balok poer dan pila cap diatas tiang pancang.

c. Pondasi

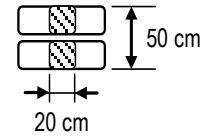
Pondasi merupakan kelompok tiang pancang (*pile group*) yang dirangkai oleh balok poer. Tiang pancang berupa balok persegi dengan ukuran penampang 35 cm x 35cm dengan panjang 6 meter.

2.11. PEMBEBANAN

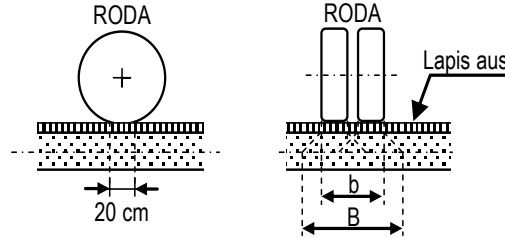
Peraturan pembebanan yang dipakai :

- Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya No.12/1970 Dit Jen Bina Marga.
- Peraturan Muatan Indonesia. NI-18/1970 Dit Jen Cipta Karya
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia NI-2/1971 Dit Jen Cipta Karya

- a. Muatan Primer
 - Muatan mati
 - Muatan hidup
 - Koefisien kejut
- b. Muatan Sekunder
 - Muatan angin.
 - Gaya akibat perbedaan suhu
 - Gaya akibat rangkaka dan susut
 - Gaya rem dan traksi.



- c. Muatan Khusus
 - Gaya akibat gempa.
 - Gaya sentrifugal
 - Gaya akibat gesekan pada tumpuan bergerak
 - Gaya dan muatan selama pelaksanaan.
 - Gaya akibat aliran air dan benda hanyutan
 - Gaya akibat tekanan tanah.



- d. Muatan Mati
 - Baja tuang 7,85 t/m³.
 - Beton bertulang 2,50 t/m³.
 - Tanah/pasir padat 2,00 t/m³.
 - Aspal beton 2,25 t/m³.
 - Pasangan bata 2,00 t/m³.
 - Pipa galvanis 3" 0,005 t/m³.

Gambar 6 : Penyebaran beban roda

Dimana:

q = ekuivalen beban

P = 10 ton

b = 50 cm.

B = b + t.

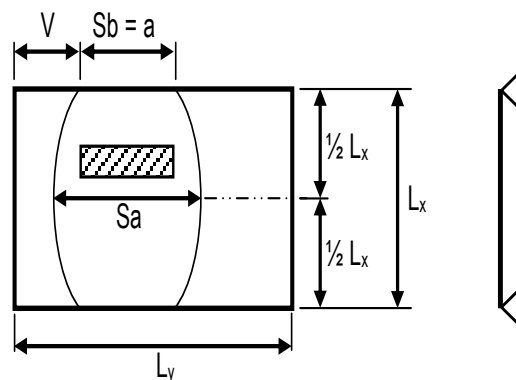
t = tebal lantai kendaraan

L = bentang lantai

sesuai PBI'71 penyebaran beban lantai : dianggap pelat menumpu pada kedua tepi sejajar dan merupakan beban titik. Lebar kerja pelat ke arah L_x , momennya adalah:

$$M_{maks} = K \cdot M_{lx} \text{ dengan } K = 1,38$$

- e. Muatan Hidup
 - Muatan „T’ untuk lantai kendaraan berupa beban roda truk = 10 ton (PMJJR'70) menumpu dengan luasan 20 cm x 50 cm.
 - Ekuivalen beban merata:
 $q = P/B$



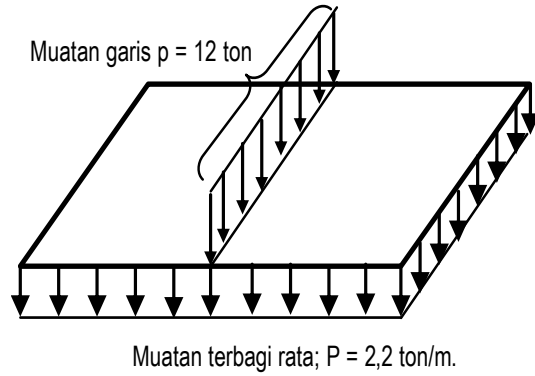
Gambar 7 : Beban pelat

Dimana :
 S_a = lebar lantai yang mendukung beban
 $a = 20 \text{ cm}$.
 $b = 50 \text{ cm}$.
 $r = \text{koefisien pelat} = 2/3$ (jepit elastis)
 $3 l_x = 3 \times 2,2 = 6,6 \text{ m}$
 $l_y = 30 \text{ m} > 3l_x$.

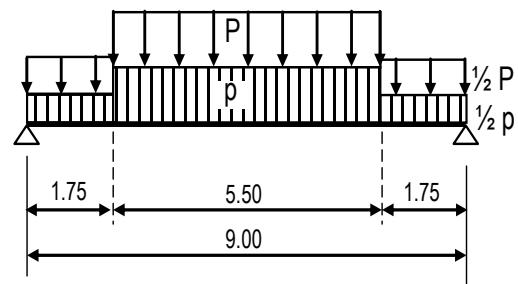
sesuai PBI'71:
 $S_a = \frac{3}{4} a + \frac{3}{4} r.l_x \rightarrow M_{lx} = M_t / S_a$
 $M_t = c.q.l_x^2$
 dimana:
 $c = \text{koefisien momen}$
 $q = \text{ekuivalen beban}$
 $M_{maks} = K.M_{lx}$.

- Muatan 'D' untuk perhitungan balok penyangga dan setiap jalur lalu lintas terdiri dari :
 Muatan terbagi rata $p = 2,2 \text{ t/m}$
 Muatan garis $P = 12 \text{ ton}$.
 Beban dikalikan koefisien kejut.
 Besar 'p' oleh bentang jembatan, dan sesuai PMJJR'70 :
 Untuk $L < 30 \text{ m}$, .. $p = 2,2 \text{ t/m}$.

Lantai kendaraan lebar 5,5 m menerima beban D = 100% dan lebihnya 50% beban. Penempatan muatan D sedemikian rupa sehingga memperoleh pengaruh yang terbesar,

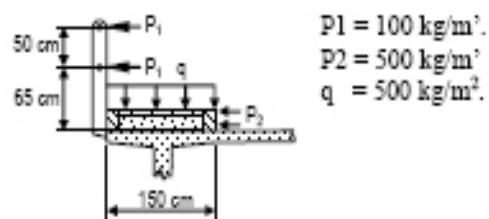


Gambar 8 : Diagram pembebanan :



Muatan D melintang arah lalu lintas dan lebar 1 jalur kendaraan = 2,75 m.
 Ekuivalen beban :
 Beban terpusat: $P = 12 \text{ ton}$
 $q_1 = 12/2,75 = 4,36 \text{ ton/m}$.
 Beban merata : $p = 2,2 \text{ ton/m}$.
 $q_2 = 2,2/2,75 = 0,8 \text{ ton/m}^2$.
 Sisa di luar lebar 5,5 m = 50%.

- Muatan trotoar (kerb, pagar & lantai)



Gambar 8 : Beban trotoar

P1 = beban per meter bentang kendaraan.

P2 = beban lateral kerb arah melintang

q = beban muatan hidup lantai trotoar

- Koefisien Kejut (K)

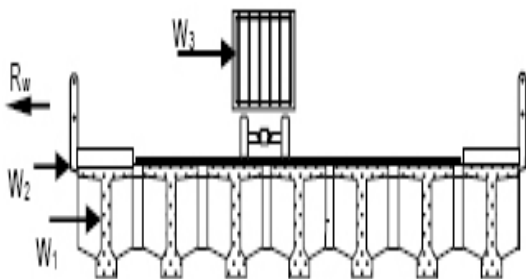
Adanya pengaruh getaran dan beban dinamis lainnya maka tegangan akibat muatan D perlu dikalikan koefisien kejut (K), maka:

$$K = 1 + 20/(50 + L)$$

- Muatan Angin

Sesuai ketentuan PMJJR'70, maka:

- 1) Muatan angin bekerja horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan.
- 2) Muatan hidup (kendaraan) apabila mempunyai tinggi menerus lebih dari 2 (dua) meter dari muka lantai kendaraan, diperhitungkan sebagai beban angin.
- 3) Luas bidang yang terkena muatan angin diperhitungkan 1 ½ luas bidang vertikal yang ada.
- 4) Besar pengaruh tekanan angin = 100 kg/m².



Gambar 9 : Diagram beban angin

- Gaya Akibat Perbedaan Suhu

Adanya perubahan suhu maka baik baja maupun beton akan mengembang atau menyusut tetapi tegangan yang timbul pada baja dan beton tidak sama.

Perbedaan suhu: baja = 15°C dan beton = 10°C dan tegangan yang timbul adalah:

$$\sigma = \lambda.E.t$$

dimana:

λ = nilai perubahan = 1,1.10⁻⁶.

E = elastisitas bahan = 2,1.10⁶ kg/cm².

t = perubahan suhu = 15.

- Gaya Rangkak dan Susut

Gaya ini timbul akibat penurunan suhu dan bila tidak ditentukan lain gaya ini timbul akibat turunnya suhu sebesar 15° C.

- Gaya Rem dan Traksi.

Gaya rem dan traksi terjadi pada arah memanjang jembatan kedua arah jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan = 5% muatan D tanpa koefisien kejut dan titik tangkap setinggi 120 cm diatas permukaan lantai kendaraan.

- Gaya Akibat Gempa

Gaya akibat gempa diasumsikan merupakan gaya horizontal yang bekerja pada titik berat konstruksi yang ditinjau pada titik yang berbahaya.

$$K = E.G.$$

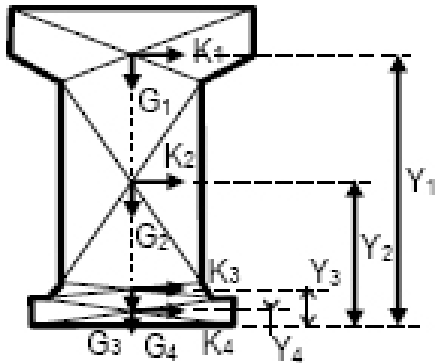
dimana:

- K = gaya horizontal
- E = koefisien gempa
- G = muatan mati

Kabupaten Ngawi terletak pada Peta Gempa Daerah II dengan koefisien gempa:

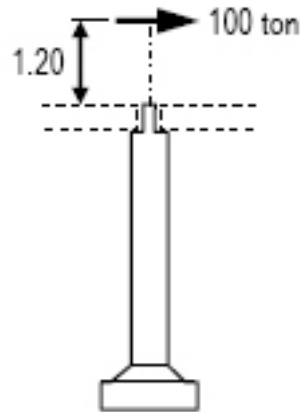
Pondasi langsung E = 0,10

Pondasi tak langsung E = 0,14



Gambar 10 : Diagram beban gempa.

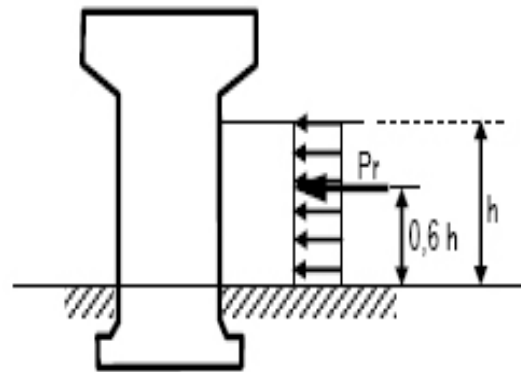
- Gaya Gesekan pada Tumpuan
 Karena tumpuannya berupa karet *elastomering*, maka cukup elastis sehingga gaya gesekan dapat diabaikan.
- Gaya Tumbukan
 Gaya tumbukan terjadi akibat tumbukan antara pier dan kendaraan, dan ada dua gaya tumbukan yang terjadi dan menentukan:
 Pada jurusan arah lalulintas = 100 ton
 Jurusan tagak lurus arah lalulintas = 50 ton.



Gambar 11 : Diagram beban tumbukan.

- Gaya dan Muatan selama Pelaksanaan Pada saat pelaksanaan perlu ditinjau dan jangan ada bagian konstruksi yang dipakai untuk menopang dalam pelaksanaan.

- Gaya Akibat Aliran Air
 Yang mendapat gaya aliran air adalah permukaan pilar dan untuk pilar permukaan bulat koefisiennya $k = 0,035$.



Gambar 12 : Diagram beban aliran air

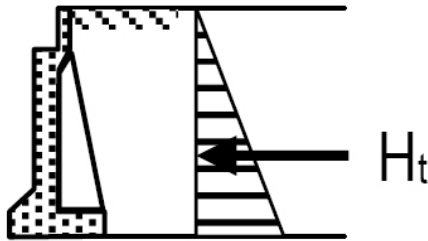
Rumus: $Pr = k.v^2.B.H.$

Dimana:

- Pr = besar tekanan pada pilar
- k = koefisien bentuk

- v = kecepatan air banjir
- B = lebar pilar
- H = duga air banjir.

- Tekanan Tanah
Kepala Jembatan sesuai fungsinya juga harus menahan tekanan tanah. Tekanan tanah



Gambar 13 : Tekanan tanah

- Gerusan
Adanya aliran air arus sungai maka perlu diperhitungkan adanya gerusan pada pangkal jembatan apabila aliran air sungai kecepatannya diatas aliran kritis yaitu lebih besar 3 m/detik.

2.12. KOMBINASI BEBAN

Menurut Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya 1970 (PMJJR '70) adalah:

| Kombinasi Muatan | Hitungan |
|----------------------------|----------|
| I M + H + K.Ta + AH | 100 % |
| II M+Ta+AH+F+A+SR+T | 125 % |
| III Kombinasi I+R+F+A+SR+T | 140 % |
| IV M + Ta + AH + Gb | 150 % |
| V M + P | 130 % |

Keterangan :

- M = muatan mati A = muatan angin
- H = muatan hidup R = gaya rem
- K = koefisien kejut SR = susut rangkak
- Ta = tekanan tanah AH = aliran air
- T = suhu Gb = gempa bumi
- F = geser tumpuan bergerak
- P = gaya pada saat pelaksanaan

3. DASAR-DASAR PERHITUNGAN

Secara struktural ada sistem perhitungan pada konstruksi jembatan ini, yaitu :

- Konstruksi Beton Bertulang (*reinforced concrete*) berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI – 2.
- Konstruksi Beton Pratekan (*post-tensioned prestressed concrete*)

3.1. KONSTRUKSI BETON BERTULANG

Perhitungan kekuatan batas (*ultimate methode*) dengan koefisien beban = 1,5 yaitu:

- Beban batas = 1,5 beban yang terjadi.
- Gaya normal batas : $N_u = 1,5 N_{maks}$.
- Gaya geser batas : $Q_u = 1,5 Q_{maks}$.
- Momen batas : $M_u = 1,5 M_{maks}$.

3.2. MUTU BAHAN RENCANA

- Mutu Baja : U24 -- $\sigma_{au}^* = 2080$ kg/cm².
- Mutu Beton : K225 -- $\sigma_{bk}^* = 225$ kg/cm².

Untuk kekuatan rencana lihat PBI '71 Tabel 10.4.4. untuk $\phi = 1$.

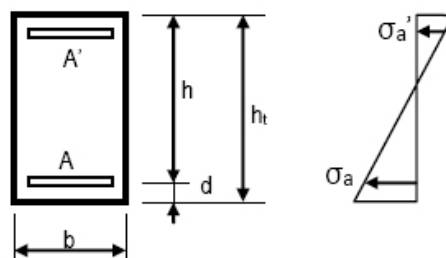
3.3. TULANGAN MINIMUM

Menurut PBI '71 tulangan minimumnya :

- Pelat : $A_{min} = 0,25\% . b . h_t$.
- Balok : $A_{min} = (12bh) / \sigma_{au}^*$.
- Kolom : $A_{min} = A + A' = 1\% . b . h_t$.
- Senggang minimum ϕ 8 mm.

3.4. RUMUS PERHITUNGAN TULANGAN

Menurut PBI '71:



Gambar 14 : Diagram tulangan

- A = tulangan tarik
- A' = tulangan tekan
- ht = tinggi penampang
- h = tinggi manfaat

- a. Koefisien
 - Koefisien $\emptyset = 1$
 - Koefisien ordinat tekan beton: $k_o = 0,5$

- b. Indek Tulangan Tarik (q)

Menurut PBI'71 pasal 12.3.6. diperoleh harga: $q_{\min} < q < q_{\max}$.
Indek tulangan tarik maksimum adalah :

$$q_m = \frac{2205}{(1 - \delta)(7350 + \sigma_{au}^*)}$$

menggunakan Tabel Ir. Wiratman mencari harga dengan pertolongan terlebih dahulu mencari harga C_u .

- c. Harga C_u .
Penampang menerima lentur murni :

$$C_u = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_u}{2k_o \cdot \sigma'_{bk} \cdot b}}}$$

Dengan harga C_u dalam tabel untuk menentukan harag q dan ζ_u .

Indek tulangan menurut Ir.

Wiratman

- Tabel II : q_{\min} untuk U.24
- Tabel III : ζ_{\max} untuk U.24
- Tabel IV : q_{\min} untuk K.225
- Tabel V : q_{\max} untuk U.24

Koefisien C_u penampang dengan lentur murni:

$$C_u = \frac{h}{\sqrt{\frac{N_u \cdot e_{au}}{2k_o \cdot \sigma'_{bk} \cdot b}}}$$

- d. Harga Luas Tulangan Beban Lentur

A = tulangan tarik
A' = tulangan tekan
 $\delta = A'/A$, maka $A' = \delta A$

- * Pelat, menerima beban lentur, tulangan tunggal.

$$A = q \cdot (\sigma'_{bk} / \sigma_{au}^*) \cdot 100h$$

$$A = M_u / (\zeta_u \cdot \sigma_{au}^* \cdot h)$$

- * Kolom atau balok menerima beban lentur dan gaya normal.

$$i = e_{au} / (1 - \zeta_u \cdot h)$$

Tulangan simetris:

$$iA = qbh / (\sigma'_{bk} / \sigma_{au}^*)$$

hitung pula gaya tekuk

- e. Geser Lentur

- * Kekuatan geser rencana Tanpa tulangan $\tau_{bu}^* = 9,5 \text{ kg/cm}^2$
Dengan tulangan $\tau_{bm,u}^* = 24 \text{ kg/cm}^2$

- * Tegangan geser yang terjadi:

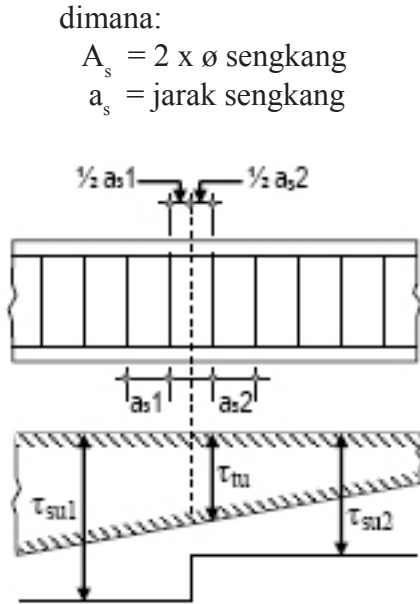
$$\tau_{bu} = Q_u / (0,9 \cdot h \cdot b)$$

bila :

- $\tau_{bu} > \tau_{bm}^*$ maka balok diperbesar
- $\tau_{bu} < \tau_{bu}^*$ cukup sengkang praktis
- $\tau_{bu} > \tau_{bu}^*$ pakai tulangan geser.

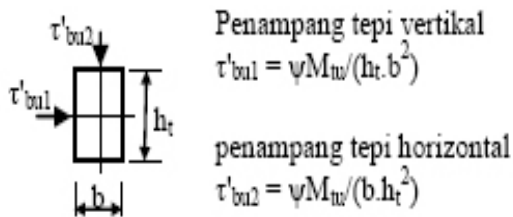
- * Tegangan geser dipikul sengkang:

$$\tau_{su} = (A_s \cdot \sigma_{au}^*) / (a_s \cdot b)$$



Gambar 15 : Diagram Geser

f. Geser Lentur Puntir



bila: $h_t > b$ $\psi = 3 + [2,6 / (0,45 + h_t/b)]$
 $h_t < b$ $\psi = 3 + [2,6 / (0,45 + b/h_t)]$

bila lentur dan puntir bersama-sama:

$$\tau_{bu} + \tau'_{bu} < \tau^*_{bm,u}$$

- Tulangan geser lentur puntir

$$\tau''_{bu} = M_{tu} / (b \cdot F_t) ;$$

$F_t = \text{luas teras}$

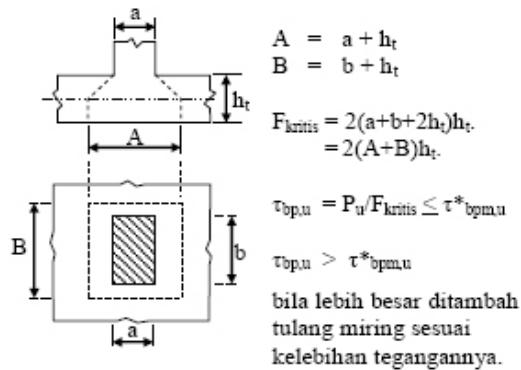
- Tulangan memanjang

$$A_{mem} = M_{tu} \cdot U_t / (2 \cdot (\sigma^*_{au} \cdot F_t)) ;$$

$U_t = \text{keliling teras}$

Bila: $\tau_{bu} + \tau'_{bu} > \tau^*_{bm,u}$ balok diperbesar

g. Akibat Geser Ponds



Gambar 16 : Geser Ponds.

- Tulangan tarik miring;

$$\tau_{mu} = \tau_{bp,u} - \tau^*_{bpm,u}$$

$$A_m = \tau_{mu} \cdot a_m \cdot b / (\sin \phi + \cos \phi) \sigma^*_{au}$$

dimana:

- A_m = luas tulangan tarik miring
- a_m = jarak tulangan tarik miring
- ϕ = sudut tulangan tarik miring
- b = lebar kritis.

3.5. KONTROL KEKAKUAN

a. Lendutan

Syarat :

$$\bar{f} < 0,004 L_o \rightarrow L_o = 0,75 L$$

$$f^p = f_c (g' k_1 k_2 + p') / (g + p)$$

$$f_c = [(\sigma'_a \cdot L_o) / a(1 - \xi)h] \cdot 10^{-6}$$

U24 $\rightarrow \sigma'_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$

$$\xi = (2,5 \cdot A \cdot \sigma^*_{au}) / (b \cdot h \cdot \sigma'_{bk})$$

dimana:

- g = beban mati
- g' = beban mati + beban hidup tetap.
- P = beban hidup.
- P' = beban hidup jangka panjang
- k_1 = koefisien bentuk
 - balok T tekan $k_1 = 1,5$
 - balok T tarik $k_1 = 2,5$
 - balok persegi $k_1 = 2,0$
- $k_2 = 1 / (1 + A'/A)$

- a = koefisien jenis batang tulangan
batang polos a = 2,08
batang diprofilkan a = 22,4
- $\xi = y/h =$ koefisien garis
sentral di tempat lendutan
 $= (2,5 \cdot A \cdot \sigma_{au}^*) / (bh \cdot \sigma_{bk}')$
- A = luas tulangan tarik.

Syarat: $f^o < \bar{f}$.

- b. Lendutan
 $\bar{W} = 0,1 \text{ mm}$.
 $W_o = \alpha [C_3 \cdot c + C_4 (d/w_p)] \cdot [\sigma_a - (C_5/W_p) \cdot 10^{-6}]$
- Dimana:
α = koefisien tulangan
c = selimut beton
C₃, C₄, C₅ = koefisien hitungan (PBI'71)
d = diameter tulangan
w_p = A/(bo.h)

Syarat : $W^o \leq \bar{W}$.

4. KONSTRUKSI BETON PRATEKAN

Yang digunakan dalam studi perencanaan jembatan ini adalah konstruksi beton pratekan (*pres-tressed concrete*) metode post-tensioning (*post-tensioned pres-tressed concrete*).

Metode post-tensioning adalah gaya pratekan diberikan setelah konstruksi betonnya cukup keras yaitu pada umur 28 hari. Gaya pratekan bekerja melalui tendon dan dimasukkan ke dalam selubung tendon (kokes) agar tidak terjadi lekatan dengan beton sehingga gaya pratekan bekerja sepanjang balok induk jembatan. Gaya pratekan ditransfer melalui angker dan ditahan oleh ujung balok.

4.1. Load Balancing Methode

Gaya pratekan yang diberikan untuk mengimbangi beban kerja yang

timbul, baik untuk mengimbangi sebagian maupun seluruh beban kerja yang terjadi. Bila yang dapat diimbangi hanya sebagian maka kelebihan beban kerja dibebankan kepada tulangan non-pratekan,

4.2. Mutu Beton

a. Mutu beton: K.400 → $\sigma'_{bk} = 400 \text{ kg/cm}^2$

b. Elastisitas Beton

Menurut PBI '71 Pasal 11.1.1 :
Modulus sekan beton minimal adalah:

Beban Tetap : $E_b = 6.400 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

Beban Sementara: $E_b = 9.600 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

Menurut RVB'67 persamaannya adalah:

$E_b = (200 + \frac{1}{3} \cdot \sigma'_{bk}) \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
 $= (200 + \frac{1}{3} \cdot 400) \cdot 10^3$
 $= 330.000 \text{ kg/cm}^2$.

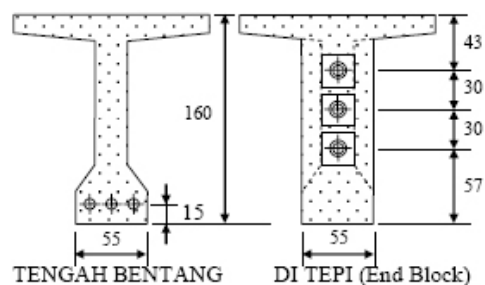
4.3. Mutu Baja dan Tendon

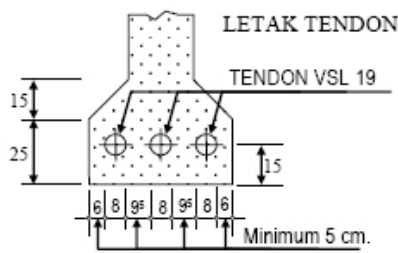
Dipakai Tendon VSL Type 19, dengan data:

- VSL 19 berisi kawat = 14ø12,5 mm
- Luas penampang = 1382 mm²
- Diameter selubung = ø 69 mm
- Berat tendon per meter = 10,9 kg
- Gaya tarik ijin (80%) = 210 ton
- Elastisitas tendon: $E_a = 1,9 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Angker yang dipakai:

- Angker hidup Type 19 Sc.
Ukuran plat: 265 mm x 265 mm.
- Angker mati Type 19 P.
Ukuran plat: 250 mm x 250 mm.





DETAIL POSISI TENDON TENGAH BENTANG

Gambar 17 : POSISI TENDON

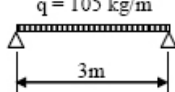
5. ANALISIS KONSTRUKSI

Analisis konstruksi dimulai dari sisi jembatan paling atas sebagai sisi yang berhubungan langsung dengan beban yang timbul.

5.1. BANGUNAN ATAS

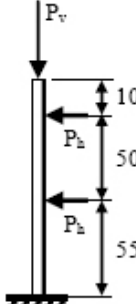
a. Trotoar

- Pipa sandaran :

$q = 105 \text{ kg/m}$

 3m
 Pipa galvanis:
 Diameter : 3"
 Berat : 5 kg/m
 $\bar{\sigma}_a$: 1400 kg/cm²
 W_x : 12,1 cm³
 Panjang : 3 m.
 Beban hidup = 100 kg/m'
 Berat sendiri = 5 kg/m'
 $q = 105 \text{ kg/m'}$
 $M = 1/8 q l^2 = 1/8 \cdot 105 \cdot 3^2 = 11812,5 \text{ kgm}$
 $\sigma^o = M/W_x = 1181250/12,1 = 976,24 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a \rightarrow \text{OK!}$

- Kolom beton untuk pipa :

Ukuran 20/15 cm, panjang 115 cm.
 Berat sendiri: $20 \times 15 \times 2500 = 75 \text{ kg}$
 Pipa : $3 \text{ m} \times 105 \text{ kg/m} = 315 \text{ kg}$
 $P_v = 75 + (2 \times 315) = 705 \text{ kg}$
 $P_h = 315 \text{ kg}$
 $M = 315 \times 105 + 315 \times 55 = 504 \text{ kgm}$


 $L_k = 2L = 2 \times 115 = 230 \text{ cm}$
 $P_u = 1,5P_v = 1,5 \times 705 = 1058 \text{ kg}$
 $M_u = 1,5M = 1,5 \times 504 = 756 \text{ kgm}$
 $e_{o1} = M_u/N_u = 756/1058 = 0,715 \text{ m}$
 $e_{o2} = 1/30 \cdot h_t = 1/30 \times 15 = \sim 0,02$
 $e_o = 0,715 + 0,02 = 0,735 \text{ m}$
 $e_o/h_t = 0,735/0,15 = 4,9;$

Kolom pagar

maka: $C_2 = 7,70$ dan $C_1 = 1$ (persegi)
 $e_2 = 0,15h_t = 0,15 \times 0,15 = 0,0225 \text{ m}$
 $e_u = e_o + e_1 + e_2 = 0,785 \text{ m}$
 $e_{au} = e_u + 1/2 h_t - 0,05 = 0,81 \text{ m}$
 $N_u \cdot e_{au} = 1058 \times 0,81 = 857 \text{ kgm}$
 $h = 20 - 5 = 15 \text{ cm}$

$$C_u = \frac{15}{\sqrt{\frac{857}{225 \times 0,15}}} = 2,98$$

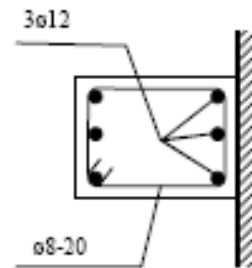
Dari tabel: $\delta = 0; q = 0,13$
 $q_{min} < q < q_{maks}$
 $\xi_u = 0,87 < \xi_{u_{maks}}$

$$i = \frac{1}{1 - \frac{(0,87 \times 9,15)}{0,81}} = 1,19$$

$$iA = 0,13 (225/2080) \cdot 15 \times 15 = 3,164 \text{ cm}^2$$

$$A = iA/i = 3,164 / 1,19 = 2,66 \text{ cm}^2$$

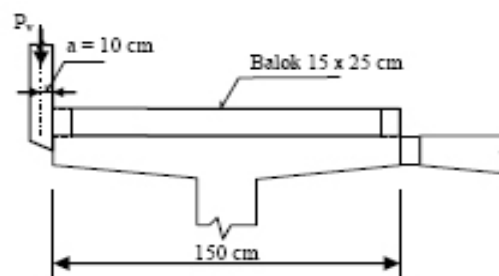
Diambil tulangan $3\phi 12 = 3,39 \text{ cm}^2$
 Sengkang $\phi 8 - 20$
 $A_{min} = 0,01 \times 15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2$



TULANGAN KOLOM

b. Perletakan Kolom

Balok perletakan kolom pada tepi jembatan ukuran 15 cm x 25 cm.



$$M = P_v \cdot a = 705 \times 0,10 = 70,5 \text{ kgm}$$

$$M_u = 1,5 \times 70,5 = 106 \text{ kgm}$$

$$\text{Total: } M_u = 106 + 756 = 862 \text{ kgm}$$

$$h = 25 - 5 = 20 \text{ cm.}$$

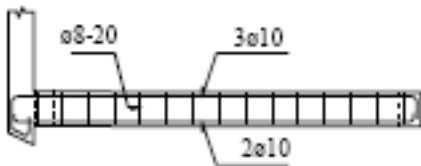
$$C_u = \frac{20}{\sqrt{\frac{862}{225 \times 0,15}}} = 3,96$$

Dari tabel: $\delta = 0; q = 0,07$
 $q_{\min} < q < q_{\max}$
 $\xi_u = 0,93 < \xi_{u_{\max}}$

$$A = q \cdot (\sigma'_{bk} / \sigma^*_{au}) \cdot 100h$$

$$= 0,07(225/2080)15 \times 20 = 2,27 \text{ cm}^2$$

Diambil tulangan: $3\phi 10 = 2,36 \text{ cm}^2$



Penulangan balok-kolom pipa sandaran

c. Balok KERB

Balok kerb terletak di tepi jalan menerima beban lateral $Q = 500 \text{ kg}$.
 $Q_u = 1,5 \times 500 = 750 \text{ kg}$.

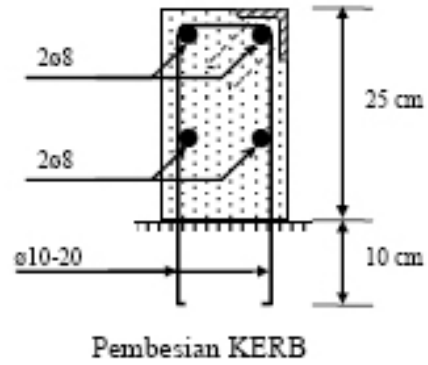
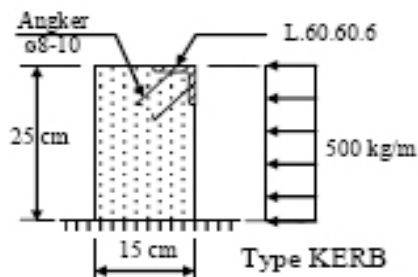
Diambil untuk panjang 100 cm.
 Tulangan $\phi 10 - 20 \rightarrow A = 3,93 \text{ cm}^2$
 $a_s = 20 \text{ cm}$

$$A = (3ba_s) / \sigma^*_{au}$$

$$= (3 \times 100 \times 20) / 2080 = 2,9 \text{ cm}^2$$

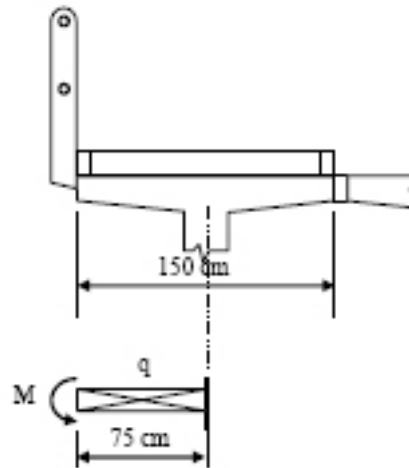
Tulangan pembagi = 20%.A.
 $A' = 0,2 \times 3,93 = 0,8 \text{ cm}^2$

Diambil: $2\phi 8 \rightarrow A' = 1,01 \text{ cm}^2$

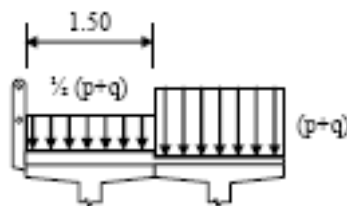


5.2. BALOK INDUK

a. Pelat Tepi



- Konstruksi trotoar = 1393 kg/m
- $M_s = \frac{1}{2} \times 1393 \times 0,75 = 523 \text{ kgm}$
- Beban hidup = $1,5 \times 500 = 750 \text{ kg/m}$
- $M_h = \frac{1}{4} \times 750 \times 0,75 = 282 \text{ kgm}$
- Beban akibat kendaraan (muatan D)
- Tepi: $\frac{1}{2} p = 6 \text{ ton/m}$
- $P = 6000 / 1,5 = 4000 \text{ kg/m}$
- $\frac{1}{2} q = 1,1 \text{ ton/m}$
- $Q = 1100 / 1,5 = 734 \text{ kg/m}$
- Momen : $\frac{1}{2} (4000 + 734) \cdot 0,75 = 2050 \text{ kgm}$.



Penulangan:

- Momen beban hidup, koef. kejut = 1,39
 $M = 1,39(282+862+2050) = 4440 \text{ kgm}$
- Total momen beban hidup + mati:
 $M_t = 523 + 4440 = 4963 \text{ kgm}$
 $M_u = 1,5 \times 4963 = 7445 \text{ kgm}$
 $h = 23 - 5 = 18 \text{ cm}$

$$C_u = \frac{18}{\sqrt{\frac{7445}{400 \times 1}}} = 4,17$$

Dari tabel: $\delta = 0,2; q = 0,06094$
 $q_{min} < q < q_{maks}$
 $\xi_u = 0,941 < \xi_{u_{maks}}$

$$A = q \cdot (\sigma'_{bk} / \sigma^*_{au}) \cdot 100h$$

$$= 0,06094 (400/2080) 100 \times 18$$

$$= 21,09 \text{ cm}^2$$

Diambil tulangan: $\phi 22-18 = 21,18 \text{ cm}^2$
 $A^2 = 20\% \cdot A = 0,2 \times 21,18 = 4,218 \text{ cm}^2$
 Tulangan: $\phi 10-18 = 4,36 \text{ cm}^2$

- Kontrol geser :
 Berat sendiri = 1393 kg
 Beban hidup = 750 kg
 Muatan D = 5467 kg
 $Q = 7610 \text{ kg}$

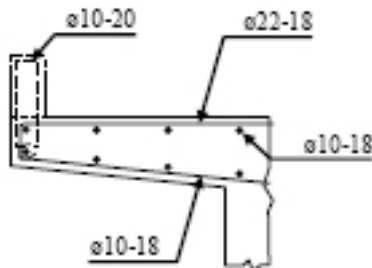
$$Q_u = 1,5 \times 7610 = 11415 \text{ kg}$$

$$\tau_{bu} = Qu/0,9 \cdot bh = 11415/0,9 \cdot 100 \cdot 18$$

$$= 7,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau^*_{bu} = 9,5 \text{ kg/cm}^2 > \tau_{bu} \rightarrow \text{OK}$$

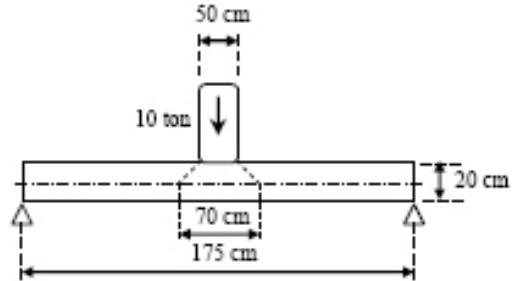
dipakai tulangan $\phi 10 - 20$



Penulangan tepi jembatan

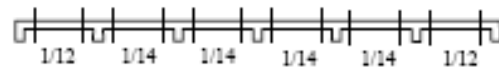
5.3. LANTAI KENDARAAN

- a. Muatan "T"
 Diambil bentang di antara balok induk.



- Tebal pelat lantai : $h_t = 20 \text{ cm}$
- Lebar roda : $b = 50 \text{ cm}$
- Lebar pembebanan : $B = 70 \text{ cm}$
- Beban roda : $P = 10 \text{ ton}$
- Ekuivalen beban : $q = 10 \text{ ton}/0,70$
 $q = 14286 \text{ kg/m}$
- Koefisien kejut :
 $K = 1 + 20/(50 + L)$
 $= 1 + 20/(50 + 1,75) = 1,38$

- b. Momen menurut Tabel PBI'71 pasal 13.2



$$M = c \cdot q \cdot L^2 \cdot K$$

Momen maksimum adalah momen dengan koefisien momen $c = 1/12$.

$$M_{maks} = c \cdot q \cdot L^2 \cdot K$$

$$= 1/12 \times 14286 \times 1,75^2 \times 1,38$$

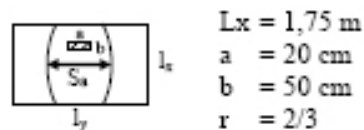
$$= 5032 \text{ kgm}$$

$$Q_{maks} = \frac{1}{2} q \cdot L \cdot K$$

$$= \frac{1}{2} \times 14286 \times 1,75 \times 1,38$$

$$= 17250 \text{ kg}$$

- c. Menurut PBI'71 pasal 13.4 :



$$Lx = 1,75 \text{ m}$$

$$a = 20 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$r = 2/3$$

$$Sa = \frac{3}{4} a + \frac{3}{4} r \cdot Lx$$

$$= \frac{3}{4} \cdot 20 + \frac{3}{4} \cdot 2/3 \cdot 1,75 = 102,5 \text{ cm}$$

$$M_{maks} = M_t / Sa = 5032 / 1,025 = 4910 \text{ kgm}$$

- d. Berat Sendiri :
 Aspal : $0,075 \times 2250 = 169 \text{ kg/m}$
 Beton : $0,225 \times 2500 = 563 \text{ kg/m}$
 Air hujan: $0,05 \times 1000 = 50 \text{ kg/m}$
 Berat total : $= 782 \text{ kg/m}$
 $M_s = 1/12 \times 782 \times 1,75^2 = 200 \text{ kgm.}$
 $Q_s = 1/4 \times 782 \times 1,75 = 685 \text{ kgm}$

- e. Momen total :
 $M_{tot} = M_{maks} + M_s$
 $= 4910 + 200 = 6910 \text{ kgm}$
 $Q_{tot} = Q_{maks} + Q_s$
 $= 17250 + 685 = 17935 \text{ kgm}$
 $M_{lx} = 6910 \text{ kgm}$

Untuk $L_y > 3 L_x$

$$M_{lx} = \frac{M_{lx}}{1 + (4a/3/L_y)} = \frac{6910}{1 + (4 \cdot 0,2/3 \cdot 1,75)} = 6000 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 1/3 \cdot M_{lx} = 1/3 \cdot 6910 = 2304 \text{ kgm}$$

- f. Penulangan:
 Karena $L_y/L_x > 2,5$, maka pelat ini diperhitungkan sebagai balok.

- Lapangan x.

$$M_u = 1,5 \times 6910 = 10365 \text{ kgm}$$

$$h = 20 - 2 = 18 \text{ cm.}$$

$$C_u = \frac{18}{\sqrt{\frac{10365}{400 \times 1}}} = 3,54$$

Dari tabel: $\delta = 0,2; q = 0,0875$
 $q_{min} < q < q_{maks}$
 $\xi_u = 0,924 < \xi_{u_{maks}} = 0,956$

$$A = q \cdot (\sigma'_{bk} / \sigma^*_{au}) \cdot 100h.$$

$$= 0,0875 (400/2080) 100 \times 18$$

$$= 30,03 \text{ cm}^2.$$

Diambil tulangan: $\phi 22-12 = 31,67 \text{ cm}^2$
 $A' = 20\% \cdot A = 0,2 \times 30,03 = 6,1 \text{ cm}^2$
 Tulangan: $\phi 10-12 = 6,1 \text{ cm}^2$

$$A_{min} = 0,25\%bh = 0,25\% \cdot 100 \cdot 20 = 5 \text{ cm}^2$$

- Lapangan y.

$$M_u = 1,5 \times 6000 = 9000 \text{ kgm}$$

$$h = 20 - 3 = 17 \text{ cm.}$$

$$C_u = \frac{17}{\sqrt{\frac{9000}{400 \times 1}}} = 3,58$$

Dari tabel: $\delta = 0,2; q = 0,08438$
 $q_{min} < q < q_{maks}$
 $\xi_u = 0,926 < \xi_{u_{maks}} = 0,956$

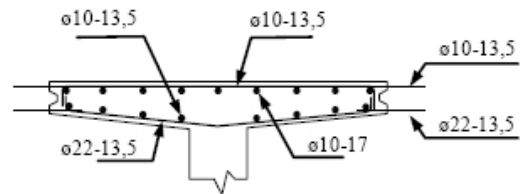
$$A = q \cdot (\sigma'_{bk} / \sigma^*_{au}) \cdot 100h.$$

$$= 0,08438 (400/2080) 100 \times 17$$

$$= 27,6 \text{ cm}^2.$$

Diambil tulangan: $\phi 22-13,5 = 28,16 \text{ cm}^2$
 $A' = 20\% \cdot A = 0,2 \times 27,6 = 5,52 \text{ cm}^2$
 Tulangan: $\phi 10-13,5 = 5,82 \text{ cm}^2$

Pemulangan Sayap "T" balok induk bagian tengah (lantai kendaraan)



PENULANGAN SAYAP BALOK INDUK

- g. Pemeriksaan Kekakuan Konstruksi

- Kontrol Lebar Retak
 Menurut PBI'71 pasal 10.7.1.
 Syarat: $\bar{w} = 0,01 \text{ cm}$

$$W^o = \alpha(C_3 \cdot c + C_4 \cdot d/w_p) (\bar{\sigma}_a - C_s/w_p) \cdot 10^6 \text{ cm}$$

Dimana:

$\alpha = 1,2$ untuk batang polos
 (mild steel)

$C_3 = 1,5$ menurut Tabel 10.7.1.

$c = 2 \text{ cm}$ selimut beton

$C_4 = 0,04$ menurut Tabel 10.7.1.

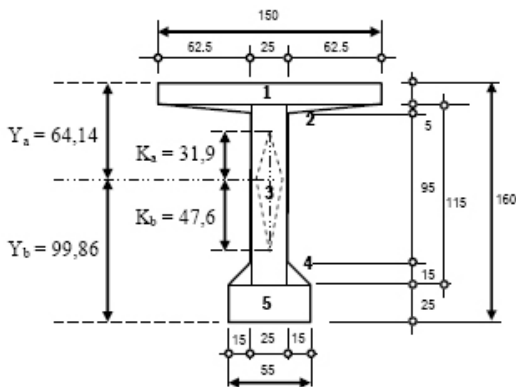
$d = 2,2 \text{ cm}$ diameter tulangan
 $w_p = A/b \cdot ht = 30,3/100 \times 20 = 0,01515$
 $\bar{\sigma}_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$ tegangan tarik U.24
 $C_5 =$ menurut Tabel 10.7.1.

$W^o = 1,2(1,5 \cdot 2 + 0,04 \cdot 2,2/0,01515)$
 $(1400 - 7,5/0,01515) = 0,01 \text{ cm.}$
 $W^o = \bar{W}$ memenuhi.

- Kontrol Lendutan
 Menurut PBI'71 pasal 10.5.2.
 $L_x = 1,75 \text{ m} < 4,5 \text{ m.}$
 $L_x/35 = 5 \text{ cm} < h_t = 20 \text{ cm.}$
 Maka lendutan tidak perlu dikontrol.

5.4. BALOK BETON PRATEKAN PRACETAK
(posttensioned members)

Desain Penampang Balok



- a. Letak Garis Netral
 Statis momen terhadap sisi bawah.

| Bag | Luas (A) (cm ²) | y (cm) | A.y (cm ³) |
|-----|---------------------------------|--------|------------------------|
| 1 | 20 x 150 = 3000 | 150 | 450000 |
| 2 | 62,5 x 5 = 312,5 | 113,5 | 35406,25 |
| 3 | 25 x 115 = 2875 | 62,5 | 237187,5 |
| 4 | 15 x 15 = 225 | 30 | 6750 |
| 5 | 25 x 55 = 1375 | 12,5 | 17187,5 |
| | A_{tot} = 7787,5 | | 746531,25 |

$Y_b = A \cdot y / A$
 $= 746531,25 / 7787,5 = 95,86 \text{ cm}$
 $Y_a = h_t - Y_b = 160 - 95,86 = 64,14 \text{ cm}$

- b. Momen Inersia
 Luas total

| Bag | $I_o = 1/12 \cdot bh^3$ (cm ⁴) | A = bh (cm ²) | y ² (cm ²) |
|-----|--|--|-----------------------------------|
| 1 | 1/12 · 150 · 20 ³ = 100000 | 3000 | 2931 |
| 2 | 2/36 · 62,5 · 5 ³ = 434 | 312,5 | 1804 |
| 3 | 1/12 · 25 · 115 ³ = 179166 | 1103,5 | 487,08 |
| 4 | 1/12 · 25 · 70,86 ³ = 791246 | 1771,5 | 1255,28 |
| 5 | 2/36 · 15 · 15 ³ = 2813 | 225 | 4337,5 |
| | 1/12 · 55 · 25 ³ = 71615 | 1375 | 6949 |
| | | A_{tot} = 7787,5 cm² | |

Total Inersia

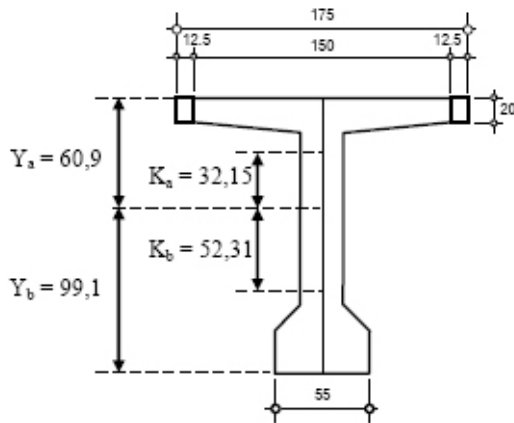
| Bag | I_o (cm ⁴) | $A \cdot y^2$ (cm ⁴) | $I_x = I_o + A \cdot y^2$ (cm ⁴) |
|-----|--------------------------|----------------------------------|---|
| 1 | 100000 | 8793000 | 8 893 000 |
| 2 | 434 | 563750 | 564 184 |
| 3 | 179166 | 537493 | 716 659 |
| 4 | 791246 | 2223729 | 3 014 975 |
| 5 | 2813 | 975938 | 978 751 |
| | 71615 | 9554875 | 9 626 490 |
| | | | $I_x = 23 794 059 \text{ cm}^4$ |

- c. Titik Kern
 $K_a = I_x / y_b \cdot A$
 $= 23794059 / 95,86 \times 7787,5 = 31,9 \text{ cm.}$
 $K_b = I_x / y_a \cdot A$
 $= 23794059 / 64,14 \times 7787,5 = 47,6 \text{ cm.}$

5.5. KONSTRUKSI BALOK INDUK BETON PRATEKAN
(precast + cast in situ)

- a. Garis Berat Balok Induk
 Luas penampang (A):
 Balok pracetak (*precat*) = 7787,5 cm²

$\text{Cast in situ: } \frac{2 \times 12,5 \cdot 20}{A} = \frac{500}{8287,5} \text{ cm}^2$



Statis Momen = $A \cdot y$
 Balok pracetak (*precast*) = $7787,5 \text{ cm}^3$

Cast in situ: $\frac{500 \times 150}{A \cdot y} = \frac{75000 \text{ cm}^3}{821531,5 \text{ cm}^3}$

$$Y_b = \frac{A \cdot y}{A} = \frac{821531,5}{8287,5} = 99,1 \text{ cm}$$

$$Y_a = h_t - Y_b = 160 - 99,1 = 60,9 \text{ cm}$$

b. Momen Inersia Precast & cast in Situ
 Luas total

| Bag | $I_o = 1/12 \cdot bh^3$ (cm^4) | $A = bh$ (cm^2) | y^2 (cm^2) |
|-----|--|--|----------------------------|
| 1 | $1/12 \cdot 175 \cdot 20^3 = 116667$ | 3500 | 2590,81 |
| 2 | $2/36 \cdot 62,5 \cdot 5^3 = 434$ | 312,5 | 1539,25 |
| 3 | $1/12 \cdot 25 \cdot 40,9^3 = 142537$ | 1022,5 | 418,20 |
| 4 | $1/12 \cdot 25 \cdot 74,1^3 = 647644$ | 1852,5 | 1372,70 |
| 5 | $2/36 \cdot 15 \cdot 15^3 = 2813$ | 225 | 4774,81 |
| | $1/12 \cdot 55 \cdot 25^3 = 71615$ | 1375 | 7499,56 |
| | | $A_{\text{tot}} = 8287,5 \text{ cm}^2$ | |

Total Inersia

| Bag | I_o (cm^4) | $A \cdot y^2$ (cm^4) | $I_x = I_o + A \cdot y^2$ (cm^4) |
|-----|----------------------------|------------------------------------|--|
| 1 | 116667 | 9067835 | 9 184 502 |
| 2 | 434 | 481015 | 481 016 |
| 3 | 142537 | 427610 | 570 147 |
| 4 | 647644 | 2542927 | 3 390 571 |
| 5 | 2813 | 1074332 | 1 077 145 |
| | 71615 | 10311895 | 10 383 510 |
| | | | $I_x = 25 086 891 \text{ cm}^4$ |

d. Titik Kern

$$K_a = \frac{I_x}{y_b \cdot A} = \frac{25086891}{99,1 \times 8287,5} = 30,5 \text{ cm}$$

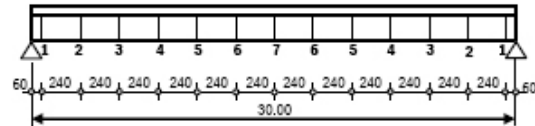
$$K_b = \frac{I_x}{y_a \cdot A} = \frac{25086891}{60,9 \times 8287,5} = 49,7 \text{ cm}$$

$$I_a = 10235665 \text{ cm}^4$$

$$I_b = 14851226 \text{ cm}^4$$

5.6. PEMBEBANAN AWAL (*precast*)

a. Berat Sendiri



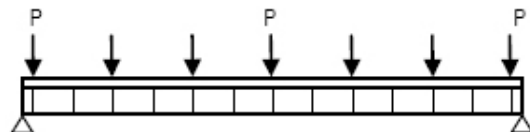
Berat balok: $0,77875 \times 2500 = 1947 \text{ kg/m}$
 $D_{\text{maks}} = \frac{1}{2} q l = \frac{1}{2} 1947 \cdot 30 = 29205 \text{ kg}$
 $M_{\text{maks}} = \frac{1}{8} \cdot q l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1947 \cdot 30^2 = 2190308 \text{ kgm}$
 $M_x = D_{\text{maks}} \cdot x - \frac{1}{2} q x^2$

Momen pada jarak x.

| Titik | x m | $D_{\text{maks}} \cdot x$ kgm | $\frac{1}{2} q x^2$ kgm | M_x kgm |
|-------|--------|----------------------------------|----------------------------|--------------|
| 1 | 0,60 | 17523 | 350,5 | 17173 |
| 2 | 3,00 | 87615 | 877,5 | 86738 |
| 3 | 5,40 | 157707 | 28387,5 | 129320 |
| 4 | 7,80 | 227799 | 59227,7 | 168571 |
| 5 | 10,20 | 297891 | 101283 | 196608 |
| 6 | 12,60 | 376983 | 154553 | 213430 |
| 7 | 15,00 | 438075 | 219037,5 | 219038 |

b. Beban Diafragma

Berat diafragma per unit:
 $P = 0,2 \times 1,05 \times 1,5 \times 2500 = 788 \text{ kg}$



$$D_{\text{maks}} = R_a = R_b = \frac{1}{2} \times 7 \times 788 = 2758 \text{ kg}$$

$$M_x = D_{\text{maks}} \cdot x - P(x - a)$$

| Ttk | x m | D _{maks} .x kgm | (x-a) m | ΣP(x-a) kgm | M _x kgm |
|-----|--------|-----------------------------|------------|----------------|-----------------------|
| 1 | 0,60 | 1654,8 | | | 1655 |
| 2 | 3,00 | 8274 | 2,40 | 1891,2 | 6383 |
| 3 | 5,40 | 14893,2 | 4,80 | 3782,4 | 11111 |
| 4 | 7,80 | 21512,4 | 7,20 | 5673,6 | 13948 |
| 5 | 10,20 | 28131,6 | 9,60 | 7564,8 | 16785 |
| 6 | 12,60 | 34750,8 | 12,00 | 9456 | 17730 |
| 7 | 15,00 | 41370 | 14,40 | 11347,2 | 18676 |

| Ttk | x m | D _{maks} .x kgm | (x-a) m | P(x-a) kgm | ΣP(x-a) kgm | M _x kgm |
|-----|--------|-----------------------------|------------|---------------|----------------|-----------------------|
| 1 | 0,60 | 1930,2 | - | - | - | 1930 |
| 2 | 3,00 | 9631 | 2,40 | 2206 | 2206 | 7445 |
| 3 | 5,40 | 17371,8 | 4,80 | 4411,2 | 4411,2 | 12961 |
| 4 | 7,80 | 25092,6 | 7,20 | 6616,8 | 8822,4 | 167270 |
| 5 | 10,20 | 32813,4 | 9,60 | 8822,2 | 13233,6 | 19580 |
| 6 | 12,60 | 40534,2 | 12,00 | 11028 | 19850,4 | 20684 |
| 7 | 15,00 | 48255 | 14,40 | 13233,6 | 26467,2 | 21788 |

5.7. PEMBEBANAN AKHIR

a. Berat Sendiri

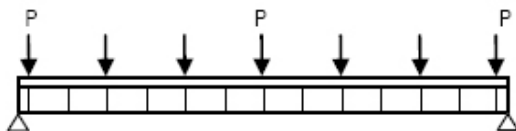
Luas penampang: $A = 8287,5 \text{ cm}^2$
 Berat balok: $q = 8287,5 \times 2500 = 2072 \text{ kg/m}$
 $D_{maks} = \frac{1}{2} ql = \frac{1}{2} 2072 \cdot 30 = 31080 \text{ kg}$
 $M_{maks} = \frac{1}{8} \cdot ql^2 = \frac{1}{8} \cdot 2072 \cdot 30^2 = 233100 \text{ kgm}$
 $M_x = D_{maks} \cdot x - P(x - a)$

Momen pada jarak x.

| Titik | x m | D _{maks} .x kgm | $\frac{1}{2} qx^2$ kgm | M _x kgm |
|-------|--------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,60 | 18648 | 373 | 18275 |
| 2 | 3,00 | 93240 | 9324 | 83916 |
| 3 | 5,40 | 167832 | 30210 | 137622 |
| 4 | 7,80 | 242424 | 63030 | 179394 |
| 5 | 10,20 | 317016 | 107786 | 209231 |
| 6 | 12,60 | 391608 | 164475 | 227133 |
| 7 | 15,00 | 466200 | 233100 | 233100 |

b. Beban Diafragma

Berat diafragma per unit:
 $P = 0,2 \times 1,05 \times 1,75 \times 2500 = 919 \text{ kg}$



$D_{maks} = R_a = R_b = \frac{1}{2} \times 7 \times 919 = 3217 \text{ kg}$
 $M_x = D_{maks} \cdot x - \sum P(x - a)$

c. Beban Trotoar

- Balok kerb: $3(0,25 \cdot 0,15 \cdot 2500) = 282 \text{ kg/m}$
 - Berat pasir: $1,25 \cdot 1,5 \cdot 1800 = 675 \text{ kg/m}$
 - Berat tegel: $1,5 \cdot 72 = 108 \text{ kg/m}$
 - Berat pagar: $(3 \times 10) + 25 = 55 \text{ kg/m}$
 $q = 1120 \text{ kgm}$

$D_{maks} = \frac{1}{2} ql = \frac{1}{2} 1120 \cdot 30 = 16800 \text{ kg}$
 $M_{maks} = \frac{1}{8} \cdot ql^2 = \frac{1}{8} \cdot 1120 \cdot 30^2 = 126000 \text{ kgm}$
 $M_x = D_{maks} \cdot x - \frac{1}{2} qx^2$

d. Beban Aspal

- Berat aspal: $0,1 \times 1,75 \times 2250 = 394 \text{ kg/m}$
 - $D_{maks} = \frac{1}{2} ql = \frac{1}{2} 394 \cdot 30 = 5910 \text{ kg}$
 - $M_{maks} = \frac{1}{8} \cdot ql^2 = \frac{1}{8} \cdot 394 \cdot 30^2 = 4325 \text{ kgm}$
 - $M_x = D_{maks} \cdot x - \frac{1}{2} qx^2$

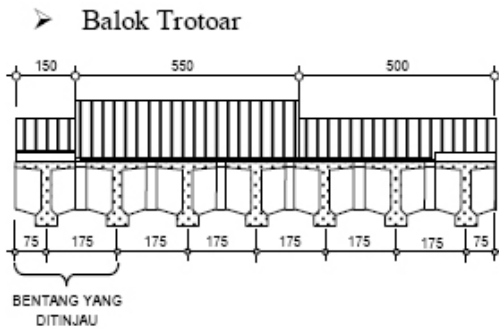
Beban Trotoar, momen pada jarak x.

| Titik | x m | D _{maks} .x kgm | $\frac{1}{2} qx^2$ kgm | M _x kgm |
|-------|--------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,60 | 10080 | 201,6 | 9878 |
| 2 | 3,00 | 50400 | 5040 | 45360 |
| 3 | 5,40 | 90720 | 16329,6 | 74390 |
| 4 | 7,80 | 131040 | 34070,4 | 96969,6 |
| 5 | 10,20 | 171360 | 58262,5 | 113098 |
| 6 | 12,60 | 211680 | 88905,6 | 122774,4 |
| 7 | 15,00 | 252000 | 126000 | 126000 |

Beban ASPAL, momen pada jarak x.

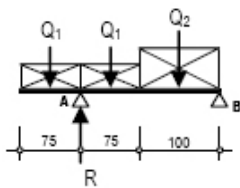
| Titik | x m | D _{maks} .x kgm | $\frac{1}{2} qx^2$ kgm | M _x kgm |
|-------|--------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,60 | 3546 | 71 | 3475 |
| 2 | 3,00 | 53190 | 1773 | 51417 |
| 3 | 5,40 | 31914 | 5745 | 26179 |
| 4 | 7,80 | 46098 | 11985 | 34114 |
| 5 | 10,20 | 60282 | 20496 | 39786 |
| 6 | 12,60 | 74466 | 31276 | 43190 |
| 7 | 15,00 | 88650 | 44325 | 44325 |

- e. Muatan “D”
 Muatan D adalah ekuivalen muatan hidup yang melintang jalur lalulintas.
 Jalur lalulintas terdiri dari:
 - Muatan garis: $P = 12 \text{ ton}$.
 - Muatan merata: $q = 2,2 \text{ t/m}$, $L \leq 30 \text{ m}$
 - Lebar lalulintas satu jalur = $2,75 \text{ m}$.
 - Koefisien kejut: $K = 1 + 20 / (50 + 30) = 1,25$



Beban Garis:
 $P = \frac{12 \text{ ton}}{2,75 \text{ m}} = 4,364 \text{ ton/m}$
 Beban Merata:
 $q = \frac{2,2 \text{ ton/m}}{2,75 \text{ m}} = 0,800 \text{ ton/m}^2$

Pembebanan Balok Trotoar



Beban garis:
 $Q_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \times 4,364 = 1,636 \text{ t/m}$
 $Q_2 = 1 \times 4,364 = 4,364 \text{ t/m}$

- Statis momen terhadap titik B.
 - Beban Garis:
 $Q_1 \cdot (2,125) - R(1,75) + Q_1 \cdot (1,375) + Q_2 \cdot (0,50) = 0$
 $1,636 \cdot (2,125) - R(1,75) + 1,636 \cdot (1,375) + 4,364(0,50) = 0$
 $R(1,75) = 3,477 + 2,250 + 2,182$
 $R = 4,519 \text{ ton}$

- Beban Merata:
 $Q_1 = 0,50 \times 0,75 \times 0,8 = 0,300 \text{ ton}$
 $Q_2 = 1 \times 0,8 = 0,800 \text{ ton}$

$$Q_1 \cdot (2,125) - R(1,75) + Q_1 \cdot (1,375) + Q_2 \cdot (0,50) = 0$$

$$0,3 \cdot (2,125) - R(1,75) + 0,3 \cdot (1,375) + 0,8(0,50) = 0$$

$$R(1,75) = 0,321 + 0,413 + 0,4$$

$$R = 0,648 \text{ ton}$$

- f. Muatan D pada Trotoar
 - Garis pengaruh:

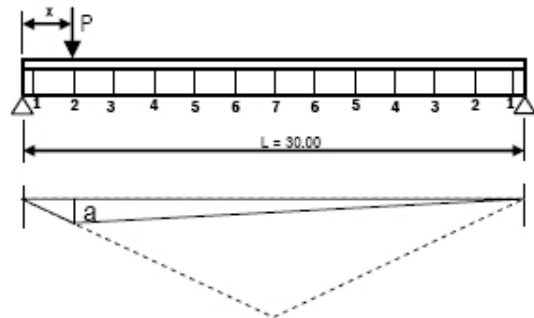


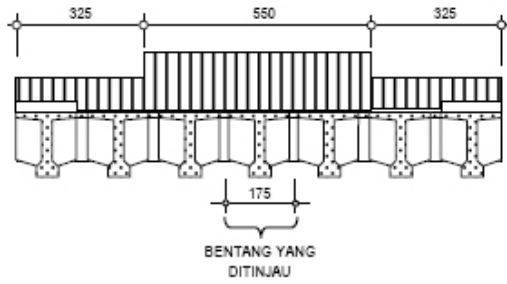
Diagram Garis Pengaruh

- Beban garis : $P = 4,519 \text{ ton}$
 Beban merata : $= 0,648 \text{ t/m}$
 Beban hidup : $= 0,500 \text{ t/m}$
 $q = 1,148 \text{ ton/m}$

dimana:
 $a = (L-x/L) \cdot x$
 $A = \frac{1}{2} L \cdot a$
 $M_p = a \cdot P$
 $M_q = A \cdot q$

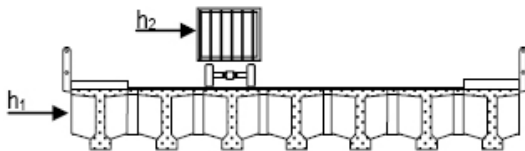
| Ttk | x m | a m | A m ² | M _p kgm | M _q kgm |
|-----|--------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 0,6 | 0,588 | 8,82 | 2657 | 10125 |
| 2 | 3,0 | 2,700 | 40,50 | 12201 | 46494 |
| 3 | 5,4 | 4,428 | 66,42 | 20010 | 76250 |
| 4 | 7,8 | 5,772 | 86,58 | 26084 | 99394 |
| 5 | 10,2 | 6,732 | 100,98 | 30422 | 115925 |
| 6 | 12,6 | 7,308 | 109,62 | 33025 | 125844 |
| 7 | 15,0 | 7,500 | 112,50 | 33893 | 129150 |

- g. Balok Induk pada Jalur Lalulintas
 - Beban muatan D :
 $P = 1,75 \times 4,364 = 7,637 \text{ ton}$
 $q = 1,75 \times 0,800 = 1,400 \text{ t/m}$

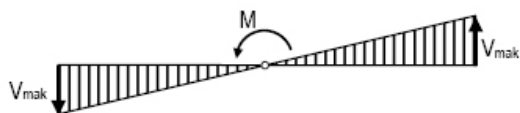


| Ttk | x | a | A | M _p | M _q |
|-----|------|-------|----------------|----------------|----------------|
| | m | m | m ² | kgm | kgm |
| 1 | 0,6 | 0,588 | 8,82 | 4491 | 12348 |
| 2 | 3,0 | 2,700 | 40,50 | 20620 | 56700 |
| 3 | 5,4 | 4,428 | 66,42 | 33817 | 91988 |
| 4 | 7,8 | 5,772 | 86,58 | 44081 | 121212 |
| 5 | 10,2 | 6,732 | 100,98 | 51412 | 141372 |
| 6 | 12,6 | 7,308 | 109,62 | 55811 | 153468 |
| 7 | 15,0 | 7,500 | 112,50 | 57178 | 157500 |

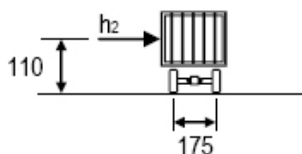
h. Muatan Angin



- Beban Angin pada bangunan atas
 $h_1 = 150\% \cdot 2,10 \cdot 100 = 315 \text{ kg/m}$
 $M_1 = 0,55 \cdot 315 = 174 \text{ kgm}$
 $V_{maks} = M / \frac{1}{2} L = 174 / \frac{1}{2} (10,5)$
 $= 33 \text{ kg/m}^2$



- Beban Angin pada Kendaraan
 $h_2 = 2 \times 100 = 200 \text{ kg/m}$
 $M_1 = 1,1 \times 200 = 220 \text{ kgm}$
 $V_{maks} = M / l = 220 / 1,75$
 $= 126 \text{ kg}$



Momen batang karena adanya pengaruh angin

- Beban angin pada balok induk
 $q = 33 \text{ kg/m}$
 $D_{maks} = \frac{1}{2} \times 33 \times 30 = 495 \text{ kg}$
 $M_x = (L-x/L) \cdot x \cdot (D_{maks} \cdot x)$

| Ttk | x | D _{maks} · x | ½ qx ² | M _x |
|-----|------|-----------------------|-------------------|----------------|
| | m | kgm | kgm | kgm |
| 1 | 0,6 | 297 | 6 | 291 |
| 2 | 3,0 | 1485 | 148,5 | 1337 |
| 3 | 5,4 | 2675 | 481 | 2194 |
| 4 | 7,8 | 3861 | 1004 | 2857 |
| 5 | 10,2 | 5049 | 1717 | 3332 |
| 6 | 12,6 | 6237 | 2620 | 3617 |
| 7 | 15,0 | 7425 | 3712 | 3712 |

- Beban angin pada Kendaraan
 $P = 126 \text{ kg}$; $M_p = P \cdot a$

| Ttk | x | a | M _p |
|-----|------|-------|----------------|
| | m | m | kgm |
| 1 | 0,6 | 0,588 | 75 |
| 2 | 3,0 | 2,700 | 340 |
| 3 | 5,4 | 4,428 | 558 |
| 4 | 7,8 | 5,772 | 727 |
| 5 | 10,2 | 6,732 | 848 |
| 6 | 12,6 | 7,308 | 921 |
| 7 | 15,0 | 7,500 | 945 |

i. Gaya Rem

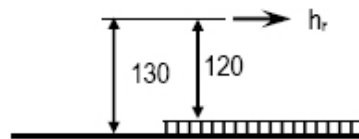


Diagram posisi gaya rem

- $P = 12/2,75 \times 1,75 = 7,636 \text{ ton}$.
- $q = 2,2/2,75 \times 30 = 24 \text{ ton}$.
- $hr = 5\% \cdot (P + q)$
 $= 0,05 \cdot (7,636 + 24) = 1,58 \text{ ton}$.
- $M = 1,58 \times 1,30 = 2,054 \text{ tm}$.
- * Besar gaya rem pada semua titik sama.

j. Rekapitulasi Beban
 Dari hasil perhitungan diambil momen maksimum, di titik tengah pada titik 7.

- Beban Awal = 237714 kgm
- Beban Akhir (blk trotoar) = 547643 kgm
- Beban Akhir (balok lalin) = 520702 kgm

5.8. TEGANGAN AWAL

a. Rumus pendekatan menurut TY Lin

Apabila:

$M_G/M_T > 0,30$, maka: $P = M_T/0,65h$.

$M_G/M_T < 0,30$, maka: $P = M_T - MG/0,5h$.

Sebagai balok "T" bila $M_G/M_T > 0,30$.

Dimana:

M_G = momen lentur akibat berat sendiri (DL)

M_T = momen lentur akibat berat total (DL+LL)

b. Tegangan Awal

$M_G/M_T = 237714/547643 = 0,434 > 0,30$
 Maka desain sebagai balok "T"

$P = M_T/0,65h = 547643/0,65 \times 1,6 = 526580 \text{ kg}$.

Direncanakan kehilangan tegangan = 17%
 Tegangan awal:

$P_0 = (100/83) \times 526580 \text{ kg} = 634434 \text{ kg}$

c. Pemilihan Tendon

Diambil Tendon VSL Type 19

Dipakai 3 buah tendon.

Isi kawat $14\phi 12,5 \text{ mm}$.

Total luas penampang kawat = $13,82 \text{ cm}^2$

Kekuatan tarik 80% beban putus:

$P = 210 \text{ ton}$.

Untuk 3 tendon: $P_0 = 3 \times 210 = 630 \text{ ton}$

Kehilangan tegangan 17% :

$P = 0,83 \times 630 = 522,9 \text{ ton}$.

5.9. TEGANGAN AWAL

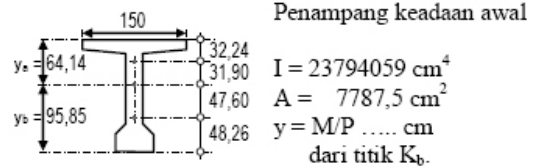
a. Tendon

Dipakai 3 unit Tendon VSL Type 19

$P_0 = 630000 \text{ kg}$ (80% beban putus)

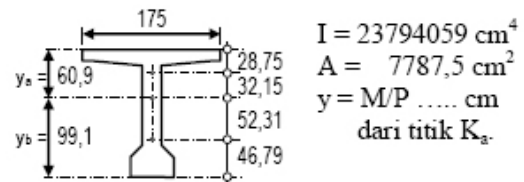
$P = 535500 \text{ kg}$ (15% losses)

b. Keadaan Awal



Penampang keadaan awal

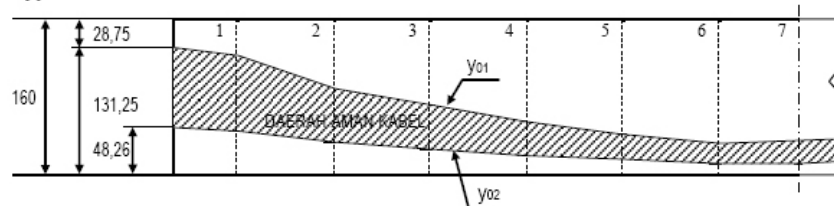
c. Keadaan Saat Beban Bekerja



- TABEL DAERAH AMAN KABEL

| Deskripsi | Sat | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
|-------------------------|---------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AKIBAT BEBAN MATI | Momen minimum | Kgm | 18828 | 93121 | 140431 | 182519 | 213393 | 231160 | 237714 |
| $P_0 = 630 \text{ ton}$ | y_1 | Cm | 3 | 14,78 | 22,29 | 28,97 | 33,87 | 36,69 | 37,73 |
| | y_{01} | Cm | 45,26 | 33,48 | 25,97 | 19,29 | 14,39 | 11,57 | 10,53 |
| AKIBAT BEBAN TOTAL | Momen maximum | Kgm | 42939 | 223829 | 308362 | 400707 | 467615 | 506878 | 520702 |
| $P = 522,9 \text{ ton}$ | y_2 | Cm | 8,21 | 42,80 | 58,97 | 76,63 | 89,43 | 96,94 | 99,58 |
| | y_{02} | Cm | 123,04 | 88,45 | 72,28 | 54,62 | 41,82 | 34,31 | 31,67 |

y_0 di ukur dari sisi bawah kabel



5.10. TEGANGAN AKIBAT BERAT SENDIRI

a. Tegangan Ijin

Sesuai PBI '71 adalah:

Tarik: $\bar{\sigma}_b = 1,2 \sigma_b' = 24 \text{ kg/cm}^2$.

Tekan: $\bar{\sigma}_a = 0,43 \sigma_{bk}' = 172 \text{ kg/cm}^2$.

Rumus Umum:

$$\sigma = -P/A \pm P.e.y/I \mp M.y/I \quad \text{kg/cm}^2$$

b. Pada saat, $P_0 = 630 \text{ ton}$

$$P_0 = P_0/A = 630 \text{ ton}/7787,5 = 81 \text{ kg/cm}^2$$

-Di atas garis netral :

$$P_0.e.y_a/I = 630 \times 80,86 \times 64,14/23794059 = 137,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$M.y_a/I = 237714 \times 64,14/23794059 = 64,08 \text{ kg/cm}^2$$

-Di bawah garis netral :

$$P_0.e.y_b/I = 630 \times 80,86 \times 95,86/23794059 = 205,23 \text{ kg/cm}^2$$

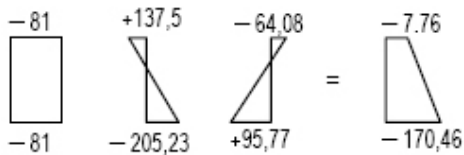
$$M.y_b/I = 237714 \times 95,86/23794059 = 95,77 \text{ kg/cm}^2$$

- Tegangan yang terjadi :

$$\sigma_{\text{atas}}^o = -81 + 137,5 - 64,08 = -7,76 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{bawah}}^o = -81 + 205,23 - 95,77 = -7,76 \text{ kg/cm}^2$$

Diagram:



c. Setelah kehilangan tegangan (17%)

$$P = 0,83.P_0 = 0,83.630 \text{ ton} = 522,9 \text{ ton}$$

$$P/A_b = 522,9/7787,5 = 67,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_0.e.y_a/I = 522,9 \times 80,86 \times 64,14/23794059 = 113,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_0.e.y_b/I = 522,9 \times 80,86 \times 95,86/23794059 = 170,34 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{atas}}^o = -67,15 + 113,98 - 64,08 = -7,76 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{bawah}}^o = -67,15 + 170,34 - 95,77 = -7,76 \text{ kg/cm}^2$$

* Semua tegangan $< \bar{\sigma}_b$ OK!

5.11. KONTROL PENAMPANG

a. Gaya Tekan Tendon: $P = 53550 \text{ kg}$.

b. Tegangan Tekan Ijin untuk K.400

Transfer: $\sigma_b' = 0,43 \sigma_{bk}' = 172 \text{ kg/cm}^2$.

Awal: $\sigma_{ba}' = 0,38 \sigma_{bk}' = 152 \text{ kg/cm}^2$.

c. Momen karena berat sendiri

$$M_s = 237714 \text{ kg/cm}^2$$

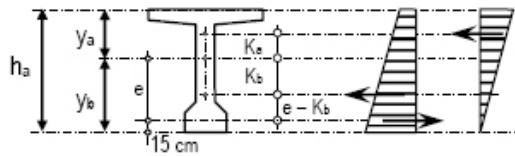


DIAGRAM TEGANGAN

d. Tinggi balok: $h = 160 \text{ cm}$

Luas penampang : $A = 7787,5 \text{ cm}^2$.

Eksentrisitas : $e = 80,86 \text{ cm}$

$K_a = 31,9 \text{ cm}$

$K_b = 47,6 \text{ cm}$

Letak garis netral (cgs):

$$e - K_b = M_s/P_0$$

$$e - K_b = 80,86 - 47,6 = 33,26 \text{ cm}$$

$$M_s/P_0 = 33,26 \text{ cm}$$

e. Kontrol Penampang

- Penampang rencana: $A_0 = 7787,5 \text{ cm}^2$.

- Menurut N.K. Raju :

$$A_{c1} = (P_0 / \bar{\sigma}_b) \cdot [1 + (M_s/P_0)/y_a] = (630/172) \cdot [1 + (80,86 - 47,6) / 64,134] = 6381 \text{ cm}^2 < A_0 \dots \text{OK}$$

$$A_{c2} = (P.h / \bar{\sigma}'_{ba} \cdot y_b) = (522900 \cdot 160 / 152 \times 95,66) = 5742 \text{ cm}^2 < A_0 \dots \text{OK}$$

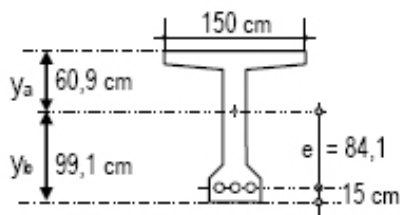
- Menurut N.K. Raju :

$$A_{c1} = (M_T / 0,65 \cdot h) \\ = 9547643 / 0,65 \times 160 \\ = 6880 \text{ cm}^2 < A_0 \dots \text{OK.}$$

* Dengan demikian penampang rencana memenuhi.

5.12. BALANCING METHODE

Menurut T.Y. Lin:



$$I_x = 25086891 \text{ cm}^4 \\ A_b = 8287,2 \text{ cm}^2 \\ W_a = 411936 \text{ cm}^3 \\ W_b = 253147 \text{ cm}^3$$

a. Beban Awal

- Tegangan Awal (saat ditransfer)

$$P = 522900 \text{ kg} \\ e = 84,1 \text{ cm} \\ M_1 = 1/8 \cdot q l^2 = P \cdot e = 522900 \times 84,1 \\ = 439739 \text{ kgm.} \\ q_1 = 8 \cdot M_1 / l^2 = \\ = 8 \times 439739 / 30^2 \\ = 3909 \text{ kg/m.}$$

- Momen Beban Awal

Momen-momen akibat beban sendiri:

$$\text{Balok} = 233100 \text{ kgm} \\ \text{Diafragma} = 21788 \text{ kgm} \\ \text{Trotoar} = 126000 \text{ kgm} \\ \text{Total momen, } M_2 = 380888 \text{ kgm}$$

$$q_2 = 8 \cdot M_2 / l^2 = \\ = 8 \times 380888 / 30^2 \\ = 3385,67 \text{ kg/m.}$$

b. Beban Imbang

$$q = q_1 - q_2 \\ = 3909 - 3385,67 = 523,33 \text{ kg/m} \\ M_{imb} = 1/8 \cdot q l^2 = 1/8 \times 523,33 \times 30^2 \\ = 58875 \text{ kgm.}$$

- Tegangan Beban Imbang

$$\sigma_i^o = (- P/A_b) + (M/W)$$

Serat Atas:

$$\sigma_{atas}^o = (- P/A_b) + (M/W_a) \\ = (- 522900/8287,5) + \\ (5887500/ 411936) \\ = - 48,81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bawah}^o = (- P/A_b) + (M/W_b) \\ = (- 522900/8287,5) + \\ (5887500/253147) \\ = - 86,36 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma^o < \bar{\sigma}_b' \dots\dots \text{OK!}$$

$$\sigma_b' = 0,33 \times 400 = - 132 \text{ kg/cm}^2$$

c. Beban Akhir (beban mati + beban hidup)

- Momen Beban Awal (saat ditransfer)

$$M_1 = P \cdot e = 522900 \times 84,1 \\ = 439739 \text{ kgm}$$

- Momen total akibat berat sendiri

$$M_2 = 380888 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang Terjadi

$$\sigma_i^o = (- P/A) + (M_1/W_a) + (M_2/W_a)$$

Serat Atas:

$$\sigma_{atas}^o = (- P/A_b) + (M_1/W_a) - (M_2/W_a) \\ = (- 522900/8287,5) + \\ (43975900/411936) - \\ (43975900/411936) \\ = - 48,81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bawah}^o = (- P/A_b) - (M_1/W_b) + (M_2/W_b) \\ = (- 522900/8287,5) - \\ (43975900/253147) + \\ (43975900/253147) \\ = - 39,84 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma^o < \bar{\sigma}_b' \dots\dots \text{OK!}$$

Tegangan Ijin:

$$\bar{\sigma}_b' = 0,33 \times 400 = - 132 \text{ kg/cm}^2$$

5.13. KOORDINAT TENDON

Pemasangan Tendon dengan lengkung parabola.

Persamaan parabola: $y = \frac{4 \cdot f \cdot x}{L^2} (L - x)$

a. Tendon bawah

$$f = 42 \text{ cm}$$

$$L = 2960 \text{ cm}$$

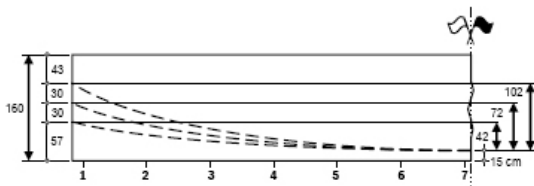
Persamaan untuk tendon bawah

$$y_b = \frac{4 \cdot 42 \cdot x}{2960^2} (2960 - x)$$

Tabel posisi koordinat Tendon bawah:

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| $x_1 = 40 \text{ cm}$ | $y_1 = 2,3 \text{ cm}$ |
| $x_2 = 280 \text{ cm}$ | $y_2 = 14,4 \text{ cm}$ |
| $x_3 = 520 \text{ cm}$ | $y_3 = 24,3 \text{ cm}$ |
| $x_4 = 760 \text{ cm}$ | $y_4 = 32,1 \text{ cm}$ |
| $x_5 = 1000 \text{ cm}$ | $y_5 = 37,6 \text{ cm}$ |
| $x_6 = 1240 \text{ cm}$ | $y_6 = 40,9 \text{ cm}$ |
| $x_7 = 1480 \text{ cm}$ | $y_7 = 42,0 \text{ cm}$ |

Posisi Tendon pada Balok Induk



b. Tendon tengah

$$f = 72 \text{ cm}$$

$$L = 2960 \text{ cm}$$

Persamaan untuk tendon bawah

$$y_b = \frac{4 \cdot 72 \cdot x}{2960^2} (2960 - x)$$

Tabel posisi koordinat Tendon tengah :

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| $x_1 = 40 \text{ cm}$ | $y_1 = 3,8 \text{ cm}$ |
| $x_2 = 280 \text{ cm}$ | $y_2 = 24,7 \text{ cm}$ |
| $x_3 = 520 \text{ cm}$ | $y_3 = 41,7 \text{ cm}$ |
| $x_4 = 760 \text{ cm}$ | $y_4 = 55,0 \text{ cm}$ |
| $x_5 = 1000 \text{ cm}$ | $y_5 = 64,4 \text{ cm}$ |
| $x_6 = 1240 \text{ cm}$ | $y_6 = 70,1 \text{ cm}$ |
| $x_7 = 1480 \text{ cm}$ | $y_7 = 72,0 \text{ cm}$ |

c. Tendon atas

$$f = 102 \text{ cm}$$

$$L = 2960 \text{ cm}$$

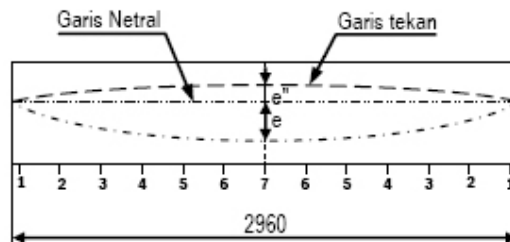
Persamaan untuk tendon bawah

$$y_b = \frac{4 \cdot 102 \cdot x}{2960^2} (2960 - x)$$

Tabel posisi koordinat Tendon tengah :

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| $x_1 = 40 \text{ cm}$ | $y_1 = 5,4 \text{ cm}$ |
| $x_2 = 280 \text{ cm}$ | $y_2 = 34,9 \text{ cm}$ |
| $x_3 = 520 \text{ cm}$ | $y_3 = 59,1 \text{ cm}$ |
| $x_4 = 760 \text{ cm}$ | $y_4 = 77,9 \text{ cm}$ |
| $x_5 = 1000 \text{ cm}$ | $y_5 = 91,3 \text{ cm}$ |
| $x_6 = 1240 \text{ cm}$ | $y_6 = 99,3 \text{ cm}$ |
| $x_7 = 1480 \text{ cm}$ | $y_7 = 102,0 \text{ cm}$ |

5.14. LETAK GARIS TEKAN



Eksentrisitas : $e'' = e' - e$

Momen total : $M_{tot} = 547643 \text{ kgm}$

Equivalen beban: $q = (8 \times 547643) / 30^2 = 4868 \text{ kgm}$

Gaya tendon : $P = 522900 \text{ kg}$
 $L = 2960 \text{ cm}$

Daerah eksentrisitas:

$$e' = M/P = 54764300/522900 = 104,75 \text{ cm.}$$

$$e'' = 104,75 - 84,1 = 20,63 \text{ cm.}$$

letak garis tekan dengan persamaan :

$$y = [4(e'')x/L^2] \cdot (L - x)$$

$$= [4(20,63)x/29602] \cdot (2960 - x)$$

Tabel posisi Garis Tekan :

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| $x_1 = 40 \text{ cm}$ | $y_1 = 1,1 \text{ cm}$ |
| $x_2 = 280 \text{ cm}$ | $y_2 = 7,1 \text{ cm}$ |
| $x_3 = 520 \text{ cm}$ | $y_3 = 12,0 \text{ cm}$ |
| $x_4 = 760 \text{ cm}$ | $y_4 = 15,7 \text{ cm}$ |
| $x_5 = 1000 \text{ cm}$ | $y_5 = 18,5 \text{ cm}$ |
| $x_6 = 1240 \text{ cm}$ | $y_6 = 20,1 \text{ cm}$ |
| $x_7 = 1480 \text{ cm}$ | $y_7 = 20,63 \text{ cm}$ |

5.15. END BLOCK (balok ujung)

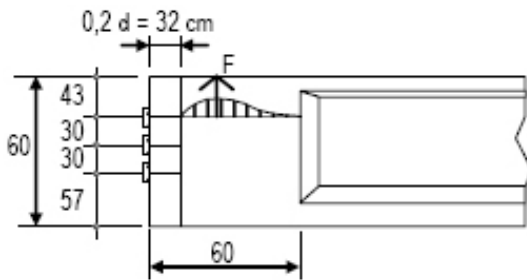
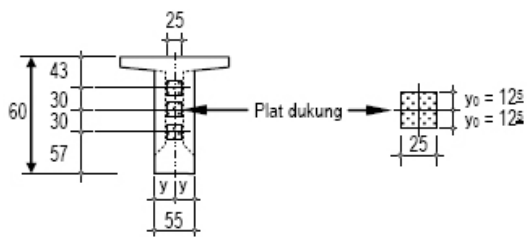


Diagram tekanan pada ujung balok



TAMPAK DEPAN END BLOCK

- Koefisien Luas Pembebanan terhadap Luas Pendukung, menurut N.K. Raju:

| | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|
| y_0/y | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| P/P_0 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,11 |

Kondisi End Block:

$$y_0/y = 12,5/27,5 = 0,45 \rightarrow K = 0,185$$

$$F = 0,185 \cdot P_0.$$

Atau:

$$F = P_0(0,32 - 0,3 \cdot y_0/y)$$

- a. Perhitungan Tulangan Balok Ujung
Gaya tekan awal tendon = 210 ton

Koefisien luas: $K = 0,185$

$$F = K \cdot P_0 = 0,185 \times 210 = 38850 \text{ kg}$$

Dengan rumus pendekatan:

$$F = P_0(0,32 - 0,3 \cdot y_0/y)$$

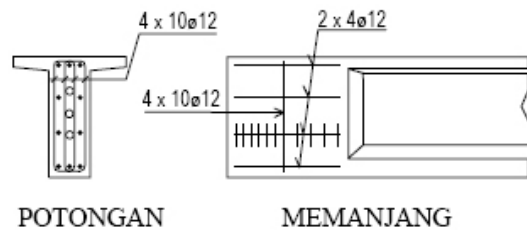
$$= 210(0,32 - 0,3 \times 0,45) = 38850 \text{ kg}$$

Tulangan :

$$A = F/0,87 \cdot \bar{\sigma}_a = 38850/0,87 \times 1400$$

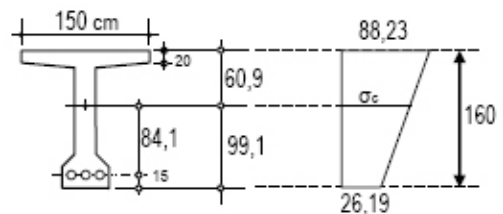
$$= 32 \text{ cm}_2$$

Tulangan: $30\phi 12 = 33,9 \text{ cm}_2$



5.16. TULANGAN GESER

Tegangan Geser



Tegangan geser pada garis netral :

$$\sigma_c = (88,23 - 26,19) \cdot 99,1 / 160 = 38 \text{ kg/cm}_2$$

Momen akibat tendon:

$$M = P_0 \cdot e = 630 \text{ t} \times 0,841 = 529830 \text{ kgm}$$

$$q_{eq} = 8M/L^2 = 8 \times 529830 / 30^2 = 4710 \text{ kgm}$$

$$D_{maks} = \frac{1}{4} qL = \frac{1}{4} 4710 \times 30 = 70650 \text{ kg.}$$

$$I = 25086891 \text{ cm}^4; \text{ dan } b = 55 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis Momen: } S &= \sum A.y. \\ 20 \times 175 \times 50,90 &= 178150 \text{ cm}^3 \\ 5 \times 125 \times 39,23 &= 24519 \text{ cm}^3 \\ 40,9 \times 25 \times 20,45 &= 20910 \text{ cm}^3 \\ S &= 223579 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Tegangan geser:

$$\begin{aligned} \tau_v &= D.S / b.I \\ &= 70650 \times 223579 / 55 \times 25086891 \\ &= 11,5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan geser rata-rata :

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_v &= \sqrt{(\tau_v^2 + \frac{1}{2} \sigma_c^2)} - \frac{1}{2} \sigma_c \\ &= \sqrt{(11,5^2 + \frac{1}{2} \cdot 38^2)} - \frac{1}{2} \cdot 38 = 3,21 \text{ kg/cm}^2 \\ \bar{\tau}_b &= 0,43 \cdot \sigma'_{bk} = 0,43 \times 400 = 8,6 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_b &< \bar{\tau}_b \dots \text{OK!} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan praktis $\phi 12 - 20$



5.17. KEHILANGAN TEGANGAN

a. BALOK INDUK

$$\begin{aligned} A_b &= 7787,5 \text{ cm}^2 \\ I_b &= 23794059 \text{ cm}^4 \\ E_b &= 0,33 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Momen berat sendiri:

$$M_s = 237714 \text{ kgm}$$

- Momen beban maksimum:

$$M_m = 547643 \text{ kgm}$$

b. TENDON

$$\begin{aligned} \text{Tendon VSL Type 19 (3 x 14}\phi 12,5\text{mm)} \\ P_0 &= 210 \text{ ton} \\ A_a &= 13,82 \text{ cm}^2 \\ E_a &= 1,9 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ e &= 80,86 \text{ cm} \end{aligned}$$

c. Tegangan yang terjadi

$$\begin{aligned} \sigma_b &= (P/A_b) - (P \cdot e^2 / I_b) - (M_s \cdot e / I_b) \\ &= 630 / 7787,5 - 630 \cdot 80,86^2 / \\ &\quad 23794059 - 237714 \cdot 80,86 / \\ &\quad 23794059 = 173 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_b &= P_0 / A_a = 210 / 13,82 \\ &= 15195 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Kehilangan Tegangan POST - TENSIONING

d. Kehilangan tegangan Beban Elastis Menurut ACI, post-tensioning

$$\begin{aligned} K_e &= 0,5 \\ \sigma_1 &= K_e (E_a / E_b) b = \\ &= 0,5 (1,9 / 0,33) \cdot 173 = 498 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta_e &= \sigma_1 / \sigma_a \cdot 100\% = \\ &= 498 / 15195 \times 100\% = 3,3\% \end{aligned}$$

e. Kehilangan akibat Rangkak Menurut ACI, $K_r = 1,6$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= M_m \cdot e / I = 547643 \times 80,86 / 23794059 \\ &= 186,1 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_3 &= K_r (E_a / E_b) (\sigma_r - \sigma_b) = \\ &= 0,5 (1,9 / 0,33) \cdot (186,1 - 173) \\ &= 120 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta_r &= \sigma_3 / \sigma_a \cdot 100\% = \\ &= 120 / 15195 \times 100\% = 0,6\% \end{aligned}$$

f. Kehilangan akibat SUSUT BETON Tegangan umur beton 28 hari ($t = 28$)

$$\begin{aligned} \sigma_4 &= [200 \cdot 10^6 / \log(t+2)] \cdot E_a \\ &= [200 \cdot 10^6 / \log(28+2)] \cdot 1,9 \cdot 10^6 \\ &= 256,8 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta_{ss} &= \sigma_4 / \sigma_a \cdot 100\% = \\ &= 256,8 / 15195 \times 100\% = 1,69\% \end{aligned}$$

g. Tegangan akibat RELAKSASI BAJA

$$\begin{aligned} \sigma_5 &= (P/A) - (P \cdot e^2 / I) \\ &= 254 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_6 &= M_m \cdot e / I = 547643 \times 80,86 / 23794059 \\ &= 186,1 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_5 / \sigma_6 &= 186,1 / 254 = 0,73 \\ &\text{dari tabel TY Lin :} \\ C &= 127 \\ K_{re} &= 138 \\ J &= 0,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_7 &= [K_{re} - J \cdot (\Delta_e + \Delta_r + \Delta_{ss})] \cdot C \\ &= [138 - 0,15 \cdot (498 + 120 + 256,8)] \cdot 127 \\ &= 9 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta_{re} &= \sigma_7 / \sigma_a \cdot 100\% = \\ &= 9 / 15195 \times 100\% = 0,06\% \end{aligned}$$

h. Kehilangan akibat Perpanjangan Tendon

$$\begin{aligned} \sigma_8 &= \sigma_a \cdot L / E_a \\ &= 15195 \times 30 / 1,9 \cdot 10^6 \\ &= 24 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta_a &= \sigma_8 / \sigma_a \cdot 100\% = \\ &= 24 / 15195 \times 100\% = 0,16\% \end{aligned}$$

i. Kehilangan tegangan akibat GESEKAN

Koefisien gelombang (*wobble effect*) keadaan normal $\rightarrow k = 0,0015$ per meter
 Koefisien Gesek Tendon $\rightarrow \mu = 0,25$
 $\alpha = 8 \cdot e / L = 8 \cdot 80,86 / 3000 = 0,21$
 $\Delta_g = (\mu \cdot \alpha + k \cdot L) \cdot 100\% =$
 $= (0,25 \times 0,21 + 0,0015 \times 30) \times 100\% = 9,75\%$

j. TOTAL KEHILANGAN TEGANGAN

- Beban Elastis $\Delta_e = 3,3\%$
- Rangkak $\Delta_r = 0,8\%$
- Susut Beton $\Delta_{ss} = 169\%$
- Relaksasi Baja $\Delta_{re} = 0,06\%$
- Perpanjangan Tendon $\Delta_a = 0,8\%$
- Gesekan $\Delta_g = 9,75\%$

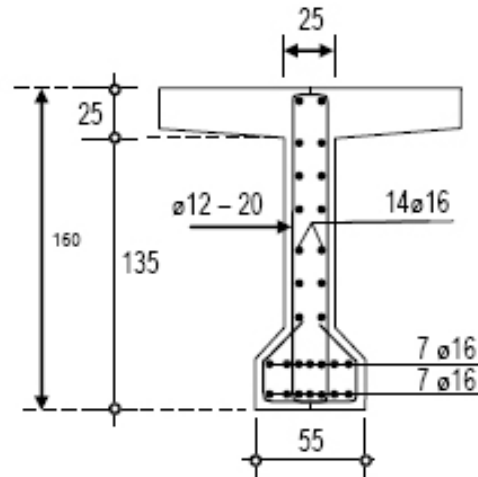
Sehingga Total Kehilangan Tegangan adalah = 15,7% < 17% OK!

5.18. TULANGAN MINIMUM (non-pratekan)

Konstruksi beton pratekan, tegangan pratekannya diterima oleh tendon. Karena tendon itu di dalam konstruksi beton bertulang maka memerlukan tulangan minimum sesuai persyaratan yang ditentukan oleh PBI '71.

Menurut PBI '71 tulangan minimumnya adalah:

$$A + A' = 1\% \cdot b \cdot h_t$$



$$\begin{aligned} h_t &= 160 - 25 = 135 \text{ cm} \\ b &= \frac{1}{2} (55 + 25) = 40 \text{ cm} \\ A + A' &= 1\% \cdot b \cdot h_t \\ &= 0,01 \times 40 \times 135 = 54 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

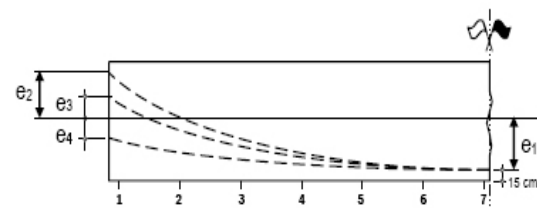
Diambil tulangan:
 $28\phi 16 = 56,28 \text{ cm}^2$

5.19. DEFLEKSI MAKSIMUM

Ketentuan Defleksi maksimum beberapa negara, dimana:

- \bar{f} = defleksi yang diijinkan.
- L = panjang bentang.
- a. Menurut PBI '71, tentang kekakuan konstruksi:
 $\bar{f} \leq L/250$
- b. Peraturan di India (IS.1343)
 $\bar{f} \leq L/300$ (ke atas)
 $\bar{f} < L/250$ (ke bawah)
- c. Peraturan di Inggris (CP.110)
 $\bar{f} \leq L/300$
- d. Peraturan di Amerika (ACI 318-71)
 $\bar{f} \leq L/480$

5.20. TENDON PARABOLA



$$\begin{aligned}
 L &= 30 \text{ m} \\
 e_1 &= 80,86 \text{ cm} \\
 e_2 &= 51,14 \text{ cm} \\
 e_3 &= 21,14 \text{ cm} \\
 e_4 &= 8,86 \text{ cm} \\
 I_b &= 23794059 \text{ cm}^4 \\
 E_b &= 0,33.106 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Defleksi:

Akibat Tendon → ke atas (-)

Akibat Beban → ke bawah (+)

1) Defleksi karena Tendon.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= [(P_0 \cdot L^2)/(48 \cdot E_b \cdot I_b) \cdot (-5_{e1} + e_2)] \\
 &= -1,771 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= [(P_0 \cdot L_2^2)/(48 \cdot E_b \cdot I_b) \cdot (-5_{e1} + e_3)] \\
 &= -1,921 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_3 &= [(-P_0 \cdot e_4 \cdot L^2)/(8 \cdot E_b \cdot I_b)] \\
 &= -0,267 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

$$a_t = a_1 + a_2 + a_3 = -3,959 \text{ cm.}$$

2) Defleksi akibat Pembebanan.

$$M_{maks} = 547643 \text{ kgm.}$$

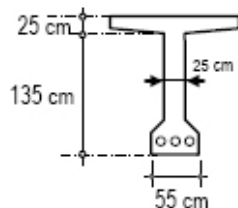
$$\begin{aligned}
 q_{eq} &= 8M/L^2 \\
 &= 8 \times 546643 / 30^2 \\
 &= 4868 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$a_q = 5 \cdot q_{eq} \cdot L^4 / 384 \cdot E_b \cdot I_b = 0,73 \text{ cm.}$$

total defleksi:

$$a = a_t + a_q = -3,228 \text{ cm} < 12 \text{ cm (ke atas)}$$

5.21. LEBAR RETAK



$$\begin{aligned}
 h_t &= 160 - 25 = 135 \text{ cm} \\
 b &= \frac{1}{2} (55 + 25) = 40 \text{ cm} \\
 A_b &= h_t \cdot b = 5400 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Luas kawat Tendon:
 $3\phi 13,82 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
 A_a &= 41,46 \text{ cm}^2 \\
 \sigma_b &= 173 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

menurut peraturan Inggris (buku NK Raju):

$$\begin{aligned}
 s &= A_a / A_b = 41,46 / 5400 = 0,008 \\
 \text{diambil, } s_{min} &= 0,01.
 \end{aligned}$$

dari Tabel untuk $s_{min} = 0,01 \rightarrow \psi E_a = 0,37$

$$\begin{aligned}
 w &= (\sigma_b - \psi E_a / s) \cdot 10^{-3} \text{ mm.} \\
 &= (175 - 0,37 / 0,01) \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,136 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

Menurut PBI '71: $\bar{w} = 0,2 \text{ mm.}$

$< \bar{w} \dots \text{OK!}$

5.22. KONTROL HANCUR

Mutu beton K 400 → $\sigma'_{bk} = 400 \text{ kg/cm}^2$

Tegangan per Tendon:

$$\sigma_a = P_0 / A = 210 \text{ t} / 13,82 = 15195 \text{ kg/cm}^2.$$

$$P = A_a / A_b = 41,46 / 5400 = 0,008$$

$$P_b = 0,4 \cdot (0,85 \sigma'_{bk} / \sigma_a) = 0,009$$

$P < P_b \rightarrow$ underreinforced.

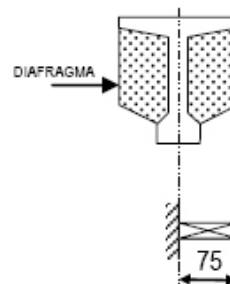
$$\begin{aligned}
 M_{u1} &= P_0 \cdot h_t \cdot [1 - 0,59(0,85 \sigma'_{bk} / \sigma_a)] = \\
 &= 850 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{u2} &= 1,5 \cdot M_{maks} = 1,5 \times 547643 \\
 &= 821,5 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

$M_{u2} < M_{u1} \rightarrow$ underreinforced.

➤ Penulangan beton underreinforced adalah kondisi yang diinginkan, sebab keadaan ini konstruksi hancur setelah tulangan putus.

5.23. PENULANGAN DIAFRAGMA



Momen maksimum balok:

$$M_{maks} = 547643 \text{ kgm}$$

$$q_{eq} = 4868 \text{ kg/m.}$$

Beban diafragma:

$$Q = \frac{1}{2} q_{eq} = \frac{1}{2} \times 4868 \\ = 2434 \text{ kg/m.}$$

Jarak antara diafragma:

$$S_d = 240 \text{ cm.}$$

Panjang diafragma:

$$L_d = 75 \text{ cm.}$$

Beban tiap diafragma:

$$P_d = 2,4 \times 2434 = 5842 \text{ kg}$$

Momen: $M_d = \frac{1}{2} Q.L_d = 2191 \text{ kgm.}$

Gaya lintang: $D = 5842 \text{ kg}$

Beban hidup = 100 kg/m^2 .

$$q_h = 2,3 \times 100 = 240 \text{ kg/m}$$

Momen: $M_h = \frac{1}{2} \times 240 \times 0,75 = 90 \text{ kgm}$

Total momen: $M = 2191 + 90 = 2281 \text{ kgm.}$

a. Penulangan diafragma:

$$M_u = 1,5 \times 2281 = 3422 \text{ kgm}$$

$$h_t = 90 - 5 = 85 \text{ cm.}$$

$$b = 20 \text{ cm.}$$

$$C_u = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{\sigma'_{bk} \cdot b}}} \\ = \frac{85}{\sqrt{\frac{3422}{225 \times 0,2}}} = 9,7.$$

$$\delta = 0,2$$

$$\text{diambil: } q = 0,045 > q_{min} = 0,043$$

$$< q_{max} = 0,29$$

$$\zeta_u = 0,952 < \zeta_{max} = 0,958$$

$$A = q \cdot (\sigma'_{bk} / \sigma^*_{au}) \cdot b \cdot h.$$

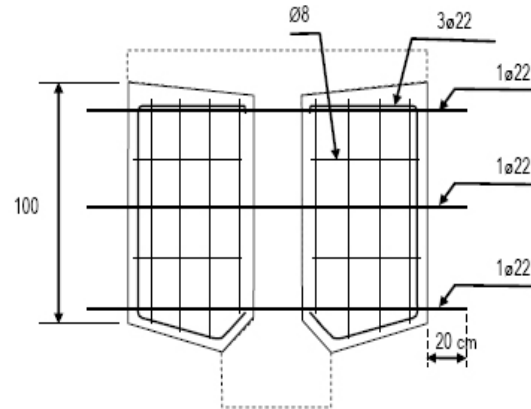
$$= 0,045 (225/2080) 20 \cdot 90$$

$$= 8,76 \text{ cm}^2.$$

Diambil tulangan: $3\phi 22 = 11,4 \text{ cm}^2$.

$$A^2 = 20\% \cdot A = 0,2 \times 11,4 = 1,75 \text{ cm}^2$$

Tulangan: $1\phi 22 = 3,8 \text{ cm}^2$



PENULANGAN DIAFRAGMA

6. KESIMPULAN

- Studi perencanaan jembatan jalan protokol dengan konstruksi beton pratekan ini untuk mengantisipasi perkembangan volume lalu lintas yang terus berkembang.
- Konstruksi beton bertulang dan beton pratekan ini sangat menguntungkan karena biaya perawatannya relatif murah.
- Digunakannya konstruksi beton pratekan pada balok induk untuk memperoleh dimensi yang lebih ramping sehingga berat sendiri lebih ringan. Lebih-lebih untuk bentang yang besar.
- Metode keseimbangan (load balancing method) sangat tepat, adanya eksentrisitas tendon dapat mengimbangi beban kerja, baik seluruh maupun sebagian. Partial system yang memperbolehkan adanya tarikan pada beton pratekan sehingga cocok untuk momen bolak-balik akibat gempa.
- Studi ini hanya untuk bangunan atas saja.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum, Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya, No. 12/1970 Dirjen Bina Marag dan Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I – 2 Dirjen Cipta Karya, 1971.

Rachmat Porwono, Ir., MSc, *Beton Pratekan*, Sie Penerbit ITS, 1980.

T.Y. Lin, *Design of Prestressed Concrete Structure*, John Willey & sons, New York, 1981.

NK Raju, *Prestressed Concrete*, Tata McGraw Hill Publishing, New Delhi, 1980.

Wiratman Wangsadinata, Ir., *Perhitungan Beton Bertulang*, Dirjen Cipta Karya, 1971.

D. John Victor, *Essential of Bridge Engineering Oxford & IBH Publishing*, New Delhi, 1980.

VSL Indonesia, Brosur Tendon VSL.