

STUDI PERENCANAAN JEMBATAN KALI BUNCARAN DENGAN STRUKTUR BETON PRATEKAN DI KECAMATAN BANTUR KABUPATEN MALANG

Ludfi Adi Wijaya (2090511022)

ABSTRAKSI

Jembatan Kali Buncaran di Kecamatan Bantur Kabupaten Malang ini adalah untuk penyediaan sarana transportasi, mengingat bangunan lama yang sudah tidak layak pakai dan semakin banyaknya arus lalu lintas di daerah tersebut, akan berdampak pada kekuatan jembatan untuk menahan beban kendaraan yang melewatinya, maka dari itu diperlukan suatu rencana penyempurnaan kekuatan jembatan untuk jangka waktu yang panjang. Yaitu perencanaan jembatan dengan metode pratekan pada struktur bangunan atasnya sedangkan bangunan bawahnya menggunakan pondasi sumuran (*kaison*). Analisa pembebanan yang dipakai berdasarkan pada peraturan Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNi T-02-2005. Dari hasil analisa perhitungan perencanaan jembatan Kali Buncaran dengan struktur beton pratekan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Data struktur perencanaan tipe gelagar jembatan adalah gelagar pratekan ; panjang total jembatan 40,00 m, lebar total jembatan 8,00 m, lebar trotoar 2 x 1,00 m, lebar lantai kendaraan 6,00 m, jarak gelagar memanjang 2 m, tebal plat lantai 40 cm, yang pertama hasil perencanaan perhitungan beban penampang komposit sebagai berikut. Beban primer ; berat balok pratekan 454894,8 kg/m, berat plat lantai kendaraan 347840 kg/m, berat diafragma 41677,18 kg/m, beban hidup 567000 kg/m, dan beban Garis "P" 11466 kg/m. Beban sekunder ; beban angin 411835,6 kg/m, akibat gaya rem 9153 kgm. Ke dua hasil perencanaan dimensi gelagar tipe beton pratekan dimana dimensi atas panjang 106,7 cm, lebar 12,7 cm, untuk dimensi bawah panjang 71,1 cm, lebar 20,3 cm dan tinggi 149,9 cm, berdasarkan perhitungan yang ada penggunaan beton pratekan memiliki keunggulan lendutan yang kecil. Ke tiga ukuran abutment pada jembatan dari hasil perhitungan perencanaan adalah: Panjang (L) 8 m, lebar (B) 3,8 m, tinggi (h) 7,9 m, sudut geser tanah 20° , γ tanah 1,900 t.m³, γ beton 2,500 t.m³. Ke empat pondasi yang dipakai adalah pondasi kaison karena penggunaan pondasi ini sesuai dengan keadaan tanah dilapangan dengan kedalaman 2,8 meter serta jumlah pondasi sebanyak 2 buah, dengan ukuran pondasi sebagai berikut; kedalaman kaison (D_i) 2,80 m, diameter luar 300 cm = 3,00 m, Diameter dalam = 240 cm = 2,40 m, mutu beton $f_c' = 30$ Mpa = 300 kg/cm², $\sigma_{\text{Bahan}} = 0,33 \cdot f_c = 0,33 \times 300 = 99$ kg/cm², jarak antar pondasi 100 cm = 1,00 m.

Kata Kunci : Perencanaan jembatan, beton pratekan, Kabupaten Malang

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan pergerakan barang dan kendaraan yang semakin meningkat maka berpengaruh terhadap kondisi Jembatan. Jembatan pada saat dibangun hingga akhir umur rencana yang direncanakan tidak sepadan untuk melayani lalu lintas yang semakin lama

semakin bertambah jumlahnya, sehingga jembatan tersebut tidak mampu

melayani pertumbuhan arus lalu lintas serta tidak sesuai dengan kebutuhan. Oleh karena itu diperlukan suatu prasarana jembatan yang cukup memadai.

Dengan kondisi Jembatan lama yang kurang memadai dengan lebar 5,5 m yang sempit dan semakin tingginya kepadatan volume lalu lintas kendaraan yang melintas di Kabupaten Malang menyebabkan kemacetan lalu lintas sehingga menimbulkan kecepatan yang sangat rendah, serta kondisi lantai kendaraan yang rusak dan abutment yang kurang tinggi.

Perbaikan jembatan merupakan suatu solusi untuk menanggulangi kemacetan lalu lintas akibat peningkatan volume lalu lintas, sehingga dapat memberikan kenyamanan dan pelayanan secara optimal untuk kegiatan lalu lintas sesuai dengan fungsinya. Jembatan yang direncanakan diharapkan mampu memberikan tingkat efisiensi, keamanan, dan kenyamanan yang cukup memadai sesuai dengan kondisi daerah setempat baik secara teknis, ekonomi, maupun sosial.

Kondisi itulah yang melatar belakangi direncanakannya perencanaan jembatan Kali Buncaran dengan struktur beton pratekan di Kecamatan Bantur Kabupaten Malang. Jembatan direncanakan dengan bentang 40 m dan lebar 8 m dengan meninggikan abutmen menjadi 6,5 m untuk menghindari hantaman air sungai serta menggunakan pondasi sumuran karena pondasi lama hanya menggunakan pondasi biasa, penggunaan gelagar pratekan menjadi pilihan utama karena Beton prategang bersifat kedap air sehingga jembatan tidak mudah rusak. Dan penampang struktur lebih kecil/langsing, karena seluruh luas penampang dipakai secara efektif.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari Studi ini adalah:

1. Merencanakan ulang suatu jembatan yang kokoh dan efisien bagi lalu lintas jalan di daerah tersebut.
2. Meningkatkan kapasitas jembatan sehingga dapat dilewati angkutan

kendaraan yang berkapasitas lebih besar dari sebelumnya.

3. Membantu mempercepat tumbuhnya produksi pertanian, perkembangan perekonomian dan tempat wisata di daerah tersebut.
4. Memberikan pelayanan yang lebih baik dan juga pengembangan potensi daerah wisata di Kabupaten Malang dan sekitarnya pada masa mendatang.

Sedangkan manfaat dari Studi ini adalah memberi alternatif perencanaan jembatan yang kokoh dan efisien serta memberikan gambaran atau masukan kepada pemerintah tentang keuntungan-keuntungan yang bisa didapat pada masa yang akan datang.

Identifikasi Masalah

Beberapa permasalahan yang perlu diidentifikasi antara lain:

1. Kondisi jembatan yang lama masih sangat kurang layak untuk menampung kendaraan – kendaraan dan angkutan muatan yang melewati jembatan tersebut.
2. Kontruksi jembatan yang lama hanya menggunakan pasangan batu kali sebagai dinding penahan juga pondasinya yang dianggap berbahaya jika menahan beban kendaraan yang bermuatan besar.
3. Pada kondisi debit air sedang meluap karna banjir, tinggi muka air hampir melewati tinggi jembatan maka abutment perlu ditinggikan.
4. Karena struktur tanah yang berupa pasit dan kerikil maka pondasi yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah pondasi sumuran..

Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa besar beban pada penampang gelagar komposit yang terjadi pada jembatan?
2. Berapa dimensi gelagar tipe beton pratekan?
3. Berapa dimensi *abutment* pada jembatan?
4. Berapa dimensi pondasi yang sesuai?

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, laut, jalan kereta api dan lain-lain. (*Diklat kuliah struktur jembatan*).

Kriteria Pembebanan

(RSNI T-02-2005). Jenis beban yang bekerja pada jembatan:

1. Beban Primer
2. Beban Lalu Lintas
3. Beban Lingkungan
4. Beban Angin
5. Pengaruh Gempa
6. Aksi – Aksi Lainnya
 1. Pengaruh Getaran
 2. Beban Rencana Sandaran Pejalan Kaki
 3. Kombinasi Beban
 4. Kombinasi Pada Keadaan Batas Layan

Klasifikasi Beton Pratekan

Beton pratekan adalah beton yang diberi penekanan terlebih dahulu melalui proses stressing (penarikan) sebelum dibebani.

Metode Pratekan

1. Sistem Pratarik (*Pre-Tensioning*)
2. Sistem Pasca Tarik (*Post-Tensioning*)

Material untuk Beton Pratekan

1. Beton Berkekuatan Tinggi
2. Baja

Kehilangan Pratekan

1. Kehilangan–kehilangan elastis, terjadi pada saat kehilangan perpendekan elastis beton.
2. Kehilangan yang bergantung waktu, kehilangan akibat rangkak, susut dan relaksasi baja.

Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis

Perpendekan satuan pada beton adalah (Lin & Burn, 1997: 66)

$$\delta = f_c/E_c = f_o/A_c.E_c$$

Kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis baja:

$$E_s = \Delta f_{sn} = n \cdot f_{cir} = E_{ps} \cdot f_{cir} / E_{ci}$$

Kehilangan Akibat Rangkak

(Lin & Burn, 1997: 73)

$$C_R = K_{cr} \cdot E_s / E_c \cdot (F_{cir} - f_{cds})$$

Kehilangan Akibat Susut

Susut beton pratekan mengakibatkan perpendekan kawat-kawat baja yang ditarik. Untuk mengurangi susut dipakai beton Lin & Burn, 1997: 109)

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot F_s (1 - 0,0006 \cdot v/s \cdot (100 - RH))$$

Kehilangan Akibat Relaksasi Baja

Lin & Burn, 1997:111)

$$RE = C[K_{re} - J(SH + CR + ES)]$$

Kehilangan Gaya Pratekan Total

(Lin& Burn, 1997: 102)

$$TL = ES + CR + SH + RE + ANC + FR$$

Analisa Tegangan

Analisa Tegangan Pada Beton Akibat Sistem Pratekan

- 1) Tendon Konsentris

Tegangan tekan beton:

$$f = \frac{F}{A} \text{ (Lin\& Burn, 1997: 50)}$$

Tegangan balok:

$$f = F/A \pm F \cdot e \cdot y/I$$

Analisa Tegangan Pada Beton Akibat Beban

(Lin\& Burn, 1997: 52)

$$f = \pm M \cdot y/I$$

Analisa Tegangan Pada Baja Akibat Beban

$$\Delta f_s = n f_c = n \cdot \frac{M \cdot y}{I}$$

(Lin\& Burn, 1997: 53)

$$f_s = \frac{n}{L} \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} \frac{M \cdot y}{I} dx$$

Analisa Momen Retak

(Lin\& Burn, 1997: 55)

$$F = (e + r^2/c) + fr/l/c$$

Perhitungan Jumlah Tendon

(Lin\& Burn: 1997)

$$- MG/MT \times 100\% > 20\% - 30\% \quad F = MT/0,65h$$

$$MG/MT \times 100\% < 20\% - 30\% \quad F = MT - MG/0,5h$$

$$- F_0 = F/\text{kehilangan gaya prategang}$$

$$- n = F_0/\text{gaya prapenegangan terhadap putus}$$

Daerah Aman Tendon dan Tata Letak Kabel

(Lin\& Burn, 1997: 67)

a. Selubung c.g.s bawah:

$$a_{\min} = MG/f_0$$

b. Selubung c.g.s diatas:

$$a_{\max} = MT/F$$

Kontrol Lendutan

(Lin\& Burn, 1997: 70)

1. Lendutan ke arah atas.

$$\Delta = M \cdot L^2 / 8 EI$$

2. Lendutan ke arah bawah

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{(384 \cdot EI)}$$

Penulangan Terhadap Geser

(Lin\& Burn, 1997: 95)

$$V_c = \left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{f'_c} + 5x \frac{V_u \cdot d_p}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d_p$$

Blok Ujung

(Raju krisna, N, 1988: 315)

$$F_{bst} = 0,3 P \left[\left(1 - \frac{y_{po}}{y_o} \right)^0,58 \right]$$

Dasar – Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Bawah

Perencanaan Kepala Jembatan

Stabilitas tekanan

$$\sigma = \frac{V}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \text{ (Joseph E Bowles. 1993: 84).}$$

Stabilitas Terhadap Beban Eksentrisitas

$$e = \frac{1}{2} B - \frac{\sum M_v - M_h}{\sum v} < \frac{1}{6} B$$

(Joseph E Bowles, 1993: 85)

Stabilitas Terhadap Guling

(Joseph E Bowles, 1993: 90).

$$sf = \frac{\sum M_v}{\sum M_h} \geq 1,5$$

Stabilitas terhadap geser

$$sf = \frac{\sum v \cdot \tan \theta}{\sum H} \geq 1,5$$

Dasar Perencanaan Pondasi Sumuran

Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

1. Fungsi bangunan atas
2. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas.
3. Keadaan tanah
4. Biaya pondasi

Jenis-Jenis Pondasi Kaison

1. Kaison terbuka (*open caisson*)
2. Kaison Tekanan (*pneumatic caisson*)

Perhitungan Pondasi Kaison

Kemampuan terhadap kekuatan bahan

$$P_{\text{Tiang}} = \sigma_{\text{Bahan}} \times A_{\text{Tiang}}$$

Kemampuan terhadap kekuatan tanah

Berdasarkan perumusan terzaghi
Bentuk segi empat/ bujur sangkar:

$$q = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Bentuk lingkaran:

$$q = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\text{Maka, } Q_{s,p} = \frac{A_{\text{Tiang}} \times q}{3}$$

Perhitungan jumlah kaison

$$n = \frac{\sum V}{N}$$

Jarak antar kaison dalam kelompok

Berdasarkan perumusan "Uniform Building Code" dari AASHTO

$$S \leq \frac{1,57 \cdot d \cdot m \cdot n}{m + n - 2}$$

Effisiensi satu tiang dalam kelompok adalah :

$$E_{\text{eff}} = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{m \cdot n} \right]$$

Gaya penahan geser yang diijinkan

$$H = c \cdot A + P \cdot \tan \phi_b$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data – data Perencanaan

Data Struktur

Data struktur merupakan data perencanaan jembatan yang akan dikerjakan.

Data Pembebanan

Data pembebanan merupakan data-data beban yang bekerja pada jembatan.

Perencanaan Pelat Lantai

Pembebanan Lantai Kendaraan

a) Beban mati

$$\text{B.s. Plat beton} = 0,20 \times 1 \times 2400 \times 1,3 = 624 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat lapisan aspal} = 0,05 \times 1 \times 2240 \times 1,3 = 145,6 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat air hujan} = 0,05 \times 1 \times 1000 \times 2,0 = 100 \text{ Kg/m}$$

$$q_1 = 869,6 \text{ Kg/m}$$

b) Beban hidup

Muatan "T" yang bekerja pada lantai kendaraan adalah tekanan roda sebesar 112.5 KN = 11250 kg

Faktor beban dinamis diambil sebesar 0,30

(RSNI T-02-2005 Hal : 21)

$$\text{Maka } P = (1 + 0,30) \times 11250 = 14625 \text{ kg}$$

Jadi total beban hidup $P = 14625 \text{ kg}$

Pembebanan Trotoar

$$q_2 = 1493,6 \text{ Kg/m}$$

Pembebanan Sandaran

$$Q_3 = 181,376 \text{ Kg/m}$$

$$q_4 = 1674,976 \text{ kg/m}$$

$$q_5 = 500 \times 1 = 500 \text{ Kg/m}$$

Perhitungan Statika Plat Lantai Kendaraan

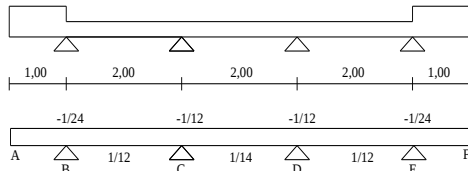
$$d = h - \frac{1}{2} \phi - \text{tebal selimut beton} = 200 - \frac{1}{2} \times 14 - 20 = 173 \text{ mm}$$

$$b = 0,5 \times 1750 \text{ mm} = 875 \text{ mm} \quad (\text{SK-SNI-T15-1991}).$$

$$= 0,5 \times 869,6 \times 1,00^2 = 434,8 \text{ kg.m}$$

P = beban roda (kN) = 26325 kN

Momen akibat beban mati



Momen pada tumpuan

$$M_B' = M_E' = -1/24 \times q_1 \times L^2$$

$$= -1/24 \times 869,6 \times 2,00^2 = -144,93 \text{ kg.m}$$

$$M_C' = M_D' = -1/12 \times q_1 \times L^2$$

$$= -1/12 \times 869,6 \times 2,00^2 = -289,87 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momen kantilever } A' = G' = 0,5 \times q_1 \times L^2$$

$$= 0,5 \times 869,6 \times 1,00^2 = 434,8 \text{ kg.m}$$

Momen pada lapangan:

$$M_{BC}' = M_{DE}' = 1/12 \times q_1 \times L^2$$

$$= 1/12 \times 869,6 \times 2,00^2$$

$$= 289,87 \text{ kg.m}$$

$$M_{CD}' = 1/14 \times q_1 \times L^2$$

$$= 1/14 \times 869,6 \times 2,00^2$$

$$= 248,46 \text{ kg.m}$$

Momen akibat beban hidup

$$M_T = M_L = 0,8 \times \frac{S + 0,6}{10} \times P_{ult}$$

$$= 0,8 \times \frac{2 + 0,6}{10} \times 263,25$$

$$= 54,756 \text{ kN.m} = 5475,6 \text{ kg.m}$$

Penulangan Plat Lantai Kendaraan Arah Melintang (Y)

A. Penulangan pada tumpuan

$$M_u = 434,8 + 5475,6 = 5910,4 \text{ kg.m}$$

$$14,118 \text{ Mpa}$$

$$\text{Dipakai tulangan tarik } D_{12-100}; A_s$$

$$= 1131 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan tekan } D_{12-250}; A_s$$

$$= 452 \text{ mm}^2$$

(Gedeon kusuma, "Dasar-Dasar perencanaan beton bertulang", hal :82)

B. Penulangan pada lapangan

$$\text{Dipakai tulangan tarik } D_{12-75}; A_s$$

$$= 1508 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan tekan } D_{12-250}; A_s$$

$$= 452 \text{ mm}^2$$

(Gedeon kusuma, "Dasar-Dasar perencanaan beton bertulang", hal :82)

Penulangan plat lantai kendaraan arah memanjang (X)

Dipasang tulangan susut dan suhu dengan ketentuan berikut: *SK SNI 03-XXX-2002:48*.

$$A_{sMin} \cdot A_{sBruto} \text{ (tulangan deform 300)}$$

$$A_{sMin} \cdot A_{sBruto} \text{ (tulangan deform 400)}$$

$$A_{sMin} A_{sMin} = 0,0020 \times 173 \times 1000 = 346 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok $\varnothing 10 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

Jarak maksimum antar tulangan =

$$\frac{78,5}{348} \times 1000 = 226,88 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai tulangan } \varnothing_{8-200}; A_s = 251 \text{ mm}^2$$

(Gedeon kusuma, "Dasar-Dasar perencanaan beton bertulang", hal :82)

Perhitungan statika pada trotoar

Pembebanan trotoar $q_4 = 1674,976 \text{ kg/m}$

Faktor beban $Ku_{TP} = 1,8$ (RSNI T-02-2005 Hal : 24)

$$q_u = 500 \times 1,8 = 900 \text{ kg/m}$$

$$\rho_{Max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,04014 = 0,03011$$

$$\rho_{Min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{300} = 0,00467$$

$$D = h - \frac{1}{2} \varnothing - \text{tebal selimut beton}$$

$$= 200 - (\frac{1}{2} \times 12) - 20 = 174 \text{ mm}$$

Penulangan trotoar arah melintang (Y)

A. Penulangan pada tumpuan

$$M_u = 837,488 \text{ kg.m}$$

$$\text{Dipakai tulangan tarik } \varnothing_{12-100}; A_s$$

$$= 1131 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan tekan ϕ_{12-200} ; A_s
 $= 565 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan tarik ϕ_{10-150} ; A_s
 $= 565 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan tekan ϕ_{10-250}
 (Kusuma.G & Vis: 1994, 82).

Penulangan arah memanjang (x)

Dipakai tulangan pokok $\phi_{10 \text{ mm}}$
 (Kusuma.G & Vis: 1994, 82).

Penulangan Tiang Sandaran

a. Perhitungan pipa sandaran

$$M = 1/8(qd + Bh)L^2$$

$$= 1/8(3,3+100) 2^2 = 51,65 \text{ kg.m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{5165}{5,9} = 875,424 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/m}^2$$

b. Perhitungan tiang sandaran

Dipakai tulangan pokok 2 $\phi_{8 \text{ mm}}$; A_s
 $= 101 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan bagi $\phi_6 - 250 \text{ mm}$

Kontrol gaya geser pons lantai

Berdasarkan peraturan perencanaan teknik jembatan (*Draft Bridge Design Code*) 1992,:

a. Muatan "T" dengan $P = 25 \text{ kN}$ dan luas bidang kontak roda $125 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$

$$P = 25 \text{ kN}$$

$$P_{ult} = 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times P\}$$

$$= 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times 25\} = 65 \text{ KN}$$

Mencari kekuatan geser pons beton:

$$V_{uc} = u \times d \times f_{cv}$$

$$= 1342 \times 173 \times 1,9125$$

$$= 444017,475 \text{ N} \Rightarrow 444,017 \text{ KN}$$

$$P = 65 \text{ kN} < V_{uc} = 444,017 \text{ KN}$$

b. Muatan "T" dengan $P = 112,5 \text{ Kn}$. luas bidang kontak roda $200 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$

$$P = 112,5 \text{ kN}$$

$$P_{ult} = 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times P\}$$

$$= 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times 112,5\} = 292,5 \text{ KN}$$

Mencari kekuatan geser pons beton:

$$V_{uc} = u \times d \times f_{cv}$$

$$= 2092 \times 373 \times 1,9125$$

$$= 615257,2 \text{ N} \Rightarrow 615,26 \text{ KN}$$

$$P = 292,5 \text{ kN} < V_{uc} = 615,26 \text{ KN}$$

Perencanaan Balok Pratekan Sebelum Komposit

$$\text{Terhadap sisi bawah: } Y_a = \frac{\Sigma F \cdot a}{\Sigma F}$$

$$= \frac{718600,32}{7581,58} = 94,78 \text{ cm}$$

$$\text{Terhadap sisi atas : } Y_a = 182,9 - 94,78$$

$$= 88,12 \text{ cm}$$

Sesudah Komposit

$$\text{Terhadap sisi bawah : } Y_{b'} = \frac{\Sigma F \cdot a}{\Sigma I} = \frac{1266436,32}{10421,58} = 121,52 \text{ cm}$$

$$\text{Terhadap sisi atas : } Y_{a'} = 202,9 - 121,52 = 81,38 \text{ cm}$$

$$I_{komp} = I_{pracetak} + F_{pracetak} (Y_{b'} - Y_b)^2 + I_6 + F_6 \cdot a^2$$

$$= 31310276,85 + 7581,58 (121,52 - 94,78)^2 + \frac{1}{12} \cdot 142 \cdot 2^3 + 2840,71,38^2$$

$$= 51200535,56 \text{ cm}^4$$

Jari-jari inersia

$$i^2 = \frac{I_{komp}}{\Sigma F}$$

$$= \frac{51200535,56}{10421,58} = 4912,93 \text{ cm}^2$$

Letak kern (titik inti)

$$\text{Kern atas : } k_{a'} = \frac{i^2}{Y_{b'}} = \frac{4912,93}{121,52} = 40,43 \text{ cm}$$

$$\text{Kern bawah : } k_{b'} = \frac{i^2}{Y_{a'}} = \frac{4912,93}{81,38} = 60,37$$

cm

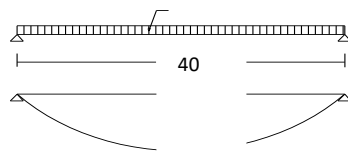
Perhitungan Statika

1) Perhitungan beban penampang komposit

a. Beban Primer

- Berat Sendiri Balok = 2274,474 kg/m

$$M_{\max} = 454894,8 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

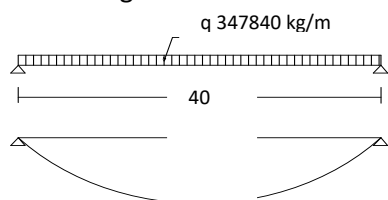


- Berat Plat Lantai I

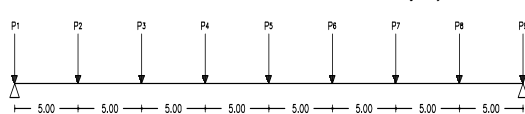
$$q_{\text{total}} = 1739,2 \text{ kg/m}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1739,2 \cdot 40^2 = 347840 \text{ kgm}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1739,2 \cdot 40^2 = 347840 \text{ kgm}$$



- Akibat Berat Balok c



$$ML = ML1 + ML2 = 567000 + 114660 = 681660 \text{ kgm}$$

b. Beban Sekunder

Jumlah gelagar memanjang sebanyak 4 buah dengan jarak 2 m, beban tersebut dianggap sebagai beban merata maka:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 2059,178 \cdot 40^2 = 411835,6 \text{ kgm}$$

- akibat gaya rem (faktor beban = 1,8)

$$Mr = PRU \cdot Z_r = 8100 \cdot 1,13 = 9153 \text{ kgm}$$

Tegangan Ijin

Tegangan tarik (f'_{ct})

$$f'_{ct} = \sqrt{\frac{50}{2}} = 5 \text{ Mpa} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tekan (f'_{ci})

$$f'_{ci} = 0,45 \sqrt{f'_{ci}} = 0,45 \cdot 50 = 22,5 \text{ Mpa} = 225 \text{ kg/cm}^2$$

Desain Pendahuluan Penampang Balok Pratekan

Menentukan Gaya Pratekan

gaya Pratekan efektif = 1631674,35 kg

Kehilangan gaya Pratekan diperkirakan 15%, maka:

$$F_o = \frac{F}{0,85} = \frac{1631674,35}{0,85} = 1919616,89 \text{ kg}$$

Menentukan Eksentrisitas

Titik berat tendon dari serat terbawah = 20 cm

Gaya pratekan efektif yang dibutuhkan adalah:

$$F_{eff} = \frac{M_T}{e + ka} = \frac{194706100}{121,74 + 43,57} = 1177824,088 \text{ kg}$$

Gaya pratekan awal

$$F_o = \frac{100}{85} \cdot F_{eff} = \frac{100}{85} \cdot 1177824,088 = 1385675,398 \text{ kg}$$

Luas penampang yang dibutuhkan:

$$= 7208,67 \text{ cm}^2 < A = 7581,58 \text{ cm}^2$$

Perencanaan Tendon

Data tendon yang digunakan:

- Jenis tendon : VSL type 31
 - Jumlah strand : 24 strand
 - Diameter strand = $\frac{1}{2}$ "
 - Diameter selongsong : 90 mm
 - Kekuatan putus 80% = 360ton = 360000 kg
- $$F_o = n \times 360000 = 5 \times 360000 = 1800000 \text{ kg}$$
- $$F = 0,85 \times 1800000 = 1530000 \text{ Kg}$$

Daerah Aman Tendon

Batas Atas = 5,998 cm

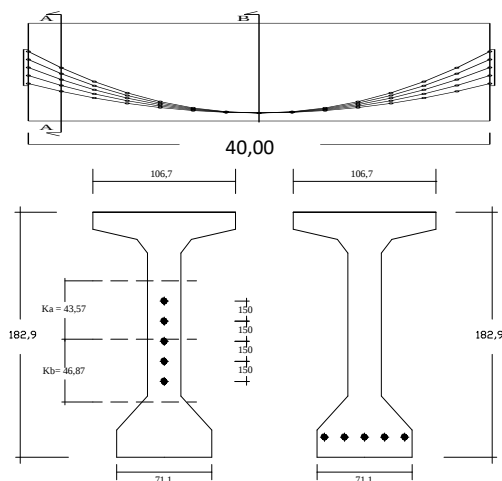
Batas bawah = 6,452

Menentukan Koordinat Tendon

Penempatan kabel: (Lin & Burns: 1997)

$$Y = \frac{4 \cdot f \cdot x(L-x)}{L^2}$$

- Letak tendon 1 $Y_1 = 98,48$ cm
- Letak tendon 2 $Y_2 = 16,40$ cm
- Letak tendon 3 $Y_3 = 19,92$ cm
- Letak tendon 4 $Y_4 = 23,43$ cm
- Letak tendon 5 $Y_5 = 26,95$ cm



Kontrol Tegangan

A. Keadaan awal

$$f = -\frac{F_o}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot Y}{1} \pm \frac{M \cdot G \cdot Y}{1}$$

(Lin & Burns, 1997: 81)

Keadaan awal

$$= -285,244 \text{ kg/cm}^2$$

Keadaan setelah kehilangan gaya prategang

$$= -226,643 \text{ kg/cm}^2$$

Keadaan setelah plat lantai dicor

$$= -109,23 \text{ kg/cm}^2$$

Keadaan setelah beban luar bekerja

$$= 2,172 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol Kehilangan Tegangan

1. Kehilangan Akibat Deformasi Elastis Beton

$$ES = 0,5 \cdot 1,9 \cdot 10^6 \left(\frac{255,403}{332340,2} \right)$$

$$= 730,074 \text{ kg/cm}^2$$

2. Kehilangan Akibat Rangkak Beton

$$CR = 1,6 \cdot \frac{1900000}{332340,2} (255,403 - 154,49)$$

$$= 923,08 \text{ kg/cm}^2$$

3. Kehilangan Akibat Susut Beton

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times 0,58 \times 1900000 (1 - 0,006 \cdot 12,034) (100 - 70)$$

$$= 251,518 \text{ kg/cm}^2$$

4. Kehilangan Akibat Relaksasi Baja

$$= \frac{1966,485}{18621,9} \cdot 100\% = 10,56\% < 15\% \dots\dots$$

Aman !

Perhitungan End Blok

Perbandingan distribusi

$$= \frac{Y_{Po}}{Y_o} = \frac{d}{d'} = \frac{15}{130} = 0,115$$

Gaya tarik memecah (Bursting Force) = 85520,411 kg

Tulangan yang diperlukan: Dipakai tulangan tabel A5 D22 – 100 = 3801 mm²

Besar gaya tarik pada lepas gumpal (Spalling Force) = 3423,192 kg

Dipakai tulangan table A4 2 ϕ 12 = 226 mm²

Kontrol terhadap geser

Perhitungan kuat geser

$$V_u = 114447,5267 \text{ kg}$$

$$M_u = 107137,6797 \text{ kg}$$

Digunakan sengkang D19

Perencanaan Shear Connector

Gaya geser horizontal:

$$H = \frac{f_a + f_b}{2} h_f \cdot b_{eff} = \frac{180,75 + 157,57}{2} \times 20 \times 142 = 480414,4 \text{ kg}$$

Kontrol Lendutan

total lendutan yang terjadi adalah :

$$\Delta_{\text{total}} = (7,537 + 0,092 + 3,456 + 6,02 + 0,425) - 2,00 = 15,53 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = L/300 = 3500/300 = 11,67 \leq \Delta_{\text{total}}$$

$$= 15,53 \text{ cm.}$$

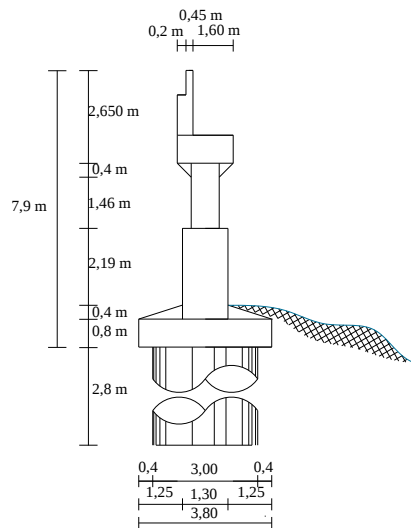
Pembesian Minimum

$$A_s = 0,20 \cdot b \cdot h$$

$$= 0,20 \% \cdot 68.307 \cdot 182,9 = 24,987 \text{ cm}^2$$

Dipakai tulangan 9 D19 = 25,52 cm²

Perencanaan Abutment



Gambar. Bentuk Abutment

Panjang (L)	= 8 m
Lebar (B)	= 3,8 m
Tinggi (h)	= 7,9 m
Sudut geser tanah	= 20°
γ tanah	= 1,900 t.m ³
γ beton	= 2,500 t.m

Perhitungan Pembebanan Kepala Jembatan

Gaya-gaya vertikal

Gaya-gaya vertikal akibat berat sendiri abutment(Σ) = 1177,520 ton.m

Gaya-gaya vertikal akibat berat tanah urugan(Σ) = 427,485 ton.m

Gaya-Gaya Horizontal

Akibat tekanan tanah aktif

$$M_{Pa} = 1/3 \times H \times P_a$$

$$= 1/3 \times 7,9 \times 132,415$$

$$= 348,692 \text{ ton.m} = 348692 \text{ kg.m}$$

Akibat tekanan tanah pasif

$$M_{pp} = 1/3 \times H \times P_p = 1/3 \times 1,2 \times 22325,76 = 8930,304 \text{ kg.m}$$

Akibat gaya gempa

$$M_{TEQ} = 6594,817 \times 1,935 = 12760,97 \text{ kg.m}$$

Kombinasi pembebanan

Beban Vertikal :

$$\Sigma V = 615884,92 + 137370 = 735230,92 \text{ kg}$$

$$\Sigma MV = 1177520 + 427485 = 1605005 \text{ kg.m}$$

Beban horizontal :

$$\Sigma H = 132414,8 + 22325,76 + 6594,8175$$

$$= 161335,377 \text{ kg.m}$$

$$\Sigma MH = 348692 + 8930,304 + 12760,972$$

$$= 370383,276 \text{ kg.m}$$

Kontrol Stabilitas

Dengan angka keamanan 3, maka daya dukung yang diijinkan:

$$\sigma_{\text{Max}} = 24778,1224 \times (1 + 0,412)$$

$$= 34986,71 \text{ kg/m}^2 = 34,99 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{\text{Min}} = 24778,1224 \times (1 - 0,412)$$

$$= 14569,54 \text{ kg/m}^2 = 14,57 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{\text{Max}} = 34,99 \text{ t/m}^2 < Q_{\text{ijin}} = 41,603 \text{ t/m}^2$$

Penulangan Abutment

Penulangan bagian I

- Tulangan untuk menahan gaya vertikal

Dipakai tulangan $\varnothing 20 - 125 \Rightarrow A_s$

$$= 2513 \text{ mm}^2$$

- Tulangan untuk menahan gaya horizontal

Dipakai tulangan $\varnothing 16 - 250 \Rightarrow A_s$

$$= 804 \text{ mm}^2$$

Penulangan bagian II

Dipakai tulangan $\varnothing 20 - 100 \Rightarrow A_s$

$$\begin{aligned}
 &= 5024 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan bagi} &= 20 \% \times A_s \\
 &= 20 \% \times 5024 = 1004,8 \text{ mm}^2 \\
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 12 - 100 &\Rightarrow A_s \\
 &= 1131 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Penulangan bagian III

$$\begin{aligned}
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 20 - 100 &\Rightarrow A_s \\
 &= 8164 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan bagi} &= 20 \% \times A_s \\
 &= 20 \% \times 8164 = 1632,8 \text{ mm}^2 \\
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 20 - 150 &\Rightarrow A_s \\
 &= 2094 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Penulangan Bagian IV

$$\begin{aligned}
 &\text{- Tulangan untuk menahan gaya vertikal} \\
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 20 & \\
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 20 - 75 &\Rightarrow A_s = 15909,33 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan bagi} &= 20 \% \times A_s \\
 &= 20 \% \times 15909,33 = 3181,87 \text{ mm}^2 \\
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 19 - 75 &\Rightarrow A_s \\
 &= 3780 \text{ mm}^2 \\
 &\text{- Tulangan yang digunakan untuk menahan} \\
 &\quad \text{momen horizontal} \\
 \text{Dipakai tulangan } 10 \varnothing 20 & \\
 \text{Dipakai tulangan } \varnothing 16 - 50 &\Rightarrow A_s = 24178 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan bagi} &= 20 \% \times A_s = 20 \\
 \% \times 24178 &= 4835,6 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jarak tulangan } A_s &= 5671 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perencanaan Pondasi Kaison

Data Pembebanan

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman kaison } (D_f) &= 2,80 \text{ m} \\
 \text{Diameter luar} &= 300 \text{ cm} = 3,00 \text{ m} \\
 \text{Diameter dalam} &= 240 \text{ cm} = 2,40 \text{ m} \\
 \text{Mutu Beton} &= f_c' = 30 \text{ Mpa} = 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{Bahan}} &= 0,33 \cdot f_c = 0,33 \times 300 = 99 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beton dasar} &= (1/4 \cdot \pi \cdot d^2 + b \cdot d) \cdot t \cdot \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 8,791 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beton penutup} &= (1/4 \cdot \pi \cdot d^2 + b \cdot d) \cdot t \cdot \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 8,791 \text{ ton} \\
 \text{Beton cyclop} &= (1/4 \cdot \pi \cdot d^2 + b \cdot d) \cdot 2t \cdot \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 17,582 \text{ ton} \\
 \text{Dinding kaison} &= 2 (\pi \cdot r + b) \cdot t \cdot h \cdot \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 32,382 \text{ ton} \\
 \text{Total berat sendiri pondasi kaison} &= 67,547 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Daya dukung Pondasi Kaison

a. Kemampuan terhadap kekuatan bahan

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang}} &= \sigma_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}} \\
 &= 99 \times 70650 = 6994350 \text{ kg} \\
 &= 6994,350 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

b. Kemampuan terhadap kekuatan tanah

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times Q_d}{3} = 111,6 \text{ ton}$$

Maka daya dukung untuk satu kaison:

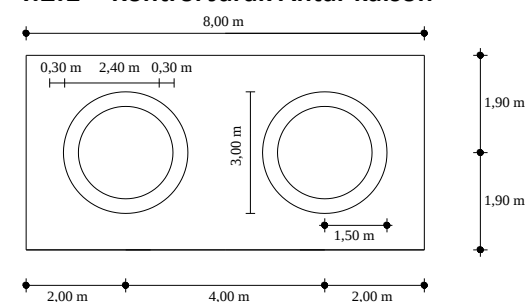
$$= 111,6 - 67,547 = 44,0532 \text{ ton} < P_{\text{tiang}} = 6994,350 \text{ ton}$$

Menentukan Jumlah Kaison

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\sum V}{N} \\
 n &= \frac{73,52}{44,0532} = 1,67 \approx 2 \text{ Buah kaison}
 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan 2 buah kaison

4.2.1 Kontrol Jarak Antar kaison



Gambar . Jarak Antar kaison

$$S \leq 942 \text{ (Memenuhi)}$$

Efisiensi Satu Kaison Dalam Kelompok

Maka daya dukung kelompok kaison (Q_{tiang})

$$\begin{aligned}(Q_{\text{Tiang}}) &= \eta \times n \times Q_{s,p} \\ &= 0,590 \times 2 \times 44,0532 \\ &= 51,983 \text{ ton} > P = 73,52 \text{ ton}\end{aligned}$$

Perhitungan Penahan Geser Kaison

$$\begin{aligned}P_u &= 4779,117 \text{ ton.m} \\ H_{\text{ijin}} &= 188,775 > 181,761 \text{ ton.m (gaya horisontal yang terjadi)}\end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Pondasi Kaison

$$\begin{aligned}\text{Diameter tulangan spiral} &= 12 \text{ mm} \\ F_y &= 300 \text{ Mpa} \\ \text{Tebal selimut beton} &= 30 \text{ mm} \\ \text{Jarak spasi lilitan spiral tidak boleh lebih dari} & \\ 80 \text{ mm dan kurang dari } 25 \text{ mm, maka jarak} & \\ \text{spasi lilitan spiral} &= 80 - 12 = 68 \text{ mm} \\ \text{Untuk diameter inti kolom dipakai tulangan} & \\ 9D25, \text{ maka dari tabel A-4 didapat } A_{st} &= 4418 \text{ mm}^2 \\ \text{Dipakai tulangan } \varnothing 25 - 200 \Rightarrow A_s &= \\ 10303,125 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

KESIMPULAN

Dari hasil analisa perhitungan perencanaan jembatan Warung Penceng dengan struktur beton pratekan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil perencanaan perhitungan beban penampang komposit sebagai berikut. Beban primer ; berat balok pratekan 454894,8 kg/m, berat plat lantai kendaraan 347840 kg/m, berat diafragma 41677,18 kg/m, beban hidup 567000 kg/m, dan beban Garis "P" 11466 kg/m. Beban sekunder ; beban angin 411835,6 kg/m, akibat gaya rem 9153 kgm.
2. Hasil perencanaan dimensi gelagar tipe beton pratekan dimana dimensi atas panjang 106,7 cm, lebar 12,7 cm, untuk dimensi bawah panjang 71,1 cm, lebar 20,3 cm dan tinggi 149,9 cm.

Berdasarkan perhitungan yang ada penggunaan beton pratekan memiliki keunggulan lendutan yang kecil.

3. Ukuran abutment pada jembatan dari hasil perhitungan perencanaan adalah: Panjang (L) 8 m, lebar (B) 3,8 m, tinggi (h) 7,9 m, sudut geser tanah 20° , γ_{tanah} 1,900 t.m³, γ_{beton} 2,500 t.m³.
4. Pondasi yang dipakai adalah pondasi kaison karena penggunaan pondasi ini sesuai dengan keadaan tanah dilapangan dengan kedalaman 2,8 meter serta jumlah pondasi sebanyak 2 buah, dengan ukuran pondasi sebagai berikut; kedalaman kaison (D_f) 2,80 m, diameter luar 300 cm = 3,00 m, Diameter dalam = 240 cm = 2,40 m, mutu beton $f_c' = 30 \text{ Mpa} = 300 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{\text{Bahan}} = 0,33 \cdot f_c = 0,33 \times 300 = 99 \text{ kg/cm}^2$, jarak antar pondasi 100 cm = 1,00 m.

SARAN

1. Dalam merencanakan konstruksi jembatan perlu diperhatikan adalah kondisi lapangan perlu dilakukan survei investigasi yang nantinya akan berpengaruh pada bahan yang digunakan.
2. Dalam merencanakan konstruksi jembatan perlu diperhatikan adalah faktor aman dari konstruksi tersebut dan sebaiknya dalam mendimensi harus mendekati faktor aman yang diijinkan, sehingga pendimensian tidak dikatakan pemborosan.
3. Perencanaan jembatan ini menggunakan pondasi kaison atau sumuran dimana bisa juga menggunakan pondasi pancang.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1992, "Bridge Desain Manual (Panduan Perencanaan) Bridge Management System", Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga

- Anonim, 2002, " SK SNI 03-2847-2002", Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga
- Anonim, 2005, "*Peraturan perencanaan teknik Jembatan (RSNi T-02-2005)*", Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga
- Bowles Joseph E, 1999, "*Analisa dan Desain pondasi*", jilid 2, erlangga, Jakarta.
- Fadila Sumantri, R., 1989, "*Analisis Perancangan Jembatan*", Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan, Jakarta
- Krisna Raju, N., 1988, "*Beton Prategang*", Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- Supriyadi, B., 2000, "*Jembatan*", Edisi ketiga, Yogyakarta
- Suyono Sosrodarsono, 2000, "*Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*", edisi ketujuh, PT. Pradnya Paramita
- Struyk, Van Der Veen, Soemargono, 1990, "*Jembatan*", Edisi Ketiga, PT. Pradnya Paramita
- TY Lin, Burn, H., "*Desain struktur Beton Prategang*", Edisi Ketiga, Jilid 1 Dan 2, Erlangga, Jakarta
- Winarni Hadipratomo, W., 1994, "*Struktur Beton Prategang (Teori Dan Prinsip Desain)*", Nova, Bandung