

DESKRIPSI PERENCANAAN JEMBATAN BETON BALOK T SAKO

Oleh :

Surya Adinata¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Kuantan Singingi
Jl. Gatot S. Broto KM. 7 Teluk Kuantan, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau
email: mastersuryaadinata@gmail.com

Abstrak

Di daerah Sako ini belum memiliki jembatan permanen, dimana jembatan existingnya berupa jembatan kayu yang banyak dilalui oleh kendaraan truk ini perlu dirancang jembatan permanen. Penelitian ini adalah mendeskripsikan perencanaan jembatan beton balok T bentang 25 meter kelas A (1,00m + 7,00m + 1,00m) dengan beban full 100% di ruas jalan Sako – Marga Sari Kabupaten Kuantan Singingi, Riau.

Tahapan penelitian diantaranya: Menentukan kondisi perancangan, jembatan dengan beton bertulang kelas A, Menentukan spesifikasi pembebanan pada jembatan, Perencanaan struktur atas jembatan, Perencanaan abutment, Menggambar Elemen Jembatan, dan Menghitung Rencana Anggaran Biaya. Pada perencanaan ini digunakan mengikuti standard Bina Marga dan beberapa referensi antara lain.

Hasil perencanaan adalah: Tinggi tiang sandaran yaitu 100 cm dan pipa sandaran pipa galvanis diameter 3"; Dimensi 4 gelagar memanjang yaitu 55 cm x 175cm x 2500 cm; Dimensi gelagar melintang (diafragma) yaitu 35 cm x 80 cm; Dimensi plat injak yaitu 450 cm x 250 cm x 25 cm; Tinggi abutment yaitu 600 cm, lebar telapak pondasi 400 cm; Diameter pondasi sumuran 400 cm dengan kedalaman 600 cm. Rencana Anggaran Biaya pembangunan jembatan Sako ini adalah Rp.2.687.951.555,00. Manajemen pelaksanaan pembangunan jembatan ini sebaiknya menggunakan Konsep Nilai Hasil (Earned Value Concept) .

Kata Kunci : Balok T, Jembatan Beton, Sako

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan adalah pelengkap jalan yang sangat vital, sehingga pelaksanaan pembangunan jembatan harus didahului dengan perencanaan jembatan dan perancangan jembatan. Produk yang dihasilkan adalah bentuk jembatan, kekuatan, keindahan, daya tahan, dan biaya pembangunan yang realistis. Di daerah Sako ini belum memiliki jembatan permanen, dimana jembatan existingnya berupa jembatan kayu yang banyak dilalui oleh kendaraan truk besar, truk sawit, truk karet, dan kendaraan roda empat lainnya, oleh karenanya perlu dirancang jembatan permanen.

Penelitian ini adalah mendeskripsikan perencanaan jembatan beton balok T bentang 25 meter kelas A (1,00m + 7,00m + 1,00m) dengan beban *full* 100%. Lokasi jembatan ini berada diruas jalan Sako–Marga Sari Kabupaten Kuantan Singingi, Riau.

1.2 Rumusan Masalah

Rumuskan masalah dipenelitian ini adalah bagaimana mendeskripsikan cara perencanaan struktur jembatan beton balok T kelas A Sako ini yang siap bangun.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan perencanaan dan perhitungan struktur bangunan jembatan beton balok T Kelas A yang siap bangun.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari ini adalah menghasilkan cara perencanaan dan perhitungan struktur bangunan jembatan beton balok T Kelas A yang siap bangun.

1.5 Pembatasan Masalah

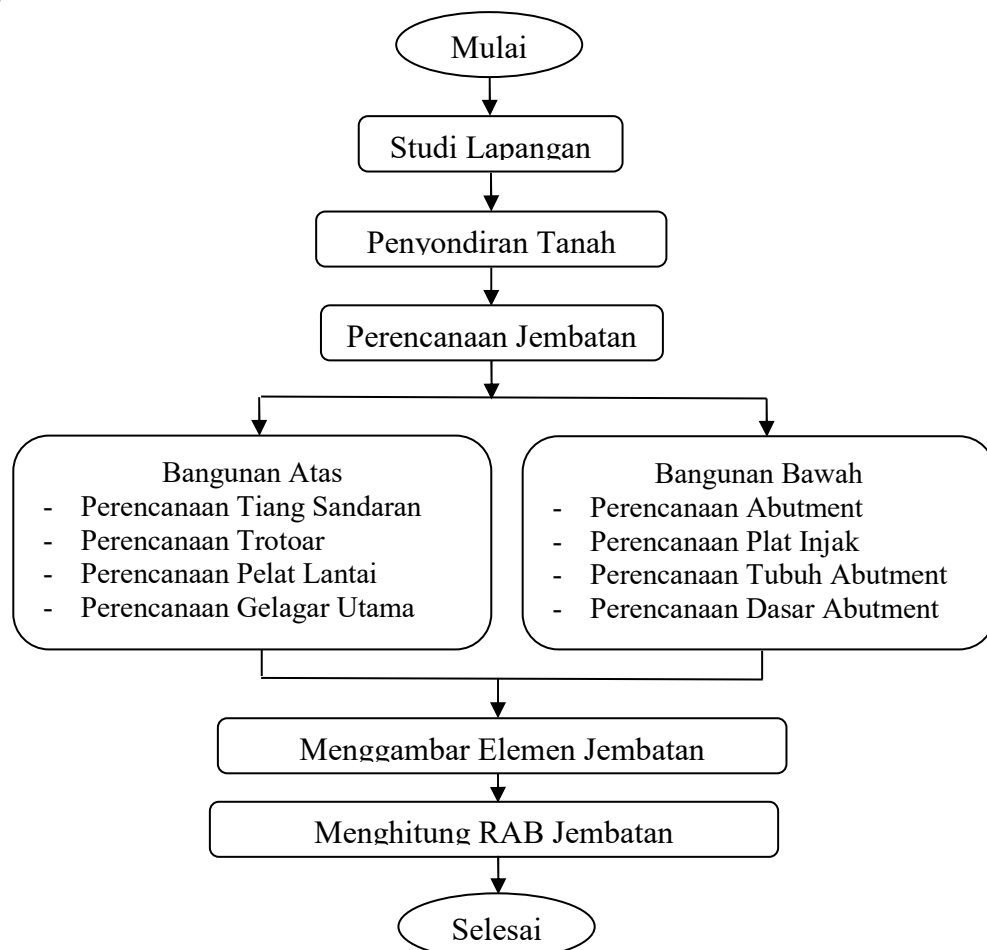
Batasan masalah penelitian ini adalah: Menghitung struktur bangunan atas jembatan, Menghitung struktur bangunan bawah jembatan, Menghitung struktur pondasi jembatan berdasarkan hasil penyondiran, Menggambar Elemen Jembatan, dan Menghitung Rencana Anggaran Biaya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian sebagai berikut: Menentukan kondisi perancangan, jembatan dengan beton bertulang kelas A, Menentukan spesifikasi pembebanan pada jembatan, Perencanaan struktur atas jembatan, Perencanaan abutment, Menggambar Elemen Jembatan, dan Menghitung Rencana Anggaran Biaya.

2.2 Bagan Alir Penelitian



3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Perencanaan Bangunan Atas

3.1.1 Perhitungan tiang sandaran

Tiang sandaran diasumsikan sebagai struktur jembatan yang diperhitungkan mampu menahan beban horisontal sebesar 100 kg dan mampu menahan *railling* sandaran. Pembesian dipakai tulangan utama 2Ø12 dengan $As' = 226,08 \text{ mm}^2$ dan dipakai sengkang praktis Ø 8 - 200

3.1.2 Perhitungan Trotoar

Beban ditinjau selebar satu meter untuk mencari gaya lintang

$$\begin{aligned} D &= (q_1 + q_2) L + P_1 \\ &= (580 + 500) \cdot 1 + 425,70 \\ &= 1505,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Plat

Direncanakan tebal plat trotoar:

$$\begin{aligned} ht &= 20 \text{ cm}; & b &= 100 \text{ cm}; & d &= 4 \text{ cm} \\ \varnothing \text{ tulangan utama} &= 1,3 \text{ cm}; & \varnothing \text{ tulangan sengkang} &= 0,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.1.3 Perhitungan plat lantai jembatan

Data Teknis

- Tebal lantai = 20 cm; Tebal perkerasan = 5 cm
 - Panjang plat beton = 7,4 m; Mutu beton = 35 Mpa
 - Mutu baja = 280 Mpa; Jarak antar girder = 1,40 m
 - Bentang jembatan = 25 m
 - Perhitungan koefisien momen maksimum diambil dari tabel GTBPP
- $$M_{lap} = 1/11 q l^2; \quad M_{tump} = 1/10 q l^2$$

Perhitungan Beban

Beban Tetap (beban mati)

Beban per 1 m² adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri plat} &= 0,2 \cdot 1 \cdot 2400 = 480 \text{ kg/m} \\ \text{Berat perkerasan aspal} &= 0,05 \cdot 1 \cdot 2400 = 120 \text{ kg/m} \\ \text{Berat air hujan} &= \underline{0,10 \cdot 1 \cdot 1000} = \underline{100 \text{ kg/m}} \\ \text{Jumlah } q_d &= 700 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \times q_d \\ &= 1,2 \times 700 \\ &= 840 \text{ kg/m} = 8,40 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$M_{lap} = 1/11 \times 8,40 \times 1,40^2 = 1,50 \text{ kNm}$$

$$M_{tump} = 1/10 \times 8,40 \times 1,40^2 = 1,65 \text{ kNm}$$

Beban muatan (T)

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan harus menggunakan beban "T", yaitu beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton.

$$\begin{aligned} b_x &= 50 + (2 \times 15) = 80 \text{ cm}; & b_y &= 30 + (2 \times 15) = 60 \text{ cm} \\ L_x &= 1,40 \text{ m}; & L_y &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

(diafragma tidak mendukung lantai)

Jembatan kelas 1 = 100% Muatan Bina Marga

T = 10 ton = 100 kN

Beban yang diterima plat :

$$\begin{aligned} q &= T/0,6 \\ &= 100/0,6 \\ &= 166,67 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faktor pembebanan :

$$\begin{aligned} q_u &= 1,6 q \\ &= 1,6 \times 166,67 \\ &= 266,67 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Reaksi tumpuan :

$$R_a = \frac{266,67 \times 0,8 \times (0,3 + 0,4)}{1,40}$$

$$= 106,67 \text{ kN}$$

Momen maksimum yang terjadi di tengah bentang :

$$\begin{aligned} M_o &= R_a \times \left(\frac{1}{2} L_x\right) - \frac{1}{2} q_u \times \left(\frac{1}{2} b_x\right)^2 \\ &= 106,67 \times 0,7 - 133,34 \times (0,4)^2 \\ &= 53,33 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$L_x = 1,40 \text{ m}$$

$$L_y = 25 \text{ m (Diafragma tidak mendukung lantai)}$$

Jembatan kelas 1 = 100% Muatan Bina Marga

$$\begin{aligned} R_a &= 0,80 \times 266,67 \\ &= 213,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_o &= R_a \times \left(\frac{1}{2} L_x\right) - \frac{1}{2} q_u \times \left(\frac{1}{2} b_x\right)^2 \\ &= 213,34 \times 0,7 - 133,34 \times (0,4)^2 \\ &= 128 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Koefisien tumpuan $r = 2/3$ (tumpuan jepit bebas)

Lebar kerja plat (S_a) beban sendiri di tengah

$$\begin{aligned} 3 \times r \times L_x &= 3 \times (2/3) \times 1,40 \\ &= 2,80 \text{ m} < L_y = 25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } S_a &= \left(\frac{3}{4}\right) a + \left(\frac{3}{4}\right) r L_x \\ &= \left(\frac{3}{4}\right) 0,80 + \left(\frac{3}{4}\right) (2/3) (1,40) \\ &= 1,30 \text{ m} \\ &= 130 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lebar kerja plat beban tidak berdiri di tengah

$$L_y > r L_x$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } S_a &= \left(\frac{3}{4}\right) a + \left(\frac{1}{4}\right) r L_x \\ &= \left(\frac{3}{4}\right) 0,80 + \left(\frac{1}{4}\right) (2/3) (1,40) \\ &= 0,83 \text{ m} \\ &= 83 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$S_b = a$$

$$S_b = 80 \text{ cm}$$

Maka lebar kerja manfaat plat yang menentukan

$$S_a = 83 \text{ cm}$$

$$S_b = 80 \text{ cm}$$

Dari perhitungan momen (M_o), ternyata M_o maximum pada saat dua roda di tengah bentang L_x

$$M_{Lx1} = 3M_o/4S_a = 3 \times 128 / 4 \times 0,83 = 115,66 \text{ kNm}$$

$$M_{Tx2} = 2M_o/3S_b = 2 \times 128 / 3 \times 0,80 = 106,67 \text{ kNm}$$

$$L_y / L_x \geq 3$$

$$M_{ly} = 40,88 \text{ kNm}$$

Momen total

$$\begin{aligned} M_{Lx} &= M_{Lx1} + M_{Lx2} \\ &= 1,50 + 115,66 \\ &= 117,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Tx} &= M_{Tx1} + M_{Tx2} \\ &= 1,65 + 106,67 \\ &= 108,32 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$Mly = 40,88 \text{ kNm}$$

Penulangan :

Penulangan (arah x lapangan)

$$\begin{aligned} dx &= 200 - 40 - 16/2 = 152 \text{ mm} \\ Mn &= \frac{MLx}{0,8} = \frac{117,16}{0,8} = 146,45 \text{ kNm} \\ RI &= 0,85 \text{ fc} = 0,85 \times 35 = 29,75 \text{ Mpa} \\ F_{max} &= \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 450}{600 + 280} = 0,435 \\ F_{min} &= \frac{1,4}{RI} = \frac{1,4}{29,75} = 0,047 \\ K &= \frac{Mn}{bd^2RI} = \frac{146,45 \times 10^{-3}}{1 (0,152)^2 29,75} = 0,21 \\ F &= 1 - \sqrt{1 - 2K} = 1 - \sqrt{1 - 2(0,21)} = 0,238 \end{aligned}$$

Maka :

$F_{min} < F < F_{max}$

$$\begin{aligned} As &= F b d x \frac{RI}{fy} \\ &= (0,238 \times 1000 \times 152) \times \frac{29,75}{280} \\ &= 3843,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D16 – 100 ($As = 2009,6 \text{ mm}^2$)

Penulangan (arah x tumpuan)

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{MTx}{0,8} = \frac{108,32}{0,8} = 135,4 \text{ kNm} \\ d &= 200 - 40 - 16/2 = 152 \text{ mm} \\ K &= \frac{Mu}{bd^2RI} \\ &= \frac{146,45}{1 (0,152)^2 29,75} = 0,213 \\ F &= 1 - \sqrt{1 - 2K} = 1 - \sqrt{1 - 2(0,213)} = 0,242 \end{aligned}$$

Maka :

$F_{min} < F < F_{max}$

$$\begin{aligned} F &= 0,242 \\ As &= F b d x \frac{RI}{fy} = (0,242 \times 1000 \times 152) \times \frac{29,75}{280} = 3908,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D16 – 100 ($As = 2009,6 \text{ mm}^2$)

Penulangan (arah y lapangan)

$$\begin{aligned} Mly &= 40,88 \\ Mn &= \frac{MLy}{0,8} = 51,1 \text{ kNm} \\ dy &= 200 - 40 - 16 - 16/2 = 136 \text{ mm} \\ K &= \frac{Mn}{bd^2RI} = \frac{51,1 \times 10^{-3}}{1 (0,136)^2 (29,75)} = 0,093 \\ F &= 1 - \sqrt{1 - 2K} = 1 - \sqrt{1 - 2(0,093)} = 0,098 \end{aligned}$$

Maka :

$F_{min} < F < F_{max}$

$F = 0,098$

$$As = F b d x \frac{RI}{fy} = (0,098 \times 1000 \times 136) \times \frac{29,75}{280} = 1416,1 \text{ mm}^2$$

Digunakan D16 – 100 ($As = 2009,6 \text{ mm}^2$)

3.1.4 Perhitungan gelagar melintang (*Diafragma*)

Diafragma dibuat dari beton bertulang dengan BJ beton 2,5 t/m³, panjang 35 cm, lebar 80 cm dan tinggi 175 cm.

Berat diafragma adalah :

$$\begin{aligned} \text{Bdf} &= P \times L \times T \times \text{Bj beton} \times \text{Jumlah diafragma} \\ &= 0,35 \times 0,80 \times 1,75 \times 2,5 \times 6 \\ &= 7,35 \text{ ton} \end{aligned}$$

3.1.5 Perhitungan gelagar memanjang

Berat gelagar memanjang :

$$\begin{aligned} \text{Bgr} &= (P \times L \times T \times \text{Bj Beton}) \times \text{Jumlah gelagar} \\ &= (25 \text{ m} \times 0,55 \times 1,75 \times 2,5) \times 6 \\ &= 360,938 \text{ ton} \end{aligned}$$

a. Beban mati (*Dead load*)

$$\begin{aligned} \text{Hand rail} &= \frac{0,10 \times 0,16 \times 2,00 \times 2400}{2} \times 2,508 = 96,307 \text{ kg/m} \\ \text{Railing} &= 2 \times 1,00 \times 6 \times 2,508 = 30,096 \text{ kg/m} \\ \text{Perkerasan} &= 0,07 \times 2200 \times 1,913 = 294,602 \text{ kg/m} \\ \text{Air hujan} &= 0,05 \times 1000 \times 1,913 = 95,650 \text{ kg/m} \\ \text{Pelat lantai} &= 0,20 \times 2400 \times 1,00 = 480,000 \text{ kg/m} \\ \text{Gelagar} &= \frac{1,05 \times 0,55 \times 2400 \times 1,00}{2} = 1386,000 \text{ kg/m} + \\ \text{Total } q_{DL} &= 2382,655 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Balok melintang (diafragma),

$$T_b = 0,35 \times 0,80 \times 2400 \times 0,5 = 336,000 \text{ kg/m}$$

b. Momen lentur akibat beban mati

$$M_{q_{DL}} \rightarrow M_x = \frac{1}{2} q_{DL} \cdot L^2 \left\{ \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right\}$$

Momen pada potongan 1, X = 2,0 m (M₁.DL)

$$M_{q_{DL}} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25^2 \left\{ \frac{2}{25} \left(1 - \frac{2}{25} \right) \right\} = 54.801,07 \text{ kgm}$$

$$M_{T_b} = \frac{1}{2} \times 336,000 \times 2,00 = 336,00 \text{ kgm} +$$

$$\begin{aligned} M_{1,DL} &= 55.137,07 \text{ kgm} \\ &= 551.370 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen pada potongan 2, X = 4,0 m (M₁.DL)

$$M_{q_{DL}} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25^2 \left\{ \frac{4}{25} \left(1 - \frac{4}{25} \right) \right\} = 100.071,51 \text{ kgm}$$

$$M_{T_b} = \frac{1}{2} \times 336,000 \times 4,00 = 672,00 \text{ kgm} +$$

$$\begin{aligned} M_{1,DL} &= 100.743,51 \text{ kgm} \\ &= 1.007.435 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen pada potongan 3, X = 6,0 m (M₁.DL)

$$M_{q_{DL}} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25^2 \left\{ \frac{6}{25} \left(1 - \frac{6}{25} \right) \right\} = 100.071,51 \text{ kgm}$$

$$M_{T_b} = \frac{1}{2} \times 336,000 \times 6,00 = 1.008,00 \text{ kgm} +$$

$$\begin{aligned} M_{1,DL} &= 101.079,51 \text{ kgm} \\ &= 1.010.795 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen pada potongan 4, X = 8,0 m (M₁.DL)

$$M_{q_{DL}} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25^2 \left\{ \frac{8}{25} \left(1 - \frac{8}{25} \right) \right\} = 162.020,54 \text{ kgm}$$

$$M_{Tb} = \frac{1}{2} \times 336,000 \times 8,00 = 1.344,00 \text{ kgm} +$$

$$M_{1,DL} = 163.364,54 \text{ kgm} \\ = 1.633.645 \text{ Nm}$$

Momen pada potongan 5, X = 10,0 m (M_{1,DL})

$$M_{qDL} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25^2 \left\{ \frac{10}{25} \left(1 - \frac{10}{25} \right) \right\} = 178.699,13 \text{ kgm}$$

$$M_{Tb} = \frac{1}{2} \times 336,000 \times 10,00 = 1.680,00 \text{ kgm} +$$

$$M_{1,DL} = 180.379,13 \text{ kgm} \\ = 1.803.791 \text{ Nm}$$

Momen pada potongan 6, X = 12,50 m (M_{1,DL})

$$M_{qDL} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25^2 \left\{ \frac{12,50}{25} \left(1 - \frac{12,50}{25} \right) \right\} = 186.144,92 \text{ kgm}$$

$$M_{Tb} = \frac{1}{2} \times 336,000 \times 12,50 = 2.100,00 \text{ kgm} +$$

$$M_{1,DL} = 188.244,92 \text{ kgm} \\ = 1.882.449 \text{ Nm}$$

c. Beban hidup (Live load)

$$\text{Koefisien kejut} = 1 + \frac{20}{50+L} = 1 + \frac{20}{50+25} = 1,27$$

$$\text{Beban garis, } P = 1,27 \times \frac{12.000}{2,75} \times 1,913 = 10.602 \text{ kg}$$

$$\text{Beban terbagi merata, } q = \frac{2200}{2,75} \times 1,913 = 1.530,4 \text{ kg/m}$$

d. Momen lentur akibat beban hidup

$$M_x (P) = P \cdot L \left\{ \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right\}$$

$$M_x (q) = \frac{1}{2} q \cdot L^2 \left\{ \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right\}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan momen lentur sebagai berikut:

Tabel 3.1 Momen lentur total (Nm)

Pembebanan	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6
Beban mati, DL	415.370	1.007.43	1.010.795	1.633.645	1.803.791	1.882.449
Beban hidup, LL	547.068	5 998.995	1.355.779	1.617.420	1.783.920	1.858.250
Total	962.438	2.006.43 0	2.366.574	3.251.065	3.587.711	3.740.699

Sumber : Hasil perhitungan

e. Momen pada tumpuan

$$M_s = \frac{1}{3} M_{\max} = \frac{1}{3} \times 3.740.699 = 1.246.899,67 \text{ Nm}$$

f. Gaya geser (Shearing force)

$$\text{Beban mati terbagi merata} = \frac{1}{2} \times 2382,655 \times 25 = 29.783 \text{ kg}$$

$$\text{Balok melintang} = 2,5 \times 336,000 = 840 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup garis } P = \frac{1}{2} \times 10.602 = 5.301 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup terbagi merata } q = \frac{1}{2} \times 1.530,4 \times 25 = 19.130 \text{ kg}$$

$$V = 55.054 \text{ kg} \\ = 550.540 \text{ N}$$

g. Perhitungan baja tulangan

Pada tumpuan

$$M_{\text{support}} = 1.246.899,67 \text{ Nm}$$

$$V = 550.540 \text{ N}$$

$$b = 550 \text{ mm}$$

$$h = 1.750 \text{ mm}$$

$$d = 1.750 - 60 = 1.690 \text{ mm}$$

$$K = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1.246.899,67 \times 10^3}{0,8 \times 550 \times 1690} = 0,992 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 f_c'}} \right] = \frac{0,85 \times 20}{200} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,992}{0,85 \times 20}} \right] = 0,00511$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{200} = 0,007$$

$$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} \rightarrow \rho = \rho_{\text{min}} = 0,007$$

$$A_s = \rho b d = 0,007 \times 550 \times 1690 = 6506,50 \text{ mm}^2$$

Dipakai baja tulangan 8Ø32 ($A_s = 6430,72 \text{ mm}^2$)

NT = ND

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{6430,72 \times 200}{0,85 \times 20 \times 550} = 137,56 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{137,56}{0,85} = 161,84 \text{ mm}$$

$$f_s = 600 \left[\frac{d-c}{c} \right]$$

$$= 600 \left[\frac{1690-161,84}{161,84} \right]$$

$$= 5665,447 \text{ Mpa} > f_y = 200 \text{ Mpa} \dots\dots\dots\text{OK!!!}$$

$$M_n = A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right]$$

$$= (6430,72 \times 200) \left[1690 - \frac{137,56}{2} \right]$$

$$= 2.085.122.376 \text{ Nmm}$$

$$= 2.085.122,38 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_u} = \frac{2.085.122,38}{1.246.899,67} = 1,672$$

Perencanaan tulangan geser

$$V_u = 550.540 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c' b d} = \left[\frac{1}{3} \sqrt{20} \right] \times 550 \times 1690 = 1.385.616,79 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 1.385.616,79 = 415.685,04 \text{ N} < V_u \text{ (perlu}$$

sengkang)

Secara teoritis diperlukan sengkang untuk kestabilan struktur dan peraturan mensyaratkan dipasang tulangan minimum (spasi maksimum).

$$S_{\text{maksimum}} = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 550 = 275 \text{ mm}$$

Atau

$$S_{\text{maksimum}} = 300 \text{ mm}$$

Digunakan spasi = 225 mm, dengan luas tulangan minimum:

$$A_{v \text{ min}} = \frac{\frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot s}{f_y} = \frac{\left(\frac{1}{3}\sqrt{20}\right) \times 550 \times 275}{200} = 1.127,351 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 8Ø12 mm ($A_v = 452,16 \text{ mm}^2$), maka jarak sengkang:

$$S = \frac{A_v \times f_y}{\frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b} = \frac{904,32 \times 200}{\frac{1}{3}\sqrt{20} \times 550} = 110,30 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan Ø12 – 100 mm untuk geser, dan 8Ø32 untuk lentur.

Pada potongan 1.

$$M_1 = 962.438 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right] \\ &= (5626,88 \times 200) \left[1660 - \frac{120,361}{2} \right] \\ &= 1.800,398 \times 10^6 \text{ Nmm} \\ &= 1.800,398 \times 10^3 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_n}{M_u} = 1,87$$

Cek daktilitas tulangan:

$$\begin{aligned} A_s \text{ max} &= 0,0319 hf \left\{ b + b_w \left(\frac{0,510d}{hf} - 1 \right) \right\} \\ &= 0,0319 \times 200 \left\{ 1200 + 550 \left(\frac{0,510 \times 1660}{200} - 1 \right) \right\} \\ &= 19.619,597 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} bd = 0,007 \times 550 \times 1660 = 6.391,00 \text{ mm}^2$$

Dengan demikian penampang balok memiliki syarat daktilitas.

Pada potongan 2.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right] = (14.469,12 \times 200) \left[1660 - \frac{309,450}{2} \right] \\ &= 4.356,693 \times 10^6 \text{ Nmm} \\ &= 4.356,693 \times 10^3 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Pada potongan 3.

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} bd = 0,007 \times 550 \times 1660 = 6.391,00 \text{ mm}^2$$

Dengan demikian penampang balok memiliki syarat daktilitas.

Pada potongan 4.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right] \\ &= (12.861,44 \times 200) \left[1660 - \frac{275,111}{2} \right] \\ &= 3.916,165 \times 10^6 \text{ Nmm} \\ &= 3.916,165 \times 10^3 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Pada potongan 5.

$$M_1 = 3.587.711 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right] \\ &= (14.469,12 \times 200) \left[1660 - \frac{309,50}{2} \right] \end{aligned}$$

$$= 4.355,928 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$= 4.355,928 \times 10^3 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_u} = 1,21$$

Pada potongan 6.

$$M_1 = 3.740.699 \text{ Nm}$$

Lebar efektif balok (b), dipilih yang terkecil diantara:

$$b = \frac{1}{4} \times L = \frac{1}{4} \times 25000 = 6250 \text{ mm}$$

$$b = b_w + 16 h_f = 550 + (16 \times 200) = 3750 \text{ mm}$$

$$b = \text{jarak p.k.p} = 2000 \text{ mm}$$

kontrol penampang balok T

dianggap seluruh flens menerima desakan sepenuhnya.

$$M_{nf} = 0,85 f_c' b h_f (d - h_f/2)$$

$$= 0,85 \times 20 \times 2000 (1660 - 200/2)$$

$$= 53.040 \times 10^3 \text{ Nm}$$

$M_{nf} > M_1$, maka balok berperilaku sebagai balok T persegi.

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3.740.699 \times 10^3}{0,8 \times 550 \times 1660} = 3,085 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 f_c'}} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 20}{200} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,085}{0,85 \times 20}} \right]$$

$$= 0,01716$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{200} = 0,007$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \frac{0,85 \times 20 \times 0,85}{200} \frac{600}{600 + 200}$$

$$= 0,0406$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \rightarrow \rho = 0,01716$$

$$A_s = \rho b d = 0,01716 \times 550 \times 1660 = 15.667,08 \text{ mm}^2$$

Dipakai baja tulangan 19Ø32 ($A_s = 15.272,96 \text{ mm}^2$)

NT = ND

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{15.272,96 \times 200}{0,85 \times 20 \times 550} = 326,694 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{326,694}{0,85} = 384,346 \text{ mm}$$

$$f_s = 600 \left[\frac{d-c}{c} \right] = 600 \left[\frac{1660-384,346}{384,346} \right]$$

$$= 1.991,415 \text{ Mpa} > f_y = 200 \text{ Mpa}$$

$$M_n = A_s f_y \left[d - \frac{a}{2} \right]$$

$$= (15.272,96 \times 200) \left[1660 - \frac{326,694}{2} \right]$$

$$= 4.571,664 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$= 4.571,664 \times 10^3 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_u} = 1,22$$

3.2 Perencanaan Konstruksi Bangunan Bawah

3.2.1 Perencanaan Abutment

Tabel 3.2 Berat sendiri Abutment

No	Luas Segmen (M ²)	γ	Berat	Lengan	Momen
1	1,95 x 0,3 x 1 = 0,585	2,5	1,463	2,655	3,884
2	1,00 x 0,3 x 1 = 0,300	2,5	0,750	3,000	2,250
3	1,85 x 0,5 x 1 = 0,925	2,5	2,313	2,225	5,146
4	0,75 x 0,5 x 1 = 0,375	2,5	0,938	2,000	1,876
5	$\frac{1}{2}$ x 0,5 x 0,775 x 1 = 0,194	2,5	0,485	2,633	1,277
6	$\frac{1}{2}$ x 0,325 x 0,5 x 1 = 0,081	2,5	0,203	1,517	0,308
7	2,0 x 0,75 x 1 = 1,500	2,5	3,750	2,000	7,500
8	0,75 x 0,35 x 1 = 0,263	2,5	0,658	2,000	1,316
9	$\frac{1}{2}$ x 0,35 x 1,625 x 1 = 0,284	2,5	0,710	2,917	2,071
10	$\frac{1}{2}$ x 0,35 x 1,625 x 1 = 0,284	2,5	0,710	1,083	0,769
11	4,0 x 0,7 x 1 = 2,800	2,5	7,000	2,000	14,000
			18,980		40,397

3.2.2 Penulangan Badan Abutment

Pembebanan :

1. Beban terpusat (P1) = 10 t.

2. Beban terpusat (P2) = 10 t.

3. Bentang 25 m

P3 = Beban Hidup + Beban Mati

= 13,23+ 40,206

= 53,436 t.

Tabel 3.3. Perhitungan Penulangan Badan Abutment.

BAGIAN	VOLUME (M ²)	γ	Berat	Lengan	Momen
P1	-	-	10,000	0,750	7,5
P2	-	-	10,000	0,925	9,25
P3	-	-	53,436	0,375	20,039
G1	0,25 x 1,05 x 1 = 0,263	2,5	0,658	1,025	0,674
G2	0,25 x 2,2 x 1 = 0,55	2,5	1,375	2,325	3,197
G3	1,00 x 0,6 x 1 = 0,60	2,5	1,500	1,225	1,838
G4	0,50 x 1,85 x 1 = 0,925	2,5	2,313	0,375	0,867
G5	$\frac{1}{2}$ x 0,50 x 1,008 = 0,252	2,5	0,630	1,008	0,635
G6	2,00 x 0,75 x 1 = 1,50	2,5	3,750	0,375	1,406
Rm	-	-		1,255	8,158
Gb	-	-		2,874	4,299
Gg	-	-		10,051	67,342
Total			$\Sigma F =$ 83,662		$\Sigma M = 125,205$

◆ Perhitungan penulangan badan abutment akibat tekanan tanah

Dimana :

$$\begin{aligned}
 q \text{ plat injak} &= 1,375 \text{ t/m} \\
 \phi &= 10^\circ = 1,16 \text{ t/m}^3 \\
 \gamma \text{ tanah} &= 1,61 \text{ t/m}^3 \\
 E &= 0,17 \\
 Pa1 &= K_a \times q \times h \\
 &= 0,704 \times 1,375 \times 6 \\
 &= 5,808 \text{ ton} \\
 Pa2 &= \frac{1}{2} K_a \times \gamma \text{ tanah} \times h^2 \\
 &= \frac{1}{2} (0,704) \times 1,61 \times 6^2 \\
 &= 20,402 \text{ ton} \\
 M &= (Pa1 \times Y1) + (Pa2 \times Y2) + \Sigma M + (R_m \times 5,65) + (G_b \times 3,85) + \\
 &\quad (G_g \times 2,25) \\
 &= (5,808 \times 1,75) + (20,402 \times 1,167) + 125,205 + (1,255 \times 5,65) + \\
 &\quad (2,847 \times 3,85) + (10,051 \times 2,25) \\
 &= 199,845 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

◆ Menentukan diameter tulangan.

Diketahui : (karena jepit jepit dalam PBI 71 Lk = 0.7 ht)

$$M = 199845 \text{ Kgm} \quad N = 83662 \text{ kg}$$

$$b = 75 \text{ cm} \quad ht = 100 \text{ cm}$$

$$Lk = 0,7 \text{ m} \quad d = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Beton : K250} \rightarrow \sigma_b = 75 \text{ kg/cm}^2$$

$$U19 \rightarrow \sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 19 \text{ (Pembebanan tetap)}$$

Maka:

$$\Phi 0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma_b} = \frac{2250}{19 \times 75} = 1,579$$

$$e_{o1} = \frac{M}{N} = \frac{199845}{83662} = 2,389 \text{ m}$$

$$e_{o2} = \frac{1}{30} \times ht = \frac{1}{30} \times 1 = 0,033 \text{ m}$$

$$e_o = e_{o1} + e_{o2} = 2,389 + 0,033 = 2,422 \text{ m}$$

$$\frac{e_o}{ht} = \frac{2,422}{1} = 2,422 \rightarrow \text{dari tabel C} = 7,70$$

$$e_1 = C \times \left(\frac{Lk}{100 \times ht} \right) \times ht = 7,70 \times \left(\frac{0,7}{100 \times 1} \right) \times 1 = 0,054 \text{ m}$$

$$e_2 = 0,15 \times ht = 0,15 \times 1 = 0,15 \text{ m}$$

$$e = e_o + e_1 + e_2 = 2,422 + 0,054 + 0,15 = 2,626 \text{ m}$$

$$e_a = e + \frac{1}{2} ht - 0,05 = 2,626 + \frac{1}{2} 1 - 0,05 = 3,076 \text{ m}$$

$$N_{ea} = N \times e_a = 83662 \times 3,076 = 257344,31 \text{ Kgm}$$

$$h = 100 - 4 - \frac{1}{2} \times 1,9 - 0,8 = 94,25 \text{ cm}$$

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times N_{ea}}{b \times \sigma_a}}} = \frac{94,25}{\sqrt{\frac{19 \times 257344,31}{0,70 \times 2250}}} = 1,692$$

Pada kolom-kolom, yang pada umumnya harus memikul lentur yang bolak-balik tandanya, umumnya dipasang tulangan simetris. Pada tulangan simetris berlaku $\frac{\omega}{i} = \delta\omega$ atau $\delta = \frac{1}{i}$. Untuk penentuan ini pada umumnya ζ senantiasa dapat diambil 7/8, sehingga tabel untuk perhitungan kolom dengan tulangan simetris adalah dengan nilai:

$$\sigma = 1 - \frac{7}{8} \times \frac{h}{e_a} = 1 - \frac{7}{8} \times \frac{0,9425}{3,076} = 0,732 \sim 0,7$$

Untuk $C_a = 1,692$, dari tabel 0,8 didapat:

$$\Phi = 1,844$$

$$\Phi' = 2,577$$

$$N\omega = 0,138$$

$$\zeta = 0,887$$

$$i = \frac{1}{1 - \zeta \frac{h}{e_a}} = \frac{1}{1 - 0,887 \frac{0,9425}{3,076}} = 1,373$$

$$iA = \omega \times b \times h$$

$$= \frac{0,138}{19} \times 75 \times 94,25$$

$$= 5134,1 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{5134,1}{1,373} = 3739,33 \text{ mm}^2$$

$$A' = \delta * iA = 0,8 * 5134,1 = 4107,28 \text{ mm}^2$$

Jadi digunakan Tulangan Pokok D 19 – 50 ($A_s = 3967,39 \text{ mm}^2$)

$$A'' = 20\% * A$$

$$= 20\% * 3739,33$$

$$= 747,866 \text{ mm}^2$$

Jadi digunakan tulangan D 8 – 100 ($A_s = 703,36 \text{ mm}^2$)

3.3 Perencanaan Pondasi Sumuran

Penyondiran dilakukan dengan maksud untuk mengetahui konsistensi dan kepadatan relative dari tiap lapisan tanah, disamping itu data sondir dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah / daya dukung izin untuk pondasi bangunan yang akan dilakukan dilokasi proyek. Alat yang digunakan adalah **“Dutch Cone Penetrometer”** kapasitas 2,5 ton.



Gambar 4. Penyondiran di Lokasi Jembatan

Tabel 3.3 Data Penyondiran Lokasi S1

No	Jenis Pekerjaan	Depth (m)	QC (end)	JHP	Gwl (m)
1.	S 1	07.00	210	448.0	- 1.40

Berdasarkan titik sondir terdalam pada lokasi S1 sebesar 7,0 meter dengan Qc sebesar 210 kg/cm² dan jumlah hambatan lekat 448,0 kg/cm, maka diusulkan agar menggunakan pondasi Sumuran.

Perhitungan Pondasi sumuran

Direncanakan menggunakan pondasi sumuran dengan kedalaman -6,00 meter dari muka tanah (panjang sumuran 6 meter dari poer). Karena pondasi berbentuk lingkaran, maka berlaku rumus terzaghi :

$$\begin{aligned} Qult &= 1,3 \cdot c \cdot N_c + D \cdot \gamma \cdot N_q + 0,6 \cdot \gamma \cdot 1 \cdot R \cdot N_\gamma \\ 413,733 &= (1,3 \cdot 2,1 \cdot 40,41) + (6,1 \cdot 1,751 \cdot 25,28) + (0,6 \cdot 1,751 \cdot R \cdot 22,65) \\ R &= 1,59 \end{aligned}$$

Diperoleh nilai R = 1,59 meter ~ 2 meter

Direncanakan R pondasi sumuran = 2 meter (Diameter = 4 ,00 meter) berarti memenuhi perhitungan.

Perhitungan pondasi sumuran :

$$\begin{aligned} \text{Beban mati} &= 823,828 \text{ ton} \\ \text{Daya dukung (Qult)} &= 413,733 \text{ ton} \\ \text{Jumlah pondasi sumuran} & \\ N &= 823,828 \text{ ton} / 413,733 \text{ ton} \\ &= 1,99 \text{ buah} \sim 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Perhitungan jarak as ke antar sumuran :

Syarat jarak : 1,5 D – 3,0 D

Dimana D sumuran = 3,00 meter

Syarat jarak : 4, 50 m – 7,00 m

Diambil jarak antar pondasi sumuran antar as ke as adalah 5,5 meter

Kontrol daya dukung :

Panjang pondasi L = 5,0 meter

Berat sendiri pondasi Wt = 75,36 ton

$$P_{max} = \frac{823,828}{5,5} + \frac{(413,733) \times 2,5}{75,36}$$

$$= 28,704 \text{ t/m}^2 < Q_{safe} = 137,911 \text{ t/m}^2$$

Karena daya dukung tanah lebih besar dari P yang terjadi maka aman.

Perhitungan cincin sumuran :

Beton cyclop, f'c = 17,5 Mpa = 175 kg/cm²

Beton cincin, fc = 25 Mpa = 250 kg/cm²

Kedalaman pondasi = 6,00 m

Tebal cincin sumuran = 30 cm

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{2} \times \gamma \times H \times K_a \\ &= \frac{1}{2} \times 1,751 \times 6 \times 0,566 \\ &= 2,973 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Cincin sumuran dianggap konstruksi pelengkung dengan perletakan sendi-sendi dengan beban merata sebesar q = 2,973 t/m² dengan momen maksimum terletak pada tengah bentang.

$$M_u = \frac{1}{8} \times q \times l^2 = \frac{1}{8} \times 2,973 \times 6^2 = 13,379 \text{ tm} = 1337900 \text{ kgcm}$$

Dinding sumuran dianggap sebagai plat beton dengan arah tulangan x dan y yang direncanakan menggunakan tulangan utama D 16 mm.

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{1337900}{0,8} = 1672375 \text{ kgcm}$$

$$d = h - p - \frac{1}{2} D = 300 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 16 = 252 \text{ mm} = 25,2 \text{ cm}$$

$$b = \pi \times D = \pi \times 4000 = 12.560 \text{ mm} = 1.256 \text{ cm}$$

$$RI = 0,85 f'c = 0,85 \times 250 = 212,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = \frac{Mn}{b \times d \times RI} = \frac{1672375}{1.256 \times 25,2 \times 212,5} = 0,249$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,249} = 0,291$$

$$F_{maks} = \frac{61 \times 4500}{6000 + f_y} = \frac{0,85 \times 4500}{6000 + 40} = 0,3825$$

$$K_{maks} = F_{maks} \times (1 - f_{maks}/2) = 0,3825 \times (1 - 0,3825/2) = 0,309$$

$F < F_{maks}$ berarti menggunakan tulangan *single underreinforced*

$$As = F \times b \times d \times \frac{RI}{f_y}$$

$$= 0,291 \times 1256 \times 254 \times \frac{212,5}{4000} = 4893,08 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 – 150

Penulangan geser sumuran:

$$\text{Gaya tarik melingkar (T)} = \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \times D \times K_a$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,751 \times 6^2 \times 4 \times 0,566$$

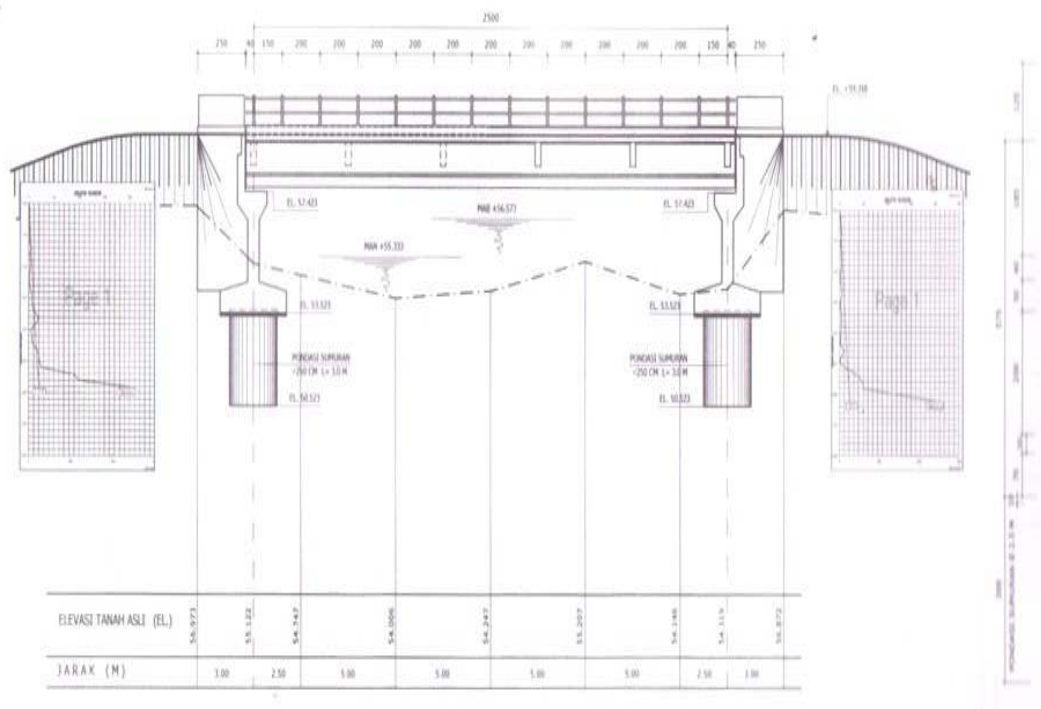
$$= 71,357 \text{ ton}$$

$$\text{Luas tulangan geser (A)} = \frac{T}{\sigma_u} = \frac{71357}{1600} = 44,598 \text{ cm}^2$$

$$F_y = 2400, \sigma_u = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

Digunakan tulangan double D14 – 150

Gambar 3.1 Potongan Memanjang Jembatan



Tabel 3.4 Anggaran Biaya Pembangunan Jembatan

No.	Uraian	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
1	Umum	163.200.000,00
2	Drainase	
3	Pekerjaan Tanah	163.417.193,63
4	Pelebaran Perkerasan dan Bahu Jalan	
5	Perkerasan Berbutir dan Beton Semen	98.838.457,03
6	Perkerasan Aspal	
7	Struktur	2.004.372.292,99
8	Pengembalian Kondisi dan Pekerjaan Minor	4.276.837,71
9	Pekerjaan Harian	
10	Pekerjaan Pemeliharaan Rutin	
11	Perlengkapan Jalan dan Utilitas	9.487.541,40
	(A) Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk Biaya Umum dan Keuntungan)	2.443.592.322,75
	(B) Pajak Pertambahan Nilai (PPn) = 10% x (A)	244.359.232,28
	(C) JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN =	2.687.951.555,03
	(A)+ (B)	=
	(D) DIBULATKAN	2.687.951.555,00
Terbilang :	<i>Dua milyar enam ratus delapan puluh tujuh juta sembilan ratus lima puluh satu ribu lima ratus lima puluh lima rupiah,-</i>	

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Struktur jembatan beton bertulang kelas A dari hasil perencanaan adalah sebagai berikut:
 - a. Tinggi tiang sandaran beton 100 cm dan pipa sandaran galvanis diameter 3".
 - b. Dimensi 4 gelagar memanjang yaitu 55 cm x 175cm x 2500 cm.
 - c. Dimensi gelagar melintang (diafragma) yaitu 35 cm x 80 cm.
 - d. Dimensi plat injak yaitu 450 cm x 250 cm x 25 cm.

- e. Tinggi abutment yaitu 600 cm, dengan lebar telapak pondasi 400 cm.
- f. Jenis pondasi yang digunakan yaitu pondasi sumuran. Diameter sumuran 400 cm dengan kedalaman 600 cm.
2. Kelas jembatan yang digunakan pada masa yang akan datang adalah jembatan beton bertulang tipe balok T kelas A.
3. Rencana Anggaran Biaya pembangunan jembatan Sako ini adalah Rp.2.687.951.555,00

4.2 Saran

Saran pada Manajemen pelaksanaan perencanaan jembatan ini sebaiknya menghitung dan menggunakan Konsep Nilai Hasil (*Earned Value Concept*) .

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta
- Anonim, 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan dan Penjelasan*, Bridge Management System (BMS), Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2005), RSNI T-02-2005 : *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional, (2005), RSNI T-04-2005 : *Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*, Badan standarisasi nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*, Penerbit Bridge Management System.
- Supriyadi, B. 2014. *Jembatan*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.