

PERENCANAAN JEMBATAN SUNGAI GALEH KABUPATEN TEMANGGUNG DENGAN STRUKTUR ATAS BALOK-T BETON BERTULANG

Asri Nurdiana^a, Shifa Fauziyah^b, Moh Nur Sholeh^c

^{a,b,c} Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Semarang

Corresponding Author:

Asri Nurdiana
Sekolah Vokasi, Universitas
Diponegoro, Semarang
Email: asri@live.undip.ac.id

Keywords:

Balok-T, beton bertulang, jembatan

Abstract: *The old bridge of Sungai Galeh is a short span bridge with a reinforced concrete beam superstructure and a masonry bottom structure. This bridge is planned to be replaced for renovation. The replacement Sungai Galeh bridge is planned with the upper structure using reinforced concrete T-beams and the lower structure using reinforced concrete cantilever abutments. The purpose of this paper is to re-plan the Sungai Galeh Bridge in order to provide services for traffic users safely and comfortably. From the analysis results, the dimensions of the reinforced concrete T-beam are 40 x 80 and the dimensions of the diaphragm are 25 x 45.*

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu jaringan jalan, jembatan merupakan salah satu struktur penting sebagai penghubung jalan yang terpisah. Jembatan didefinisikan sebagai struktur bangunan yang menghubungkan rute atau lintasan transportasi yang terputus oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan, atau perlintasan lainnya (Nurdiana dkk, 2021). Dalam struktur jembatan, terdapat struktur atas dan struktur bawah dengan acuan perencanaannya masing-masing.

Perencanaan struktur atas jembatan didasarkan pada bentang jembatan yang ditentukan dari jarak antar kepala jembatan. Struktur atas jembatan terdiri dari balok (*girder*), *deck slab*, plat lantai, trotoar dan tiang sandaran. Pemilihan tipe balok ini menyesuaikan dengan bentang jembatan. Untuk jembatan dengan bentang 5 – 25 meter, balok jembatan direncanakan dengan balok-T beton bertulang. Panduan perencanaan jembatan balok-T diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga dalam Standar Jembatan Beton Bertulang Balok T.

Jembatan Sungai Galeh terletak di Kabupaten Temanggung. Jembatan ini direncanakan untuk mengganti jembatan lama yang saat ini lebar jembatan tersebut sudah tidak dapat mengakomodir kebutuhan lalu lintas. Struktur atas jembatan lama adalah balok beton bertulang dengan bentang 12,5 meter dan lebar jembatan eksisting adalah 3,6 meter. Pada perencanaan ulang, direncanakan bentang jembatan 14,5 meter dan lebar jembatan 6 meter. Struktur yang dipilih adalah balok-T beton bertulang. Tujuan penulisan ini adalah untuk merencanakan ulang Jembatan Sungai Galeh agar dapat memberikan pelayanan bagi pengguna lalu lintas dengan aman dan nyaman.

2. DATA DAN METODE

2.1. Data

Data primer dalam penulisan ini adalah data yang diperoleh dari survey di lapangan, yaitu data survey topografi dan data survey situasi kondisi jembatan eksisting. Data sekunder lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah data lalu lintas, kelas jalan, fungsi jalan, data tanah, dan peraturan perencanaan jembatan balok-T beton bertulang.

2.2. Metode

Metode pengolahan data menggunakan analisis kuantitatif. Peraturan yang digunakan dalam perencanaan yaitu Panduan perencanaan jembatan balok-T, SNI 1725 - 2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, dan RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan struktur beton untuk jembatan.

Langkah perencanaan dimulai dengan pengumpulan data primer dan data sekunder, kemudian berdasarkan penampang melintang sungai yang diperoleh dari survey topografi, bentang jembatan ditentukan. Balok jembatan yang direncanakan menggunakan tipe balok-T, ditentukan dimensi penampangnya dan dianalisis pembebanan balok berdasarkan beban-beban yang bekerja. Selanjutnya, dilakukan perhitungan analisis besar momen dan gaya lintang. Berdasarkan hasil tersebut, ditentukan penulangan balok, baik tulangan utama maupun tulangan sengkang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaan struktur atas jembatan dengan balok-T, diasumsikan berdasarkan bentang jembatan yang direncanakan, yaitu 14,5 meter. Pembebanan direncanakan sebagai berikut :

- a) Berat sendiri
- b) Berat mati tambahan
- c) Beban lalu lintas (Beban D dan Beban T)
- d) Gaya Rem
- e) Beban Angin
- f) Beban Pengaruh Temperatur
- g) Beban Gempa

DIMENSI

Dimensi yang direncanakan untuk balok T adalah 40 x 80. Sedangkan dimensi yang direncanakan untuk diafragma adalah 25 x 45 sejumlah 7 buah pada masing-masing balok jembatan.

PERHITUNGAN KONSTRUKSI

A. DATA STRUKTUR ATAS

Panjang bentang jembatan		$L = 14,50 \text{ m}$
Lebar jalan (jalur lalu-lintas)		$B1 = 6,00 \text{ m}$
Lebar trotoar		$B2 = 0,50 \text{ m}$
Lebar total jembatan		$B1 + 2 * B2 = 7,00 \text{ m}$
Jarak antara Girder		$s = 1,50 \text{ m}$
Dimensi Girder :	Lebar girder	$b = 0,40 \text{ m}$
	Tinggi girder	$h = 0,80 \text{ m}$
Dimensi Diafragma :	Lebar diafragma	$bd = 0,25 \text{ m}$
	Tinggi diafragma	$hd = 0,45 \text{ m}$
Tebal slab lantai jembatan		$ts = 0,20 \text{ m}$
Tebal lapisan aspal + overlay		$ta = 0,05 \text{ m}$
Tinggi genangan air hujan		$th = 0,05 \text{ m}$
Tinggi bidang samping		$ha = 1,95 \text{ m}$
Jumlah balok diafragma sepanjang L,		$nd = 5 \text{ bh}$
Jarak antara balok diafragma,		$sd = L/nd = 2,3 \text{ m}$

B. BAHAN STRUKTUR

Mutu beton :	$K - 350$
Kuat tekan beton,	$fc' = 0.83 * K / 10 = 29,05 \text{ MPa}$
Modulus elastik,	$Ec = 4700 * \sqrt{fc'} = 25332,0844 \text{ MPa}$
Angka poisson ν	$\nu = 0,20$
Modulus geser	$G = Ec / [2*(1 + \nu)] = 10555 \text{ MPa}$
Koefisien muai panjang untuk beton	$\alpha = 1,0, E-05^\circ\text{C}$

Mutu baja :

Untuk baja tulangan dengan $\emptyset > 12$ mm :	U - 39
Tegangan leleh baja,	$f_y = U \cdot 10 = 390$ Mpa
Untuk baja tulangan dengan $\emptyset \leq 12$ mm :	U - 24
Tegangan leleh baja,	$f_y = U \cdot 10 = 240$ Mpa

Specific Gravity :

Berat beton bertulang,	$w_c = 25,00$ kN/m ³
Berat beton tidak bertulang (beton rabat),	$w'c = 24,00$ kN/m ³
Berat aspal padat,	$w_a = 22,00$ kN/m ³
Berat jenis air,	$w_w = 9,80$ kN/m ³

C. ANALISIS BEBAN

1. BERAT SENDIRI (MS)

Faktor beban ultimit : $KMS = 1,3$

Berat sendiri (*self weight*) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Beban berat sendiri balok diafragma pada balok dihitung sebagai berikut :

Panjang bentang Girder,	$L = 14,50$ m
Berat satu balok diafragma,	$W_d = b_d \cdot (h_d - t_s) \cdot s \cdot w_c = 2,34375$ kN
Jumlah balok diafragma sepanjang bentang L, $n_d = 5$ bh	
Beban diafragma pada Girder,	$Q_d = n_d \cdot W_d / L = 0,808189655$ kN/m

Tabel 1 Beban berat sendiri pada Girder

No.	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
1	Plat lantai	3,00	0,20	25,00	15,00
2	Girder	0,40	0,60	25,00	6,00
3	Diafragma			$Q_d =$	3,75
				$QMS =$	24,75

Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat berat sendiri (MS) :

$$VMS = 1/2 \cdot QMS \cdot L = 266,859 \text{ kN}$$

$$MMS = 1/8 \cdot QMS \cdot L^2 = 967,365 \text{ kNm}$$

2. BEBAN MATI TAMBAHAN (MA)

Faktor beban ultimit : $KMA = 1,3$

Beban mati tambahan (*superimposed dead load*), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan dianalisis harus mampu memikul beban tambahan seperti :

- 1) Penambahan lapisan aspal (*overlay*) di kemudian hari,
- 2) Genangan air hujan jika sistem drainase tidak bekerja dengan baik,

Tabel 2 Beban mati tambahan pada Girder

No.	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
1	Lap. Aspal+overlay	3,00	0,05	22,00	3,30
2	Air hujan	3,00	0,05	9,80	1,47
	Beban mati tambahan :			$QMA =$	4,77

Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat beban tambahan (MA) :

$$VMA = 1/2 \cdot QMA \cdot L = 69,165 \text{ kN}$$

$$MMA = 1/8 * QMA * L^2 = 250,723 \text{ kNm}$$

3. BEBAN LALU-LINTAS

3.1. BEBAN LAJUR "D" (TD)

Faktor beban ultimit : $KTD = 2,0$

Beban kendaraan yg berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (*Uniformly Distributed Load*), UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*), KEL. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yg besarnya tergantung pada panjang bentang L yang dibebani lalu lintas atau dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$q = 8,0 \text{ kPa untuk } L \leq 30$$

$$q = 8,0 * (0,5 + 15 / L) \text{ kPa untuk } L > 30$$

Untuk panjang bentang, $L = 14,50 \text{ m}$ maka $q = 8,00 \text{ kPa}$.

KEL mempunyai intensitas, $p = 44,00 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (*Dinamic Load Allowance*) untuk KEL diambil sebagai berikut :

$$DLA = 0,40 \text{ untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

$$DLA = 0,4 - 0,0025 * (L - 50) \text{ untuk } 50 < L < 90 \text{ m}$$

$$DLA = 0,30 \text{ untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

Jarak antara girder, $s = 1,50 \text{ m}$. Untuk panjang bentang, $L = 14,50 \text{ m}$, maka $DLA = 0,40$.

Beban lajur pada Girder, $QTD = q * s = 12,00 \text{ kN/m}$

$$PTD = (1 + DLA) * p * s = 92,40 \text{ kN}$$

Gaya geser dan momen pada T-Gider akibat beban lajur "D" :

$$VTD = 1/2 * (QTD * L + PTD) = 133,20 \text{ kN}$$

$$MTD = 1/8 * QTD * L^2 + 1/4 * PTD * L = 650,33 \text{ kNm}$$

3.2. BEBAN TRUK "T" (TT)

Faktor beban ultimit : $KTT = 2,0$

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya, $T = 100 \text{ kN}$. Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil, $DLA = 0,40$.

Beban truk "T" : $PTT = (1 + DLA) * T = 140,00 \text{ kN}$

Gaya geser dan momen pada T-Gider akibat beban truk "T" :

$$VTT = [9/8 * L - 1/4 * a + b] / L * PTT = 193,71 \text{ kN}$$

$$MTT = VTT * L/2 - PTT * b = 704,375 \text{ kNm}$$

Gaya geser dan momen yang terjadi akibat pembebanan lalu-lintas, diambil yg memberikan pengaruh terbesar terhadap T-Girder di antara beban "D" dan beban "T".

Gaya geser maksimum akibat beban T, $VTT = 193,71 \text{ kN}$

Momen maksimum akibat beban D, $MTD = 650,33 \text{ kNm}$

4. GAYA REM (TB)

Faktor beban ultimit : $KTB = 2,0$

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, serta gaya dianggap bekerja pada jarak $1,80 \text{ m}$ di atas lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L_t) sebagai berikut :

$$\text{Gaya rem, HTB} = 250 \text{ untuk } L_t \leq 80 \text{ m}$$

$$\text{Gaya rem, HTB} = 250 + 2,5 * (L_t - 80) \text{ untuk } 80 < L_t < 180 \text{ m}$$

$$\text{Gaya rem, HTB} = 500 \text{ untuk } L_t \geq 180 \text{ m}$$

Gaya rem untuk $L_t \leq 80 \text{ m}$: $TTB = HTB / \text{ngirder} = 50 \text{ kN}$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem :

$$VTB = M / L = 7,76 \text{ kN}$$

$$MTB = 1/2 * M = 56,25 \text{ kNm}$$

5. BEBAN ANGIN (EW)

Faktor beban ultimit : $KEW = 1,2$

Gaya angin tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat beban angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan rumus :

$$TEW = 0.0012 * C_w * (V_w)^2 \text{ kN/m}^2$$

dengan, $C_w = 1,2$

Kecepatan angin rencana, $V_w = 35 \text{ m/det}$

Beban angin tambahan yang meniup bidang samping kendaraan :

$$TEW = 0.0012 * C_w * (V_w)^2 = 1,764 \text{ kN/m}^2$$

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2.00 m di atas lantai jembatan. Beban akibat transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$QEW = 1/2 * h / x * TEW = 1,008 \text{ kN/m}$$

Gaya geser dan momen pada Girder akibat beban angin (EW) :

$$VEW = 1/2 * QEW * L = 7,308 \text{ kN}$$

$$MEW = 1/8 * QEW * L^2 = 26,492 \text{ kNm}$$

6. PENGARUH TEMPERATUR (ET)

Gaya geser dan momen pada Girder akibat pengaruh temperatur, diperhitungkan terhadap gaya yang timbul akibat pergerakan temperatur (*temperatur movement*) pada tumpuan (*elastomeric bearing*) dengan perbedaan temperatur sebesar : $DT = 20^\circ\text{C}$

Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 1,0, E-05 \text{ }^\circ\text{C}$

Panjang bentang Girder, $L = 14,50 \text{ m}$

Shear stiffness of elastomeric bearing, $k = 15000 \text{ kN/m}$

Temperatur movement, $d = \alpha * DT * L = 0,0029 \text{ m}$

Gaya akibat temperatur movement, $FET = k * d = 43,50 \text{ kN}$

Momen akibat pengaruh temperatur, $M = FET * e = 17,400 \text{ kNm}$

Gaya geser dan momen pada Girder akibat pengaruh temperatur (ET) :

$$VET = M/L = 1,200 \text{ kN}$$

$$MET = M = 17,400 \text{ kNm}$$

7. BEBAN GEMPA (EQ)

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 * g$ ($g = \text{percepatan gravitasi}$) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekuivalen.

Koefisien beban gempa horisontal : $Kh = C * S$

$Kh = \text{Koefisien beban gempa horisontal}$,

$C = \text{Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar, dan kondisi tanah setempat}$

$S = \text{Faktor tipe struktur yg berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktalitas) dari struktur}$.

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :

$$T = 2 * p * \ddot{O} [W_t / (g * KP)]$$

$W_t = \text{Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan}$

$KP = \text{kekakuan struktur yang merupakan gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan}$.

$g = \text{percepatan gravitasi bumi, } g = 9,81 \text{ m/det}^2$

Gaya gempa vertikal, $TEQ = K_v * W_t = 67,205 \text{ kN}$

Beban gempa vertikal, $QEQ = TEQ / L = 4,635 \text{ kN/m}$

Gaya geser dan momen pada Girder akibat gempa vertikal (EQ) :

$$VEQ = 1/2 * QEQ * L = 33,602 \text{ kN}$$

$$MEQ = 1/8 * QEQ * L^2 = 121,809 \text{ kNm}$$

8. KOMBINASI BEBAN ULTIMATE

Tabel 3 Kombinasi Momen Ultimate

KOMBINASI MOMEN ULTIMATE				Komb-1	Komb-2	Komb-3
No.	Jenis Beban	Faktor Beban	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
1	Berat sendiri (MS)	1,30	650,46	845,60	845,60	845,60
2	Beban mati tambahan (MA)	2,00	125,36	250,72	250,72	250,72
3	Beban lajur "D" (TD/TT)	2,00	650,33	1300,65	1300,65	1300,65
4	Gaya rem (TB)	2,00	56,25	112,50	112,50	
5	Beban angin (EW)	1,20	26,49	31,79		
6	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	17,40		20,88	
7	Beban gempa (EQ)	1,00	77,58			77,58
				2541,26	2530,35	2474,55

Tabel 4 Kombinasi Gaya Geser Ultimate

KOMBINASI GAYA GESER ULTIMATE				Komb-1	Komb-2	Komb-3
No.	Jenis Beban	Faktor Beban	V (kN)	Vu (kN)	Vu (kN)	Vu (kN)
1	Berat sendiri (MS)	1,30	179,44	233,27	233,27	233,27
2	Beban mati tambahan (MA)	2,00	34,58	69,17	69,17	69,17
3	Beban lajur "D" (TD/TT)	2,00	193,71	387,41	387,41	387,41
4	Gaya rem (TB)	2,00	7,76	15,52	15,52	
5	Beban angin (EW)	1,20	7,31	8,77		
6	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	1,20		1,44	
7	Beban gempa (EQ)	1,00	21,40			21,40
				714,13	706,80	711,25

Momen ultimate rencana girder, $M_u = 3203,96 \text{ kNm}$

Gaya geser ultimate rencana girder, $V_u = 896,95 \text{ kN}$

9. PEMBESIAN GIRDER

9.1. TULANGAN LENTUR

Momen rencana ultimit Girder, $M_u = 3203,96 \text{ kNm}$

Digunakan tulangan 36 D 25 dengan $A_s = 17662,5 \text{ mm}^2$

9.2. TULANGAN GESER

Gaya geser ultimit rencana, $V_u = 896,95 \text{ kN}$

Digunakan sengkang, 2 D 13 - 100

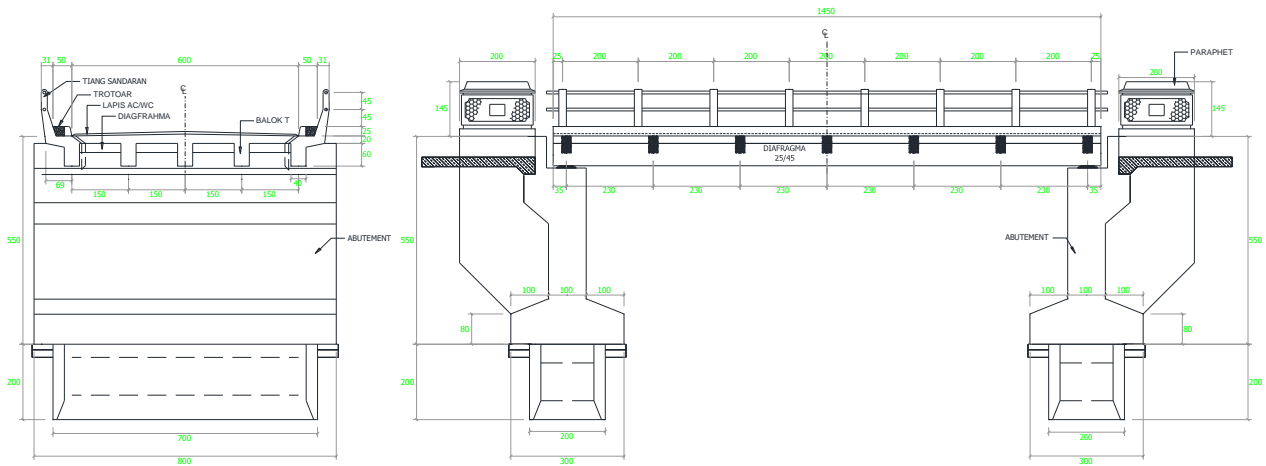
9.3. LENDUTAN BALOK

Lendutan maksimum (d_{maks}) = $L/240$

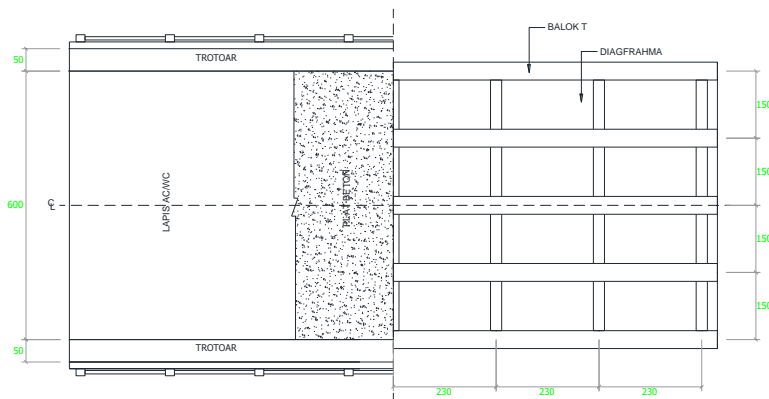
				0,06042	m	
No.	Jenis Beban			Komb-1 (kNm)	Komb-2 (kNm)	Komb-3 (kNm)
1	Berat sendiri (MS)			0,0309	0,0309	0,0309
2	Beban mati tambahan (MA)			0,0059	0,0059	0,0059
3	Beban lajur "D" (TD/TT)			0,0277	0,0277	0,0277
4	Gaya rem (TB)			0,0016	0,0016	
5	Beban angin (EW)			0,0013		
6	Pengaruh Temperatur (ET)				0,0005	

7	Beban gempa (EQ)			0,0037
		0,0674	0,0666	0,0682
		< L/240 OK	< L/240 OK	< L/240 OK

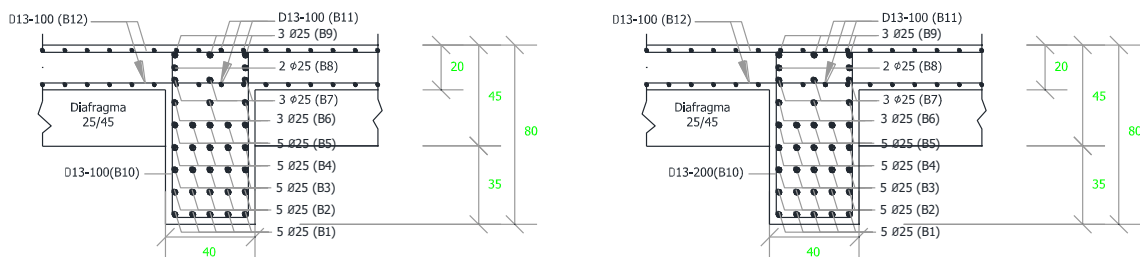
Gambar rencana berdasarkan hasil perhitungan di atas disajikan sebagai berikut.



Gambar 1 Potongan Melintang dan Potongan Memanjang Jembatan Sungai Galeh



Gambar 2 Tampak Atas Jembatan Sungai Galeh



Gambar 3 Detail Penulangan Balok-T Jembatan Sungai Galeh

4. KESIMPULAN

Jembatan Sungai Galeh yang direncanakan ulang guna menambah kapasitas dalam pelayanan lalu lintas, direncanakan dengan bentang 15,4 meter dan lebar 6 meter. Struktur atas yang digunakan adalah Balok T dengan dimensi 40 x 80. Berdasarkan hasil analisis, tulangan utama yang direncanakan adalah 36 D 25.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini, penulis berterima kasih kepada Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Kawasan Permukiman Kabupaten Temanggung atas kerjasama yang telah terjalin dalam perencanaan Jembatan Sungai Galeh.

6. REFERENSI

- Anonim. (1992). *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Program Jalan
- Anonim. (2004). *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2015). *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725 : 2016*. Badan Standarisasi Nasional.
- Nurdiana, dkk (2021). Perencanaan Jembatan Mlulon Dengan Box Culvert. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*