

PERENCANAAN JEMBATAN MLULON DENGAN *BOX CULVERT*

Asri Nurdiana^a, Riza Susanti^b, Nurhidayatulloh^c, Muhammad Rifqi Naufaldy^d

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

Corresponding Author:

Email: rizasusanti@live.undip.ac.id

Keywords:

Box culvert, beton bertulang, jembatan

Abstract: *A bridge is a structure that connects a road that has been cut off due to rivers, swamps, lakes, straits, channels, roads, or other crossings. A bridge must have the aspects of reliability, structural element strength and structural system stability, structural serviceability, durability, ease of operation, economics, and aesthetic beauty. If there are one or several aspects that are not fulfilled, it is necessary to review the design of the bridge, one of the efforts that can be done is to replace the bridge. Redesign of Mlulon Bridge is intended as a replacement for the old bridge. The structure chosen is a box culvert, adjusting the span and height of the bridge. The purpose of this paper is to re-plan the Mlulon Bridge in order to provide services for traffic users safely and comfortably. From the analysis, it is obtained that the box culvert dimensions are 3 meters high, 6 meters long, and 5 meters wide. Based on the calculation of reinforcement planning, reinforcement D19 - 125 is used.*

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Jembatan didefinisikan sebagai struktur bangunan yang menghubungkan rute atau lintasan transportasi yang terputus oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan, atau perlintasan lainnya. Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), Jembatan adalah penghubung dua tempat yang terpisah akibat beberapa kondisi. Proses perencanaan jembatan yang terstruktur dan sistematis sangat diperlukan untuk menghasilkan produk perencanaan yang efektif dan efisien. Prinsip-prinsip perancangan jembatan (BMS, 1992) adalah keandalan kekuatan elemen struktur dan stabilitas sistem struktur, kelayanan struktural, keawetan, kemudahan pelaksanaan, ekonomis, dan keindahan estetika.

Struktur jembatan terdiri dari struktur atas, struktur bawah dan pondasi. Didalam pemilihan tipe maupun ukuran dari struktur jembatan dipengaruhi oleh beberapa aspek. Aspek yang perlu ditinjau dalam perencanaan jembatan antara lain aspek geometri, aspek lalu lintas, aspek geoteknik, aspek hidrologi, aspek konstruksi, dan aspek perkerasan. Terkait kajian dalam aspek geometri, hal yang perlu diketahui adalah klasifikasi jalan berdasarkan fungsi dan kelas jalan yang mengacu pada ketentuan Bina Marga. Pada kajian aspek lalu lintas, perlu diperkirakan jumlah kendaraan yang akan melintas pada jembatan tersebut, sehingga kapasitas jembatan yang direncanakan dapat mengakomodir kebutuhan lalu lintas. Aspek geoteknik mengkaji jenis tanah di mana akan direncanakan jembatan, untuk itu maka pengujian tanah harus dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium. Selanjutnya, dalam perencanaan jembatan perlu dikaji aspek hidrologi untuk memperkirakan tinggi jembatan yang diukur berdasarkan tinggi muka air banjir. Aspek paling penting lainnya yang perlu dikaji adalah aspek konstruksi, baik untuk pondasi, struktur bawah, dan struktur atas jembatan. Pada kajian aspek konstruksi, peraturan terkait struktur yang digunakan dalam perencanaan menjadi acuan wajib. Struktur atas jembatan dapat berupa rangka baja, balok *prestress*, atau balok beton bertulang, tergantung pada bentang jembatan. Sedangkan struktur bawah jembatan dapat berupa beton bertulang atau pasangan batu kali, tergantung pada tinggi pangkal jembatan / *abutment*. Pemilihan pondasi didasarkan pada hasil analisis kajian aspek geoteknik. Pondasi jembatan dapat menggunakan pondasi dangkal atau pondasi dalam.

Struktur jembatan lain dapat dipilih dengan mempertimbangkan faktor biaya pelaksanaan. Pada jembatan bentang pendek dan tinggi jembatan yang pendek juga, struktur *box culvert* menjadi pilihan yang tepat. Dengan struktur *box culvert*, maka tidak perlu direncanakan pondasi, struktur bawah, dan struktur atas jembatan. Struktur jembatan menjadi ringkas, sehingga memudahkan proses pelaksanaan dan lebih efisien dalam hal biaya.

Jembatan Mlulon terletak di Kabupaten Temanggung. Jembatan ini sudah ada sebelumnya, tetapi badan jalannya sering tergenang saat hujan karena jembatan memiliki lebar penampang jembatan yang lebih kecil dibandingkan dengan lebar penampang sungai. Struktur jembatan lama merupakan jembatan plengkung dari pasangan batu kali dengan tinggi 2,5 meter dan panjang 3,25 m. Lebar jembatan eksisting adalah 4 m. Pada perencanaan ulang, direncanakan tinggi jembatan adalah 3 meter, panjang jembatan 5 meter, dan lebar jembatan 6 meter. Struktur yang dipilih adalah *box culvert*. Tujuan penulisan ini adalah untuk merencanakan ulang Jembatan Mlulon agar dapat memberikan pelayanan bagi pengguna lalu lintas dengan aman dan nyaman.

2. DATA DAN METODE

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penulisan ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer berupa pengukuran kondisi jembatan eksisting, pengukuran situasi, dan data pengamatan lainnya. Sedangkan data sekunder berupa literature studi terkait topik studi dan peraturan yang digunakan dalam perencanaan. Selain itu data sekunder lain yang digunakan dalam analisis adalah data lalu lintas, data kelas dan fungsi jalan, serta data tanah.



Gambar 1. Jembatan Mlulon Eksisting

2.2 Metode

Metode pengolahan data menggunakan analisis kuantitatif. Peraturan perencanaan yang digunakan adalah Standar Gorong-gorong Persegi Beton Bertulang yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria perencanaan dengan pembebanan sesuai pedoman perencanaan pembebanan gorong-gorong persegi menggunakan Pembebanan Jembatan dan Jalan. Perhitungan struktur didasarkan pada asumsi tanah lunak yang umumnya disebut *highly compressible*, dengan mengambil hasil pembebanan terbesar / maksimum dari kombinasi pembebanan sebagai berikut :

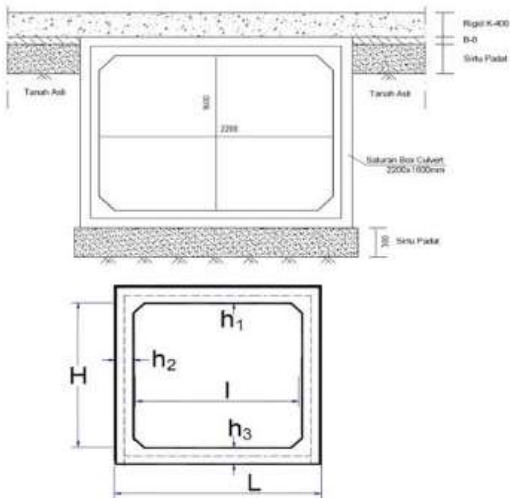
- a. Berat sendiri *box culvert*
- b. Beban roda ganda (*dual wheel load*) 10 ton atau muatan rencana sumbu 20 ton
- c. Beban kendaraan di atas konstruksi cob culvert, diperhitungkan setara dengan muatan tanah setinggi 60 cm
- d. Tekanan tanah aktif
- e. Tekanan air dari luar
- f. Tekanan hydrostatic (qa)

3.1 DIMENSI SALURAN BOX CULVERT

Dalam perencanaan dimensi *box culvert*, sebagai pertimbangan adalah fungsi dan kelas jalan, sehingga ditentukan lebar badan jalan 5 meter dengan trotoar 0,5 meter di sisi kanan dan kiri badan jalan.

Ketinggian *box culvert* ditentukan dari ketinggian jembatan lama untuk alasan optimalisasi anggaran pelaksanaan, maka diambil tinggi *box culvert* adalah 3 meter. Selanjutnya untuk panjang *box culvert*, dengan pertimbangan jembatan lama memiliki lebar penampang basah yang lebih kecil dari lebar penampang sungai, maka panjang *box culvert* direncanakan 5 meter. Ketebalan dinding *box culvert* direncanakan 40 cm.

3.2 PERHITUNGAN KONSTRUKSI



A. DATA STRUKTUR ATAS

Lebar <i>box culvert</i> (sisi dalam)	I =	4,20	m
Tinggi <i>box culvert</i>	H =	3,00	m
Tebal plat atas	h1 =	0,40	m
Tebal plat bawah	h2 =	0,40	m
Tebal plat bawah	h3 =	0,40	m
Lebar saluran	L =	5,00	m
Lebar jalan (jalur lalu-lintas)	B1 =	6,00	m
Tebal selimut beton	ts =	0,03	m
Tebal slab	ts =	0,20	m
Tebal lapisan aspal + <i>overlay</i>	ta =	0,05	m
Tinggi genangan air hujan	th =	0,05	m

Gambar 2. Struktur *Box culvert*

B. BAHAN STRUKTUR

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

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

C.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 dihitung sbb. :

Berat sendiri plat $QMS = h_1 * I * wc = 42,00 \text{ kN/m}$
 Berat sendiri saluran $QMS = h_2 * I * wc = 42 \text{ kN/m}$
 $QMS = 84,00 \text{ kN/m}$

Gaya geser dan momen akibat berat sendiri (MS) :
 $VMS = 1/2 * QMS * L = 210,000 \text{ kN}$
 $MMS = 1/8 * QMS * L^2 = 262,500 \text{ kNm}$

C.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 sistim drainase tidak bekerja dengan baik,

Beban mati tambahan pada *Box culvert*

No.	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
1	Lap.Aspal+overlay	5,00	0,10	22,00	11,00
2	Air hujan	5,00	0,05	9,80	2,45
Beban mati tambahan :					$QMA = 13,45$

Gaya geser dan momen pada T-*Box culvert* akibat beban tambahan (MA) :

$VMA = 1/2 * QMA * L = 33,625 \text{ kN}$
 $MMA = 1/8 * QMA * L^2 = 42,031 \text{ kNm}$

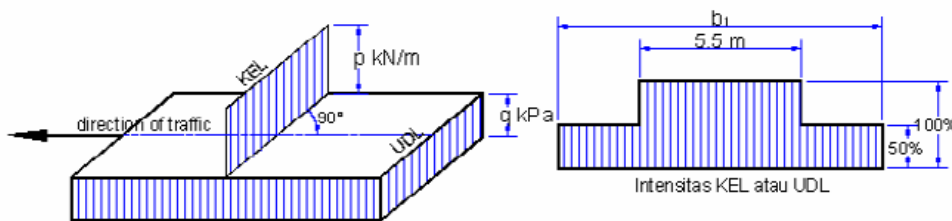
C.3. BEBAN LALU-LINTAS

C.3.1. BEBAN LAJUR "D" (TD)

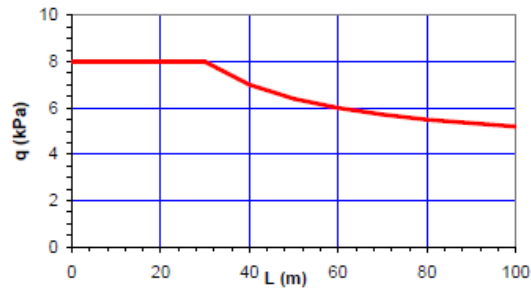
Faktor beban ultimit : $KTD = 2,0$

Beban kendaraan yg berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (*Uniformly Distributed Load*), UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*), KEL seperti pd Gambar 1. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yg besarnya tergantung pd panjang bentang L yg dibebani lalu-lintas seperti Gambar 4 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 $L > 30$



Gambar 3. Beban Lanjur "D"



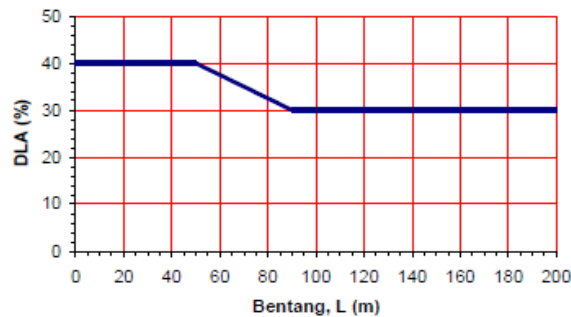
Gambar 4. Intensitas Uniformly Distributed Load (UDL)

Untuk panjang bentang, $L = 6,00$ m; $q = 8,00$ kPa

KEL mempunyai intensitas, $p = 44,00$ kN/m

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

DLA = 0,40	untuk $L \leq 50$ m
DLA = $0.4 - 0.0025 \cdot (L - 50)$	untuk $50 < L < 90$ m
DLA = 0,30	untuk $L \geq 90$ m



Gambar 5. Faktor Beban Dinamis (DLA)

Untuk panjang bentang, $L = 6,00$ m, maka $DLA = 0,40$

Beban lajur pada saluran, $QTD = q \cdot s = 40,00$ kN/m

$$PTD = (1 + DLA) \cdot p \cdot s = 308,00 \text{ kN}$$

Gaya geser dan momen akibat beban lajur "D" :

$$VTD = 1/2 \cdot (QTD \cdot L + PTD) = 294,00 \text{ kN}$$

$$MTD = 1/8 \cdot QTD \cdot L^2 + 1/4 \cdot PTD \cdot L = 784,00 \text{ kNm}$$

C.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, $T = 80$ kN.

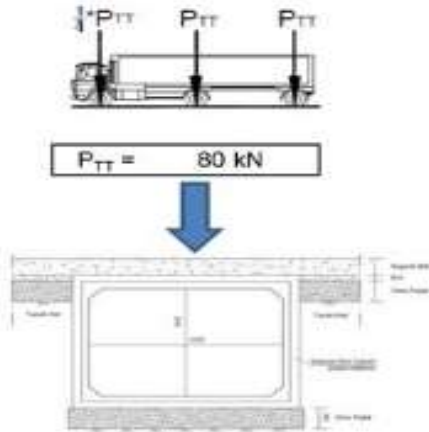
Panjang bentang *Box culvert*, $L = 6,00$ m

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

$$VTT = 1/2 \cdot PTT = 40,00 \text{ kN}$$

$$MTT = 1/2 \cdot PTT \cdot 1/2 \cdot L = 140 \text{ kNm}$$

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



Gaya geser maksimum akibat beban, D; VTT = 294,00 kN
 Momen maksimum akibat beban, D; MTD = 784,00 kNm

Gambar 6. Pembebanan Truk "T"

C.3.3 TEKANAN AKTIF TANAH

$\gamma = 26 \text{ KN/m}^3$
 $\emptyset = 22$
 $C = 17$
 $H = 3 \text{ m}$
 $q = \gamma \times z = 15,6 \text{ KN/m'}$
 $Ka = 0,455$

Gaya tekanan tanah aktif
 $P1 = 21,291; y = 1,5; M1 = 31,937$
 $P2 = 53,229; y = 1; M2 = 53,229$
 $P = 74,520; y = 1,14; M = 85,166$

C.4. KOMBINASI BEBAN ULTIMATE

Perhitungan beban ultimate berdasarkan table yang disajikan di bawah.

Tabel 1. Faktor Beban Kombinasi

NO.	JENIS BEBAN	FAKTOR BEBAN	KOMB
1	Berat sendiri (MS)	1,30	√
2	Beban mati tambahan (MA)	1,30	√
3	Beban lajur "D" (TD)	1,00	√
4	Tekanan Aktif Tanah	1,30	√

Tabel 2. Perhitungan Momen Ultimate

NO.	JENIS BEBAN	FAKTOR BEBAN	M (KNM)	MU (KNM)
1	Berat sendiri (MS)	1,30	262,50	341,25

2	Beban mati tambahan (MA)	1,30	42,03	54,64
3	Beban lajur "D" (TD/TT)	1,00	784,00	784,00
4	Tekanan Aktif Tanah	1,30	85,17	110,72
			JUMLAH	1290,61

Tabel 3. Perhitungan Gaya Geser Ultimate

NO.	JENIS BEBAN	FAKTOR BEBAN	V (KN)	VU (KN)
1	Berat sendiri (MS)	1,30	210,00	273,00
2	Beban mati tambahan (MA)	1,30	33,63	43,71
3	Beban lajur "D" (TD/TT)	1,00	294,00	294,00
4	Tekanan Aktif Tanah	1,30	74,52	96,88
			JUMLAH	707,59

Momen ultimate rencana *box culvert*, $M_u = 1290,61 \text{ kNm}$

Gaya geser ultimate rencana *box culvert*, $V_u = 707,59 \text{ Kn}$

C.5. TULANGAN ARAH X

Lebar plat pondasi yang ditinjau	$b = 5000,00 \text{ mm}$
Tebal plat pondasi	$h = 400 \text{ mm}$
Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton	$d' = 20 \text{ mm}$
Tebal efektif plat	$d = h - d' = 380 \text{ mm}$
Kuat tekan beton	$f_c' = 29 \text{ Mpa}$
Kuat leleh baja tulangan	$f_y = 390 \text{ Mpa}$
Modulus elastis baja, $E_s = 2.00E+05 \text{ MPa}$	$E_s = 2,0,E+05 \text{ MPa}$
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	$b_1 = 0,85$

$$r_b = b_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,0325$$

$$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - 1/2 * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 7,6840$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,	$f = 0,80$
Momen nominal rencana,	$M_n = M_u / f = 1613,259 \text{ kNm}$
Faktor tahanan momen,	$R_n = M_n * 106 / (b * d^2) = 2,234$
	$R_n < R_{max} \dots \text{OK}$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$r = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{(1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c'))}] = 0,006015578$$

Rasio tulangan minimum,	$r_{min} = 1.4 / f_y = 0,00358$
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = r * b * d = 11329,60 \text{ mm}^2$
Diameter tulangan yang digunakan,	D 19 mm
Diambil tulangan arah X	D 19 - 125
Luas tulangan yang terpakai	$A_s = \pi/4 * D^2 * b/s = 11335,4 \text{ mm}^2$

C.6. TULANGAN ARAH Y

Lebar plat pondasi yang ditinjau	$b = 5000,00 \text{ mm}$
Tebal plat pondasi	$h = 400 \text{ mm}$
Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton	$d' = 20 \text{ mm}$
Tebal efektif plat	$d = h - d' = 380 \text{ mm}$
Kuat tekan beton	$f_c' = 29 \text{ Mpa}$
Kuat leleh baja tulangan	$f_y = 390 \text{ Mpa}$
Modulus elastis baja, $E_s = 2.00E+05 \text{ MPa}$	$E_s = 2,0,E+05 \text{ MPa}$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton, $b_1 = 0,85$

$r_b = b_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,0325$

$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - 1/2 * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 7,6840$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $f = 0,80$

Momen nominal rencana, $M_n = M_u / f = 1613,259 \text{ kNm}$

Faktor tahanan momen, $R_n = M_n * 106 / (b * d^2) = 2,234$

$R_n < R_{max} \dots \text{OK}$

Rasio tulangan yang diperlukan : $r = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0,006015578$

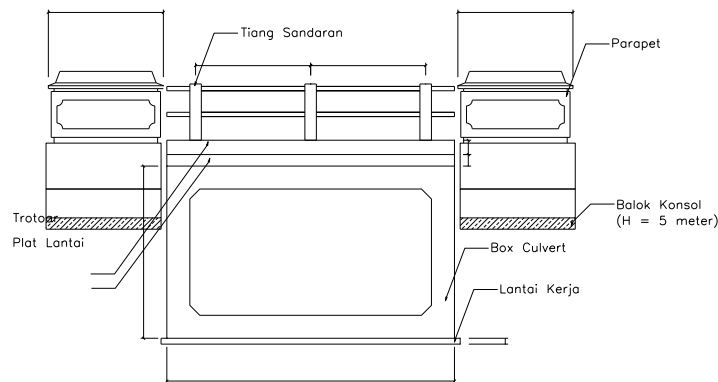
Rasio tulangan minimum, $r_{min} = 1.4 / f_y = 0,00358$

Luas tulangan yang diperlukan, $A_s = r * b * d = 11329,60 \text{ mm}^2$

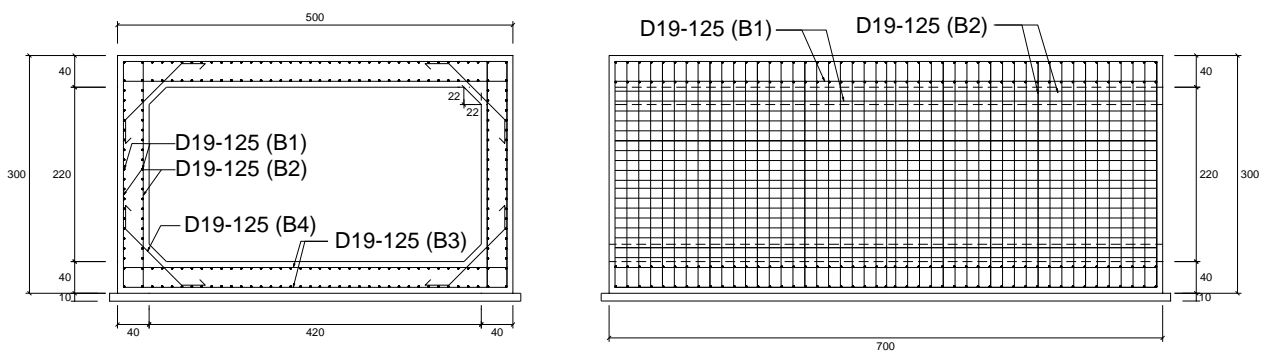
Diameter tulangan yang digunakan, D 19 mm

Diambil tulangan arah X, D 19 - 125

Luas tulangan yang terpakai $A_s = \pi/4 * D^2 * b/s = 11335,4 \text{ mm}^2$



Gambar 6. Potongan Memanjang Jembatan



Gambar 7. Detail Penulangan *Box Culvert*

4 KESIMPULAN

Penggantian jembatan lama untuk Jembatan Mlulon dimaksudkan untuk memperbesar luasan penampang jembatan. Sehingga dalam perencanaan jembatan baru, bentang jembatan mengakomodasi kebutuhan tersebut. Perencanaan jembatan menggunakan struktur *Box Culvert* untuk pertimbangan biaya pelaksanaan dan kemudahan pelaksanaan. Pada perencanaan jembatan, diperoleh ukuran *box culvert* dengan tinggi 3 meter, panjang 6 meter, dan lebar 5 meter. Berdasarkan perhitungan perencanaan penulangan, digunakan tulangan D 19 - 125.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Kawasan Permukiman Kabupaten Temanggung atas kerjasama yang telah terjalin dalam perencanaan Jembatan Mlulon.

REFERENSI

- Anonim. (1992). *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Program Jalan
- Anonim. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Kementerian Pekerjaan Umum
- Anonim. (2010). *Standar Gorong-gorong Persegi Beton Bertulang*. Departemen Pekerjaan Umum
- Anonim. (2015). *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Supriyadi, Bambang dan Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta : Caturtunggal