

Perencanaan Struktur Atas Jembatan Permanen Kelas A Dengan Balok Utama Baja Bentang 18 Meter

Bayu Farul Rizki¹, Azwarman², Ria Zulfiati³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Batanghari

Correspondence email: bayufarul11@gmail.com, warman2789@gmail.com, riazulfiati@gmail.com

Abstrak. Jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain – lain. Rute transportasi berupa, jalan kereta api jalan trem, pejalan kaki, rentetan kendaraan dan lain – lain. Dengan adanya jembatan, maka perekonomian akan semakin lancar begitu juga dengan produktivitas yang lain. Maka dari itu, untuk membangun Kontruksi Jembatan yang benar dengan perhitungan yang sesuai dengan SNI dan ketentuan yang berlaku. Pada penelitian ini yaitu perencanaan struktur atas jembatan permanen kelas A dengan balok utama baja bentang 18 meter. Pembangunan jembatan ini dengan maksud untuk menggantikan jembatan Jl.Wali Songo yang sebelumnya, karena jembatan sebelumnya sudah terlihat rusak, dan sesuai pengawasan dan pertimbangan dari dinas PUPR Kota Jambi, jembatan ini sudah pada waktunya untuk diganti. Jembatan baru ini mempunyai lebar lantai jembatan 9 meter, trotoar 2 x 1 meter, panjang jembatan 18 meter. Sandaran menggunakan pipa galvanis $\phi 3''$, Pelat lantai trotoar menggunakan desain pada jembatan Jl. Wali Songo yang memiliki tebal 25 cm menggunakan beton tanpa tulangan dengan mutu K – 125. Pelat lantai jembatan memiliki tebal 20 cm menggunakan beton bertulang dengan mutu K – 350 dengan tulangan pokok D25 – 200 mm dan $\phi 20$ – 140 untuk tulangan susut. Gelagar utama didesain menggunakan profil IWF 600.200.13.23 dan Gelagar melintang didesain menggunakan profil IWF 300.150.5.5.8. Pada penghubung geser (Shear Connector) digunakan konektor stud produk ANTEC dengan ukuran 19 x 150 mm dengan jumlah 28 buah per 5 meter yang disusun 2 baris dan jarak antar konektor stud didesain 35 cm. Pada sambungan antara gelagar memanjang dan gelagar melintang digunakan baut A325 $\phi 7/8''$ mm, dengan jarak antar baut 7 cm dan menggunakan plat penyambung profil L 100.100.10. Pada sambungan balok gelagar memanjang digunakan baut A325 $\phi 7/8''$ mm dengan total 16 baut pada sayap yang disusun 2 baris dengan jarak antar baut 10 cm dan 16 baut pada badan yang disusun 2 baris dengan jarak baut 10 cm. Untuk dimensi pelat penyambung sayap/flange menggunakan dimensi dengan tebal 23 mm, panjang 800 mm dan lebar 200 mm, untuk dimensi pelat penyambung badan/web menggunakan dimensi dengan tebal 13 cm, panjang 400 mm dan lebar 400 mm. Dengan digantinya gelagar beton bertulang pada jembatan sebelumnya dengan profil baja pada perencanaan, maka juga dapat menurunkan kemiringan oprit jembatan yang saat ini terlalu tinggi.

Kata kunci: Bentang dan dimensi jembatan, Baja IWF, *Shear connector*, Sistem pembebanan

PENDAHULUAN

Pemerintah Kota Jambi melalui Dinas Pekerja Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah membangun sebuah jembatan baru yakni Jembatan Jl. Wali Songo yang terletak di daerah Kecamatan Kota baru, Kota Jambi. Pembangunan jembatan ini dengan maksud untuk menggantikan jembatan Jl.Wali Songo yang sebelumnya, karena jembatan sebelumnya sudah terlihat rusak, dan sesuai pengawasan dan pertimbangan dari dinas PUPR Kota Jambi, jembatan ini sudah pada waktunya untuk diganti. Kini jembatan baru sudah dibangun dengan panjang jembatan 18 meter, lebar 9 meter, dan gelagar utama dengan beton bertulang.

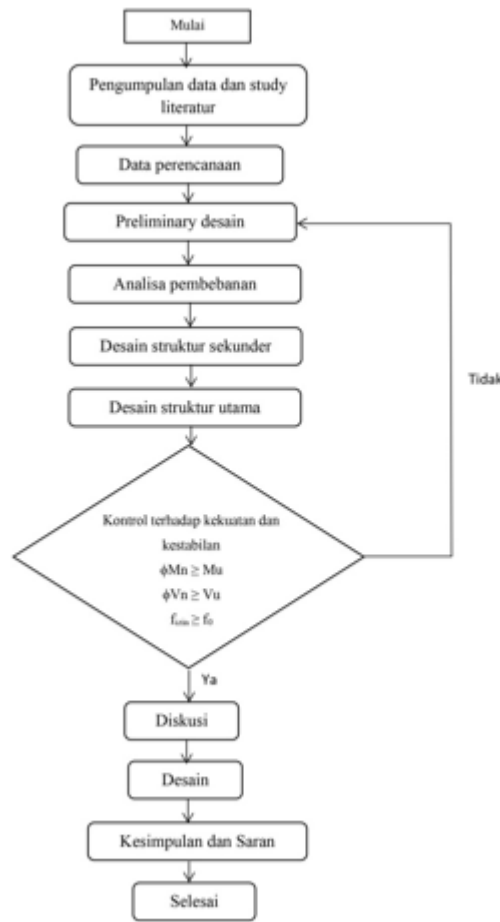
Dengan ini penulis mencoba untuk membuat suatu perencanaan dengan melakukan penelitian tentang perencanaan jembatan permanen kelas A pada lokasi tersebut dengan penggunaan profil baja pada gelagar. Dengan adanya perencanaan jembatan ini diharapkan memberikan tingkat pelayanan transportasi yang optimal bagi pengguna jembatan Jl. Walisongo dan juga menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi antar suatu daerah dengan daerah lain melalui jembatan Jl. Walisongo ini.

Landasan Teori

Jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain – lain. Rute transportasi berupa, jalan kereta api jalan trem, pejalan kaki, rentetan kendaraan dan lain – lain. (Manu, A.I, 2006).

Era jembatan besi dan baja sejalan dengan adanya revolusi industri. Untuk pertama kali konstruksi jembatan yang dibangun masih meniru konstruksi jembatan batu. Jembatan besi yang pertama kali dibangun adalah jembatan *Coalbrookdale* yang melintasi Sungai Severn, Inggris tahun 1776 yang dibangun dengan bagian yang berbeda yang berbentuk setengah lingkaran. (Muntohar, B.S, 2007)

METODE



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan

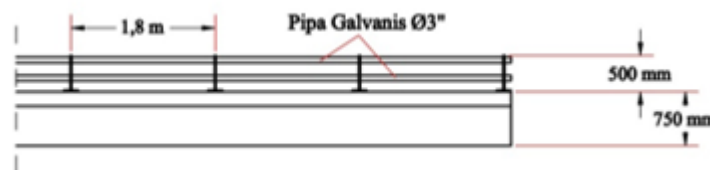
Sumber : Data Olahan (2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Sandaran

a. Perencanaan pipa sandaran

- Jarak tiang sandaran = 1,8 m
- Tinggi tiang sandaran = 500 cm
- Dimensi tiang = Pipa baja Galvanis Ø 3"
- = BJ 37 (σ ijin = 1600 kg/cm^2)
- Beban hidup (qL) = 100 kg/cm
- Data teknis profil → D = 7,63 cm t = 0,28 cm
- W = $11,5 \text{ cm}^3$ I = $43,7 \text{ cm}^4$
- G = 5,08 kg/m A = $6,465 \text{ cm}^2$



Gambar 2. Detail sandaran

Sumber : Data Olahan (2021)

Kombinasi beban:

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_L \\
 &= 1,2 (5,08) + 1,6 (100) = 166,096 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$R_A=R_B = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{166,096 \times 2}{2} = 166,096 \text{ kg } (\uparrow)$$

$$M_U = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 166,096 \cdot 1,8^2 = 83,048 \text{ kg.m} = 8304,800 \text{ kg.cm}$$

$$D_U = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 166,096 \cdot 1,8 = 166,096 \text{ kg}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 1600 \text{ kg/cm}^2 = 160 \text{ Mpa}$$

$$E_{\text{baja}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Terhadap momen:

$$\sigma_u < \sigma_{\text{ijin}}, \frac{M_u}{w} = \sigma_{\text{ijin}}$$

$$= \frac{8304,800}{11,5} < 1600$$

$$= 722,157 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{(ok)}$$

Kontrol lendutan

Terhadap lendutan:

$$q = G \times q_l = 5,08 + 100 = 105,08 \text{ kg/m} = 1,0508 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{5ql^4}{384 EI} < \frac{L}{300}$$

$$= \frac{5 \cdot 1,0508 \cdot 200^4}{384 \cdot 2,1 \times 10^6 \cdot 43,7} < \frac{180}{300}$$

$$= 0,239 \text{ cm} < 0,667 \text{ cm} \text{ (ok)}$$

Jadi, pipa galvanis Ø 3” dapat digunakan sebagai pipa sandaran.

b. Perhitungan Pelat Lantai Kendaraan

Beban pada lantai kendaraan

1) Akibat Beban Mati

- Berat sendiri pelat = 0,20 x 1,0 x 2500 = 500 kg/m
 - Berat air hujan = 0,05 x 1,0 x 1000 = 50 kg/m
- $$\Sigma q_{DL} = 550 \text{ kg/m}$$

2) Akibat Beban Hidup

- Beban “T” = 11,25 ton
 - FBD untuk pembebanan truk = 0,3 (pasal 8.6 SNI 1725:2016)
- Maka beban truk, T = T (1+FBD)
- $$= 11250 \times (1+0,3) = 14625 \text{ kg}$$

Beban pada trotoar

1.) Beban mati

- Berat sendiri lantai trotoar = 0,25 x 1,00 x 2200 = 550 kg/m
 - Berat air hujan = 0,05 x 1,0 x 1000 = 50 kg/m
- $$\Sigma q_{DL} = 600 \text{ kg/m}$$

2.) Beban hidup

Menurut SNI 1725:2016, semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5kPa.

Maka, Q₁ = 5 kPa = 500 kg/m², dengan factor beban 1,8

$$Q_1 = 500 \times 1 \times 1,8 = 900 \text{ kg/m}$$

Beban terfaktor trotoar:

$$Q_u = Q_d + Q_1 = 600 + 900 = 1500 \text{ kg/m}$$

Perhitungan statika pada lantai kendaraan

- Hasil rekapitulasi momen maximum dari program SAP2000

Tabel 1. Hasil momen pada lantai kendaraan

Kondisi Momen	Kondisi 1 Kg.m	Kondisi 2 Kg.m	Kondisi 3 Kg.m
Lapangan	0	0	0
	-2608,12	44782,61	-3071,69
	43513,52	43205,18	44769,98
	41739,26	-3972,90	36604,11
	3096,47	43212,93	35701,94
	6607,91	44819,78	47087,81

	0	0	0
Tumpuan	-27000	-27000	-27000
	-25534,74	-55065,79	-26461,9
	-52516,54	-23833,46	-48797,71
	-28054,94	-23849,83	-42044,06
	-7981,11	-55056,11	-50520,04
	-27000	-27000	-27000

Sumber: data olahan (2020)

Perhitungan Penulangan Pelat

Dari hasil perhitungan berdasarkan pembebanan kondisi 2 didapatkan:

M_{max} lapangan = 55065,79 kgm

Digunakan diameter tulangan, $D = 25$ mm

$h = 200$ mm

tebal efektif beton, $d = 200 - 40 - (1/2 \cdot 25) = 147,5$ mm

Momen nominal, $M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{55065,79}{0,8} = 68832,18$ kgm

Koefisien Tahanan, $R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{68832180}{1000 \times 147,5^2} = 3,16$ MPa

Perbandingan Tegangan, $m = \frac{fy}{0,85 \cdot F_{cr}} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,8$

Rasio Penulangan keseimbangan / rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_{cr}}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) = 0,0612$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0612 = 0,0459$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{240} = 0,0056$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n \cdot m}{fy}} \right) = \frac{1}{9,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,16 \times 9,8}{240}} \right) = 0,0135$$

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$. . . OK!

Luas penampang tulangan tarik yang dibutuhkan ($A_{s_{perlu}}$):

$$A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0135 \times 1000 \times 147,5 = 1991,25 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ D } 25 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_s \text{ D } 25} = \frac{1991,25}{490,87} = 4,056 \sim 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan } s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan rangkap = D25 – 200 mm (untuk tulangan tarik)
= D25 – 200 mm (untuk tulangan tekan)

Tulangan bagi

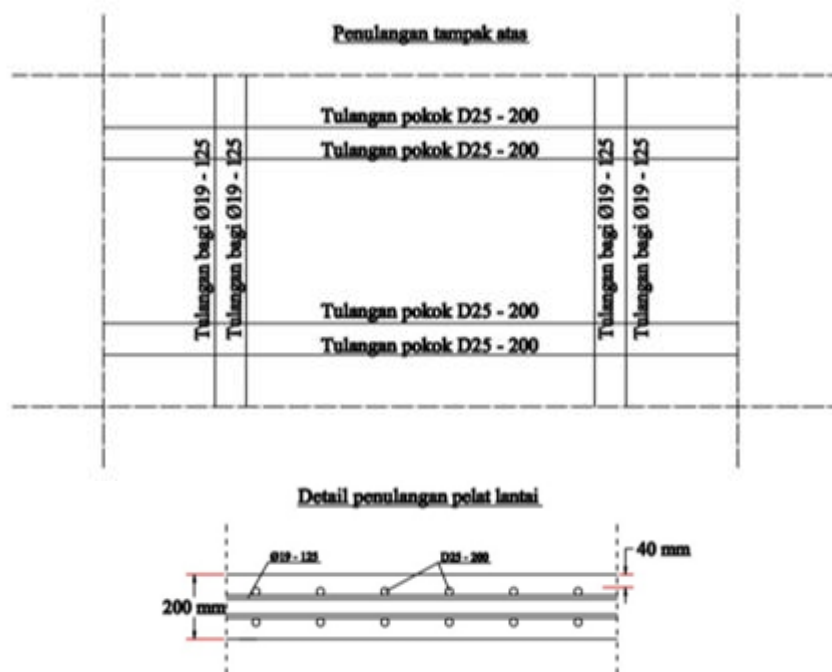
$$A_{s_{bagi}} = 20\% A_{s_{perlu}} = 20\% \times 1991,25 = 398,25 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ D } 19 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s\phi 12}} = \frac{1991,25}{283,52} = 7,023 \sim 8 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan Ø19 – 125



Gambar 3. Detail Penulangan Lantai

Sumber : Data Olahan (2021)

c. Perencanaan Gelagar Memanjang

1. Perhitungan pembebanan

a) Beban mati (q_D)

Analisis dilakukan per 1 meter arah longitudinal jembatan

- Pelat lantai = $0,2 \times 1 \times 2500$ = 500 kg/m
- Berat sendiri gelagar (asumsi IWF 600.300.12.20) = 151 kg/m
- Berat diafragma (asumsi IWF 350.175.7.11) = 49,6 kg/m
- Berat shear connector asumsi = 20 kg/m
- Berat air hujan = $0,05 \times 1 \times 1000$ = 50 kg/m +
Maka, total q_{UMS} = 770 kg/m

b) Beban Truk

Beban per satu roda, $PT = 112,5 \text{ kN} = 11250 \text{ kg}$

Jarah antar roda = 1,75 m

Analisa momen dan geser menggunakan bantuan aplikasi SAP2000

Momen ultimit, $M_u = 2914,13 \text{ kgm}$

Gaya geser ultimit, $V_u = 7200,73 \text{ kg}$

c) Beban Lalu Lintas

$q = 9 \text{ kPa}$ untuk $L < 30 \text{ m}$ (SNI 1725:2016)

sedangkan beban garis terpusat (BGT) menurut SNI 1725:2016 didapat:

$P = 49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$

$Q_{TD} = BTR \cdot s = 900 \text{ kg/m}^2 \times 1,7 \text{ m} = 1530 \text{ kg/m}$

$P_{TD} = BGT \cdot k \cdot s = 4900 \text{ kg/m} \times 1,4 \times 1,7 \text{ m} = 11662 \text{ kg}$

Maka, momen dan gaya geser pada gelagar akibat beban lalu lintas:

$M_{TD} = (1/8 \cdot Q_{TD} \cdot L^2) + (1/4 \cdot P_{TD} \cdot L)$
 $= (1/8 \times 1530 \times 5^2) + (1/4 \times 11662 \times 5) = 19358,75 \text{ kgm}$

$V_{TD} = 1/2 (Q_{TD} \cdot L + P_{TD})$
 $= 1/2 \times (1530 \times 5 + 11662) = 9356 \text{ kg}$

d) Gaya rem

Gaya rem 1 = $25\% \times 22500 \text{ kg} = 5625 \text{ kg}$

Gaya rem 2 = $5\% \times (50000 \text{ kg} + BTR \cdot s \cdot L)$

$= 5\% \times (50000 \text{ kg} + 900 \text{ kg/m}^2 \times 1,7 \text{ m} \times 5 \text{ m}) = 2882,5 \text{ kg}$

Maka, gaya rem rencana = 5625 kg

Titik tangkap gaya rem terhadap titik berat girder = $1,8 + 0,3 + 0,2 = 2,3 \text{ m}$

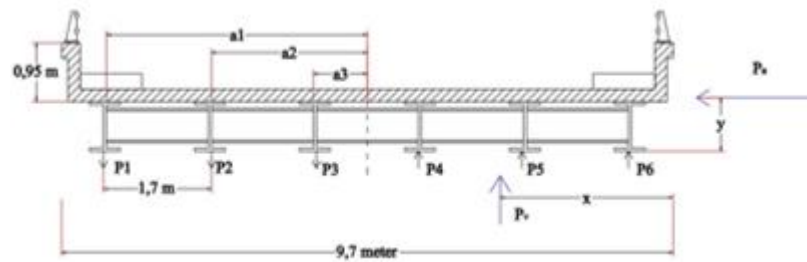
Momen dan gaya geser gelagar akibat beban rem "TB"

$$M_{TB} = T_b \times 2,3 = 5625 \text{ kg} \times 2,3 \text{ m} = 12937,5 \text{ kgm}$$

$$V_{TB} = M_{TB} / L = 12937,5 \text{ kgm} / 5 \text{ m} = 2587,5 \text{ kg}$$

e) Gaya angin

1. Pengaruh angin pada struktur



Gambar 4. Gaya angin pada struktur

Sumber : Data Olahan (2021)

Tabel 2. Lengan momen angin pada gelagar

Gaya	$a_i(m)$	a_i^2	Gaya	$a_i(m)$	a_i^2
P1	4,25	18,06	P4	0,85	0,72
P2	2,55	6,5	P5	2,55	6,50
P3	0,85	0,72	P6	4,25	18,06
Jumlah = 25,29			Jumlah = 25,29		

Sumber: data olahan (2020)

$$\sum a_i^2 = 50,58 \text{ m}^2$$

Gaya tekan gelagar maksimum

$$P_{1H} = \frac{a_i}{\sum a_i} \cdot M_H = \frac{4,25}{50,58} \times 6393,99 = 537,256 \text{ kg}$$

Gaya angin vertikal

Lebar jembatan + railing, B = 9,7 meter

Tekanan angin vertikal, $P_{DV} = 9,6 \times 10^{-4} \text{ Mpa}$ (SNI 1725:2016)

$$P_{EWS} = P_{1H} + P_{1V} = 537,256 \text{ kg} + 3415,36 \text{ kg} = 3952,616 \text{ kg}$$

Ekivalen beban terbagi merata

$$Q_{EWS} = P_{EWS} / L = 3952,616 / 18 = 219,58 \text{ kg/m}$$

Gaya geser dan momen gelagar akibat beban angin struktur (EWS)

$$M_{EWS} = 1/8 \cdot Q_{EWS} \cdot L^2 = 1/8 \times 219,58 \text{ kg/m} \cdot (18 \text{ m})^2 = 8892,99 \text{ kgm}$$

$$V_{EWS} = 1/2 \cdot Q_{EWS} \cdot L = 1/2 \times 219,58 \text{ kg/m} \cdot 18 \text{ m} = 1976,22 \text{ kg}$$

2. Pengaruh angin pada kendaraan

$$Q_{EWL} = T_{EW} \cdot y/x = 146 \text{ kg/m} \cdot \frac{1,8 \text{ m}}{1,75 \text{ m}} = 150,17 \text{ kg/m}$$

Gaya geser dan momen gelagar akibat beban angin kendaraan

$$M_{EWL} = 1/8 \cdot Q_{EWL} \cdot L^2 = 1/8 \times 150,17 \text{ kg/m} \times (18 \text{ m})^2 = 6081,885 \text{ kgm}$$

$$V_{EWL} = 1/2 \cdot Q_{EWL} \cdot L = 1/2 \cdot 150,17 \text{ kg/m} \times 18 \text{ m} = 1351,53 \text{ kg}$$

f) Beban Gempa

Gelagar hanya menahan beban gaya gempa vertikal yang diatur dalam SNI 2833:2016 dimana besarnya adalah 10 % dari beban permanen

Gaya – gaya dalam akibat beban permanen

$$M_{MS} = 5831,31 \text{ kgm}$$

$$V_{MS} = 19069,12 \text{ kg}$$

Maka, $EQ_v(10\%) : M_{EQ} = 583,131 \text{ kgm}$ dan $V_{EQ} = 1906,912 \text{ kg}$

g) Kombinasi Beban

Tabel 3. Kombinasi beban Kuat I dan Kuat II

Beban	V(kg)	M(kgm)	Kuat I	Vu(kg)	Mu(kgm)	Kuat II	Vu(kg)	Mu(kg)
MS	7200,73	2914,13	1,3	9360,949	3788,369	1,3	9360,949	3788,369
TD	9356	19358,75	1,8	16840,8	34845,75	1,4	13098,4	27102,25
TB	2587,5	12937,5	1,8	4657,5	23287,5	1,4	3622,5	18112,5
EWS	1976,22	8892,99	0	0	0	0	0	0
EWL	1351,53	6081,885	0	0	0	0	0	0
EQ	1906,912	583,131	0	0	0	0	0	0
TOTAL				46288,156	65713,953		41510,756	52795,453

Sumber: data olahan (2020)

Tabel 4. Kombinasi beban Kuat III dan kuat IV

Beban	V(kg)	M(kgm)	Kuat III	Vu(kg)	Mu(kgm)	Kuat IV	Vu(kg)	Mu(kg)
MS	7200,73	2914,13	1,3	9360,949	3788,369	1,3	9360,949	3788,369
TD	9356	19358,75	0	0	0	0	0	0
TB	2587,5	12937,5	0	0	0	0	0	0
EWS	1976,22	8892,99	1,4	2766,708	12450,186	0	0	0
EWL	1351,53	6081,885	0	0	0	0	0	0
EQ	1906,912	583,131	0	0	0	0	0	0
TOTAL				27556,564	20030,889		24789,856	7580,703

Sumber: data olahan (2020)

Tabel 5. Kombinasi beban Kuat V dan Ekstrim I

Beban	V(kg)	M(kgm)	Kuat V	Vu(kg)	Mu(kgm)	Ekstrim I	Vu(kg)	Mu(kg)
MS	7200,73	2914,13	1,3	9360,949	3788,369	1,3	9360,949	3788,369
TD	9356	19358,75	0	0	0	0,3	2806,8	5807,625
TB	2587,5	12937,5	0	0	0	0,3	776,25	3881,25
EWS	1976,22	8892,99	0,4	790,488	3557,196	0	0	0
EWL	1351,53	6081,885	1	1351,53	6081,885	0	0	0
EQ	1906,912	583,131	0	0	0	1	1906,912	583,131
TOTAL				26931,874	17219,784		30279,818	17852,709

Sumber: data olahan (2020)

Diambil yang terbesar, maka didapat:

$$Mu = M_{Max} = 65713,953 \text{ kgm}$$

$$Vu = V_{max} = 46288,156 \text{ kg}$$

2. Perhitungan Gelagar Memanjang

Digunakan mutu baja : BJ 41 dimana,

$$Fy = 2500 \text{ kg/cm}^2, fu = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$wx \text{ perlu} = \frac{Mmax}{\phi fy} = \frac{65713,953 \times 10^2}{0,9 \times 2500} = 2920,62 \text{ cm}^3$$

Dicoba profil IWF 600.200.13.23, yang spesifikasinya sesuai dengan Tabel Profil Konstruksi Baja, Gunawan.R 1988

- Mencari lebar efektif

$$b_E = L/4 = 500/4 = 125 \text{ cm}$$

$$b_E = b_o = 170 \text{ cm}$$

diambil yang terkecil maka, $b_E = 125 \text{ cm}$

- Menentukan nilai n

$$E_{beton} = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_{baja}}{E_{beton}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,76 \sim 7$$

pelat beton ditransformasikan ke penampang baja sehingga:

$$\frac{b_E}{n} = \frac{125}{7} = 17,85 \text{ cm}$$

- Menentukan inersia komposit

$$Ac = 20 \times 17,85 = 357 \text{ cm}^2$$

$$As = 107,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{tot} = A_c + A_s = 357 + 107,7 = 464,7 \text{ cm}^2$$

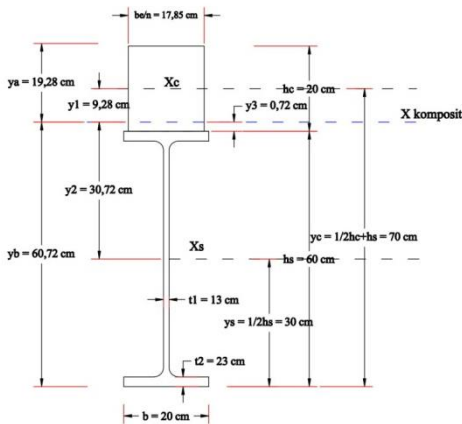
$$S_{xo} = \left(\frac{be}{n} \times h_c \times y_c\right) + (A_s \times y_s)$$

$$= (17,85 \times 20 \times 70) + (107,7 \times 30)$$

$$= 28221 \text{ cm}^3$$

$$y_b = \frac{S_{xo}}{A_{tot}} = \frac{28221}{464,7} = 60,72 \text{ cm}$$

$$y_a = (h_s + h_c) - y_b = (60 + 20) - 60,72 = 19,28 \text{ cm}$$



$$I_{xcomp} = \left(\frac{1}{12} \times \frac{be}{n} \times h_c^3\right) + \left(\frac{be}{n} \times h_c \times y_1^2\right) + I_x + (A_s \times y_2^2)$$

$$= \left(\frac{1}{12} \times 17,85 \times 20^3\right) + (17,85 \times 20 \times 9,28^2) + 103000 + (107,7 \times 30,72^2)$$

$$= 247282,74 \text{ cm}^3$$

- Kontrol lendutan

Menurut RSNI T – 03 – 2005,

$$\text{Lendutan izin} \longrightarrow f_{izin} = \frac{1}{800} L = \frac{1}{800} \times 1800 = 2,25 \text{ cm}$$

$$f_o = \frac{5 q L^4}{384 \cdot E \cdot I_{comp}} + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{comp}}$$

$$= \frac{5 \times 15,30 \times 1800^4}{384 \times 200000 \times 247282,74} + \frac{11662 \times 1800^3}{48 \times 200000 \times 247282,74}$$

$$= 1,865 \text{ cm}$$

$$f_{izin} < f_o \dots \text{(Aman !)}$$

d. Perencanaan Penghubung Geser (Shear Connector)

Gaya geser longitudinal dalam keadaan batas (ultimit)

$$V_L^* = T = 269250 \text{ kg}$$

Gaya geser rencana,

$$V_{LS} = V_L^* / \phi = 269250 \text{ kg} / 0,75 = 359000$$

- Kekuatan nominal konektor slut

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{scon} \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \text{ Atau } Q_n = A_{scon} \cdot f_u$$

Dipakai konektor stud produk ANTEC, ukuran 19 x 150, maka,

$$Q_n = (1/4 \times 3,14 \times (19 \text{ mm})^2) \times 410 \text{ Mpa} = 116187,9 \text{ N (menentukan)}$$

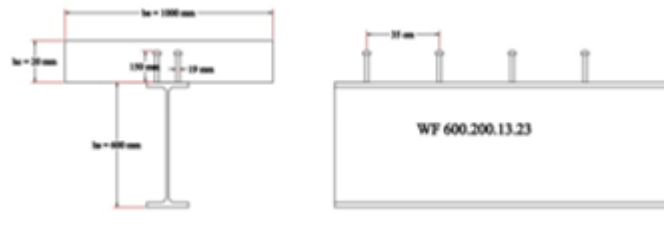
- Jumlah konektor stud

$$n = \frac{V_{LS}}{0,55 \cdot Q_n} = \frac{269250 \text{ kg}}{0,55 \cdot 116187,9 \text{ kg}} = 27,103 \sim 28 \text{ buah (untuk 2 baris)}$$

rencanakan 1 baris konektor stud 14 buah sepanjang bentang gelagar L = 5meter.

- Susunan konektor stud

$$\text{Jarak terjauh antara konektor} = (500 \text{ cm}) / (14 \text{ buah}) = 35,71 \text{ cm} \sim 35 \text{ cm} < 60 \text{ cm (syarat jarak)}.$$



Gambar 5. Detail *Shear connector*

Sumber : Data Olahan (2021)

f. Perencanaan Gelagar Melintang Perhitungan pembebanan

1) Beban Mati Sendiri (MS)

Analisis dilakukan per 1 meter arah longitudinal jembatan

- Pelat lantai = $0,2 \times 1 \times 2500$ = 500 kg/m
 - Berat sendiri gelagar (asumsi IWF 350.175.7.11) = 49,6 kg/m
 - Berat shear connector asumsi = 20 kg/m
 - Berat air hujan = $0,05 \times 1 \times 1000$ = 50 kg/m +
- Maka, total q_{MS} = 619,6 kg/m

Momen dan gaya geser yang diterima gelagar akibat beban mati sendiri

$$M_{MS} = 1/8 Q_{MS} \cdot L^2 = 1/8 \times 619,6 \times 1,7^2 = 1024,505 \text{ kgm}$$

$$V_{MS} = 1/2 \cdot Q_{MS} \cdot L = 1/2 \times 619,6 \times 1,7 = 2410,6 \text{ kg}$$

2) Beban Hidup

- Beban Lalu lintas "TD"

$q = 9 \text{ kPa}$ untuk $L < 30 \text{ m}$ (SNI 1725:2016)

sedangkan beban garis terpusat (BGT) menurut SNI 1725:2016 didapat:

$$P = 49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$$

koefisien kejut ditentukan dengan rumus:

$$k = 1 + \text{FBD} \cdot 1 + 0,4 = 1,4$$

lebar segmen, $s = 1 \text{ meter}$

beban terbagi merata, $Q_{TD} = \text{BTR} \cdot s = 900 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 900 \text{ kg/m}$

beban terpusat, $P_{TD} = \text{BGT} \cdot k \cdot s = 4900 \text{ kg/m} \times 1,4 \times 1 \text{ m} = 6860 \text{ kg}$

- Beban hidup trotoar

Menurut SNI 1725:2016, semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5kPa.

Maka, $Q_{lt} = 5 \text{ kPa} = 500 \text{ kg/m}^2$, dengan factor beban 1,8

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

Total beban hidup:

$$QL = Q_{TD} + Q_{lt} = 900 + 900 = 1800 \text{ kg/m}$$

$$PL = P_{TD} = 6860$$

momen dan gaya geser pada gelagar akibat beban hidup:

$$M_L = (1/8 \cdot QL \cdot L^2) + (1/4 \cdot PL \cdot L) \\ = (1/8 \times 1800 \times 1,7^2) + (1/4 \times 6860 \times 1,7) = 3565,75 \text{ kgm}$$

$$V_L = 1/2 (QL \cdot L + PL) \\ = 1/2 \times (1800 \times 1,7 + 6860) = 4960 \text{ kg}$$

Maka, total momen yang diterima gelagar melintang adalah

$$M_u = 1,3 M_{MS} + 1,8 M_L = 1,3 \times (1024,505 \text{ kgm}) + 1,8 \times (3565,75 \text{ kgm}) = 7750 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1,3 V_{MS} + 1,8 V_L = 1,3 \times (2410,6 \text{ kg}) + 1,8 \times (4960 \text{ kg}) = 12061,78 \text{ kg}$$

Perhitungan Gelagar Melintang

Digunakan mutu baja : BJ 41 dimana,

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$w_x \text{ perlu} = \frac{M_{max}}{\phi f_y} = \frac{7750 \times 10^2}{0,9 \times 2500} = 344,44 \text{ cm}^3$$

Dicoba profil 300 . 150 . 5,5 . 8 yang spesifikasinya sesuai dengan Tabel Profil Konstruksi Baja, Rudi Gunawan 1988

- Cek lendutan

Menurut RSNI T – 03 – 2005,

$$\text{Lendutan izin} \quad f_{izin} = \frac{1}{800} L = \frac{1}{800} \times 170 = 0,21 \text{ cm}$$

$$f_o = \frac{5 q L^4}{384.E . I_g} + \frac{P . L^3}{48 . E . I_g}$$

$$= \frac{5 \times 18 \times 170^4}{384 \times 2000000 \times 6320} + \frac{6860 \times 170^3}{48 \times 2000000 \times 6320} = 0,071 \text{ cm}$$

$$f_{izin} < f_o \dots \text{(Aman !)}$$

g. Perencanaan Sambungan Antara Gelagar Memanjang dan Melintang

Direncanakan menggunakan baut A325 Ø7/8” mm

$$\text{Øbaut} = 7/8'' = 2,22 \text{ cm}$$

$$\text{Ølubang baut (db)} = 2,22 + 0,2 \text{ cm} = 2,42 \text{ cm}$$

$$F_u^b = \text{kuat tarik bahan baut} = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = \text{Tegangan tarik putus minimum} = 410 \text{ Mpa (BJ 41)}$$

$$\text{Luas } A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 22,22^2 = 387,577 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan profil L 100.100.10 untuk irisan ganda

- Besarnya gaya geser yang bekerja pada gelagar (Pu)
Pu = 12061,78 kg (Vu total gelagar melintang)
- Kekutan tarik desain
 $\phi R_n = \phi . (0,75 . F_u^b) . A_b = 0,75 . (0,75 . 8250) . 3,876 = 17987,062 \text{ kg}$
- Kekuatan geser desain baut
 $\phi R_n = \phi . (0,5 . F_u^b) . m . A_b = 0,65 . (0,5 . 8250) . 2 . 3,876 = 24942,06 \text{ kg}$
- Kekuatan tumpu desain baut
 $\phi R_n = \phi . (2,4 . d . t . F_u) = 0,75 . (2,4 . 2,222 . 0,55 . 4100) = 9839,016 \text{ kg}$
- Kekuatan nominal
Tn = 0,60 . Fy . Aug = 0,60 . 250 . (5,5 . (300 – 2 . 8)) = 163800 N
= 16380 kg > Pu = 12061,78 kg
- Jarak baut
Syarat penyusunan baut :
Jarak tepi baut, L = 1,5 db < L < 4tp + 100 mm
Jarak antar baut, L = 3 db < L < 15 tp
- Syarat jarak baut tepi ke tepi plat:
1,5 db = 1,5 . 2,22 = 3,33 cm
4tp + 100 mm = 4 . 5,5 + 100 = 122 mm = 12,2 cm
Diambil jarak tepi baut 4 cm
- Syarat jarak antar baut:
3 db = 3 . 2,22 = 6,66 cm
15tp = 15 . 0,55 = 8,25 cm
Diambil jarak antar baut 7 cm
- Menentukan jumlah baut (n)
 $n = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{12061,78}{9839,016} = 1,22 \sim 2 \text{ buah}$
- Ketebalan plat yang digunakan adalah:
Syarat: $t \geq \frac{P}{\phi . F_u . t}$
 $1 \geq \frac{12061,78}{0,75 . 4100 . 8} = 0,49 \text{ cm}$
Maka digunakan plat penyambung siku L 100. 100. 10 dengan tebal 1 cm.
- Kekuatan tarik desain baut > beban geser terfaktor baut
 $\phi R_n \geq R_{ut}$,
 $R_{ut} = \frac{P_u}{\sum n} = \frac{12061,78}{4} = 3015,445 \text{ kg}$
Kontrol: $\phi R_n \geq R_{ut}$
9839,016 kg ≥ 3015,445 kg (Aman!!)

h. Perencanaan Sambungan Gelagar Memanjang

Momen dan geser yang bekerja pada gelagar memanjang:

$$M_u = 65713,953 \text{ kgm}$$

$$V_u = 46288,156 \text{ kg}$$

- Direncanakan menggunakan baut A325 Ø7/8" mm
- Pembagian beban momen

$$M_{u \text{ badan}} = \frac{I_{bd}}{I_{prof}} \times M_u = \frac{\frac{1}{12} \cdot (1,3)(55,4)^3}{103000} \times 65713,953 = 11751,99 \text{ kgm}$$

$$M_{u \text{ sayap}} = M_u - M_{u \text{ badan}} = 65713,953 - 11751,99 = 53961,963 \text{ kgm}$$

- Sambungan sayap

- Syarat jarak baut tepi ke tepi plat:

$$1,5 d_b = 1,5 \cdot 2,22 = 3,33 \text{ cm}$$

$$4t_p + 100 \text{ mm} = 4 \cdot 23 + 100 = 192 \text{ mm} = 19,2 \text{ cm}$$

Diambil jarak tepi baut 5 cm

- Syarat jarak antar baut:

$$3 d_b = 3 \cdot 2,22 = 6,66 \text{ cm}$$

$$15t_p = 15 \cdot 2,3 = 34,5 \text{ cm}$$

Diambil jarak antar baut 10 cm

Pelat buhul $t = 23 \text{ mm}$ sama dengan t_f

Kuat nominal baut

- Geser, $\phi R_n = \phi \cdot (0,5 \cdot F_u^b) \cdot m \cdot A_b$, dimana $m = 2$ (bidang geser)
 $= 0,65 \cdot (0,5 \cdot 8250) \cdot 2 \cdot 3,876 = 20785,05 \text{ kg}$

- Tumpu, $\phi R_n = \phi \cdot (2,4 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u)$
 $= 0,75 \cdot (2,4 \cdot 2,222 \cdot 2,3 \cdot 4100) = 37716,226 \text{ kg}$

Diambil yang terkecil maka R_n rencana = 10392 kg

Gaya kopel sayap,

$$T_u = \frac{M_u}{d'} = \frac{53961,963}{55,4} = 97404,26 \text{ kg}$$

Jumlah baut yang diperlukan,

$$n = \frac{T_u}{\phi R_n} = \frac{97404,26}{0,75 \times 20785,05} = 6,24 \sim \text{dipasang 8 baut}$$

- Sambungan pelat badan

Direncanakan baut A325 Ø7/8" mm, 2 deret, $\mu = 1,0$

Pelat buhul $t = 13 \text{ mm}$ sama dengan t_w

Kuat nominal baut

- Geser, $\phi R_n = \phi \cdot (0,5 \cdot F_u^b) \cdot m \cdot A_b$, dimana $m = 2$ (bidang geser)
 $= 0,65 \cdot (0,5 \cdot 8250) \cdot 2 \cdot 3,876 = 20785,05 \text{ kg}$

- Tumpu, $\phi R_n = \phi \cdot (2,4 \cdot d \cdot t_p \cdot F_u)$
 $= 0,75 \cdot (2,4 \cdot 2,222 \cdot 1,3 \cdot 4100) = 21317,868 \text{ kg}$

Diambil yang terkecil maka R_n rencana = 20785,05 kg

Dengan cara elastis:

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan badan:

$$M_{u \text{ total}} = M_{u \text{ badan}} + D_u \cdot e, \text{ dimana } e = 100 \text{ mm}$$

$$= 11751,99 + 46288,156 \times 0,1 = 16380,805 \text{ kgm}$$

Perkiraan jumlah baut:

- Disamping beban momen, sambungan memikul beban R_u direduksi 0,70

- Susunan baut lebih dari 1 deret R_u dinaikkan 1,2

$$n = \sqrt{\frac{6 \times 16380,805}{10 \times 1 \times 0,7 \times 1,2 \times 20785,05}} = 7,502 \sim \text{dipasang 8 baut}$$

- Cek kekuatan baut

Akibat D_u : $K_{uv1} = \frac{D_u}{n} = \frac{46288,156}{8} = 5786,019 \text{ kg}$

Akibat M_{UT} : $\sum(x^2 + y^2) = 8(5)^2 + 4(5^2 + 15^2) = 1200 \text{ cm}^2$

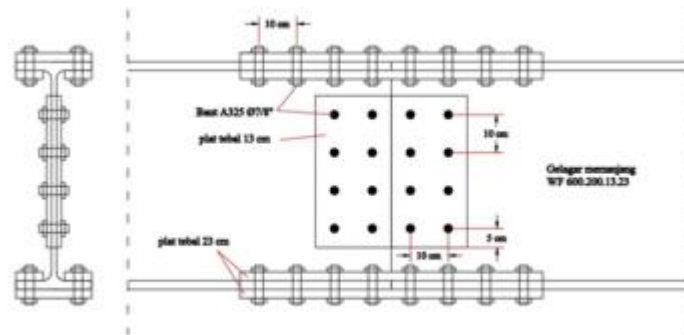
$$K_{UV2} = \frac{M_u \cdot x_{max}}{\sum(x^2 + y^2)} = \frac{16380,805 \times 5}{1200} = 6825,33 \text{ kg}$$

$$K_{UH} = \frac{M_u \cdot y_{max}}{\sum(x^2 + y^2)} = \frac{16380,805 \times 15}{1200} = 20476,006 \text{ kg}$$

$$K_{Utotal} = \sqrt{(\sum K_{uv})^2 + (\sum K_{UH})^2}$$

$$= \sqrt{6825,33^2 + 20476,006^2} = 19585,603 \text{ kg}$$

$K_{Utotal} = 19585,603 \text{ kg} < R_u = 20785,05 \text{ kg} \dots \text{OK!}$



Gambar 6. Detail sambungan

Sumber : Data Olahan (2021)

SIMPULAN

1. Sandaran menggunakan pipa galvanis $\phi 3''$
2. Pelat lantai trotoar menggunakan desain pada jembatan Jl. Wali Songo yang memiliki tebal 25 cm menggunakan beton tanpa tulangan dengan mutu K – 125.
3. Pelat lantai jembatan memiliki tebal 20 cm menggunakan beton bertulang dengan mutu K – 350 dengan tulangan pokok D25 – 200 mm dan $\phi 20$ – 140 untuk tulangan susut.
4. Gelagar utama didesain menggunakan profil IWF 600.200.13.23 dan Gelagar melintang didesain menggunakan profil IWF 300.150.5,5.8
5. Pada penghubung geser (*Shear Connector*) digunakan konektor stud produk ANTEC dengan ukuran 19 x 150 mm dengan jumlah 28 buah per 5 meter yang disusun 2 baris dan jarak antar konektor stud didesain 35 cm.
6. Pada sambungan antara gelagar memanjang dan gelagar melintang digunakan baut A325 $\phi 7/8''$ mm, dengan jarak antar baut 7 cm dan menggunakan plat penyambung profil L 100.100.10
7. Pada sambungan balok gelagar memanjang digunakan baut A325 $\phi 7/8''$ mm dengan total 16 baut pada sayap yang disusun 2 baris dengan jarak antar baut 10 cm dan 16 baut pada badan yang disusun 2 baris dengan jarak baut 10 cm.
8. Untuk dimensi pelat penyambung sayap/*flange* menggunakan dimensi dengan tebal 23 mm, panjang 800 mm dan lebar 200 mm, untuk dimensi pelat penyambung badan/*web* menggunakan dimensi dengan tebal 13 cm, panjang 400 mm dan lebar 400 mm.
9. Dengan digantinya gelagar beton bertulang pada jembatan sebelumnya dengan profil baja pada perencanaan, maka juga dapat menurunkan kemiringan oprit jembatan yang saat ini terlalu tinggi
10. Dari analisis perhitungan struktur seluruh dimensi yang direncanakan memenuhi syarat kekuatan dan keamanan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, R. 1988. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Manu, A.I. 2006. *Dasar – dasar perencanaan jembatan beton bertulang*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Muntohar, B.S. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.
- RSNI T-03-2005. *Perencanaan struktur baja untuk jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1725:2016. *Standar pembebanan jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2833:2016. *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.