



PERANCANGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SUNGAI MESIM MENGUNAKAN RANGKA BAJA BERDASARKAN SNI 1725:2016

Layla Kumala Rizki¹ dan Indriyani Puluhulawa²

Program Studi Teknik Perancangan Jalan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bengkalis
JL. Bathin Alam, Desa Sungai Alam, Bengkalis
Telp. (0766) 24566
Email : rizki.laylakumala99@gmail.com

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima : Oktober 2021
Disetujui : Desember 2021
Dipublikasikan : Des 2021

Keywords:

Struktur atas, rangka
baja, jembatan

Salah satu sungai yang terdapat di Pulau Rupa adalah Sungai Mesim dengan lebar 50,9 m. Jembatan yang melintasi Sungai Mesim terbuat dari beton bertulang. Merujuk pada peraturan Bina Marga tahun 2015 untuk rintangan sepanjang 40 hingga 200 m maka jenis jembatan rangka baja merupakan jenis yang ekonomis. Tujuan penelitian ini adalah untuk merencanakan ulang struktur atas Jembatan Sungai Mesim dan memperoleh dimensi struktur atas yang efektif. Perencanaan ini mengacu kepada SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan, RSNI T-03-2005 tentang perencanaan struktur baja untuk jembatan, dan SNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton. Jembatan Sungai Mesim direncanakan dengan panjang 52 m dalam 1 bentang, lebar 7 m dan tinggi rangka 6,45 m. Berdasarkan hasil perencanaan digunakan tipe rangka *warren* truss, tebal *slab* jembatan 200 mm, gelagar memanjang menggunakan IWF 350.175.7.11, gelagar melintang menggunakan IWF 700.300.13.24, rangka utama menggunakan IWF 400.400.13.21 dan ikatan angin menggunakan IWF 150.150.7.10.

Kata Kunci: Struktur atas, rangka baja, jembatan

Abstract

One of the rivers on Rupa Island is the Mesim River with a width is 52 m. The bridge that crosses the Mesim River is made of reinforced concrete. By following Marga 2015 regulations for 40 until 200 m long obstacles, a steel truss bridge is the most economical type. The purpose of this study is to redesign the upper structure of the Mesim River Bridge and to obtain effective upper structure dimensions. This plan refers to SNI 1725:2016 about bridge loading, RSNI T-03-2005 about steel structure planning for bridges, and SNI T-12-2004 about concrete structure planning. This bridge is planned with a length of 52 m in 1 span, width 7 m, and height 6,45 m. Based on planning results uses warren type truss, the bridge slab thickness is 200 mm, stringer uses IWF 350.175.7.11, cross girder uses IWF 700.300.13.24, the main truss uses IWF 400.400.13.21

Keywords: Upper structure, steel truss, bridge

PENDAHULUAN

Salah satu faktor untuk mendukung peningkatan taraf hidup masyarakat adalah pergerakan transportasi. Agar keberlangsungan transportasi berjalan lancar maka harus tersedia sarana dan prasarana yang memadai. Jalan dan jembatan merupakan prasarana yang harus dipersiapkan. Ditinjau dari kondisi geografisnya, terdapat beberapa sungai yang mengalir di Pulau Rupa. Salah satunya adalah Sungai Mesim yang terletak di Desa Sukarjo Mesim dengan lebar sungai 50,9 m. Sebagai penghubung akses lalu lintas maka diperlukan adanya jembatan.

Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) melaksanakan pembangunan Jembatan Sungai Mesim dengan tipe beton bertulang. Jembatan Sungai Mesim ini dibangun dengan 2 bentang. Kedua bentang jembatan memiliki ukuran yang hampir sama. Bentang pertama pada Jembatan Sungai Mesim melintasi sungai. Sedangkan pada bentang kedua melintasi rawa. Antara bentang pertama dan bentang kedua dipisahkan oleh tanah timbunan dan plat lantai kendaraan.

Berdasarkan peraturan Bina Marga tahun 2015 untuk rintangan sepanjang 40 hingga 200 meter maka jenis jembatan yang paling ekonomis adalah rangka baja. Hal ini dikarenakan baja lebih efektif dengan memiliki nilai kuat tarik dan kuat tekan yang lebih besar daripada beton.

Dengan mengikuti panduan bentang ekonomis yang telah ditetapkan Bina Marga, maka dilakukan perancangan ulang struktur atas Jembatan Sungai Mesim menggunakan rangka baja. Diharapkan hasil perancangan ini dapat menjadi alternatif desain dan memberikan desain struktur atas Jembatan Sungai Mesim yang efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh rancangan struktur atas Jembatan Sungai Mesim dengan dimensi yang efektif, mengacu pada aturan terbaru SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pedoman bentang ekonomis berdasarkan Surat Edaran Ditjen Bina Marga nomor 07/SE/M/2015 pemilihan jenis jembatan berdasarkan panjang bentang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Pedoman Umum Bentang Ekonomis (Bina Marga, 2015)

Jenis Jembatan	Bentang Max. (m)
<i>Flat Slab Beton</i>	0 – 15
Gelagar Beton T	10 – 18
Modi Gelagar Beton T	18 – 25
Box Beton Bertulang	25 – 40
<i>Box Free Cantilever</i>	40 – 300
Rangka Baja	40 – 200
Pelengkung Baja	150 – 400
<i>Cable Stayed</i>	200 – 500
Gantung	300 – 2000
<i>Composite bridge</i>	15,00 – 35,00

Perhitungan pembebanan dalam perancangan struktur atas jembatan yang dilakukan mengacu kepada SNI 1725:2016.

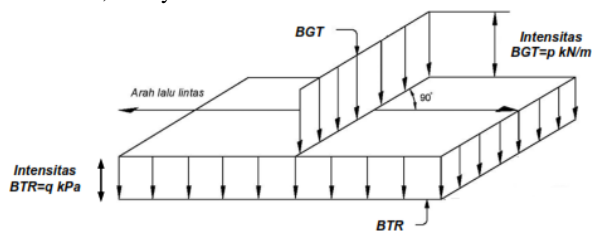
A. Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri (MS) dan beban mati tambahan (MA). Berat sendiri (MS) adalah berat setiap elemen struktur ditambah elemen non structural yang dianggap tetap. Sedangkan beban mati tambahan (MA) adalah seluruh beban non structural pada jembatan yang besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

B. Beban Hidup (Beban Lalu Lintas)

1. Beban Lajur (TD)

Beban lajur "D" merupakan gabungan dari terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 1 berikut



Gambar 1. Beban Lajur (SNI 1725:2016)

Besarnya intensitas q kPa dalam beban terbagi rata (BTR) sesuai dengan panjang total jembatan yang dibebani L

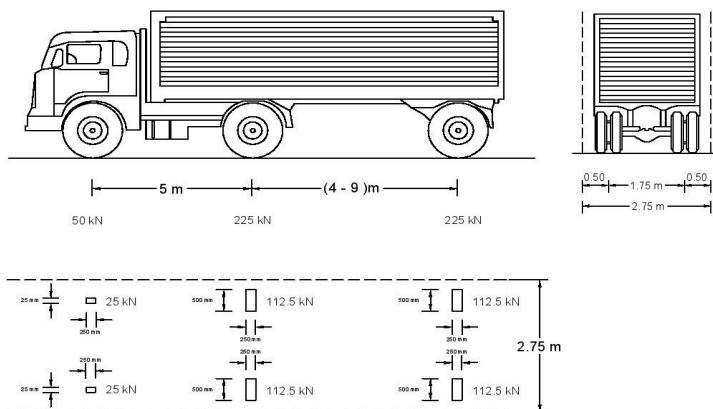
$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (1)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2)$$

Intensitas beban garis terpusat (BGT)

2. Beban Truk (TT)

Susunan pembebanan truk dapat dilihat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Beban Lajur (SNI 1725:2016)

3. Gaya Rem (TB)

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu-lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan Berdasarkan SNI 1725:2016 gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

1. 25% dari berat gandar truk desain atau,
2. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

C. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)

Trotoar yang memiliki lebar lebih dari 600 mm harus dihitung dengan memikul beban pejalan kaki sebesar 5 kPa yang dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.

D. Beban Akibat Aksi Lingkungan

1. Beban Angin (Ew)

2. Pengaruh Temperatur (ET)

Pembebanan temperatur jembatan rata-rata nominal dapat dilihat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal (SNI 1725:2016)

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-rata Maksimum (2)
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C

Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
--	------	------

CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.

Hasil perhitungan beban yang terjadi kemudian dihitung sesuai kombinasi pembebanan yang terdapat dalam SNI 1725:2016. Kombinasi pembebanan terdiri dari Kuat I, Kuat II, Kuat III, Kuat IV, Kuat V, Ekstrem I, Ekstrem II, Layan I, Layan II, Layan III, dan Layan IV.

METODE

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Jalan Soebrantas, Desa Sukarjo Mesim, Kecamatan Rupert. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada Bulan Maret sampai dengan Bulan Agustus 2021. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Lokasi Penelitian

B. Tahap Penelitian

Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini yaitu:

1. Studi Literatur
Adapun literatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah SNI 1725-2016 tentang Perencanaan Pembebanan Jembatan, RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan, SNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton, dan literatur lain seperti buku, jurnal serta internet.
2. Pengumpulan Data
Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data Primer yang dibutuhkan antara lain adalah profil melintang sungai dan tinggi Muka Air Banjir. Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan yaitu data kelas jalan pada lokasi penelitian.
3. Pemilihan Tipe Jembatan
Tipe jembatan dipilih berdasarkan Pedoman Umum Bentang Ekonomis 07/SE/M/2015. Maka dipilih jembatan rangka baja yang ekonomis untuk bentang jembatan 40-200 m.
4. Pemilihan Tipe Rangka Jembatan
Tipe rangka jembatan dipilih adalah tipe *warren*. Kemudian dilakukan permodelan rangka secara 3 dimensi dalam SAP 2000.
5. Pembebanan
Pembebanan jembatan merujuk pada aturan pembebanan terbaru yaitu SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Jembatan.
6. Analisis Perhitungan Struktur Atas
Pada tahap ini dilakukan perencanaan struktur atas sehingga diperoleh dimensi-dimensi yang aman untuk menahan beban yang diterima oleh jembatan tersebut. Adapun struktur atas yang direncanakan dalam penelitian ini yaitu *slab*, trotoar, gelagar melintang, gelagar memanjang, rangka utama, ikatan angin dan sambungan.
7. Kontrol Aman
Tahapan ini merupakan tahapan untuk memeriksa keamanan struktur atas. Dimensi struktur atas yang direncanakan harus aman terhadap momen, geser dan lendutan yang terjadi.

8. Penggambaran Hasil Perencanaan

Hasil perencanaan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) *Auto Cad*. Penggambaran dilakukan dengan memperhatikan etika-etika penggambaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis Jembatan

Data primer berupa profil melintang sungai digunakan untuk merencanakan panjang jembatan. Sedangkan data sekunder berupa kelas jalan digunakan untuk perhitungan beban truk pada jembatan tersebut. Adapun data teknis jembatan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Data Teknis Jembatan

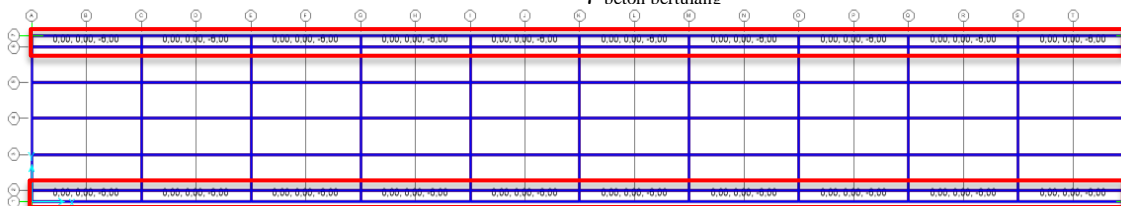
Data Teknis Jembatan	Keterangan
Panjang jembatan	52 m
Lebar jembatan	7 m
Tinggi rangka jembatan	6,45 m
Jumlah lajur	1 lajur 2 arah
Lebar jalur lalu lintas	6 m
Lebar trotoar	2 x 0,5 m
Jumlah gelagar memanjang	5 buah
Jarak antar gelagar memanjang	1,5 m
Jumlah gelagar melintang	11 buah
Jarak antar gelagar melintang	5,2 m
Jumlah segmen	10 segmen

B. Pembebanan

Tipe rangka yang direncanakan adalah *warren truss*. Kemudian dilakukan permodelan rangka jembatan dalam SAP 2000 dan dilakukan input pembebanan seperti pada Gambar 4 sampai Gambar 13. Hasil analisa SAP 2000 berupa gaya aksial tekan dan gaya aksial tarik yang diterima stiap batang digunakan dalam perencanaan batang tarik dan batang tekan.

1. Berat Sendiri (Ms)

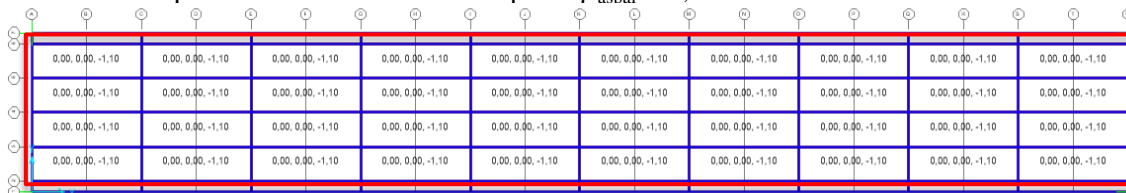
$$\text{Berat sendiri trotoar} = \text{Tebal trotoar} \times \gamma_{\text{beton bertulang}} = 6 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4 Input beban Pembebanan Trotoar di SAP 2000

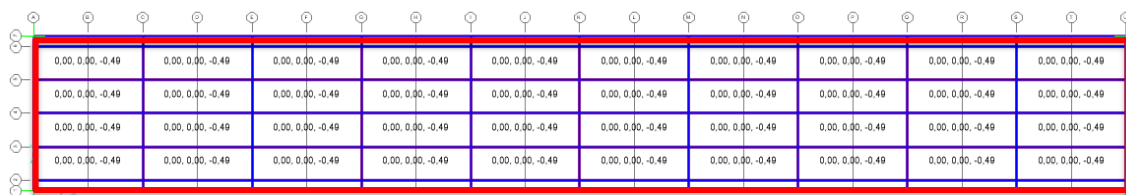
2. Beban Mati Tambahan (MA)

$$\text{Berat aspal} = \text{Tebal aspal} \times \gamma_{\text{asbal}} = 1,1 \text{ kN/m}^2$$



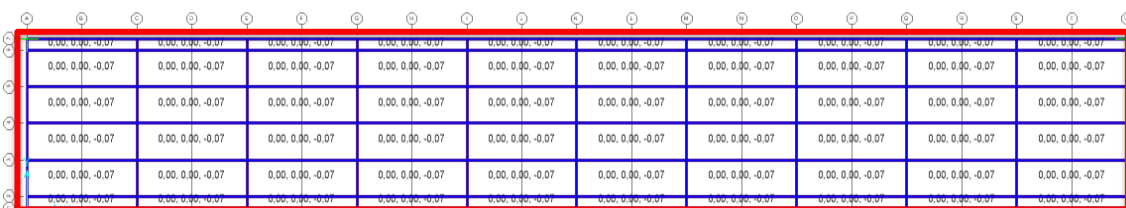
Gambar 5 Pembebanan Aspal di SAP 2000

$$\text{Berat air hujan} = \text{Tebal air hujan} \times \gamma_{\text{air hujan}} = 0,49 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 6 Pembebanan Air Hujan di SAP 2000

Berat *steel deck* = 0,0735 kN/m²

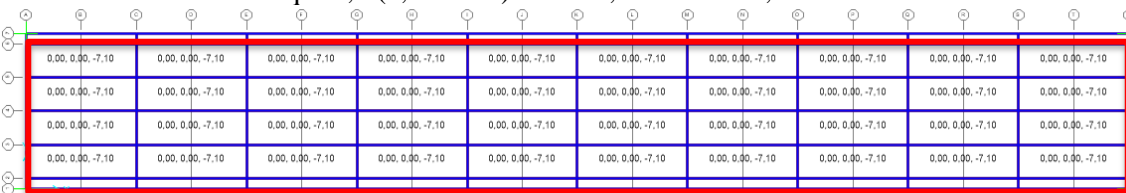


Gambar 7 Pembebanan *Steel Deck* di SAP 2000

3. Beban Lajur (TD)

Beban lajur terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata (BTR)

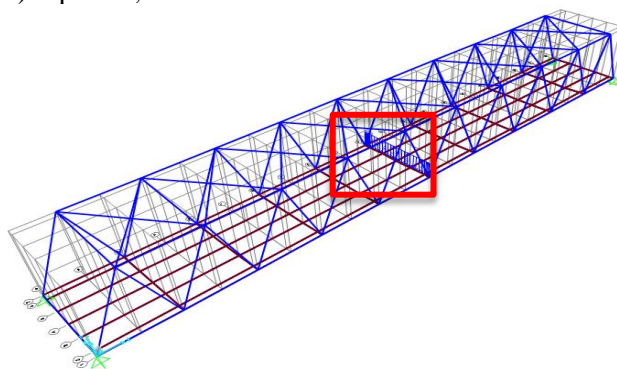
$$L > 30 \text{ m} : \quad q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa} = 7,096 \text{ kPa} = 7,096 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 8 Beban Terbagi Rata di SAP 2000

Penempatan beban P di tengah bentang jembatan. Besarnya intensitas p adalah sebesar 49 kN/m. Nilai FBD yaitu 39,5 %

$$P = (1 + \text{FBD}) \times p = 68,355 \text{ kN/m}$$



Gambar 9 Beban Garis Terpusat di SAP 2000

4. Gaya Rem (TB)

25 % PTT = 41,85 kN

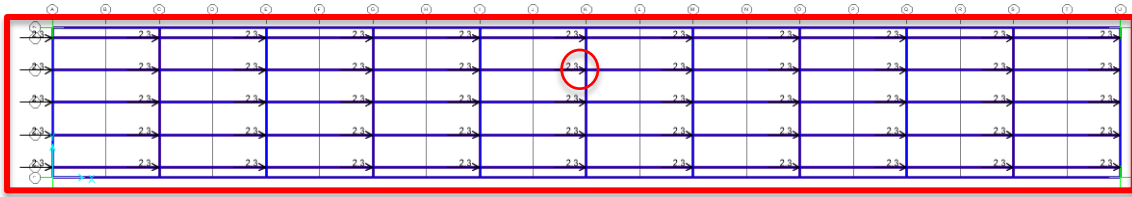
5 % Berat Truk Rencana + BTR = 126,2 kN

TTB diambil = 126,2 kN

Jumlah join = 55 join

Gaya rem/join = 2,295 kN

Beban akibat gaya rem di input dalam SAP 2000 pada setiap join yang terdapat pada lajur.



Gambar 10 Beban Rem

5. Beban Angin (Ew)

Beban angin pada struktur

$V_{DZ} = 163,741 \text{ km/jam}$

Angin tekan = $0,004 \text{ N/mm} < 4,4 \text{ N/mm}$ maka diambil $4,4 \text{ N/mm}^2$

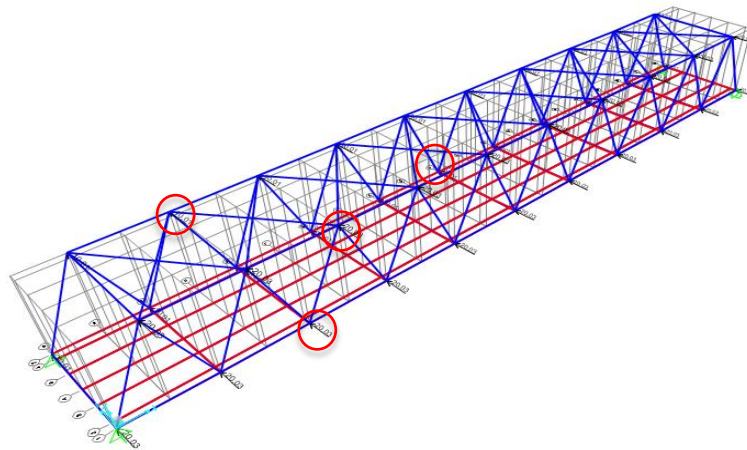
Angin hisap = $0,002 \text{ N/mm} < 2,2 \text{ N/mm}$ maka diambil $2,2 \text{ N/mm}^2$

Jumlah join = 21 join

30% luas rangka = $30\% \times ((46,8+52) \times 6,45)/2 = 95,589 \text{ m}^2$

Beban angin tekan/join = $(4,4 \times 95,589)/21 = 20,03 \text{ kN}$

Beban angin hisap/join = $(2,2 \times 95,589)/21 = 10,01 \text{ kN}$



Gambar 10 Beban Angin yang Meniup Struktur

Angin yang meniup kendaraan

$Q_{\text{angin}} = 1,460 \text{ N/mm}$

Jarak beban diatas jalan sebesar 1800 mm

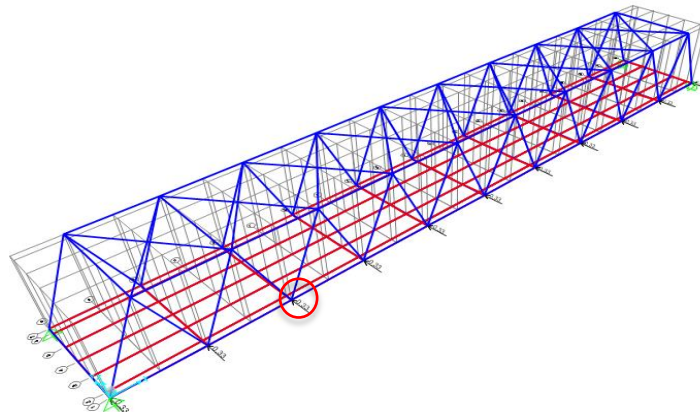
Tebal aspal = 50 mm, tebal *overlay* = 50 mm, tebal *slab* = 200 mm, $\frac{1}{2}$ H gelagar melintang = 400 mm

Total jarak beban = 2500 mm

Beban pada gelagar = $Q_{\text{angin}} \times \text{Total jarak} = 3,650 \text{ kN}$

Jumlah join bawah = 11 join

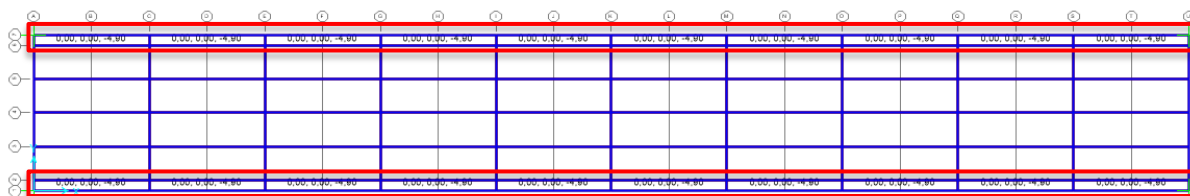
Beban angin/join = $3,650/11 = 0,332 \text{ kN}$



Gambar 11 Beban Angin yang Meniup Kendaraan

6. Beban Pejalan Kaki (TP)

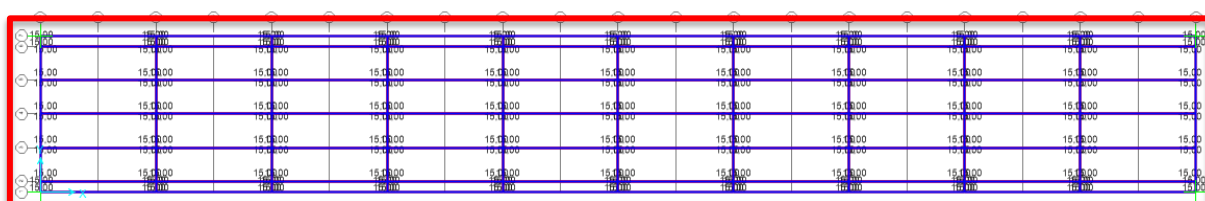
Trotoar direncanakan memikul beban 5 kPa = 5 kN/m²



Gambar 12 Beban Pejalan Kaki

7. Beban Temperatur (ET)

$$\Delta T = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} = \frac{40^{\circ}C - 15^{\circ}C}{2} = 12,5^{\circ}C$$



Gambar 13 Beban Temperatur

Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 diperoleh gaya aksial seperti Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Gaya Aksial Hasil Analisis SAP 2000

Batang		Hasil Maksimum (kN)
Tekan	Batang atas	5376,103
	Batang diagonal	2426,308
	Ikatan angin	27,577
Tarik	Batang bawah	1848,575
	Batang diagonal	2304,832
	Katan angin	10,491

C. Perencanaan Slab Jembatan

1. Analisa Pembebanan Slab Jembatan

Hasil perhitungan dari beban-beban pada *slab* jembatan yaitu $Q_{MS} = 5 \text{ kN/m}$, $Q_{MA} = 3,19 \text{ kN/m}$, $P_{TT} = 60,543 \text{ kN}$, $P_{EW} = 1,008 \text{ kN/m}$, $\Delta T = 12,5^{\circ}C$

2. Perhitungan Momen Slab Jembatan

Terdapat dua jenis momen pada *slab* jembatan yaitu momen tumpuan dan momen lapangan. Adapun hasil perhitungan momen tumpuan dan momen lapangan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut

Tabel 5 Momen pada *Slab Jembatan*

No	Jenis Beban	M Tumpuan	M Lapangan
1	Berat sendiri	0,9	0,469
2	Beban mati tambahan	0,748	0,374
3	Beban Truk	14,190	12,771
4	Beban angin	0,236	0,213
5	Pengaruh temperatur	0,006	0,031

Kemudian momen yang diperoleh dihitung dengan faktor kombinasi beban yang merujuk SNI 1725:2016. Hasil kombinasi beban pada momen tumpuan dan momen lapangan maksimum sama-sama diperoleh dari kombinasi kuat I yaitu 28,2 kNm dan 24,3 kNm.

3. Perhitungan Tulangan Slab Jembatan

a) Perencanaan Tulangan Tumpuan (Tulangan Lentur Negatif)

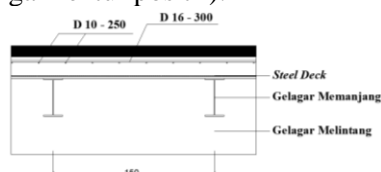
Perencanaan tulangan tumpuan (tulangan lentur negatif) pada *slab* jembatan dihitung berdasarkan nilai kombinasi komen tumpuan maksimum yaitu sebesar 28,3 kNm. Tebal *slab* jembatan yang direncanakan adalah 200 mm, mutu beton K-350, tebal selimut beton 35 mm dan baja tulangan U-32. Luas tulangan yang diperlukan $A_s \text{ Perlu} = 592,308 \text{ mm}^2$. Tulangan utama direncanakan menggunakan diameter 16 mm dan jarak pemasangan 300 mm. Luas tulangan yang terpasang diperoleh sebesar $A_s \text{ Pasang} = 670,206 \text{ mm}^2$.

Dalam perencanaan tulangan bagi/susut diambil luas tulangan yang diperlukan 50% dari luas tulangan pokok yang diperlukan $A_s \text{ perlu} = 296,154 \text{ mm}^2$. Direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter 10 mm dan jarak pemasangan 250 mm. Luas tulangan yang terpasang diperoleh sebesar $A_s \text{ Pasang} = 314,159 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan utama dan tulangan bagi diperoleh luas tulangan yang terpasang lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan sehingga tulangan tersebut aman digunakan.

b) Perencanaan Tulangan Lapangan (Tulangan Lentur Positif)

Perencanaan tulangan lapangan (tulangan lentur positif) pada *slab* jembatan dihitung berdasarkan nilai kombinasi komen lapangan maksimum yaitu sebesar 24,3 kNm. Tebal *slab* jembatan yang direncanakan adalah 200 mm, mutu beton K-350, tebal selimut beton 35 mm. Untuk menahan momen lapangan (momen positif) digunakan *steel deck* dengan tegangan leleh 550 MPa dan tebal 0,7 mm. Berdasarkan perhitungan diperoleh tahanan momen positif yang diizinkan sebesar 54 kNm. Nilai tersebut lebih besar dari momen positif yang terjadi sehingga *steel deck* aman digunakan sebagai tulangan lapangan (tulangan lentur positif).



Gambar 14 Pembesian Slab Jembatan

Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk perencanaan *slab* jembatan dengan nilai momen negatif sebesar 28,3 kNm, momen positif sebesar 24,3 kNm, tebal *slab* 200 mm, baja tulangan U-39, dan mutu beton K-350, digunakan tulangan lentur negatif D 16 dengan jarak 300 mm dan tulangan bagi D 10 dengan jarak 250 mm. Sedangkan untuk menahan momen positif digunakan *steel deck* dengan tegangan leleh 550 MPa dan tebal 0,7 mm.

Dalam (Amadi, Fahrul 2020) diperoleh hasil perhitungan momen positif dan negatif hampir sama yaitu 26,273 kNm dan 22,697 kNm. Untuk menahan momen negatif tulangan yang digunakan D 16 mm dengan jarak pemasangan ini lebih rapat yaitu 200 mm dan untuk tulangan susut, tulangan dan jarak pemasangan berbeda yaitu D 13 mm dengan jarak 300 mm. Sedangkan dalam menahan momen positif tidak menggunakan *steel deck* tetapi menggunakan tulangan utama D 16 dengan jarak pemasangan 200 mm dan tulangan bagi D13 dengan jarak pemasangan 300 mm.

D. Perencanaan Trotoar

1. Analisa Pembebanan Trotoar

Hasil perhitungan dari pembebanan pada trotoar yaitu $P_{MS} = 5,625 \text{ kN}$, $P_{MA} = 0,245 \text{ kN/m}$, $P_{TP1} = 2,5 \text{ kN}$, $mP_{TP2} = 2,5 \text{ kN}$

2. Perhitungan Momen Trotoar

Adapun perhitungan momen pada trotoar dapat dilihat dari Tabel 6 berikut

Tabel 6 Momen pada Trotoar

Jenis Beban	Beban (kN)	Lengan momen (m)	Momen (kNm)
-------------	------------	------------------	-------------

Berat sendiri	P_{MS}	5,625	0,25	M_{MS}	1,406
Beban mati tambahan	P_{MA}	0,245	0,25	M_{MA}	0,061
Beban hidup merata	P_{TP1}	2,5	0,25	M_{TP1}	0,625
Beban horizontal pada kerb	P_{TP2}	2,5	0,45	M_{TP2}	1,125
Total				M total	3,218

Hasil momen yang diperoleh dihitung dengan faktor kombinasi beban sesuai dengan SNI 1725:2016 sehingga diperoleh hasil momen ultimit seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Momen Terfaktor pada Trotoar

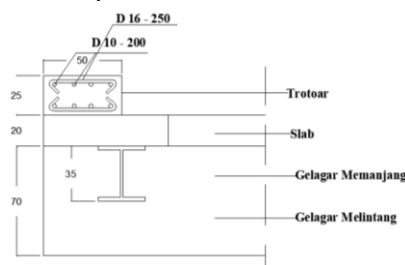
Jenis Beban	Faktor Beban Ultimit		Momen (kNm)	Momen Terfaktor (kNm)
	M_{MS}			
Berat sendiri	M_{MS}	1,3	1,406	1,828
Beban mati tambahan	M_{MA}	2	0,061	0,123
Beban hidup merata	M_{TP1}	1,8	0,625	1,125
Beban horizontal pada kerb	M_{TP2}	1,8	1,125	2,025
MU				5,101

3. Perhitungan Tulangan Trotoar

Trotoar direncanakan dengan tebal 250 mm, mutu beton K-300, tebal selimut beton 35 mm dan baja tulangan U-32. Luas tulangan yang diperlukan $A_s \text{ Perlu} = 721,875 \text{ mm}^2$. Direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter 16 mm dan jarak pemasangan 250 mm. Luas tulangan yang terpasang diperoleh sebesar $A_s \text{ Pasang} = 804,248 \text{ mm}^2$.

Dalam perencanaan tulangan bagi/susut diambil luas tulangan yang diperlukan 50% dari luas tulangan pokok yang diperlukan $A_s \text{ perlu} = 360,938 \text{ mm}^2$. Direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter 10 mm dan jarak pemasangan 200 mm. Luas tulangan yang terpasang diperoleh sebesar $A_s \text{ Pasang} = 392,699 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan utama dan tulangan bagi diperoleh luas tulangan yang terpasang lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan sehingga tulangan tersebut aman digunakan, seperti terlihat pada Gambar 5



Gambar 15 Pembesian Trotoar

Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk merencanakan trotoar dengan momen ultimit sebesar 5,101 kNm, tebal rencana trotoar 250 mm, baja tulangan U-32, dan mutu beton K-300, dibutuhkan dimensi tulangan D 16 dengan jarak 250 mm dan tulangan bagi D 10 dengan jarak 200 mm.

Dalam (Ahmadi, Fahrul 2020) dimensi lebar trotoar direncanakan lebih besar yaitu 0,75 m. Diameter tulangan pokok yang digunakan sama yaitu D 16 mm tetapi jarak pemasangan tulangan lebih kecil yaitu 200 mm. Sedangkan diameter tulangan bagi yang digunakan lebih besar yaitu D 13 mm dengan jarak pemasangan yang direncanakan juga lebih besar yaitu 400 mm.

E. Perencanaan Railing

Railing direncanakan menggunakan Baja BJ 37 dengan diameter 4 inchi dan tebal 3,2 mm. Beban yang bekerja sesuai dengan PPPJR 1987 tiang sandaran harus menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m.

a. Kontrol Momen

$$M_{\max} = \frac{1}{8} q \times Ls^2 = 1646556,935 \text{ Nmm}$$

$$M_n = Zx \times fy$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 5097600 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$M \text{ max} < \phi Mn \quad (\text{OK})$$

b. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5 q L^4}{384 E I} \\ &= 1,027 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_{izin} &= \frac{L}{300} \\ &= 1,216 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta < \delta_{izin} \quad (\text{OK})$$

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa momen dan lendutan yang terjadi lebih kecil dari yang diizinkan. Jadi dapat disimpulkan bahwa *railing* BJ 37 dengan diameter 4 inchi dan tebal 3,2 mm aman digunakan.

Dalam (Fahrudin, Alif 2021) jembatan direncanakan dengan panjang 180 meter dalam 3 bentang dan panjang per segmen adalah 5 meter, diameter dalam *railing* yang digunakan adalah 3,5 inchi dan dimeter luar yang sama yaitu 101,6 mm. Tetapi tegangan leleh, ketebalan dan berat *railing* yang digunakan lebih besar yaitu f_y 390 MPa, tebal 4,2 mm dan berat 10,09 kg/m.

F. Perencanaan Gelagar Melintang dan Gelagar Memanjang Komposit

Gelagar melintang direncanakan menggunakan profil IWF 700.300.13.24 BJ 55 yang dipasang setiap jarak 5,2 m.

1. Analisa Pembebanan Gelagar Melintang

Hasil perhitungan dari beban-beban yang bekerja pada gelagar melintang jembatan:

a) Beban sebelum aksi komposit

$$Q_{MS} = 30,478 \text{ kN/m} \text{ dan } Q_L = 2 \text{ kN/m}$$

b) Beban setelah aksi komposit

$$Q_{MS \text{ baja}} = 2,728 \text{ kN/m}, Q_{MS \text{ beton}} = 26 \text{ kN/m}, Q_{MA} = 14,448 \text{ kN/m}, Q_{TD} = 36,9 \text{ Kn/m}, P_{TD} = 355,446 \text{ kN}, Q_{Ews} = 6,6 \text{ kN/m}, P_{Ew1} = 3,650 \text{ kN}, \Delta T = 12,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. Perhitungan Momen Gelagar Melintang

Setelah diperoleh nilai setiap beban pada gelagar melintang, kemudian dilakukan perhitungan momen dan geser sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Momen dan Geser pada Gelagar Melintang

No	Jenis Beban	Simbol	Mu	Vu
1	Berat sendiri beton	MS	159,250	91,000
	Berat sendiri baja	MS	16,710	9,549
2	Beban mati tambahan	MA	65,196	43,464
3	Beban lajur	TD	699,219	288,423
4	Bebang angin struktur	Ews	40,425	23,100
5	Beban angin kend	Ewl	6,388	1,825
6	Gaya rem	TB	1,278	4,015

Hasil momen dan geser yang diperoleh dihitung dengan mengacu faktor kombinasi beban yang terdapat dalam SNI 1725:2016 sehingga diperoleh nilai momen ultimit sebesar 1616,692 kNm dan geser maksimum sebesar 742,121 kN.

3. Perencanaan Penampang Komposit

$L/5 = 1400 \text{ mm}$, $S = 5200 \text{ mm}$, $12 \text{ ts} = 2400 \text{ mm}$, maka diambil lebar efektif $Be = 1400 \text{ mm}$

$$\text{Rasio perbandingan modulus elastisitas } n = \frac{E_s}{E_c} = 7,895$$

Tabel 9 Parameter Penampang Komposit

Bahan	A (cm ²)	y (cm)	Ay (cm ³)	Io (cm ⁴)	Y-y	Io + A (Y-y) ²
-------	----------------------	--------	-----------------------	-----------------------	-----	---------------------------

Beton Eq	354,649	10	3546,49	11821,64	17,957	126183,758
Baja	235,500	55	12952,50	201000	27,043	373222,64
Jumlah	590,149		16498,992	212821,639		499406,399

$$C = 0,85 f'c B_e t_s = 6913900 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot F_y = 9655500 \text{ N}$$

$C < T$ maka, maka garis netral plastis dalam plat baja

$$y = \frac{T-C}{b_f f_y} \leq t_s = 22,289 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$$

$$C_{sm} = 2 f_y y = 18277,333 \text{ N}$$

$$M_n = M_p = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sm} (d - y)^{1/2} = 2837,571 \text{ kNm}$$

4. Kontrol Aman

a) Kontrol Momen

$$M_u = 1616,692 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 2553,814 \text{ kNm}$$

$$M_u \leq \phi M_n \text{ (OK)}$$

b) Kontrol Geser

$$V_u = 742,121 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = \phi f_y \cdot A_w = 1343,160 \text{ kN}$$

$$V_u \leq \phi V_n \text{ (OK)}$$

c) Kontrol Lendutan

$$\delta_{izin} = \frac{L}{800} = 8,750 \text{ mm}$$

$$\delta_{kons} = \left(\frac{5}{384} \times \frac{q B^4}{E I_x} \right) = 2,692 \text{ mm}$$

$$\delta_{kons} \leq \delta_{izin} \text{ (OK)}$$

$$\delta_{BTR+BGT} = \left(\frac{5}{384} \times \frac{q B^4}{E I_{com}} \right) + \left(\frac{1}{48} \times \frac{p B^3}{E I_{com}} \right) = 0,370 \text{ mm}$$

$$\delta_{BTR+BGT} \leq \delta_{izin} \text{ (OK)}$$

5. Perencanaan Stud Connector

Untuk menahan geser yang terjadi akibat aksi komposit antara *slab* dan baja digunakan *stud connector* dengan diameter 25 mm, tinggi 125 mm, f_u 550 MPa, f_y 410 MPa, luas *stud* 490,874 mm², $V_h = C_c = 6913900 \text{ N}$ dan kuat geser 1 buah *stud* $Q_n = 210546,698 \text{ N}$.

Jumlah *stud connector* yang dibutuhkan:

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = 32,838 \text{ buah} \approx 34 \text{ buah}$$

Diperoleh jumlah stud yang diperlukan untuk $\frac{1}{2}$ panjang gelagar melintang adalah 34 buah. Digunakan 68 buah untuk sepanjang gelagar melintang.

Persyaratan jarak antar *stud connector*:

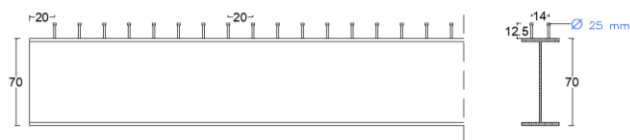
$$\text{Jarak minimum longitudinal} \quad 6 \phi = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum longitudinal} \quad 8 \phi = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum transversal} \quad 4 \phi = 100 \text{ mm}$$

Jika satu buah stud dipasang tiap penampang melintang. Jarak longitudinal untuk 1 bentang antar stud adalah:

$$S = \frac{L}{2N} = 20,59 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$



Gambar 16 Pemasangan *Stud Connector* pada Gelagar Melintang

Berdasarkan perhitungan maka dapat disimpulkan dengan nilai momen dan geser maksimum berturut-turut sebesar 1616,692 kNm dan 742,121 kN, baja profil IWF 700.300.13 24 aman digunakan sebagai gelagar melintang jembatan serta dipasang *shear connector* berdiameter 25 mm dengan tegangan leleh 410 MPa sebanyak 68 buah yang dipasang dalam dua baris dengan jarak 20 cm. Dalam (Kusuma, Arif Tri 2020) nilai momen dan geser maksimum yang diperoleh lebih besar yaitu 1817,9 kNm dan 798,8 kN. Profil yang digunakan sebagai gelagar melintang lebih besar yaitu IWF 950.250.16 36 dengan mutu ASTM *grade* 50.

G. Perencanaan Gelagar Memanjang

Dengan proses yang sama direncanakan gelagar memanjang menggunakan profil IWF 350.175.7.11 BJ 55 yang dipasang setiap jarak 1,5 m. Sehingga diperoleh momen nominal sebesar $M_n = M_p = f_y A_s (Y_2 + 1/2d) = 840,296$ kNm.

1. Kontrol Aman

a) Kontrol Momen

$$M_u = 375,719 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 756,267 \text{ kNm}$$

$$M_u \leq \phi M_n \text{ (OK)}$$

b) Kontrol Geser

$$V_u = 193,754 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = \phi f_y A_w = 361,62 \text{ kN}$$

$$V_u \leq \phi V_n \text{ (OK)}$$

c) Kontrol Lendutan

$$\delta_{\text{izin}} = \frac{L}{800} = 6,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{kons}} = \left(\frac{5}{384} \times \frac{q B^4}{E I_x} \right) = 4,150 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{kons}} \leq \delta_{\text{izin}} \text{ (OK)}$$

$$\delta_{\text{BTR+BGT}} = \left(\frac{5}{384} \times \frac{q B^4}{E I_{\text{com}}} \right) + \left(\frac{1}{48} \times \frac{p B^3}{E I_{\text{com}}} \right) = 0,330 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{BTR+BGT}} \leq \delta_{\text{izin}} \text{ (OK)}$$

2. Perencanaan *Stud Connector*

Untuk menahan geser yang terjadi akibat aksi komposit antara *slab* dan baja digunakan *stud connector* dengan diameter 25 mm, tinggi 125 mm, f_u 550 MPa, f_y 410 MPa, luas *stud* 490,874 mm², $V_h = C_c = 5136040$ N dan kuat geser 1 buah *stud* $Q_n = 210546,698$ N. Jumlah *stud connector* yang dibutuhkan:

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = 12,295 \text{ buah} \approx 25 \text{ buah (menyesuaikan dengan persyaratan jarak pemasangan)}$$

Diperoleh jumlah stud yang diperlukan untuk 1/2 panjang gelagar melintang adalah 25 buah. Digunakan 50 buah untuk sepanjang gelagar melintang.

Persyaratan jarak antar *stud connector*:

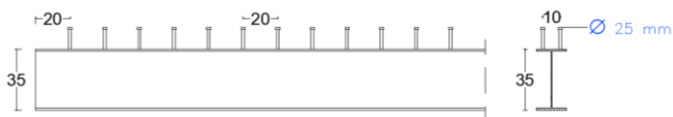
$$\text{Jarak minimum longitudinal} \quad 6 \phi = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum longitudinal} \quad 8 \phi = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum transversal} \quad 4 \phi = 100 \text{ mm}$$

Jarak longitudinal untuk 1 bentang antar stud adalah:

$$S = \frac{L}{2N} = 20,8 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$



Gambar 17 Pemasangan *Stud Connector* pada Gelagar Memanjang

Berdasarkan perhitungan maka dapat disimpulkan dengan nilai momen dan geser maksimum berturut-turut sebesar 375,719 kNm dan 193,754 kN, baja profil IWF 350.175.7.11 amandigunakan sebagai gelagar memanjang jembatan serta dipasang *shear connectror* berdiameter 25 mm dengan tegangan leleh 410 MPa sebanyak 50 buah yang dipasang dalam dua baris dengan jarak 20 cm.

Dalam (Kusuma, Arif Tri 2020) diperoleh nilai momen dan geser maksimum yang lebih kecil yaitu 242,20 kNm dan 127 kN, profil gelagar memanjang yang digunakan lebih besar yaitu IWF 400.200.6 12 dengan mutu ASTM *grade* 50.

H. Perencanaan Batang Tekan

Gaya aksial tekan maksimum pada batang atas rangka yang diperoleh dari analisis SAP 2000 adalah sebesar $N_u = 5376,103$ kN.

Berdasarkan hasil perhitungan dioperoleh $\lambda_{cx} = 0,365$ dan $\lambda_{cy} = 0,629$

Periksa kekompakan penampang terhadap sumbu x

$$\lambda_c = 0,365 < 1,5$$

$$\phi N_n = \phi (0,66\lambda_c^2) A_g f_y = 7211,166 \text{ kN}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,746 < 1 \quad \text{(OK)}$$

Periksa kekompakan penampang terhadap sumbu y

$$\lambda_c = 0,629 < 1,5$$

$$\phi N_n = \phi (0,66\lambda_c^2) A_g f_y = 6464,834 \text{ kN}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,832 < 1 \quad \text{(OK)}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama dilakukan perencanaan batang tekan pada diagonal rangka utama dan ikatan angin. Hasil yang diperoleh dari perhitungan yaitu digunakan profil IWF 400.400.13.21 untuk batang tekan diagonal rangka utama dan digunakan profil IWF 200.200.8.12 untuk batang tekan pada ikatan angin.

Tabel 10 Perencanaan Batang Tekan

No	Batang Tekan	Gaya Tekan		Profil Rencana	Kelangsingan	Flens	Web	Kekuatan
1	Batang atas rangka utama	5376,103	kN	IWF 400.400.13.21	$\lambda < 140$	$\lambda < \lambda_p$	$\lambda < \lambda_p$	$\frac{N_u}{\phi N_n} < 1$
2	Batang diagonal rangka utama	2426,308	kN	IWF 400.400.13.21	$\lambda < 140$	$\lambda < \lambda_p$	$\lambda < \lambda_p$	$\frac{N_u}{\phi N_n} < 1$
3	Ikatan angin	27,577	kN	IWF 150.150.7.10	$\lambda < 140$	$\lambda < \lambda_p$	$\lambda < \lambda_p$	$\frac{N_u}{\phi N_n} < 1$
Kontrol					OK	OK	OK	OK

I. Perencanaan Batang Tarik

Berdasarkan hasil analisis dari SAP 2000 diperoleh gaya aksial tarik maksimum pada batang bawah gelagar utama sebesar $P_u = 1849,575$ kN.

1. Periksa kekuatan penampang terhadap leleh

$$\phi P_n = \phi A_g \times f_y = 8079,03 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = 0,229 < 1 \quad (\mathbf{OK})$$

2. Periksa kekuatan penampang terhadap fraktur

$$U = 0,9$$

Luas netto penampang (A_n)

$$A_n = A_g - n \times d \times t = 20526 \text{ mm}^2$$

$$85 \% A_g = 18589,5 \text{ mm}^2$$

Luas netto yang digunakan adalah nilai yang terkecil yaitu 18589,5 mm²

$$A_e = U \times A_n = 16730,55 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = \phi A_e \times f_u = 6901,352 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = 0,268 < 1 \quad (\mathbf{OK})$$

Dengan langkah perhitungan yang sama dilakukan perencanaan batang tarik pada diagonal rangka utama dan ikatan angin. Hasil yang diperoleh dari perhitungan yaitu digunakan profil IWF 400.400.13.21 untuk batang tarik diagonal rangka utama dan digunakan profil IWF 150.150.7.10 untuk batang tarik pada ikatan angin.

Tabel 11 Perencanaan Batang Tarik

No	Batang Tarik	Gaya Tarik		Profil Rencana	Leleh	Fraktur
1	Batang bawah rangka utama	1848,575	kN	IWF 400.400.13.21	$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$	$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$
2	Batang diagonal rangka utama	2304,832	kN	IWF 400.400.13.21	$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$	$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$
3	Ikatan angin	10,491	kN	IWF 150.150.7.10	$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$	$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$
Kontrol					OK	OK

Berdasarkan perhitungan dapat disimpulkan bahwa profil IWF 400.400.13.21 aman digunakan untuk menahan gaya aksial tekan dan tarik maksimum yang terjadi pada batang atas rangka utama, batang diagonal, batang bawah rangka utama. Sedangkan sebagai ikatan angin direncanakan ikatan angin berbentuk X dengan baja profil IWF 150.150.7.10 untuk menahan gaya aksial tekan dan tarik maksimum yang terjadi.

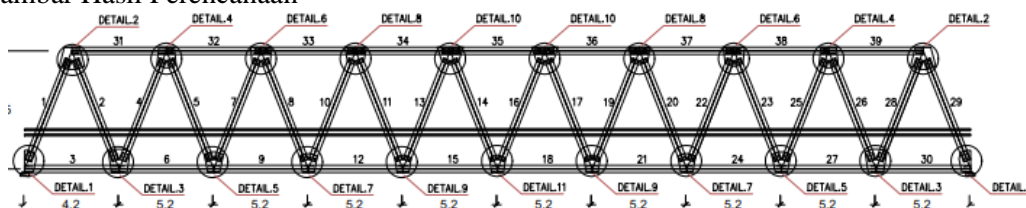
J. Perencanaan Sambungan

Sambungan pada jembatan direncanakan menggunakan baut tipe A325 dengan $f_{ub} = 825$ MPa. Untuk sambungan rangka utama serta sambungan antara gelagar melintang dan gelagar memanjang digunakan baut dengan diameter 30 mm dan plat buhul dengan tebal 18 mm. Sedangkan untuk sambungan pada ikatan angin digunakan baut dengan diameter 20 mm dan plat buhul dengan tebal 18 mm.

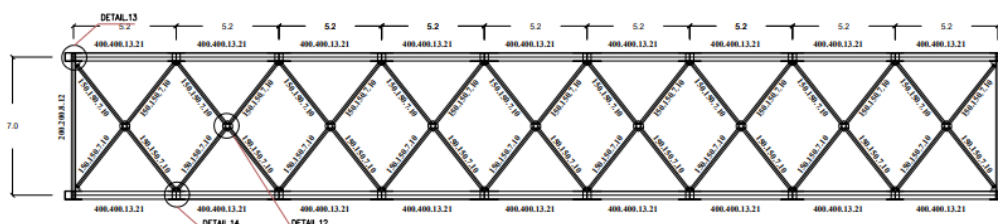
K. Perencanaan Perletakan

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kuat geser ultimit yang terjadi sebesar 76,484 ton. Maka dibutuhkan *Elastomer Bearing* yang diperlukan adalah 250 . 330 dengan Tebal 10 mm dan 5 Lapisan.

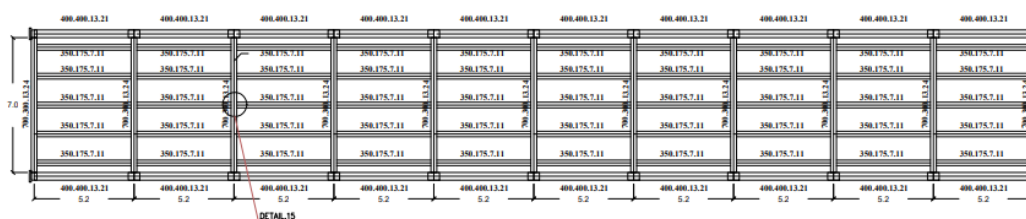
L. Gambar Hasil Perencanaan



Gambar 18 Tampak Samping Jembatan



Gambar 19 Denah Ikatan Angin Jembatan



Gambar 20 Denah Gelagar Jembatan

SIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat ditarik setelah dilakukannya penelitian yaitu:

- Jembatan Sungai Mesim direncanakan sepanjang 52 m dan lebar 7 m.
- Tebal *slab* jembatan yang direncanakan adalah 200 mm
- Tebal trotoar yang direncanakan adalah 250 mm
- Railing* direncanakan dengan diameter 101,6 mm
- Gelagar melintang direncanakan menggunakan profil IWF 700.300.13.24, gelagar memanjang direncanakan menggunakan profil IWF 350.175.7.11, rangka utama direncanakan menggunakan profil IWF 400.400.13.21 dan ikatan angin direncanakan menggunakan profil IWF 150.150.7.10
- Sambungan direncanakan menggunakan baut A325 dengan diameter 30 mm dan 20 mm
- Perletakan direncanakan menggunakan *elastomer bearing* ukuran 250. 300 mm dengan tebal 10 mm sebanyak 5 lapisan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis haturkan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan serta tunjuk ajar kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada tim Jurnal RAB Construction Research Universitas Abdurrah yang telah menyusun template jurnal ini sehingga penulis dapat menyusun jurnal sesuai dengan sistematika penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadi, Fahtul. 2020. *Desain Jembatan Jalan Datuk Laksmana Dengan T-Girder Menggunakan SNI 1725-2016*. Bengkalis: Jurusan Teknik Sipil.
 Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Perencanaan Pembebanan Jembatan SNI 1725:2016*. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton SNI T 12-2004*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. SNI T 03-2005. Jakarta.
- Dewobroto, Wiryanto. 2016. *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*. Tangerang: Universitas Pelita Harapan.
- Fahrudin, Kharis Arif. 2021. *Perencanaan Jembatan Tanggulangin Pada Ruas Jalan Demak-Kudus Dengan Sistem Rangka Baja*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kusuma, Arif Tri. 2020 . *Perencanaan Struktur Jembatan Rangka Baja Bentang 60 Meter Dengan Kelas A Type Warren Truss*. Jakarta Barat: Universitas Gunadarma.
- Wahyu, Hasneti. 2018. *Perencanaan Struktur Atas Jembatan Sungai Sair Dengan Struktur Rangka Baja*. Bengkalis: Politeknik Negeri Bengkalis.