

Desain Struktur Jembatan Kereta Api Tipe *Concrete Through Arch*: Studi Kasus Jembatan Kereta Api BH 1828 Purworejo

Design of Railway Bridge Structure of Concrete Through Arch Type: Case Study of Railway Bridge BH 1828 Purworejo

Algazt Aryad Masagala

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.

*Corresponding author email: algazt.masagala@uty.ac.id



Kata Kunci:

Jembatan Rel Kereta Api; *Through Arch*; Beton Bertulang.

Abstrak

Jembatan rel kereta api BH 1828 berlokasi di Butuh, Kutoarjo, Purworejo. Desain struktur jembatan tipe *through arch* memiliki lebar 4,9 m, panjang bentang total 46 m, dan tinggi 7,5 m. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh dimensi dan kebutuhan penulangan, serta besar nilai lendutan dengan mengacu pada PM No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Rel Kereta Api, SNI 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, dan RSNI T-12-2004 sebagai Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Desain dilakukan secara bertahap yang dimulai dari penentuan jenis struktur yang dipergunakan, dimensi struktur, pemodelan komputer, pembebanan, perancangan tulangan dan kontrol lendutan. Berdasarkan perhitungan diperoleh dimensi; girder eksterior, interior, diafragma, dan *arch* memiliki dimensi 450 x 650 mm; dimensi *hanger* dan *bracing* 450 x 450 mm. Untuk nilai lendutan maksimal tengah bentang sebesar 0,054 m lebih kecil dari lendutan izin $L/800 = 0,058$ m.

Keywords:

Railway Bridge; *Through Arch*; Reinforced Concrete.

Abstract

The railway bridge BH 1828 is located in Butuh, Kutoarjo, Purworejo. The through arch bridge structure design has a width of 4.9 m, a total span length of 46 m, and a height of 7.5 m. This study aims to obtain the dimensions and requirements of reinforcement, as well as the value of the deflection with reference to PM No. 60 of 2012 Technical Requirements for Railway Tracks, SNI 2833:2016 Bridge Planning Against Earthquake Loads, and RSNI T-12-2004 Concrete Structure Planning for Bridges. The design is carried out in stages starting from determining the type of structure being used, structural dimensions, computer modeling, loading, reinforcement design and deflection control. Based on the calculation, it was obtained the dimensions; girder exterior, girder interior, diaphragm, and arch girders have dimensions of 450 x 650 mm; hanger and bracing dimensions of 450 x 450 mm. The maximum deflection at the mid-span was found being 0.054 m, it is smaller than the allowable deflection $L/800 = 0.058$ m.

PENDAHULUAN

Secara harfiah, jembatan adalah struktur yang berfungsi sebagai penghubung dua bagian yang terpisah oleh suatu rintangan baik yang alami seperti sungai, lembah, dan selat atau laut, maupun buatan seperti jalan raya, saluran irigasi, dan jalan rel kereta (Supriyadi, 2013). Infrastruktur kereta api berperan besar bagi fasilitas penunjang yang mengakomodasi kemudahan masyarakat untuk beraktifitas serta memiliki andil dalam kemajuan perekonomian nasional. *Railway Bridge* BH 1828 terletak di Desa Butuh, Kecamatan Kutoarjo, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. *Upper structure* jembatan BH 1828 memiliki panjang bentang 46,5 m dan lebar 4,9 m. Desain pada bagian *sub structure* menggunakan dua *abutment* yang ditopang oleh fondasi tiang bor dengan kedalaman 30 m. Tumpuan jembatan yang digunakan adalah tumpuan sendi dan rol.

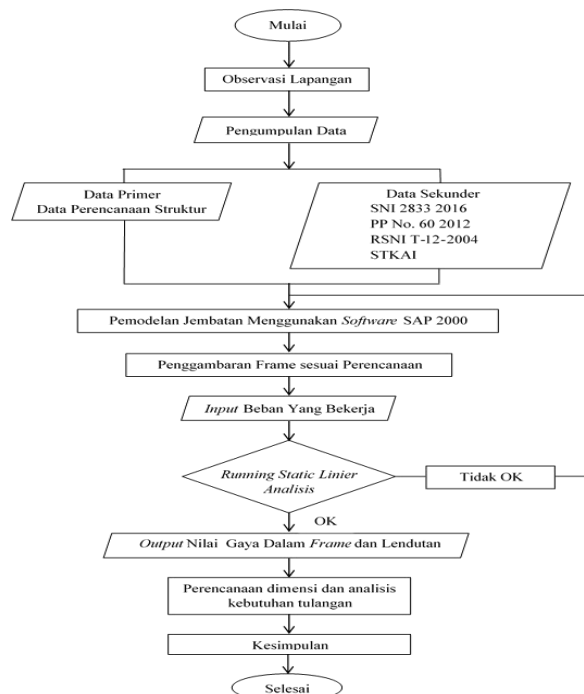
Dalam dunia konstruksi, jembatan memiliki banyak jenis berdasarkan desain, material, dan fungsi yang dapat digunakan sebagai pilihan pertimbangan dalam pemilihan tipe jembatan. Berdasarkan hal tersebut, pemilihan jembatan dengan material utama beton bertujuan untuk menciptakan struktur yang *strong and stiffnes* serta

mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap air, sehingga cocok untuk konstruksi jembatan dengan rencana masa layang yang cukup lama (Muspitasi, 2017). Pemilihan bentuk busur direncanakan untuk mengurangi momen yang bekerja pada struktur jembatan sehingga ukuran dimensi penampang menjadi lebih efisien dan efektif memberikan sistem konstruksi struktur atas jembatan yang kuat dengan nilai deformasi (lendutan) yang kecil (Retnoningtyas, 2017).

Secara struktural bentuk jembatan lengkung memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri tergantung dengan material yang akan digunakan. Adanya desain lengkung untuk mengurangi momen tekuk pada struktur bentang panjang. Kinerja pada jembatan didesain lengkung berkebalikan dengan kinerja pada jembatan kabel, sehingga jembatan yang didesain lengkung menerima beban berupa tekan, karena ketegarannya lengkung harus menahan beberapa bengkokan dan gaya geser yang terbentuk sesuai dengan bagaimana lengkung dibebani dan dibentuk (Aria & Budi, 2014).

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, banyak data yang diperlukan agar terjadinya kesinambungan yang baik dan relevan. Proses pengumpulan data yang dilakukan yaitu berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari observasi langsung di lokasi penelitian dan konsultasi dengan pihak terkait. Data sekunder diperoleh dari instransi yang terpercaya berupa data struktur atas, data struktur bawah dan DED. Proses analisis menggunakan program SAP 2000, hal yang sangat penting adalah keakuratan data *input* dan *output* struktur. Data *input* yang digunakan adalah data material, ukuran dimensi elemen struktur, dan data pembebanan. Setelah proses *input* data, pemodelan, dan pembebanan selesai, selanjutnya dilakukan *running model*. Dari proses *running model* diperoleh data *output* yang digunakan untuk mendesain struktur atas jembatan. Data tersebut berupa gaya dalam yang terjadi pada setiap elemen struktur dan kekakuan jembatan yang meliputi besar lendutan jembatan. Elemen struktur dikatakan masih memenuhi syarat kekuatan apabila tahanan gaya dari elemen struktur memiliki nilai lebih besar dibandingkan nilai gaya dalam yang bekerja, sedangkan syarat kekakuan struktur jembatan ditinjau dari nilai lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi batas lendutan maks yang diizinkan (Masagala, 2022). Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data teknis desain struktur atas jembatan kereta api sebagai berikut:

Nama	= <i>Railway Bridge</i> BH 1828
Lokasi	= Butuh, Kutoarjo, Purworejo, Jawa Tengah.
Jenis Jembatan	= Jembatan Beton Bertulang
Konfigurasi Rangka	= <i>Trough Arch</i>
Panjang Bentang Jembatan	= 46,5 m
Lebar Jembatan	= 4,9 m
Tinggi Jembatan	= 7,5 m
Jarak Antar Girder 1	= 1,8 m
Jarak Antar Girder 2	= 1,3 m
Jumlah Girder	= 10 buah
Jumlah Gelagar	= 4 Buah
Jenis Tanah	= Tanah Sedang

Pada desain struktur atas jembatan kereta api BH 1828, penggunaan propertis bahan sebagai berikut:

1. Beton

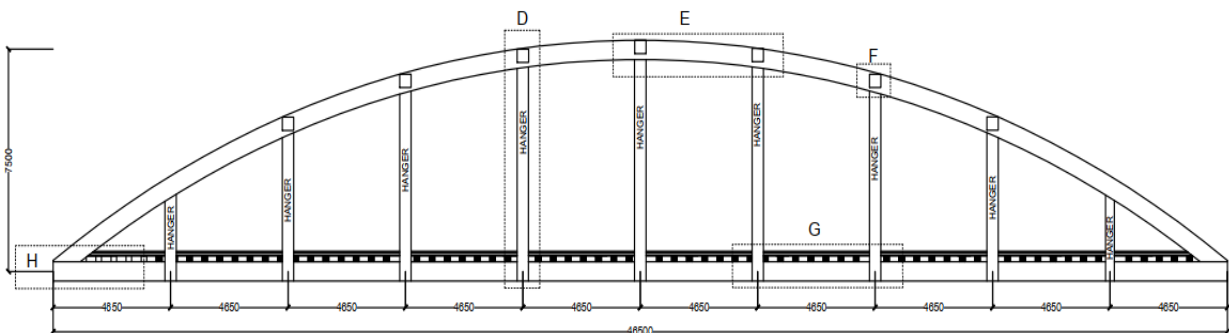
Kuat Tekan Beton ($f'c$)	= 30 MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	= $4700 \cdot \sqrt{30}$ = 25742,96 MPa
Angka Poison (u)	= 0,2
Modulus Geser (G)	= $\frac{E_c}{2 \cdot (1+u)}$ = $\frac{25742,96}{2 \cdot (1+0,2)}$ = 10726,23 MPa

Koefisien muai panjang untuk beton
(α) = $1 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

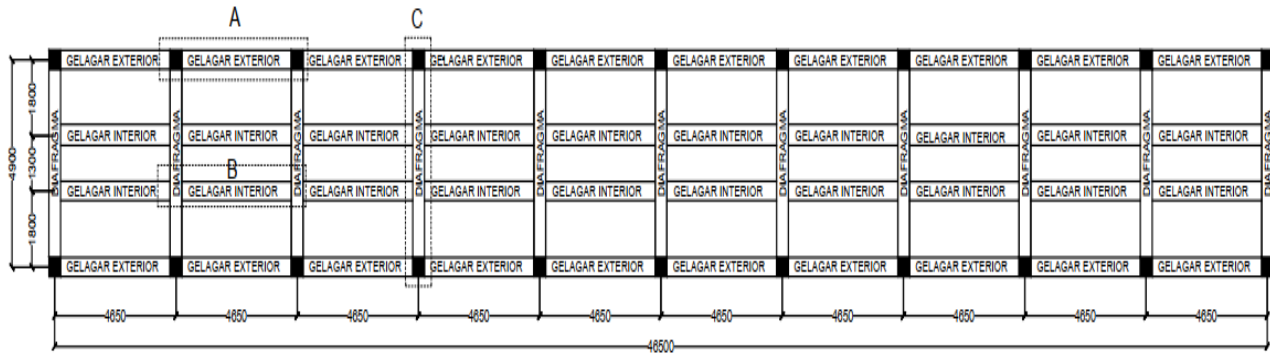
2. Baja

Baja tulangan BjTS 420 (f_y)	= 420 MPa (SNI 2052 : 2017)
Baja tulangan BjTP 280 (f_y)	= 280 MPa (SNI 2052 : 2017)

Tampak memanjang dan tampak bawah gelagar jembatan *Through Arch* ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Tampak Memanjang Jembatan *Through Arch*



Gambar 3. Tampak Bawah Gelagar Jembatan *Through Arch*

Perencanaan Dimensi

Dimensi setiap *frame* struktur untuk perencanaan ulang jembatan kereta api BH 1828 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan Dimensi Struktur

<i>Frame</i>	Dimensi Struktur
<i>Arch</i> (Lengkung)	450 x 650 mm
<i>Bracing</i>	450 x 450 mm
<i>Diafragma</i>	450 x 650 mm
<i>Gelagar</i>	450 x 650 mm
<i>Hanger</i>	450 x 450 mm

Pembebanan

Analisis pembebanan merujuk kepada Peraturan Menteri Perhubungan untuk Jembatan yaitu PM No. 60 tahun 2012, (SNI 1726 : 2016) dan perencanaan terhadap gempa (SNI 2833 : 2016).

1. Beban mati tambahan

Super Dead Load (SDL) yang diperhitungkan dalam penelitian ini adalah seluruh beban yang berasal dari bantalan rel, berat rel dan sambungan dari rel yang menumpu pada struktur.

a. Bantalan Rel

Dimensi bantalan rel yang digunakan untuk jembatan ini yaitu :

- Panjang bantalan = 1,8 m
- Lebar bantalan = 0,22 m
- Tinggi bantalan = 0,2 m
- Berat jenis kayu/kayu = 9 kN/m³
- Berat bantalan W = P . L . T . γ_{kayu}
= 1,8.0,22.0,2.9
= 0,7128 kN/bantalan
- Panjang (L) = 46,5 m
- Jarak bantalan (x) = 0,6 m
- Jumlah (n) = L/x
= 46,5/0,6
= 77,5 ≈ 78 buah

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{bantalan}} &= \frac{\left(\frac{W}{2}\right) \cdot n}{L} \\
 &= \frac{\left(\frac{0,7128}{2}\right) \cdot 78}{46,5} \\
 &= 0,5978 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b. Rel kereta

Pada penelitian ini digunakan rel yang sesuai dengan rel yang ada di jembatan kereta api BH 1828, yaitu rel dengan tipe R54, dimana berat sendiri Qrel R54 sebesar 54,43 kg/m atau 0,5443 kN/m. Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan untuk beban mati tambahan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{d total}} &= Q_{\text{bantalan}} + Q_{\text{rel}} \\
 &= 0,5314 + 0,5978 \\
 &= 1,1292 \text{ kN/m.}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

Beban hidup yang diperhitungkan terdapat dua jenis, yaitu Beban Statis Terpusat yang menggunakan lokomotif CC 204 jumlah gandar 6 sebesar 15 ton dengan jarak 1,2 m dan Beban Statis Bergerak dengan besaran nilai beban hidup yang terdiri atas berat beban gandar lokomotif dan gerbong. Besaran beban hidup merata yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Tipe lokomotif} &= \text{CC 204} \\
 \text{Berat lokomotif} &= 88 \text{ Ton} \\
 \text{Panjang kereta} &= 14,134 \text{ m} \\
 Q_{\text{kereta}} &= \frac{\text{Berat Lokomotif}}{\text{Panjang Kereta}} \\
 &= \frac{88 \text{ ton}}{14,134 \text{ m}} \\
 &= 6,36 \approx 6,5 \text{ ton/m} \\
 &= 6,5 \text{ ton/m} \\
 Q_{\text{kereta}} &= 65 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3. Beban Kejut

Besaran nilai beban kejut adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor } i &= 0,2 + \frac{25}{50+L} \\
 &= 0,2 + \frac{25}{50+46,5} \\
 &= 0,46 \\
 Q_{\text{kejut}} &= 0,46 \cdot Q_{\text{kereta}} \\
 &= 0,46 \cdot 65 \\
 &= 29,9 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4. Beban Lateral

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Lateral} &= Q_{\text{kereta}} \cdot 20\% \\
 &= 65 \cdot 20\% \\
 &= 13 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

5. Beban pengereman dan traksi

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Pengereman} &= Q_{\text{kereta}} \cdot 25\% \\
 &= 65 \cdot 25\% \\
 &= 16,25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

6. *Beban rel longitudinal*

Beban rel longitudinal akibat rel besarnya 10 kN/m dengan maks 2.000 kN.

7. *Beban sentrifugal*

Karena jembatan berada di jalur lurus maka beban sentrifugal dapat diabaikan (0).

8. *Beban angin*

Berdasarkan PM No. 60 Tahun 2012, terdapat dua jenis beban angin yang berlaku, yaitu:

a. Beban angin tanpa kereta

$$\begin{aligned} W1 &= 3 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,65 \text{ m} \\ &= 13,95 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban angin dengan kereta

$$\begin{aligned} W2 &= 1,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,65 \text{ m} \\ &= 6,975 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

9. *Beban gempa*

Setelah dilakukan analisis beban gempa sesuai dengan SNI 2833-2016 dan analisis struktur jembatan dengan *software* SAP 2000, diperoleh:

Periode alami dari SAP 2000

$$T = 0,2 \text{ s}$$

$$C_{sm} = 0,792 \text{ s}$$

$$\text{Berat struktur } W_t = 3038,044 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor modifikasi respon } R = 1,5$$

Beban gempa statik ekuivalen

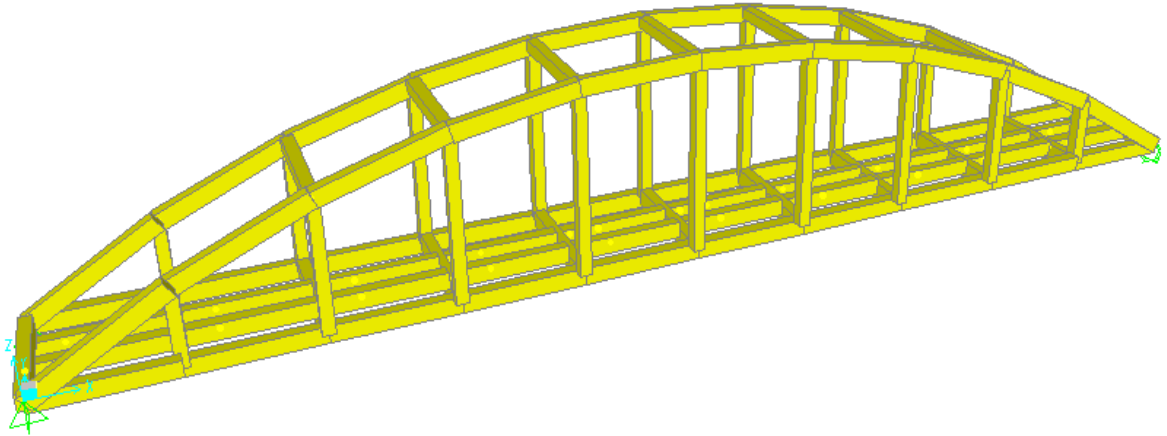
$$\begin{aligned} EQ &= (C_{sm})/R \times W_t \\ &= 0,792/1,5 \times 3038,044 \\ &= 1604,0872 \text{ kN} \end{aligned}$$

Output SAP2000

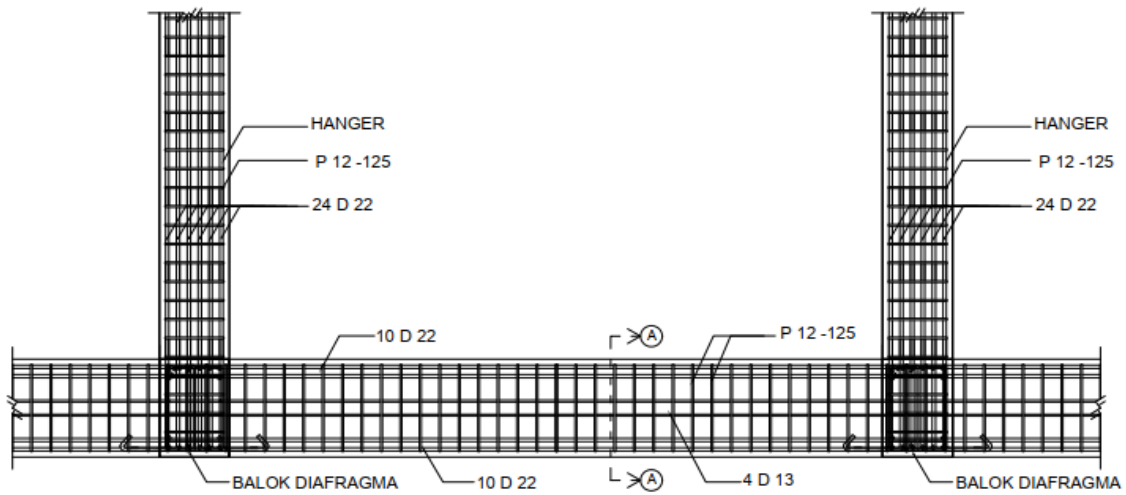
Setelah dilakukan analisis pada *Software* SAP 2000 diperoleh *output* yang berupa Gaya Geser (V) Momen (M) dan Gaya Tekan Aksial (P) dari setiap *frame* struktur. Pada Gambar 4 merupakan pemodelan *frame* 3D jembatan *Through Arch* pada SAP2000.

Perancangan Tulangan

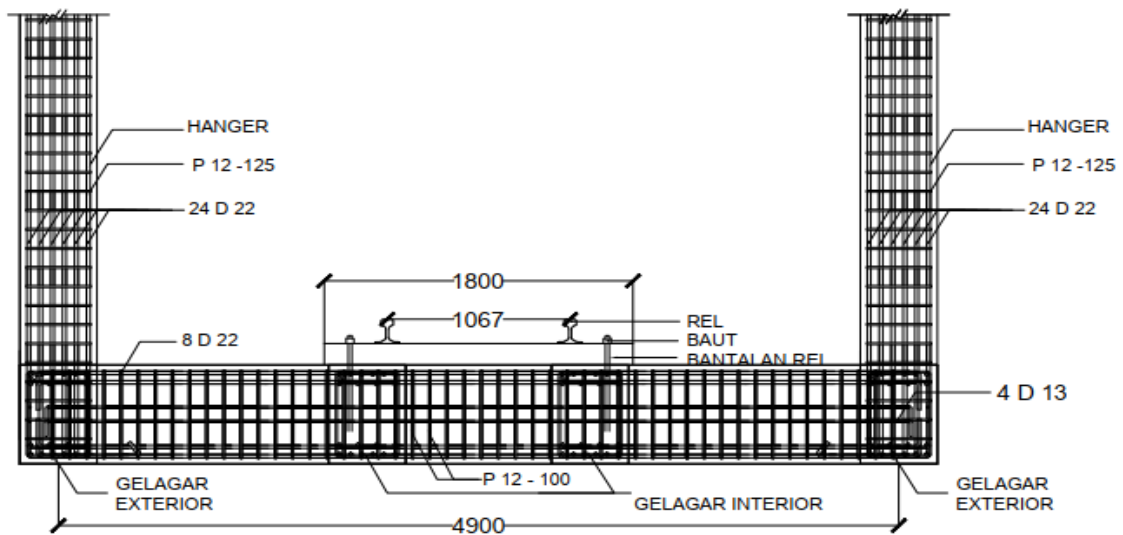
Setelah dilakukan analisis dan perhitungan kebutuhan tulangan, maka diperoleh rekap kebutuhan tulangan berdasarkan (RSNI T-12-2004) untuk setiap *frame* struktur jembatan beton kereta api BH 1828 tipe *Through Arch*, ditunjukkan pada Gambar 5 hingga Gambar 7.



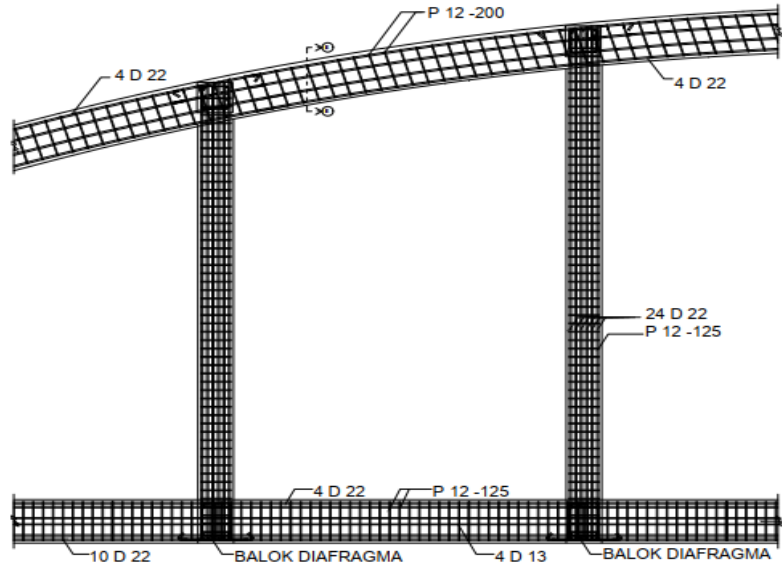
Gambar 4. Tampak 3D Pemodelan SAP2000



Gambar 5. Detail Penulangan Gelagar Eksterior dan Hanger



Gambar 6. Detail Penulangan Gelagar Interior dan Diafragma



Gambar 7. Detail Penulangan Arch dan Hanger

Rekapitulasi dimensi dan penulangan jembatan kereta api BH 1828 tipe *Through Arch* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Dimensi dan Penulangan Struktur

No	Frame	Dimensi (mm)	Tulangan lentur			Tulangan Geser/Senggang
			T. Tarik	T. Desak	T. Susut	
1	Arch	450 x 650		16 D 22		Ø 12 - 200
2	Bracing	450 x 450	4 D 22	4 D 22	4 D13	Ø 12 - 125
3	Diafragma	450 x 650	8 D 22	8 D 22	4 D13	Ø 12 - 100
4	Gelagar Exterior	450 x 650	10 D 22	10 D 22	4 D13	Ø 12 - 125
5	Gelagar Interior	450 x 650	10 D 22	10 D 22	4 D13	Ø 12 - 125
6	Hanger	450 x 450		24 D 22		Ø 12 - 125

Perhitungan Nilai Lendutan

Berdasarkan *output* hasil analisis perencanaan ulang jembatan beton kereta api BH 1828 dengan *software* SAP 2000 mendapatkan nilai lendutan sebagai berikut:

Jembatan *Through Arch* pembebanan posisi 1

$$U_3 = 0,0399 \text{ m} = 39,916 \text{ mm}$$

Dengan lendutan izin

$$\delta \text{ izin} = L/800 = 46,5/800 \text{ m} = 58,125 \text{ mm}$$

Dilakukan kontrol terhadap lendutan izin dan lendutan yang terjadi, dimana berdasarkan peraturan (Menteri Perhubungan, 2012) lendutan yang terjadi harus lebih kecil dari lendutan izin.

$$\text{Syarat } U_3 < \delta \text{ izin}$$

$$39,916 \text{ mm} < 58,125 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Nilai lendutan terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Lendutan

Posisi	Lendutan		Lendutan ijin	Cek
	m	mm	mm	
1	0,0399	39,916	58,125	OK
2	0,0403	40,282	58,125	OK
3	0,0412	41,166	58,125	OK
4	0,0434	43,436	58,125	OK
5	0,0487	48,711	58,125	OK
6	0,0528	52,806	58,125	OK
7	0,0548	54,768	58,125	OK
8	0,0555	55,540	58,125	OK
9	0,0559	55,887	58,125	OK
10	0,0560	55,990	58,125	OK
Statis	0,0552	55,236	58,125	OK

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Jembatan Kereta Api Tipe *Concrete Through Arch* Studi Kasus Jembatan Kereta Api BH 1828 Purworejo diperoleh kesimpulan yaitu lendutan maksimum sebesar 55,990 mm pada posisi pembebanan 10 jembatan kereta api BH 1828 tipe *Through Arch* telah memenuhi syarat lendutan izin yang berlaku $L/800$ berdasarkan PM No. 60 th 2012.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Perencanaan struktur beton untuk jembatan*. Jakarta: RSNI T-12-2004.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta: SNI 1726 : 2016.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. Jakarta: SNI 2833 : 2016.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Baja tulangan beton*. Jakarta: SNI 2052 : 2017.
- Masagala, A. A. (2022). *Jembatan truss dengan analisis SAP 2000*. PACE, Padang, Sumatera Barat.
- Muspitasari, T. (2017). Evaluasi peraturan pembebanan gandar kereta api di pulau Jawa terhadap kondisi aktual. *Jurnal Teknik Sipil UAJY*, 14(3), 182–187. <https://doi.org/10.24002/jts.v14i3.1982>
- Peraturan Menteri Perhubungan. (2012). *Persyaratan teknis jalur kereta api*. Jakarta: PM. 60 Tahun 2012.
- Retnoningtyas, R. (2017). *Pengaruh rasio bentang dan tinggi jembatan pelengkung beton bertulang untuk jalan rel terhadap gaya-gaya dalam*. Universitas Gadjah Mada.
- Sukmana, A. D., & Rahardjo, B. (2014). Perencanaan jalur ganda kereta api Surabaya - Krian. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(1), 1-5.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2013). *Jembatan*. Beta Offset.