

DESAIN STRUKTUR JEMBATAN GREMBYANGAN
TIPE PELAT PELENGKUNG BETON BERTULANG

Tri Nugroho Sulistyantoro¹⁾, Suharyatmo²⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknis Sipil Universitas Islam Indonesia

¹⁾tri.nugroho.sulistyantoro@uii.ac.id, ²⁾suharyatmo@uii.ac.id

ABSTRACT

Grembyangan bridge is a bridge across the Opak river which stretched between Berbah and Prambanan district located in Sleman, Special Territory of Yogyakarta. Grembyangan bridge has 80 m in total length. The purpose of this study was obviously to design the bridge with a good planning in order to get a low cost, safe, efficient and high artistic value. This bridge uses RSNI T-02-2005 and Bridge Management System (BMS) 1992 as the loading code, SAP 2000 and Ms. Excel. Grembyangan bridge is designed safety from any loads forces on the bridge construction. The result of this bridge design includes arch slab with 0,8 m of thickness, 0,6 m thickness of wall coloumn, and 0,5 m thickness of floor slab. The sub-structures includes abutments, pile cap and pile foundations (bored pile). The bridge design into two spans each 40 m of length and 10,5 m height of arch from water level. Transverse width 9 m of floor slab while arch and coloumn wall is 7 m.

ABSTRAK

Jembatan Grembyangan merupakan jembatan yang melintang di atas sungai Opak yang menghubungkan kecamatan Berbah dan Prambanan yang terletak di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jembatan Grembyangan mempunyai panjang total mencapai 80 m. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain jembatan dengan perencanaan yang baik agar diperoleh hasil yang ekonomis, aman dan efisien dengan nilai arstistik yang indah. Pembebanan jembatan menggunakan RSNI T-02-2005 dan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System BMS 1992). Sedangkan analisis struktur jembatan menggunakan bantuan progam SAP 2000 dan Ms. Excel. Jembatan Grembyangan didesain aman terhadap beban yang bekerja pada konstruksi jembatan ini. Hasil perencanaan jembatan ini meliputi pelat lengkung dengan tebal 0,8 m, dinding kolom dengan tebal 0,6 m dan pelat lantai kendaraan dengan tebal 0,5 m. Kemudian struktur bawah meliputi pangkal jembatan (abutmen), pile cap dan pondasi tiang bor (bored pile). Jembatan ini didesain menjadi dua bentang, masing-masing panjangnya 40 m dan tinggi lengkung 10,5 m dari muka air. Lebar melintang pelat lantai 9 m sedangkan pelat lengkung dan dinding kolom 7 m.

Kata kunci: jembatan; lengkung; beton bertulang; RSNI T-02-2005; BMS 1992

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Sleman adalah sebuah kabupaten di propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang secara geografis mempunyai letak strategis sebagai jalur penghubung antara kota Yogyakarta dengan kota-kota di propinsi Jawa Tengah. Bagian utara kabupaten ini merupakan pegunungan, dengan puncaknya Gunung Merapi yang berbatasan dengan Jawa Tengah. Sedangkan di bagian selatan merupakan dataran rendah yang subur. Di antara sungai-sungai besar yang berhulu di Gunung Merapi yang melintasi kabupaten Sleman terdapat Kali Progo, Kali Code, dan Kali Opak. Dengan letak geografis yang strategis dan topografi sedemikian rupa maka dibutuhkan suatu prasarana transportasi yang mendukung kelancaran lalu lintas pada umumnya. Seiring semakin majunya transportasi maka aktivitas atau kegiatan manusia akan lebih dinamis dalam rangka meningkatkan kualitas hidup. Salah satu prasarana transportasi untuk mewujudkan hal tersebut adalah jembatan.

Dalam penelitian ini dipilih alternatif desain berupa tipe jembatan pelengkung (arch bridge). Dengan pertimbangan jembatan pelengkung

mempunyai kelebihan pada nilai estetika yang lebih indah daripada jembatan gelagar lurus biasa. Kelebihan lain adalah dalam penggunaan bahan jembatan pelengkung menghemat 15% volume beton dibanding jembatan gelagar lurus sehingga ekonomis dalam dimensi dan penulangan. Pemilihan bahan beton bertulang karena mampu menahan gaya tekan yang besar, mudah dalam perawatan, ketersediaan material yang mudah di dapat di Indonesia, dan harga yang relatif lebih murah dari baja.

Oleh karena itu didapatkan permasalahan bagaimana mendapatkan desain jembatan dengan perencanaan yang baik agar diperoleh hasil yang ekonomis, aman dan efisien dengan nilai arstistik yang indah. Maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui cara dan mendapatkan desain secara lengkap pada jembatan Grembyangan tipe pelat pelengkung beton bertulang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

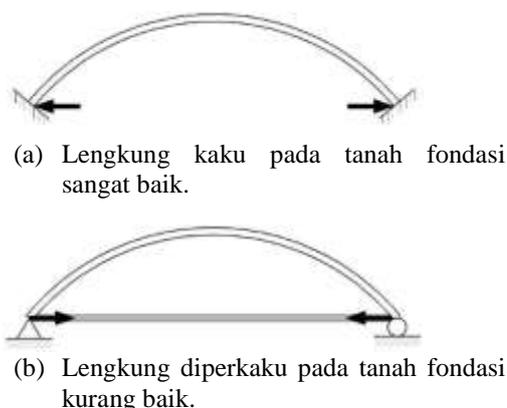
2.1. Jembatan Pelengkung

Sebelum perkembangannya jembatan pelengkung hanya mampu berdiri pada bentang pendek, dikarenakan teknologi bahan konstruksi belum menyentuh pada zaman dahulu. Pada mulanya

struktur jembatan pelengkung hanya terdiri dari pasangan batu/bata dan tipe lengkung lantai urug. Lengkung pasangan batu/bata dengan ikatan gigi dan mortar mempunyai kuat geser dan kuat tekan tetapi tidak dapat menahan tarik. Lengkung batu diisi dengan tanah urug, makin berat beban mati makin besar gaya tekan, yang mencegah terjadinya tegangan tarik dalam lengkung selama dilewati kendaraan. Mengingat struktur yang berat memerlukan fondasi yang besar, maka lengkung psangan batu sesuai untuk bentang pendek. Begitu hal-nya juga pada tipe lengkung tanah urug, pada bentan lebih besar berat tanah urug meningkat dan menyebabkan tegangan terlalu besar. Kedua tipe pelengkung tradisional ini hanya dapat digunakan pada bentang 15 – 30 meter.

Menurut Supriyadi (2007) dalam Budi (2016), jembatan busur adalah jembatan yang konstruksinya berbentuk setengah lingkaran atau parabola dengan abutmen di kedua sisinya. Pemakaian desain berupa busur ini secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke abutmen yang menjada kedua sisi jembatan agar tidak bergerak ke samping. Pelengkung pada jembatan busur merupakan struktur utama yang menahan Sebagian besar beban yang diterima oleh jembatan. Lengkung umumnya pada perletakan jepit, dengan ketebalan awal lengkung 1,65 sampai 2 kali ($L/20$) dari puncak lengkung ($L/40$) ketebalan rata-rata adalah $L/30$ dan tinggi focus $L/5$ (ACI 1996).

Jembatan pelengkung menurut pelimpahan reaksi tekan horizontal dibagi dalam dua tipe. Untuk mencapai penghematan reaksi tekan horizontal di pangkal lengkung harus langsung dipikul oleh tanah fondasi sangat baik seperti batuan/batu pasir tipe ini merupakan lengkung murni atau lengkung kaku dan paling ekonomis. Pada tanah fondasi kurang baik, digunakan jembtatan gelagar lengkung diperkaku dengan batang tarik untuk memikul reaksi horizontal. Tipe ini dikenal sebagai jembatan Langer. Gambar pelimpahan reaksi horizontal dapat dilihat pada Gambar 1.



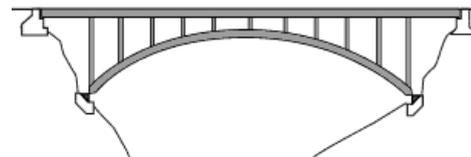
Sumber: BMS, 1992

Gambar 1. Tipe Lengkung Pelimpahan Horizontal

Seiring perkembangan teknologi bahan konstruksi maka struktur jembatan pelengkung dapat dibuat untuk bentang relatif panjang. Dengan bahan

penyusun beton bertulang yang mencapai bentang 90 meter lebih efisien terhadap bentang maksimum beton prategang 45 meter. Jembatan pelengkung beton bertulang komposit dengan rangka/profil baja mampu mencapai bentang 90 – 245 meter. Sesuai ketinggian permukaan jalan, bentuk pelengkung dapat dibedakan menjadi tiga variasi yaitu:

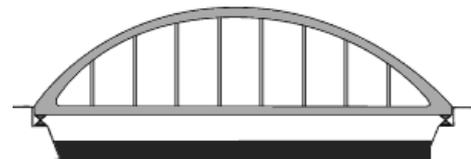
a) Tipe lantai atas/*deck type*
Apabila konstruksi pelengkung berada di atas elevasi pelat lantai kendaraan, seperti terlihat pada Gambar 2.



Sumber: BMS, 1992

Gambar 2. Tipe Lantai Atas

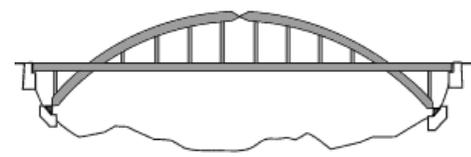
b) Tipe lantai bawah/*through type*
Apabila konstruksi pelengkung berada di bawah elevasi pelat lantai kendaraan, seperti terlihat pada Gambar 3.



Sumber: BMS, 1992

Gambar 3. Tipe Lantai Bawah

c) Tipe lantai bawah sebagian/*half through type*
Adalah gabungan dari *through type* dengan *deck type*, seperti terlihat pada Gambar 4.



Sumber: BMS, 1992

Gambar 4. Tipe Gabungan

2.2. Bagian-Bagian Jembatan

a) *Deck* atau lantai jembatan
Deck atau lantai jembatan adalah bagian struktur yang menerima langsung beban lalu-lintas yang melintas di sepanjang bentang jembatan. Pada jembatan pelengkung beton ada tiga jenis perletakan yaitu lantai atas, lantai bawah, dan lantai bawah sebagian.

b) Abutmen
Abutmen adalah bagian struktur berupa pangkal jembatan yang terletak di ujung dan berfungsi menyalurkan beban vertikal dan menahan gaya lateral

akibat beban tanah yang kemudian diteruskan ke pondasi.

Abutmen memiliki beberapa bentuk sesuai kondisi topografi dan kekuatan tanah di mana pangkal jembatan berdiri. Menurut buku BMS (1992), ada beberapa tipe abutmen yang akan dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Pangkal tembok penahan
- 2) Pangkal kolom *spill-through*
- 3) Pangkal tanah bertulang

Lebih jelasnya tipe abutmen dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.

JENIS PANGKAL	TINGGI PANGKAL (m)			
	0	10	20	30
PANGKAL TEMBOK PENAHAN GRAVITAS	3-4			
PANGKAL TEMBOK PENAHAN KANTILEVER	8			
PANGKAL TEMBOK PENAHAN KONTRAFORT	6-8			
PANGKAL KOLOM 'SPILL THROUGH'				
PANGKAL BALOK CAP TIANG REDUNDAN				
PANGKAL TANAH BERTULANG	5	15		

Sumber: BMS, 1992

Gambar 5. Jenis-Jenis Abutmen

c) Pilar

Pilar merupakan elemen jembatan yang menyalurkan beban dari struktur atas berupa gaya-gaya vertikal dan horizontal kepada struktur bawah yaitu pondasi. Jenis umum pilar dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

JENIS PILAR	TINGGI TIFKAL (m)			
	0	10	20	30
PILAR BALOK CAP TIANG REDUNDAN Dua tumpuan yang menahan momen redudan				
PILAR KOLOM TUNJAL Dibutuhkan kolom vertikal pada aliran arus	5	15		
PILAR TEMBOK Tiang tumpuan dan alih arus tembok beton yang dibuat monolitik menggunakan gres atau beton gresian. Sakai	5		25	
PILAR PORTAL BATU TINGKAT KOLAM (BAREK ATAU MALANG) Dibutuhkan kolom vertikal pada aliran arus	5	15		
PILAR PORTAL SIA TINGKAT Pembesian kolom dengan 2D atau 3D membantu ketahanan aliran arus		15	25	
PILAR TEMBOK PEMAMPANG Pemampangan ini membantu kestabilan arus pada tumpuan aliran arus dan membantu aliran arus			25	

Sumber: BMS, 1992

Gambar 6. Jenis-Jenis Pilar

d) Pondasi

Pondasi merupakan elemen bangunan yang terletak paling dasar dari struktur bawah jembatan dan berfungsi menyalurkan atau mendistribusikan semua beban yang ada ke dalam tanah. Pondasi dikatakan

baik atau benar apabila kestabilan pondasi terhadap geser, guling, penurunan, dan daya dukung tanah telah terpenuhi.

Menurut Sardjono (1991), terdapat tiga definisi dasar dalam perencanaan pondasi tiang pancang sebagai berikut.

- 1) Tumpuan Ujung (*Point Bearing*)
- 2) Tumpuan Geser (*Friction*)
- 3) Kapasitas Dukung Ijin

2.3. BMS 1992 dan RSNI T-02-2005

Peraturan perencanaan jembatan Bina Marga (Bridge Management System 1992) merupakan pedoman dalam perencanaan jembatan di Indonesia. Peraturan ini memberikan saran minimum dalam perencanaan jembatan yang dapat menjamin tingkat keamanan, kegunaan dan tingkat penghematan yang masih dapat diterima. Peraturan Bina Marga ini mencakup perencanaan jembatan jalan raya dan pejalan kaki. Untuk jembatan bentang panjang (lebih dari 100 meter) dan struktur jembatan yang tidak umum atau yang menggunakan material dan metode baru harus diperlakukan sebagai jembatan khusus.

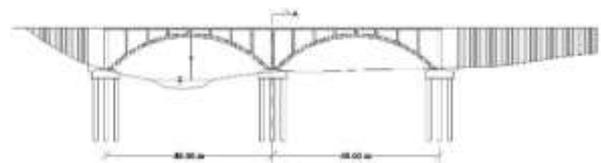
RSNI T-02-2005 merupakan revisi dari SNI 02-1725-1989 yang membahas masalah beban dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan jalan raya termasuk jembatan pejalan kaki dan bangunan-bangunan sekunder yang terkait dengan jembatan tersebut. Beban-beban, aksi-aksi dan metode penerapannya boleh dimodifikasi dalam kondisi tertentu dengan seizing pejabat yang berwenang. Butir-butir tersebut di atas harus digunakan untuk perencanaan seluruh jembatan termasuk jembatan bentang panjang dengan bentang utama > 200 meter.

3. METODOLOGI

3.1. Data Struktur

Rencana Jembatan Grebyangan mempunyai bentuk struktur yang unik dan estetika yang elok yaitu dengan sistem pelat pelengkung beton. Semua bagian struktur atas jembatan berbentuk pelat, dari pelat lantai kendaraan, pilar kolom dan pelat pelengkung itu sendiri. Dengan menggunakan material beton bertulang, semua bagian struktur didesain membentuk kesatuan struktur pelat yang kaku. Berikut disajikan data struktur dari Jembatan Grebyangan.

a) Sistem struktur Jembatan Grebyangan menggunakan tipe Jembatan Pelat Pelengkung seperti terlihat pada Gambar 7.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 7. Potongan Memanjang

- b) Struktur atas (*superstructure*) terdiri dari:
 - 1) Pelat lantai,
 - 2) Kolom/ dinding pilar, dan
 - 3) Pelat lengkung.
- c) Struktur bawah (*substructure*) terdiri dari:
 - 1) Abutmen, dan
 - 2) Pondasi (*pile cap* dan *bored pile*)

3.2. Lokasi Jembatan

Lokasi Jembatan Grembyangan direncanakan akan dibangun di perbatasan Dusun Grembyangan Kecamatan Prambanan dan Dusun Jebresan Kecamatan Berbah, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jembatan tersebut dibangun membentang di atas Kali Opak seperti terlihat pada Gambar 8.



Sumber: Maps.Google.co.id, 2023

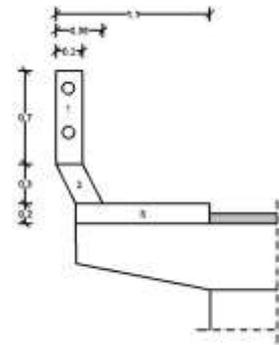
Gambar 8. Lokasi Jembatan

3.3. Tahap Perencanaan

a) Menentukan spesifikasi dan konfigurasi jembatan.
 Analisis struktur memerlukan data teknis jembatan seperti panjang bentang, lebar, tebal struktur, jarak antar dinding kolom, dll. Pada tahap ini juga ditentukan mutu beton dan mutu baja tulangan. Perencanaan struktur atas jembatan pelat lengkung meliputi perencanaan plat lantai kendaraan yang menyatu monolit dengan dinding kolom dan plat lengkung yang membentuk portal plat lengkung.

b) Analisis pembebanan pada jembatan.
 Analisis pembebanan diperlukan untuk memasukkan data-data beban yang terjadi ke dalam program SAP2000. Pada dasarnya tujuan dimodelkannya elemen struktur ini ke dalam SAP2000 adalah untuk mendapatkan besar dan arah gaya-gaya dalam yang diterima pada setiap komponen struktur. Di mana struktur utama merupakan sistem rangka terbuka dan dimodelkan menggunakan metode 3D-space frame (portal ruang). Berikut akan diuraikan berbagai jenis beban tersebut.

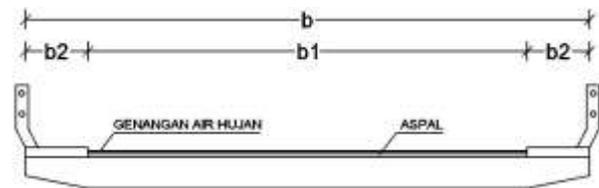
- 1) Berat sendiri, terdiri dari elemen non struktural yang dianggap tetap seperti pada Gambar 9 dan berat bahan bagian jembatan yang merupakan elemen struktur.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 9. Berat Non Struktural

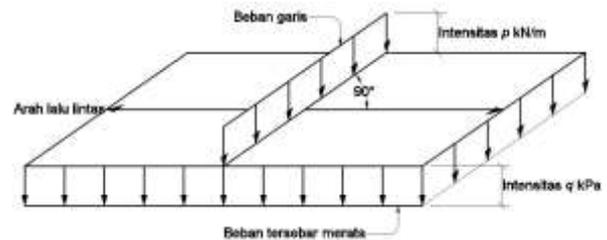
- 2) Beban mati tambahan, merupakan beban mati yang distribusi bebannya merata di atas permukaan plat lantai. Beban mati tambahan terdiri dari aspal ditambah *overlay* dan genangan air hujan seperti pada Gambar 10.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 10. Beban Mati Tambahan

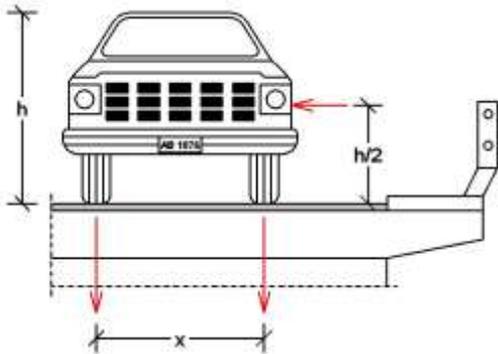
- 3) Beban lajur, terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada Gambar 11.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 11. Beban Lajur

- 4) Gaya rem, pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah melintang dan dianggap bekerja pada jarak 1,80 m di atas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem diambil 5% dari beban lajur yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas dan ditinjau tanpa memperhitungkan Faktor Beban Dinamis (FBD).
- 5) Beban angin, gaya angin dianggap terdistribusi merata pada bidang samping jembatan pada setiap elemen struktur jembatan pelat lengkung, seperti Gambar 12.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 12. Beban Angin Kendaraan Lewat

- 6) Beban pejalan kaki, jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban hidup per m³ dari luas yang dibebani.
- 7) Beban tekanan tanah, pada bagian tanah di belakang dinding abutmen yang akan dibebani lalu lintas, harus diperhitungkan adanya beban tambahan yang setara dengan tanah setebal 0,60 m yang berupa beban merata ekuivalen beban kendaraan pada bagian tersebut.
- 8) Beban gempa, Berdasarkan Pasal 7.7.1 dalam RSNI T-02-2005 disebutkan bahwa untuk jembatan rumit dan mempunyai lebih dari satu derajat kebebasan yang sederhana diperlukan analisa dinamis. Pada BMS (1992) Section 4: Design of Earthquake Resistant Bridge Structures, Pasal 4.1.3.2 disebutkan bahwa jenis struktural khusus yang tidak menghasilkan mekanisme plastis yang pasti seperti jembatan lengkung, memerlukan analisis dinamik. Di dalam SNI 2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan, disebutkan juga analisis dinamis perlu dipertimbangkan untuk tipe jembatan dengan kinerja rumit seperti jembatan pelengkung dengan lantai atas. Dengan demikian, analisis yang digunakan dalam perencanaan Jembatan Grembyangan ini untuk menghitung gaya gempa bumi adalah dengan analisa dinamik respon spektrum. Analisa dinamik respon spektrum struktur jembatan menggunakan program SAP 2000 agar dapat menampilkan hasil yang lebih rinci dan dinamis.

c) Analisis struktur jembatan.

Perhitungan struktur jembatan dimulai dari atas karena desain komponen struktur atas berpengaruh terhadap desain struktur bawah. Analisis struktur Jembatan Grembyangan menggunakan analisis secara 3 dimensi. Perencanaan struktur atas jembatan pelat lengkung meliputi perencanaan pelat lantai kendaraan yang menyatu monolit dengan dinding kolom dan pelat lengkung yang membentuk portal lengkung.

Adapun elemen non struktur meliputi tiang sandaran, pelat lantai kendaraan, dinding kolom dan kolom pelengkung. Selanjutnya desain struktur bawah jembatan terdiri dari perencanaan abutmen, pondasi bored pile abutmen, pondasi bored pile dan pile cap jembatan.

Perencanaan struktur Jembatan Grembyangan menggunakan bahan beton dan tulangan baja dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Beton
 - 1) Kuat tekan beton = 25 MPa
 - 2) Modulus elastic beton = 23500 MPa
 - 3) Angka poisson = 0,2
 - 4) Modulus geser = 9791,67 MPa
 - 5) Koefisien muai panjang = 1.00E-05 /°C
- b) Baja tulangan
 - 1) Baja tulangan ulir > D12 = 400 MPa
 - 2) Baja tulangan ulir < D12 = 300 MPa

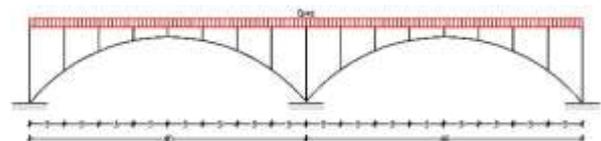
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Struktur

Analisis struktur Jembatan Grembyangan menggunakan program SAP 2000 dengan analisis secara tiga dimensi. Perencanaan Jembatan Grembyangan meliputi perencanaan struktur atas dan struktur bawah. Analisis pembebanan diperlukan untuk memasukkan data-data beban yang terjadi ke dalam program SAP 2000. Berikut akan diuraikan hasil analisis berbagai jenis beban tersebut.

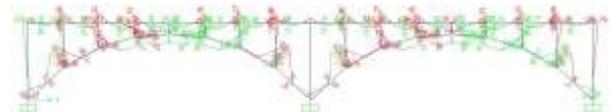
a) Berat sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat dari bagian-bagian bangunan jembatan dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Berat sendiri terdiri dari berat bahan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non structural yang dianggap tetap. Berat sendiri per meter panjang jembatan, QMS = 9,6946 kN/m. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 13. Pembebanan Berat Sendiri QMS



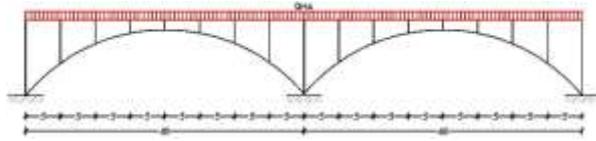
Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 14. Momen Akibat Berat Sendiri

b) Berat mati tambahan (MA)

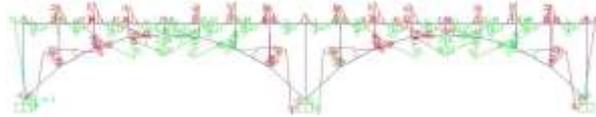
Beban mati tambahan merupakan beban mati yang distribusi bebannya merata di atas permukaan plat lantai. Beban mati tambahan terdiri dari aspal

ditambah overlay dan genangan air hujan. Besarnya beban mati dihitung sebagai Q_{ma} total = 18,43 kN/m. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 15 dan Gambar 16 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 15. Pembebanan Berat Mati Q_{MA}

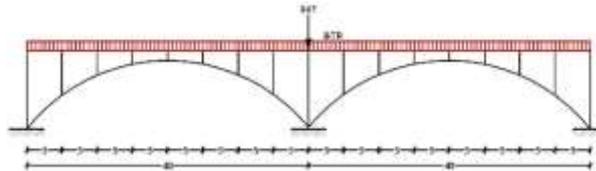


Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 16. Momen Akibat Beban Mati

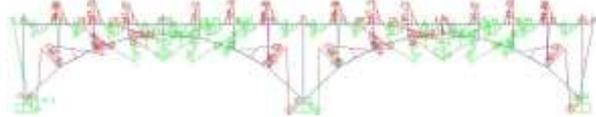
c) Berat lajur (D)

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) = 55.125 kN/m yang digabung dengan beban garis (BGT) = 480.2 kN. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 17 dan Gambar 18 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 17. Pembebanan Beban Lajur D

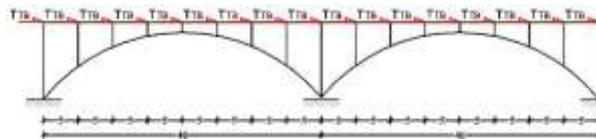


Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 18. Momen Akibat Beban Lajur D

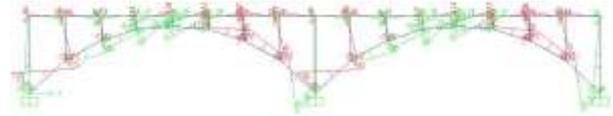
d) Gaya rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai beban gaya rem sebesar T_{TB} = 15,832 kN. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 19 dan Gambar 20 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 19. Pembebanan Gaya Rem

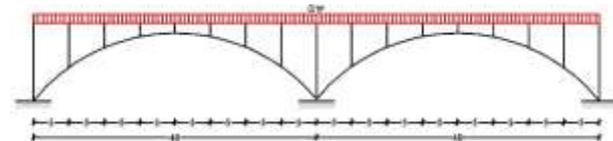


Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 20. Momen Akibat Beban Rem

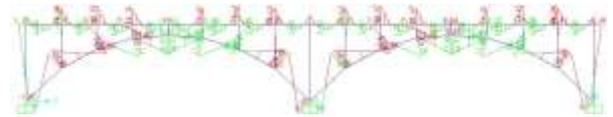
e) Beban pejalan kaki (TP)

Jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban hidup per m² dari luas yang dibebani sebesar Q_{TP} = 4 kN/m. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 21 dan Gambar 22 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 21. Pembebanan Pejalan Kaki

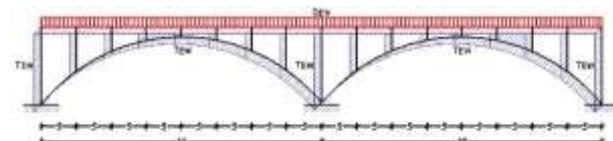


Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 22. Momen Akibat Beban Pejalan Kaki

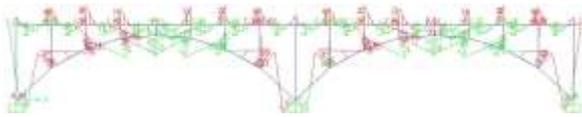
f) Beban angin (EW)

Gaya angin dianggap terdistribusi merata pada bidang samping jembatan pada setiap elemen struktur jembatan pelat lengkung. Lebar bidang kontak vertikal untuk setiap elemen struktur jembatan diambil yang terbesar, T_{EW} = 0,648 kN/m dan Q_{ew} = 0,8331 kN. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 23 dan Gambar 24 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 23. Pembebanan Gaya Angin

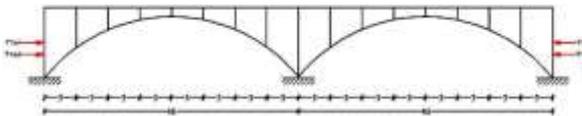


Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 24. Momen Akibat Beban Angin

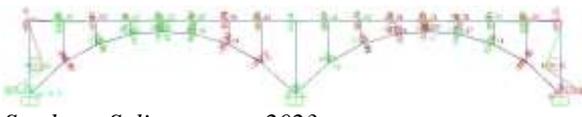
g) Beban tekanan tanah (TA)

Pada bagian tanah di belakang dinding abutmen yang akan dibebani lalu lintas, harus diperhitungkan adanya beban tambahan sebesar $P1 = 482,34$ dan $P2 = 4346,71$ kN. Skema pembebanan dan momen seperti terlihat pada Gambar 25 dan Gambar 26 berikut.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 25. Pembelian Tekanan Tanah



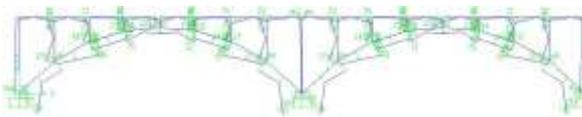
Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 26. Momen Akibat Beban Tekanan Tanah

h) Beban gempa (EQ)

Analisis yang digunakan dalam perencanaan Jembatan Grembyangan ini untuk menghitung gaya gempa bumi adalah dengan analisa dinamik respon spektrum. Analisa dinamik respon spektrum struktur jembatan menggunakan program SAP 2000.

Beban respon spektrum dimasukan dalam analisis struktur jembatan sehingga akan diperoleh momen-momen yang diperlukan untuk desain. Hasil respons spektrum akan langsung membebani ke struktur jembatan pelengkung secara otomatis oleh SAP 2000, kemudian didapatkan momen akibat beban gempa yang dapat dilihat pada Gambar 27.



Sumber: Sulistyantoro, 2023

Gambar 27. Momen Akibat Beban Gempa

4.2. Pembahasan Desain Struktur Jembatan

Perhitungan struktur jembatan dimulai dari atas karena desain komponen struktur atas berpengaruh terhadap desain struktur bawah. Desain struktur atas jembatan meliputi tiang sandaran, pelat lantai kendaraan, dinding kolom dan kolom pelengkung.

a) Tiang sandaran

Tiang sandaran merupakan elemen non struktur yang berfungsi sebagai pengaman bagi pemakai jembatan. Sandaran berupa tiang beton dengan mutu p-ISSN: 2302-9579/e-ISSN: 2581-2866

beton $f'c = 20$ Mpa dan mutu baja $fy = 240$ Mpa. Dengan jarak antara tiang sandaran = 1,5 m yang dikombinasikan dengan pipa besi dengan berat jenis 7,5 kg/m. Penulangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penulangan Tiang Sandaran

Elemen	Tulangan Pokok
Tiang Sandaran	4D12

Sumber: Sulistyantoro, 2023

b) Pelat lantai kendaraan

Dalam perencanaan pelat lantai dipakai momen terbesar dari hasil kombinasi pembebanan. Penulangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penulangan Pelat Lantai

Struktur	Pelat lantai Kendaraan
Lebar (b)	9 meter
Panjang (l)	5 meter
Tebal (d)	0,5 meter
Mutu beton ($f'c$)	25 Mpa
Mutu baja (y)	400 Mpa
Tulangan pokok (arah-x)	D22 – 190 mm
Tulangan bagi (arah-y)	D16 – 280 mm

Sumber: Sulistyantoro, 2023

c) Dinding kolom

Berdasarkan ketentuan pada prinsip struktur daktail adalah kolom harus lebih kuat daripada balok. Maka untuk mengetahui momen maksimum yang dapat ditahan balok dihitung momen kapasitas balok dan momen hasil analisa menggunakan program SAP2000. Penulangan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penulangan Dinding Kolom

Kolom	Tulangan lentur	Tulangan geser
K1, K17	D22 - 60	14D16 - 250
K2, K16	D22 - 110	14D16 - 250
K3, K15	D22 - 110	14D16 - 250
K4, K14	D22 - 110	14D16 - 200
K5, K13	D22 - 110	14D16 - 120
K6, K12	D22 - 110	14D16 - 250
K7, K11	D22 - 110	14D16 - 250
K8, K10	D22 - 110	14D16 - 130
K9	D22 - 110	14D16 - 250

Sumber: Sulistyantoro, 2023

d) Kolom Pelengkung

Karena pelengkung tidak berhubungan langsung dengan struktur balok, dan hanya menerima reaksi dari struktur dinding kolom sehingga momen yang berpengaruh adalah hasil dari analisa struktur dengan SAP2000. Penulangan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penulangan Kolom Pelengkung

Kolom	Tulangan lentur	Tulangan geser
L1, L16	D22 - 80	14D16 - 160
L2, L15	D22 - 80	14D16 - 170
L3, L14	D22 - 80	14D16 - 300
L4, L13	D22 - 80	14D16 - 240
L5, L12	D22 - 80	14D16 - 230
L6, L11	D22 - 80	14D16 - 270
L7, L10	D22 - 80	14D16 - 180
L8, L9	D22 - 80	14D16 - 150

Sumber: Sulistyantoro, 2023

e) Abutmen

Abutmen jembatan merupakan bagian pangkal jembatan yang didesain berdasarkan pengaruh beban vertikal dari struktur atas dan horizontal dari tekanan tanah dan gaya gempa. Penulangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penulangan Abutmen

Struktur	Tulangan lentur / bagi	Tulangan geser / susut
<i>Back wall</i>	D19 - 300 / D16 - 350	D13 - 300
<i>Wing wall arah-x</i>	D19 - 140 / D13 - 140	
<i>Wing wall arah-y</i>	D19 - 120 / D13 - 140	
<i>Pile cap</i>	D25 - 70 / D25 - 140	D16 - 300
<i>Bored pile</i>	11D25	D16 - 110

Sumber: Sulistyantoro, 2023

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu telah didapatkan desain perencanaan jembatan tipe pelat pelengkung beton bertulang baik berupa elemen struktur menggunakan tipe lantai atas (*deck type*) maupun elemen non struktur berupa tiang sandaran. Adapun konfigurasi struktur yang layak yaitu jembatan dengan total panjang 80 meter dengan jumlah 2 bentang. Lebar jembatan 9 meter dengan lebar trotoar masing-masing 1 meter di samping kanan dan kiri jembatan.

5.2. Saran

Dengan memperhatikan hasil desain dari analisis struktur pada pembahasan sebelumnya, maka tipe struktur jembatan pada penelitian ini berupa lantai atas (*deck type*), maka saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya agar dapat didapatkan perbandingan dalam efisiensi dan kemudahan pengerjaan di lapangan dapat dilakukan perencanaan tipe struktur lain berupa lantai bawah (*through type*), kombinasi lantai atas-bawah (*half-through*), dan tipe pelengkung diperkaku dengan baja (gelagar *langer*).

DAFTAR PUSTAKA

BMS, 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Lampiran A Persyaratan Tahan Gempa*, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta

BMS, 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 1 Persyaratan Umum Perencanaan*, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta

BMS, 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 2 Beban Jembatan*, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta

BMS, 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 6 Perencanaan Beban Struktural*, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta

BMS, 1992, *Bridge Design Manual Section 4 Design Earthquake Resistant Brdige Structures*, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta

Budi, S. P., Anggraini, R., Remayanti, C., & Widia, I. M. B. A. (2016). Optimalisasi Desain Jembatan Lengkung (Arch Bridge) Terhadap Berat Dan Lentutan. *Rekayasa Sipil*, 10(3), 211-221.

Purwanto, Edy, 2002, *Pondasi Dalam*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

RSNI T-02-2005, 2005, *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional (BSN)., Jakarta

SNI 2833-2008, 2008, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta

SNI 1726-2012, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta

SNI 03-2847-2002, 2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta

Widodo, 2003, *Desain Portal Beton Tahan Gempa*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta