



Analisis dan Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Wolowona dengan Struktur Pelengkung Beton Bertulang

Thomas Stefen Ree¹, Yohanes Laka Suku^{2*}, Veronika Miana Radja²

¹²³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Flores, Ende, Indonesia

^{*)}Penulis korespondensi: E-mail: mayokonco@yahoo.co.id

Received: 20 oktober 2025

Revised: 03 November 2025

Accepted: 05 November 2025

ABSTRACT

The existing Wolowona Bridge in Ende Regency is made of a steel truss structure and is vulnerable to corrosion and material fatigue in a humid tropical environment. This study aims to redesign the 50-meter span superstructure of the bridge using a reinforced concrete true arch construction as a more durable and life-cycle cost-efficient solution. The design methodology is based on structural analysis using the finite element method with SAP2000 v14 software. Loading and design criteria strictly refer to relevant Indonesian national standards, including SNI 1725:2016 for loading, SNI 2833:2016 for earthquake resistance, and SNI 2847:2019 for concrete reinforcement design. The analysis results show that all structural elements, including the main arch, girder system, and floor slab, meet the strength requirements under the planned load combinations. Reinforcement details for each component have been determined to ensure adequate capacity against the internal forces that occur. It is concluded that the reinforced concrete arch design is a technically feasible, strong, and standard-compliant alternative. This structure offers significant advantages in terms of durability, corrosion resistance, and potential for lower long-term maintenance costs compared to the existing steel truss structure.

Keywords: Arch bridge, Reinforced concrete, SAP2000, Redesign, Superstructure.

ABSTRAK

Jembatan Wolowona eksisting di Kabupaten Ende terbuat dari struktur rangka baja dan rentan terhadap korosi dan kelelahan material di lingkungan tropis lembap. Penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang struktur atas jembatan dengan bentang 50 meter menggunakan konstruksi pelengkung beton bertulang tipe true arch sebagai solusi yang lebih durabel dan efisien dari segi biaya siklus hidup. Metodologi perancangan didasarkan pada analisis struktur menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak SAP2000. Kriteria pembebanan dan desain mengacu secara ketat pada standar nasional Indonesia yang relevan, meliputi SNI 1725:2016 untuk pembebanan, SNI 2833:2016 untuk ketahanan gempa, dan SNI 2847:2019 untuk perancangan penulangan beton. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh elemen struktur termasuk pelengkung utama, sistem gelagar, dan pelat lantai memenuhi persyaratan kekuatan di bawah kombinasi beban rencana. Detail penulangan untuk setiap komponen telah ditentukan untuk memastikan kapasitas yang memadai terhadap gaya-gaya dalam yang terjadi. Disimpulkan bahwa desain pelengkung beton bertulang merupakan alternatif yang layak secara teknis, kuat, dan memenuhi standar. Struktur ini menawarkan keunggulan signifikan dalam hal durabilitas, ketahanan korosi, dan potensi biaya perawatan jangka panjang yang lebih rendah dibandingkan struktur rangka baja eksisting.

Kata kunci: Jembatan pelengkung, Beton bertulang, SAP2000, Perencanaan ulang, Struktur atas.

PENDAHULUAN

Infrastruktur jembatan merupakan arteri vital dalam jaringan transportasi yang menopang konektivitas antarwilayah dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Di wilayah dengan kondisi

geografis yang kompleks seperti Provinsi Nusa Tenggara Timur, keberadaan jembatan yang andal menjadi prasyarat mutlak untuk kelancaran distribusi barang, jasa, dan mobilitas penduduk, dengan demikian perencanaan struktur jembatan harus mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, serta ketahanan terhadap beban dinamis dan lingkungan (Gonzalez et al., 2020; Suku & Radja, 2024). Jembatan Wolowona, yang berlokasi di Kabupaten Ende, memegang peranan strategis sebagai penghubung utama yang mendukung aktivitas ekonomi lokal dan regional. Kegagalan atau gangguan fungsional pada jembatan ini dapat mengakibatkan isolasi wilayah dan kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh karena itu, jaminan keandalan dan keberlanjutan fungsional jembatan ini merupakan prioritas utama dalam perencanaan infrastruktur daerah.

Struktur atas Jembatan Wolowona yang ada saat ini adalah jembatan rangka baja tipe Warren dengan bentang 50 meter. Meskipun struktur rangka baja umum digunakan untuk jembatan bentang menengah, tipologi ini memiliki kerentanan inheren yang menjadi semakin nyata ketika diaplikasikan di lingkungan tropis dengan tingkat kelembapan dan curah hujan yang tinggi. Ada tiga isu teknis utama yang mengancam durabilitas dan keamanan struktur eksisting yakni: 1) *Korosi Agresif*: Baja merupakan material yang sangat rentan terhadap korosi, terutama di lingkungan yang kaya akan oksigen dan uap air. Proses oksidasi ini menyebabkan degradasi penampang elemen struktur, mengurangi kapasitas pikul beban, dan pada akhirnya membahayakan integritas jembatan. Upaya mitigasi melalui pelapisan protektif (pengecatan) bersifat sementara dan menuntut siklus pemeliharaan yang intensif dan berbiaya tinggi (Deng et al., 2019). 2) *Kelelahan Material (Fatigue)*: Beban lalu lintas yang bersifat dinamis dan berulang (siklis) menyebabkan akumulasi tegangan pada elemen-elemen struktur, khususnya pada titik-titik sambungan. Seiring waktu, fluktuasi tegangan ini dapat memicu inisiasi dan propagasi retak lelah, yang berpotensi menyebabkan kegagalan getas (*brittle failure*) tanpa peringatan yang jelas (Rabi et al., 2024). 3) *Kerentanan Tekuk (Buckling)*: Struktur rangka tersusun dari elemen-elemen tekan dan tarik. Elemen tekan yang memiliki rasio kelangsingan tinggi rentan terhadap fenomena tekuk, yaitu mode kegagalan stabilitas yang dapat terjadi secara tiba-tiba pada tingkat beban yang lebih rendah dari kekuatan leleh material (Tenchini et al., 2017). Kombinasi dari ketiga kerentanan ini menunjukkan bahwa struktur rangka baja eksisting memerlukan evaluasi ulang untuk memastikan keamanan dan kelayakan jangka panjang, serta mendorong eksplorasi alternatif desain yang lebih tangguh.

Perencanaan infrastruktur modern menuntut pergeseran paradigma dari fokus pada biaya konstruksi awal (*initial cost*) menuju pendekatan yang lebih holistik, yaitu biaya siklus hidup (*Lifecycle Cost - LCC*). Pendekatan ini mempertimbangkan total biaya yang dikeluarkan selama umur rencana aset, termasuk biaya konstruksi, operasional, pemeliharaan, hingga pembongkaran. Dalam konteks ini, pemilihan material dan sistem struktur yang memiliki durabilitas tinggi dan kebutuhan pemeliharaan minimal menjadi faktor kunci. Beton bertulang menawarkan solusi strategis untuk mengatasi kelemahan struktur baja. Sifat alkali dari beton memberikan proteksi pasif terhadap korosi pada tulangan baja, sementara kekuatan tekannya yang tinggi menjadikannya material yang ideal untuk menahan beban gravitasi (Suku, 2018; Suku & Je, 2020; Suku & Radja, 2025). Pemilihan sistem struktur pelengkung (*arch*) secara inheren memaksimalkan efisiensi material beton. Pada struktur pelengkung, beban eksternal ditransformasikan menjadi gaya tekan aksial yang mengalir sepanjang kurva pelengkung menuju perletakan, sehingga beton dapat bekerja secara optimal sesuai dengan karakteristik kekuatannya. Studi terhadap jembatan-jembatan pelengkung beton bersejarah, seperti yang didokumentasikan oleh (Ambroziak & Malinowski, 2021), menunjukkan bahwa tipologi ini memiliki rekam jejak durabilitas yang luar biasa, dengan banyak struktur yang masih berfungsi setelah hampir satu abad. Analisis terhadap struktur-struktur tua ini memberikan pelajaran berharga mengenai desain yang berketahanan (Sotoudeh et al., 2020; Trigg et al., 2023; Wang et al., 2022).

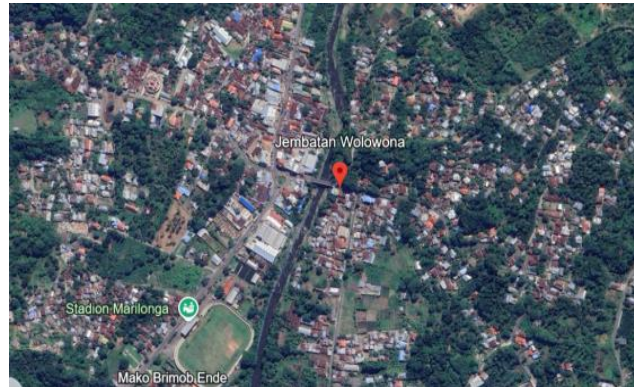
Masalah utama yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang ulang struktur atas Jembatan Wolowona agar memenuhi seluruh kriteria keamanan, kelayakan, dan durabilitas sesuai standar teknis yang berlaku di Indonesia adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah desain teknis yang terperinci untuk struktur atas Jembatan Wolowona menggunakan sistem balok pelengkung beton bertulang dan diharapkan bisa menjadi model untuk perencanaan jembatan menengah lainnya.

METODE

Dalam penelitian ini memerlukan data-data penting di lokasi jembatan yang berpengaruh pada desain jembatan. Data tersebut berupa data topografi atau peta situasi yang berpengaruh pada panjang jembatan dan desain alinyemen jembatan.

Lokasi Jembatan

Lokasi yang direncanakan adalah jembatan Wolowona, Desa Nanganesa, kecamatan Ndona, Kabupaten Ende.



Gambar 1. Peta lokasi perencanaan
sumber : google earth, 2025

Data Perencanaan

Perencanaan ulang struktur bangunan atas jembatan Wolowona menggunakan balok pelengkung beton bertulang. Berikut merupakan data *super structure* jembatan Wolowona:

Struktur atas jembatan (*superstructure*) Posisi pelengkung berada di bawah lantai jembatan (*true arch*), dengan bentang rencana 50 m. Berikut merupakan detail perencanaan jembatan:

- a. Lebar total jembatan : 7 m,
- b. panjang jembatan : 50 m
- c. Lebar perkerasan : 6 m (3 m x 2 lajur),
- d. Lebar trotoar : 1 meter (0,5 meter x 2 lajur)
- e. tebal Trotoar : 0,30 m
- f. Tebal pelat kendaraan : 0,25 m
- g. Balok melintang : 0,3 m x 0,5 m
- h. Balok gelagar : 0,3 m x 0,5 m
- i. Kolom : 0,6 m x 0,6 m
- j. Pelengkung beton : 1,0 m x 2,0 m

Struktur jembatan menggunakan,

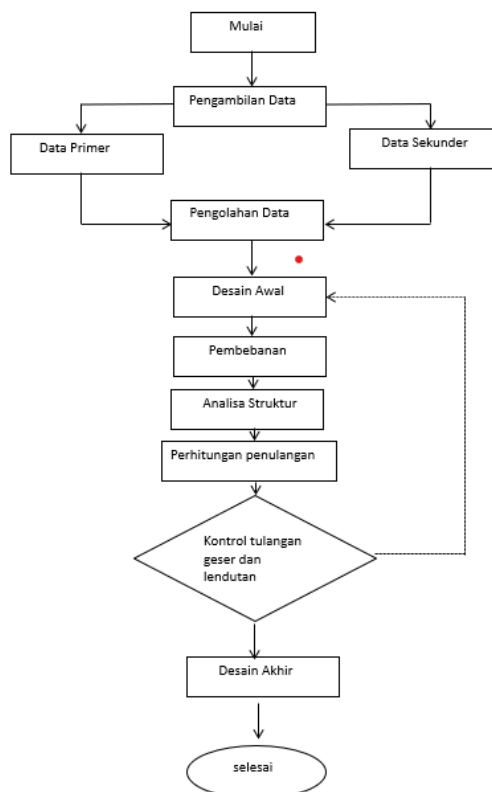
- a. Beton dengan kuat tekan (f'_c) : 30 MPa
- b. Mutu baja tulangan : 420 MPa

Tahapan Perencanaan

Adapun tahapan dalam perencanaan jembatan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pengambilan data perencanaan berupa data primer dan data sekunder.
- 2) Pengolahan data yaitu sebagai berikut:
 - a) Desain awal, Desain awal dalam perencanaan jembatan ini adalah sebagai berikut:
 1. Pencapaian bentang jembatan pelengkung beton bertulang pelengkung murni /kaku adalah 80 m (pedoman perancangan jembatan pelengkung, Kementerian PUPR, Nomor 02/SE/M/2018: 2018) (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018), pada jembatan ini bentang yang digunakan adalah 50 m.

2. Tinggi fokus f berkisar antara $L/8 - L/5$ atau disesuaikan dengan medan (pedoman perancangan jembatan pelengkung, Kementerian PUPR, Nomor 02/SE/M/2018: 2018) (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018), pada jembatan ini tinggi fokus $f = 10$ m.
 3. Pada perencanaan ini lebar jembatan 7 m dan lebar kendaraan yang digunakan untuk jalan adalah 6 m.
 4. Beban pada pelat lantai kendaraan ditransfer ke balok pelengkung melalui kolom-kolom dengan jarak antar kolom 5 m.
 5. Penentuan dimensi.
 - 3) Perhitungan pembebanan
Standar pembebanan pada perencanaan jembatan ini adalah berdasarkan pada SNI 1725-2016 tentang pembebanan jembatan dan SNI 2833-2016 tentang gaya pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan teknis jembatan jalan raya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2016a, 2016b).
 - 4) Analisa struktur
Berupa perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada elemen jembatan pelengkung
 - 5) Perhitungan penulangan
Perhitungan penulangan dari komponen struktur beton bertulang diselesaikan dengan metode kekuatan (*strength design method*) atau yang dikenal dengan metode ultimit berdasarkan SNI-2847-2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).
 - 6) Kontrol lendutan geser
Setelah penentuan dimensi struktur dilanjutkan dengan evaluasi desain dimana, apakah desain tersebut memenuhi persyaratan analisa lendutan, lentur, geser.
 - 7) Desain akhir
Desain akhir merupakan rancangan final dari jembatan balok pelengkung beton bertulang setelah memenuhi semua analisa perhitungan.
- Langkah-langkah perencanaan jembatan ini digambarkan dalam bentuk *flow chart* pada Gambar 5.

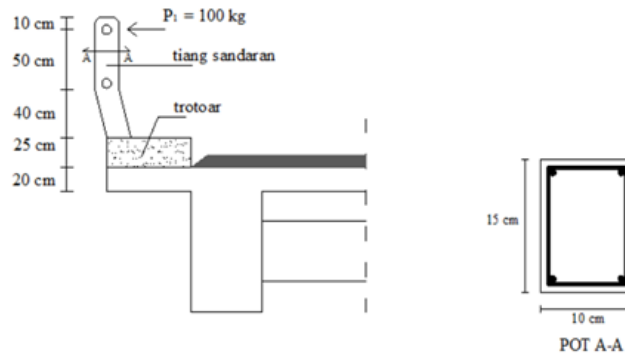


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Sandaran

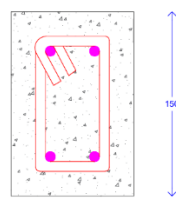
Tiang sandaran sebagai struktur jembatan yang diperhitungkan mampu menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m^2 dan mampu menahan railing sandaran, yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai. Trotoar. Dengan asumsi tiang sandaran sebagai balok kantilver.



Gambar 6. Penampang Melintang Tiang Sandaran
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Sandaran merupakan tiang beton dengan mutu $f_c' = 17 \text{ Mpa}$ dan mutu baja $f_y = 240 \text{ Mpa}$ dengan jarak antar tiang sandaran = 2 m yang dikombinasikan dengan pipa besi dengan berat jenis 7,5 kg/m. Penulangan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil desain tulangan railing

Gambar detail Tulangan tiang sandaran 		100
		150
Ukuran (mm)	100 x 150	
spesifikasi	4D8	
Beton F_c'	17 MPa	
Selimut beton	20 mm	
Tulangan pokok	4D8	
Senggang	D8-300	

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Perencanaan Trotoar

Trotoar merupakan lantai yang menahan beban hidup dari pejalan kaki maupun beban sendiri. Berikut merupakan hasil perhitungan tulangan perencanaan trotoar pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Desain Tulangan Trotoar

Tulangan	Momen (kN.m)	As perlu (mm^2)	As pakai (mm^2)	Tulangan teoritis	Tulangan terpasang
Pokok	4,67	1382,5	1460,6	D13-96,1	D13-90
Bagi		691,25	929,5	D13-192	D13-150

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Perhitungan pelat lantai kendaraan meliputi analisis beban lantai kendaraan yang meliputi aksi tetap, aksi sementara dan aksi lingkungan serta perhitungan tulangan memanjang dan tulangan melintang. Aksi tetap merupakan berat sendiri struktur dan beban mati tambahan, aksi sementara merupakan beban truk “T”, sedangkan aksi lingkungan merupakan gaya angin. Berikut adalah hasil perencanaan penulangan slab jembatan pada gambar 7.

Tabel 7. Hasil Desain Tulangan Pelat Lantai Kendaraan

Tulangan	daerah	Mom (kN.m)	As perlu (mm ²)	As pakai (mm ²)	Tulangan teoritis	Tulangan terpasang
melintang	tumpuan	80,766	1050,81	1408	D16-168,8	D16-150
	lapangan	53,115	706,67	1005,71	D16-292	D16-250
memanjang	tumpuan	101,375	2186,27	3017,14	D16-76,4	D16-50
	lapangan	160,32	1334,25	1810,29	D16-138	D16-100

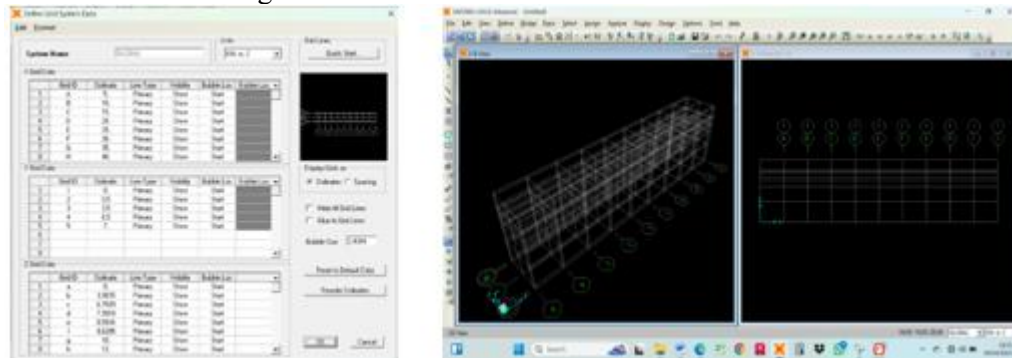
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Perhitungan Struktur Pelengkung

Dalam hal ini, dilakukan perhitungan besarnya beban-beban yang bekerja pada jembatan. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk desain struktur jembatan dengan bantuan program SAP2000.

Pemodelan Jembatan Pelengkung

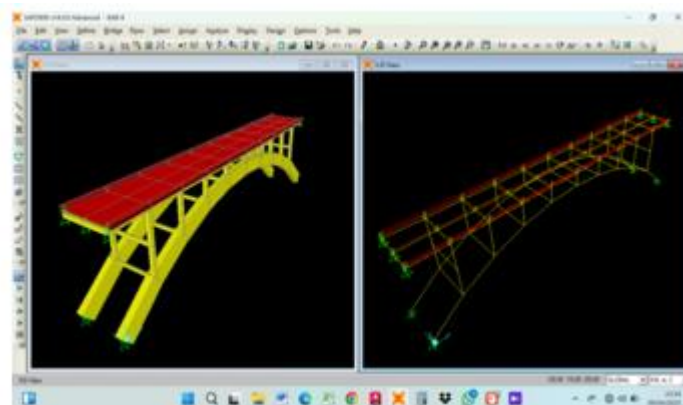
Buat model struktur isi sebagai berikut.



Gambar 7. Tampilan Menu Sap2000

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

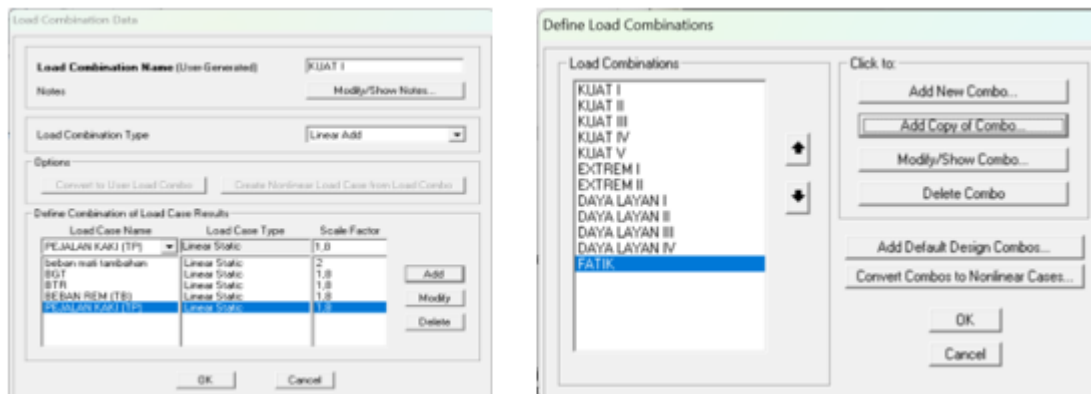
Kemudian definisikan material yang dipakai, definisikan profil yang dipakai, aplikasikan profil pada model dan buat join link untuk menghubungkan pelat lantai dengan balok sehingga menghasilkan model struktur jembatan seperti pada gambar:



Gambar 8. Tampilan Hasil Pemodelan Sap2000

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

Kombinasi pembebanan tampak pada gambar 9 sebagai berikut.

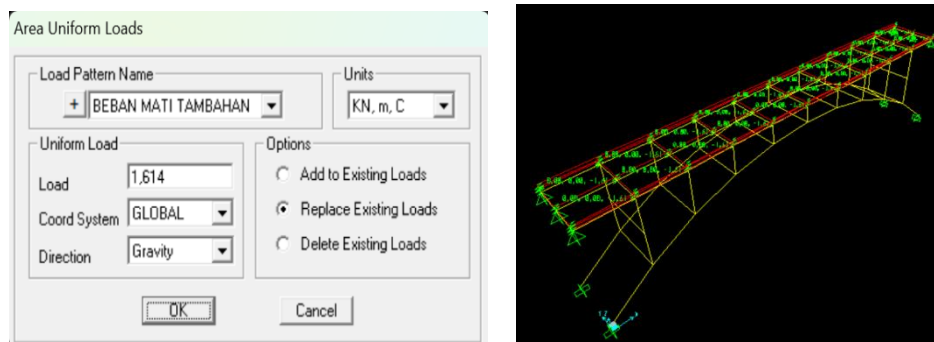


Gambar 9. Tampilan Menu Load Combination Dan Define Load Combination Sap2000

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

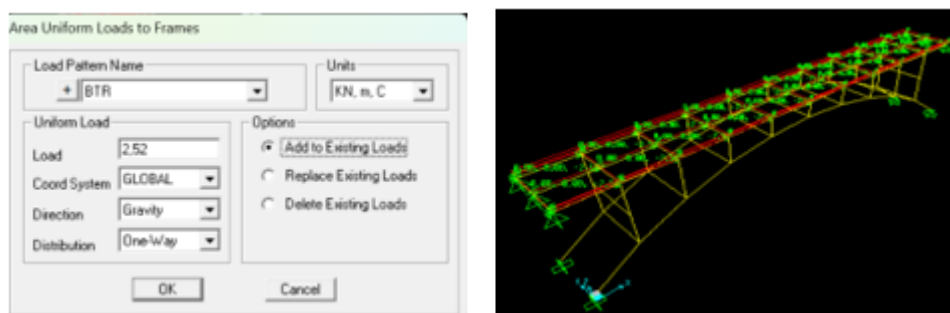
Aplikasikan beban pada program

Beban mati dihitung secara otomatis oleh program sedangkan beban mati tambahan, beban lalu lintas yakni beban D, terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT), beban pejalan kaki (TP) pada trotoar, beban rem (TB), beban angin pada kendaraan (Ewl) dan struktur (Ews) dan beban gempa (EQ) diinput kedalam program sebagaimana ditunjukkan gambar dibawah ini.



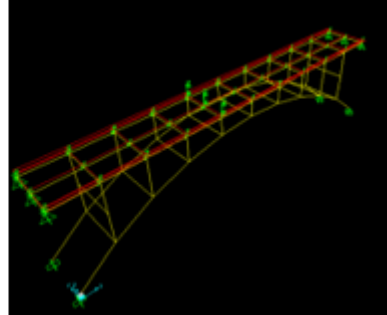
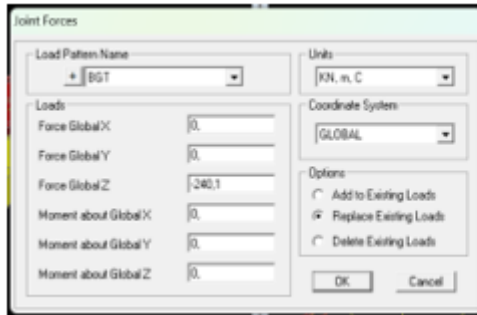
Gambar 10. Beban Mati Tambahan

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

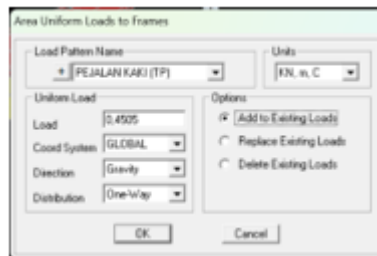


Gambar 11. Beban BTR

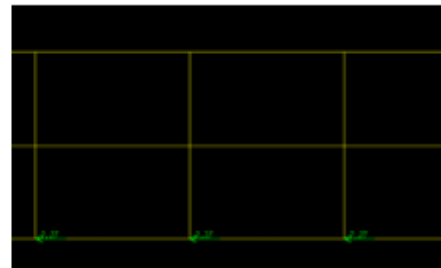
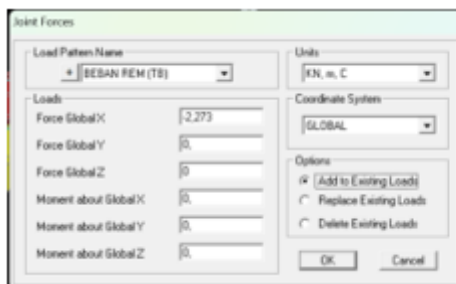
Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000



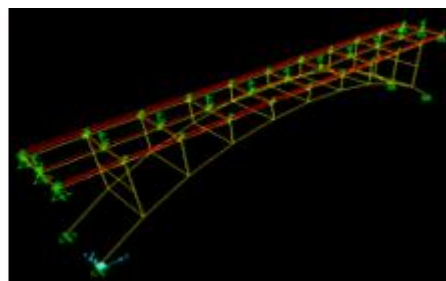
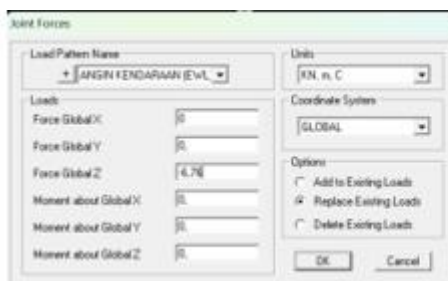
Gambar 12. Beban GBT
Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000



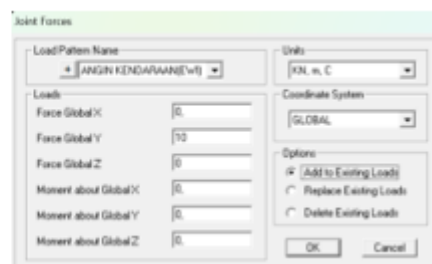
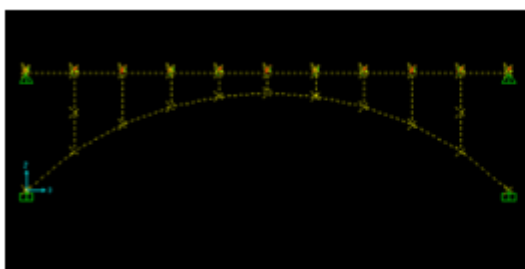
Gambar 13. Beban TP
Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000



Gambar 14. Beban rem (TB)
Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

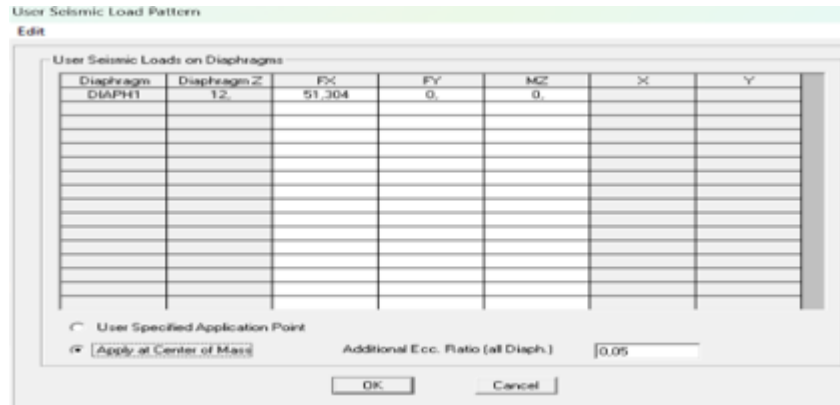


Gambar 15. Beban angin pada kendaraan (Ewl)
Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000



Gambar 16. Beban Angin Pada Struktur (Ews)

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

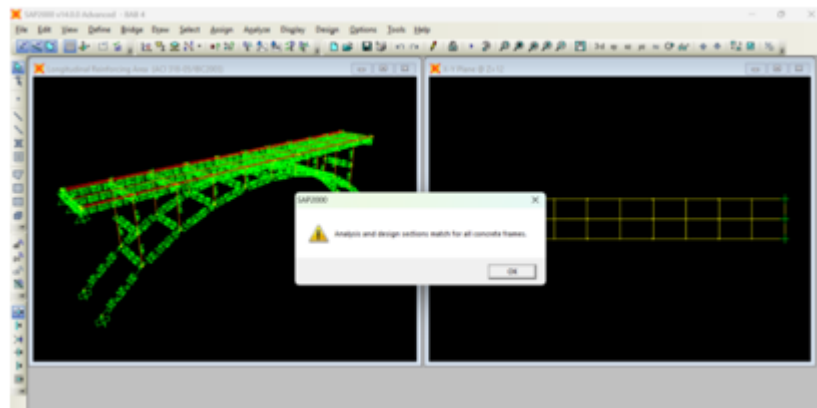


Gambar 17. Beban Gempa

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

Analisis dan Disain

Hasil analisis dan disain struktur jembatan diperoleh penampang yang direncanakan mempunyai kapasitas tegangan yang terjadi lebih kecil dari yang disyaratkan sebagaimana terlihat pada gambar 18.



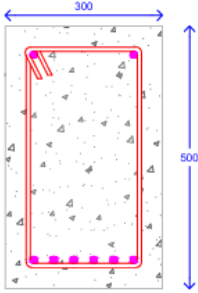
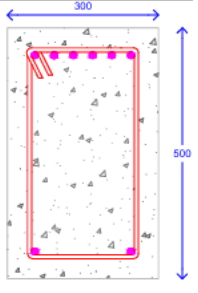
Gambar 18. Tampilan Cek Design Structure

Sumber: Hasil Aplikasi SAP2000

Desain Balok 30/50

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat momen maksimum pada tumpuan balok girder sebesar 11,331 kNm, pada daerah lapangan sebesar 8,6261 kN.m dan gaya geser maksimum sebesar 11,721 kN. hasil penulangan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Desain Tulangan Balok 30/50

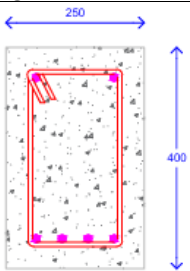
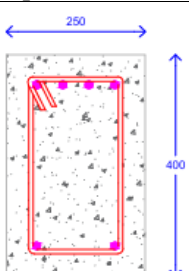
	Lapangan	Tumpuan
Gambar detail Balok 30/50		
	300 x 500	300 x 500
SPESIFIKASI		
Beton F_c'	30 MPa	
Selimit beton	40 mm	
Tulangan Atas	2D13	6D13
Tulangan Bawah	6D13	2D13
Sengkang	D8-300	D8-150

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Desain Balok Pengaku 25/40

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat momen maksimum pada tumpuan balok girder sebesar 9,075 kNm, pada daerah lapangan sebesar 4,795 kN.m dan gaya geser maksimum sebesar 9,190 kN. hasil penulangan dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Desain Tulangan Balok Pengaku 25/40

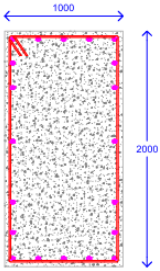
	Lapangan	Tumpuan
Gambar detail balok pengaku 25/40		
	250 x 400	250 x 400
SPESIFIKASI		
Beton F_c'	30 MPa	
Selimit beton	40 mm	
Tulangan Atas	2D13	4D13
Tulangan Bawah	4D13	2D13
Sengkang	D8-300	D8-150

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Desain Balok Pelengkung 100/200

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat momen maksimum pada tumpuan balok girder sebesar 905,492 kNm, pada daerah lapangan sebesar 815,3867 kN.m dan gaya geser maksimum sebesar $V_u = 274,465$ kN, $P_u = 5002,226$ kN. hasil penulangan dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Desain Tulangan Balok Pelengkung 100/200

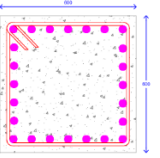
Gambar detail Balok pelengkung 100/200 	
Ukuran (mm)	1000 x 2000
SPESIFIKASI	
Mutu beton (F_c')	30 MPa
Selimut beton	40 mm
Tulangan Atas	9D32
Tulangan Tengah	2D32
Tulangan Bawah	9D32
Sengkang	D13 - 200

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Desain Kolom 60/60

Dari hasil analisis SAP 2000 v.14 didapat $V_u = 91,902$ kN, $P_u = 362,018$ kN. hasil penulangan dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Desain Tulangan Kolom

Gambar detail Kolom 60/60 	
Ukuran (mm)	600 x 600
SPESIFIKASI	
Mutu beton (F_c')	30 MPa
Selimut beton	30 mm
Tulangan utama	24D32
Sengkang	D13-200

Sumber: Hasil Analisis, 2025

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa perancangan ulang Jembatan Wolowona menggunakan struktur pelengkung beton bertulang tipe *true arch* dengan bentang 50 meter adalah layak secara teknis dan kokoh. Desain ini sepenuhnya mematuhi standar nasional Indonesia yang relevan, termasuk SNI 1725:2016 (pembebanan), SNI 2833:2016 (ketahanan gempa), dan SNI 2847:2019 (perancangan beton bertulang). Struktur pelengkung beton ini merupakan struktur alternatif dari struktur rangka baja yang ada. Struktur ini menawarkan durabilitas jangka panjang, ketahanan korosi, dan resiliensi yang lebih baik terhadap beban lingkungan, serta berpotensi memiliki biaya siklus hidup yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambroziak, A., & Malinowski, M. (2021). A 95-Year-Old Concrete Arch Bridge: From Materials Characterization to Structural Analysis. *Materials*, 14(7), 1744. <https://doi.org/10.3390/ma14071744>
- Ansari, A., Alluqmani, A. E., Huang, Z., Lee, J.-H., Özden, G., Fissaha, Y., Saidani, T., & Ansari, A. (2025). Fuzzy synthetic approach for seismic risk assessment of bridges with insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquake in Türkiye. *Scientific Reports*, 15(1), 13418. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98277-5>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. In *Jakarta*.
- Deng, F., Huang, Y., & Azarmi, F. (2019). Corrosion Behavior Evaluation of Coated Steel Using Fiber Bragg Grating Sensors. *Coatings*, 9(1), 55. <https://doi.org/10.3390/coatings9010055>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2016a). SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. In *Badan Standarisasi Nasional*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2016b). SNI 2833:2016 Perancangan jembatan terhadap beban gempa. In *Badan Standarisasi Nasional*. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/439/sni-2833-2016-standar-perencanaan-ketahanan-gempa-untuk-jembatan.pdf>
- Gonzalez, A., Schorr, M., Valdez, B., & Mungaray, A. (2020). Bridges: Structures and Materials, Ancient and Modern. In *Infrastructure Management and Construction*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90718>
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Perancangan jembatan pelengkung*.
- Rabi, R. R., Vailati, M., & Monti, G. (2024). Effectiveness of Vibration-Based Techniques for Damage Localization and Lifetime Prediction in Structural Health Monitoring of Bridges: A Comprehensive Review. *Buildings*, 14(4), 1183. <https://doi.org/10.3390/buildings14041183>
- Sotoudeh, S., Jahangiri, M., Ranjbaria, M., & Zakeri, J.-A. (2020). Three-dimensional Modeling of an Old Masonry Bridge and Assessing Its Current Capacity. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/PPci.14942>
- Suku, Y. L. (2018). Pemodelan dan Analisis Perilaku Balok Beton Bertulang yang Berbeda Diameter Akibat Variasi Tata Letak Tulangannya. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 20. <https://doi.org/10.14710/mkts.v24i1.17303>
- Suku, Y. L., & Je, K. (2020). Modeling and Analysis of the Effect of Holes in Reinforced Concrete Column Structures. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(1), 27. <https://doi.org/10.22146/jcef.48722>
- Suku, Y. L., & Radja, V. M. (2024). Stability of substructure Malapedho Bridge in Ngada Regency, East Nusa Tenggara Province. *Multidiscip. Sci. J*, 6, 2024263. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024263>
- Suku, Y. L., & Radja, V. M. (2025). Analysis study of reinforced concrete frame structures with infill walls due to lateral loads using the equivalent diagonal strut and finite element method. *Journal of Applied Engineering Science*, 23(1), 37–44. <https://doi.org/10.5937/jaes0-50941>
- Tang, D., & Huang, M. (2024). The Sustainable Development of Bridges in China: Collapse Cause Analysis, Existing Management Dilemmas and Potential Solutions. *Buildings*, 14(2), 419. <https://doi.org/10.3390/buildings14020419>

- Tenchini, A., Rebelo, C., Simões da Silva, L., & Lima, L. (2017). Dual-concentrically Braced Frames Using High Strength Steel – Seismic Response. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1), 496–512. <https://doi.org/10.2174/1874149501711010496>
- Trigg, M. A., Dehghani, M. S., Kesete, Y. Y., Carr, A. B., Trigg, S. G., Zekkos, D., Lopez, D., Pertierra, M., van Westen, C. J., Jetten, V., & Ogden, F. L. (2023). Realities of bridge resilience in Small Island Developing States. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 28(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s11027-022-10035-4>
- Wang, E., Liu, Z., Li, M., & Zhao, D. (2022). Implication of bridge resilience design and lessons from negative examples. *Advances in Bridge Engineering*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s43251-022-00077-8>
- Wu, X., Chen, S., Hu, Y., Wang, Z., & Li, Z. (2024). Analysis and Real-Time Monitoring of the Influence of Wind Load on a High-Altitude Steel Connecting Bridge with Small Spacing. *Buildings*, 14(6), 1755. <https://doi.org/10.3390/buildings14061755>