

Perencanaan Struktur Atas Jembatan Negeri Hutumuri Kota Ambon dengan Beban Gandar Truk 112,5 kN Sesuai SNI 1725:2016

Vector Johannes^{1*}, Yarol Usmany²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Maluku, Ambon, Indonesia

²Universitas Kristen Indonesia Maluku, Ambon, Indonesia

Corresponding Author's e-mail: vectorjohannes2020@gmail.com



e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 08 Agustus, 2026

Page: 3491-3505

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i8.3204>

Article History:

Received: Juni 21, 2026

Revised: Juli 29, 2026

Accepted: Agustus 18, 2026

Abstract : Negeri Hutumuri Bridge on Gang Rambutan, Ambon City, suffered damage to its deck slab and railing, restricting heavy vehicles; therefore, the superstructure was reconstructed by replacing the slab system with girders. This study aims to analyse loading based on a 112.5 kN truck axle load in accordance with SNI 1725:2016, structural response using SAP2000, and reinforcement design for the railing, deck slab, girders, and diaphragm. A qualitative approach used field measurement data and secondary data comprising design drawings and technical data. Analysis involved load calculations, SAP2000 v14 modelling, and reinforcement calculations. Results show dead and live loads of 469.28 kN and an equivalent static seismic load of 525 kN. The STRENGTH I load combination produced internal forces satisfying design requirements. Reinforcement comprised railing 7D12 tension, 3D12 compression, D12-150 mm vertical; slab Ø12-60 mm and D12-100 mm; girders 13D19-17D19 tension, 4D19-5D19 compression, Ø12-60/100 mm stirrups; and diaphragm 4D19 with Ø12-70 mm stirrups.

Keywords : Bridge Superstructure; Structural Design; Axle Load; SNI 1725:2016; Hutumuri Bridge.

Abstrak : Jembatan Negeri Hutumuri di Gang Rambutan, Kota Ambon, mengalami kerusakan pada pelat lantai dan sandaran yang membatasi kendaraan berat, sehingga dilakukan rekonstruksi struktur atas dengan mengganti sistem pelat menjadi sistem gelagar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pembebanan berdasarkan beban gandar truk 112,5 kN sesuai SNI 1725:2016, respons struktur menggunakan SAP2000, serta merencanakan penulangan sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan data primer hasil pengukuran lapangan dan data sekunder berupa gambar rencana serta data teknis jembatan. Analisis dilakukan melalui perhitungan pembebanan, pemodelan SAP2000 v14, dan perhitungan manual penulangan. Hasil menunjukkan beban mati dan hidup sebesar 469,28 kN serta beban gempa statik ekuivalen 525 kN. Kombinasi pembebanan KUAT I menghasilkan gaya dalam yang memenuhi kebutuhan desain. Penulangan meliputi sandaran 7D12 tarik, 3D12 tekan, D12-150 mm vertikal; pelat Ø12-60 mm dan D12-100 mm; gelagar 13D19-17D19 tulangan tarik, 4D19-5D19 tulangan tekan, serta sengkang Ø12-60/100 mm; dan diafragma 4D19 dengan sengkang Ø12-70 mm.

Kata Kunci: Jembatan, Struktur Atas, Perencanaan Struktur, Beban Gandar 112,5 kN, SNI 1725:2016.

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu elemen penting dalam sistem transportasi karena berfungsi menjaga kontinuitas pergerakan manusia, barang, dan kendaraan ketika suatu ruas jalan harus melintasi sungai, lembah, jalan lain, atau hambatan fisik. Dalam sistem transportasi, jembatan tidak hanya berperan sebagai penghubung, tetapi juga menjadi komponen yang menentukan kapasitas jaringan, memiliki biaya konstruksi relatif tinggi, dan dapat menyebabkan terganggunya sistem transportasi apabila mengalami keruntuhan atau kehilangan fungsi (Supriyadi & Muntohar, 2017). Kondisi tersebut menjadikan keandalan dan keselamatan jembatan sebagai aspek penting yang harus dipertahankan selama umur layan struktur. Perkembangan penelitian terkini juga menunjukkan bahwa penuaan, kerusakan elemen, pertumbuhan beban lalu lintas, serta penurunan kapasitas struktural menjadi tantangan utama dalam pengelolaan jembatan eksisting. Rashidi et al. (2025), misalnya, menegaskan pentingnya mengintegrasikan evaluasi kondisi eksisting, pemodelan struktur, dan perencanaan penanganan dalam rehabilitasi jembatan yang mengalami penurunan kinerja.

Secara struktural, bangunan atas jembatan merupakan bagian yang secara langsung menerima beban lalu lintas sebelum meneruskannya menuju bangunan bawah. Struktur atas dapat berupa pelat, gelagar, rangka, sistem gantung, *cable-stayed*, maupun pelengkung, yang pemilihannya disesuaikan dengan bentang, kondisi lapangan, material, dan karakteristik pembebanan (Pranowo et al., 2007). Pada sistem pelat-gelagar, beban kendaraan yang diterima pelat lantai didistribusikan kepada gelagar longitudinal, kemudian diteruskan menuju tumpuan dan bangunan bawah. Keberadaan gelagar melintang atau diafragma juga berperan dalam meningkatkan kekakuan lateral dan mendistribusikan beban antar-gelagar. Subedi et al. (2024) menunjukkan melalui analisis elemen hingga bahwa konfigurasi dan jumlah *cross-girder* berpengaruh terhadap distribusi beban hidup, momen lentur, gaya geser, torsi, dan perpindahan pada jembatan beton tipe T-beam. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi struktur atas perlu dianalisis secara menyeluruh dan tidak hanya berdasarkan pendekatan sederhana.

Pembebanan merupakan aspek fundamental dalam perencanaan struktur jembatan karena menentukan gaya dalam dan kapasitas yang harus dipenuhi oleh setiap elemen struktural. Dalam penelitian ini, analisis pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan dan, pada bagian tertentu, PPPJIR 1987. SNI 1725:2016 mengatur beban permanen, beban lalu lintas, beban truk, gaya rem, angin, serta kombinasi pembebanan yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Beban truk dapat digunakan dalam perhitungan struktur lantai, dengan distribusi beban gandar dan bidang kontak roda diperhitungkan sesuai ketentuan standar. Studi mutakhir menegaskan bahwa beban kendaraan, khususnya kendaraan berat, merupakan faktor yang penting dalam mengevaluasi respons dan umur layan pelat jembatan. Zhou dan Chen (2024) menunjukkan bahwa interaksi antara lalu lintas bergerak dan struktur jembatan memengaruhi tegangan serta potensi kerusakan akibat kelelahan pada pelat beton bertulang. Gao dan Fam (2024) melalui kajian *state-of-the-art* juga menegaskan pentingnya mempertimbangkan karakteristik beban roda bergerak dalam mengevaluasi perilaku kelelahan pelat jembatan beton bertulang.

Selain beban gravitasi dan lalu lintas, pengaruh gempa perlu dipertimbangkan dalam perencanaan jembatan, khususnya karena respons struktur dapat dipengaruhi oleh karakteristik massa, kekakuan, konfigurasi elemen, serta sistem penyaluran gaya. Dalam penelitian ini, pengaruh gempa mengacu pada SNI 2833:2016, yang menentukan gaya gempa horizontal berdasarkan koefisien respons elastik, berat struktur ekuivalen, dan faktor modifikasi respons. Penelitian Xu et al. (2024) menunjukkan bahwa tipe dan karakteristik sistem gelagar dapat menghasilkan perbedaan respons seismik pada struktur jembatan, sehingga pemilihan dan evaluasi sistem struktur atas tidak dapat dipisahkan dari aspek ketahanan gempa. Sementara itu, Li et al. (2025) menunjukkan bahwa evaluasi kerentanan seismik jembatan gelagar beton bertulang perlu mempertimbangkan kondisi dan kerusakan aktual struktur karena elemen utama seperti gelagar, pier, abutmen, dan perletakan dapat menunjukkan tingkat kerentanan yang berbeda.

Permasalahan struktur tersebut menjadi relevan pada Jembatan Negeri Hutumuri yang terletak di RT 01/RW 03, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Jembatan ini memiliki panjang bentang 6,5 m, lebar 3,5 m, dan tebal pelat 30 cm serta dibangun secara swadaya oleh masyarakat Negeri Hutumuri sekitar tahun 1960. Jembatan berfungsi sebagai akses penghubung antara Gang Pos dan Gang Rambutan untuk melintasi alur sungai. Kondisi eksisting menunjukkan bahwa struktur lama mengalami keropos pada bagian pelat dan kerusakan pada sandaran sehingga kendaraan berat, terutama truk dengan muatan besar, tidak dapat melintasi jembatan secara aman. Kondisi tersebut menunjukkan adanya penurunan fungsi pelayanan sekaligus kebutuhan untuk mengevaluasi kembali kemampuan struktur terhadap beban kendaraan yang direncanakan. Permasalahan pada jembatan yang telah berumur panjang juga sejalan dengan temuan Gino et al. (2024), yang menunjukkan bahwa evaluasi struktur jembatan lama membutuhkan penilaian terhadap kemampuan aktual elemen setelah mengalami masa pelayanan yang panjang. Bertagnoli et al. (2024) juga menunjukkan bahwa tingkat kerusakan struktur dapat memengaruhi kapasitas keselamatan jembatan dan bahwa analisis numerik dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi struktur pada berbagai skenario kerusakan.

Salah satu alternatif penanganan terhadap kondisi Jembatan Negeri Hutumuri adalah melakukan rekonstruksi struktur atas dengan mengganti sistem pelat beton bertulang eksisting menjadi sistem pelat-gelagar. Sistem tersebut memungkinkan beban yang bekerja pada pelat didistribusikan kepada gelagar berdasarkan daerah tributari masing-masing, kemudian diteruskan menuju sistem perletakan. Pada jembatan tipe gelagar-pelat, distribusi beban mati pada gelagar ditentukan berdasarkan lebar tributari sebesar setengah jarak gelagar pada sisi kanan dan kiri gelagar yang ditinjau, sedangkan beban lalu lintas dianalisis berdasarkan posisi kendaraan yang memberikan pengaruh kritis terhadap struktur. Pengembangan analisis gelagar juga semakin banyak memanfaatkan pemodelan numerik. Agarwal et al. (2023) menunjukkan bahwa metode elemen hingga dapat digunakan untuk memperoleh gaya dalam, momen lentur, gaya geser, torsi, dan lendutan pada struktur jembatan gelagar secara lebih rinci dibandingkan pendekatan analitis sederhana. Pada konteks desain jangka panjang, Zemed et al. (2025) juga menunjukkan bahwa geometri dan kapasitas gelagar beton bertulang perlu dievaluasi dengan mempertimbangkan pembebanan, kondisi pelayanan, serta degradasi struktural yang dapat terjadi selama umur jembatan.

Analisis struktur secara numerik menjadi penting karena respons suatu sistem jembatan merupakan hasil interaksi berbagai elemen, material, kondisi tumpuan, dan kombinasi beban. Analisis struktur dapat dilakukan dengan pendekatan satu dimensi maupun analisis rinci dua atau tiga dimensi menggunakan metode elemen hingga. SAP2000 merupakan perangkat lunak analisis dan desain struktur yang dapat digunakan untuk memodelkan berbagai elemen teknik sipil, termasuk jembatan. Penggunaan pemodelan numerik memungkinkan nilai gaya dalam yang dihasilkan dari berbagai kombinasi pembebanan digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan tulangan pada sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma. Prinsip tersebut konsisten dengan perkembangan analisis jembatan terkini yang semakin mengintegrasikan hasil inspeksi, evaluasi kerusakan, dan pemodelan numerik untuk memperoleh keputusan penanganan yang lebih rasional (Rashidi et al., 2025; Bertagnoli et al., 2024).

State-of-the-art penelitian jembatan dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan berkembangnya penggunaan metode numerik untuk mengevaluasi respons struktur terhadap beban lalu lintas, konfigurasi gelagar, degradasi material, kerusakan eksisting, kelelahan, dan pengaruh gempa. Agarwal et al. (2023) mengembangkan analisis elemen hingga pada jembatan gelagar beton; Zhou dan Chen (2024) mengintegrasikan interaksi kendaraan-jembatan dengan model elemen hingga pelat; Gao dan Fam (2024) mengkaji perkembangan terbaru perilaku kelelahan pelat akibat beban roda bergerak; Bertagnoli et al. (2024) mengevaluasi keselamatan jembatan pada berbagai skenario kerusakan; Subedi et al. (2024) mengkaji pengaruh *cross-girder* terhadap distribusi respons T-beam; Xu et al. (2024) mengevaluasi kerentanan seismik sistem gelagar; dan Gino et al. (2024) menguji kemampuan elemen jembatan setelah masa pelayanan yang panjang. Kajian yang lebih baru oleh Li et al. (2025) menghubungkan inspeksi lapangan dengan evaluasi kerentanan jembatan, Rashidi et al. (2025) mengintegrasikan asesmen struktur

dengan perencanaan tindakan remedial, sedangkan Zemed et al. (2025) mengembangkan optimasi gelagar beton bertulang dengan mempertimbangkan reliabilitas dan kinerja jangka panjang.

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kemajuan penting, berdasarkan telaah terhadap studi-studi tersebut masih terdapat ruang penelitian pada integrasi antara kondisi kerusakan jembatan lokal bentang pendek, perubahan sistem struktur atas dari pelat menjadi pelat-gelagar, penerapan beban gandar truk spesifik berdasarkan standar nasional Indonesia, analisis respons menggunakan SAP2000, serta perencanaan penulangan seluruh komponen utama struktur atas dalam satu studi rekonstruksi. Studi terdahulu cenderung berfokus pada aspek tertentu, seperti kelelahan pelat, perilaku gelagar, distribusi *cross-girder*, kinerja seismik, reliabilitas, atau asesmen struktur eksisting secara terpisah. Dengan demikian, *research gap* penelitian ini terletak pada kebutuhan pendekatan desain rekonstruksi yang menghubungkan kondisi aktual struktur dengan pembebanan yang berlaku, pemodelan numerik, serta kebutuhan penulangan elemen secara terpadu.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada perencanaan rekonstruksi struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri melalui transformasi sistem pelat eksisting menjadi sistem pelat-gelagar dengan menerapkan beban gandar truk sebesar 112,5 kN sesuai SNI 1725:2016, menganalisis respons struktur menggunakan SAP2000, serta menentukan kebutuhan penulangan sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma berdasarkan gaya dalam hasil analisis. Penelitian ini dengan demikian tidak hanya mengevaluasi satu elemen struktur, tetapi mengintegrasikan pembebanan, analisis struktur, dan desain penulangan sebagai satu rangkaian perencanaan struktur atas.

Sejalan dengan rumusan permasalahan penelitian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pembebanan yang bekerja pada struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri berdasarkan beban gandar truk 112,5 kN sesuai SNI 1725:2016, menganalisis respons struktur atas menggunakan program SAP2000, serta menganalisis kebutuhan penulangan sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma. Perencanaan penulangan mengacu pada prinsip perencanaan struktur beton bertulang untuk jembatan serta ketentuan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019 sebagaimana digunakan pada dokumen penelitian.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengembalikan fungsi pelayanan Jembatan Negeri Hutumuri secara aman, khususnya dalam mengakomodasi kendaraan berat yang saat ini mengalami pembatasan akibat kerusakan struktur eksisting. Rekonstruksi struktur atas perlu didasarkan pada evaluasi pembebanan, respons struktur, dan kebutuhan kapasitas elemen, bukan hanya penggantian fisik komponen yang mengalami kerusakan. Pendekatan tersebut diharapkan menghasilkan struktur atas yang memiliki kapasitas dan tingkat pelayanan yang lebih baik serta dapat menjadi referensi teknis bagi perencanaan rekonstruksi jembatan bentang pendek dengan permasalahan serupa.

METODE PENELITIAN

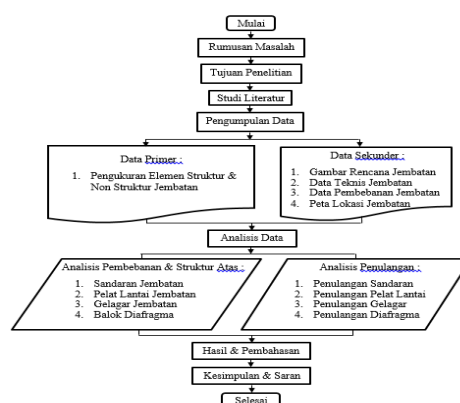
Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*engineering research*) dengan pendekatan kuantitatif-deskriptif yang bertujuan mengevaluasi dan merencanakan struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri berdasarkan kondisi eksisting, pembebanan rencana, respons struktur, dan kebutuhan penulangan. Analisis dilakukan melalui kombinasi pengukuran lapangan, perhitungan pembebanan secara manual, pemodelan struktur menggunakan SAP2000 versi 14, serta perhitungan kebutuhan penulangan elemen struktur atas. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh respons struktur berupa gaya-gaya dalam yang selanjutnya menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan penulangan sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma.

Penelitian dilaksanakan pada Jembatan Negeri Hutumuri yang berada di ruas Gang Pos-Rambutan, Negeri Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Jembatan tersebut memiliki bentang sekitar 6,5 m dan berfungsi sebagai akses penghubung antara Gang Pos dan Gang Rambutan. Kondisi eksisting menunjukkan adanya kerusakan pada pelat dan sandaran yang menyebabkan keterbatasan akses kendaraan berat. Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 9 Oktober 2024 hingga September 2025, yang meliputi tahap survei lapangan,

pengumpulan data, analisis pembebanan, pemodelan struktur, perhitungan penulangan, dan penyusunan hasil penelitian.

Populasi penelitian mencakup seluruh elemen struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri yang menjadi bagian dari sistem penerima dan penyalur beban. Subjek atau objek analisis dalam penelitian difokuskan pada elemen sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma. Pemilihan seluruh elemen tersebut dilakukan karena masing-masing memiliki fungsi struktural yang saling berkaitan dalam menerima, mendistribusikan, dan meneruskan beban yang bekerja pada struktur atas jembatan. Dengan demikian, penelitian ini tidak menggunakan sampel dalam pengertian statistik, tetapi melakukan analisis terhadap seluruh elemen utama struktur atas yang direncanakan dalam rekonstruksi jembatan.

Prosedur penelitian dilaksanakan secara sistematis melalui beberapa tahapan. Tahap awal dilakukan dengan identifikasi kondisi eksisting jembatan dan pengukuran dimensi elemen struktur maupun nonstruktur di lokasi penelitian. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data teknis berupa gambar rencana, karakteristik jembatan, data pembebanan, dan informasi lokasi. Data tersebut kemudian digunakan untuk menentukan beban yang bekerja pada struktur atas, termasuk beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban truk, gaya rem, beban angin, dan pengaruh gempa sesuai standar perencanaan yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pemodelan struktur atas menggunakan SAP2000 versi 14 untuk memperoleh respons struktur akibat kombinasi pembebanan. Hasil pemodelan berupa momen lentur, gaya geser, gaya aksial, dan gaya dalam lainnya kemudian digunakan sebagai dasar perencanaan penulangan. Tahap akhir dilakukan dengan perhitungan kebutuhan tulangan pada sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma serta evaluasi kesesuaiannya terhadap ketentuan desain.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei dan pengukuran langsung di lapangan terhadap dimensi serta kondisi elemen struktur dan nonstruktur jembatan dengan menggunakan meteran, perangkat Android, alat tulis, dan dokumentasi lapangan. Data sekunder terdiri atas gambar rencana, data teknis jembatan, data pembebanan, peta lokasi, standar perencanaan, serta referensi teknis yang berkaitan dengan perencanaan jembatan. Instrumen dan perangkat pendukung yang digunakan meliputi laptop, Google Earth untuk identifikasi dan pemetaan lokasi, AutoCAD 2007 untuk pengolahan gambar teknis, Microsoft Excel 2013 untuk membantu perhitungan dan pengolahan data, Microsoft Word 2013 untuk dokumentasi penelitian, serta SAP2000 versi 14 sebagai perangkat utama pemodelan dan analisis struktur.

Teknik analisis data dilakukan dalam tiga tahapan utama. Pertama, analisis pembebanan dilakukan untuk menentukan besarnya seluruh beban yang bekerja pada struktur atas jembatan, baik yang berasal dari elemen struktural maupun nonstruktural, dengan mengacu pada ketentuan SNI 1725:2016 dan standar terkait. Kedua, analisis struktur dilakukan menggunakan SAP2000 versi 14 dengan memasukkan karakteristik material, dimensi elemen, kondisi tumpuan, serta kombinasi pembebanan untuk memperoleh respons struktur dan gaya-gaya dalam pada masing-masing elemen. Hasil analisis perangkat lunak selanjutnya dibandingkan dan dikontrol melalui

perhitungan manual pada bagian yang diperlukan. Ketiga, analisis penulangan dilakukan berdasarkan nilai gaya dalam hasil pemodelan untuk menentukan kebutuhan luas dan konfigurasi tulangan pada sandaran, pelat lantai, gelagar, dan diafragma. Hasil akhir analisis digunakan untuk menilai kecukupan desain struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri terhadap pembebanan rencana yang ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Umum Perencanaan Jembatan

Berikut data umum perencanaan jembatan tipe gelagar T beton bertulang pada negeri Hutumuri kota Ambon.

Tabel 1. Data Teknis Jembatan Negeri Hutumuri Kota Ambon

No.	Parameter	Dimensi / Spesifikasi
1	Panjang jembatan	5,50 m
2	Jumlah bentang	1 bentang
3	Panjang bentang	5,50 m
4	Lebar jembatan	4,60 m
5	Lebar lantai kendaraan	4,00 m
6	Lebar pelat lantai	4,50 m
7	Gelagar jembatan	
	Panjang gelagar	5,50 m
	Lebar gelagar	0,40 m
	Tinggi gelagar	0,50 m
8	Diafragma	
	Panjang diafragma	1,20 m
	Lebar diafragma	0,20 m
	Tinggi diafragma	0,35 m
9	Sandaran beton	
	Panjang sandaran	5,50 m
	Lebar sandaran	0,20 m
	Tinggi sandaran	0,75 m
10	Mutu beton (f'_c)	30 MPa
11	Mutu baja tulangan (f_y)	420 MPa dan 280 MPa

Analisis Pembebanan Struktur Atas Jembatan

Analisis pembebanan struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri dilakukan terhadap elemen sandaran dan *railing* serta pelat lantai jembatan. Pada sandaran dan *railing*, beban mati yang bekerja diperoleh sebesar 41,06 kN untuk dua sisi jembatan, sedangkan beban hidup horizontal ditetapkan sebesar 100 kg/m' sesuai ketentuan PPPJIR 1987 Pasal 2.5.c. Selanjutnya, analisis pembebanan pelat lantai mengacu pada SNI 1725:2016 dengan mempertimbangkan beban permanen dan beban transien yang bekerja pada struktur. Beban permanen terdiri atas berat sendiri pelat (M_S) dan beban mati tambahan (M_A). Berat sendiri pelat dihitung berdasarkan tebal pelat dan berat jenis material sehingga diperoleh sebesar 4,80 kN/m², dengan faktor beban ultimit sebesar 1,3 sesuai SNI 1725:2016 Pasal 7.2. Beban mati tambahan berasal dari lapisan aspal sebesar 1,10 kN/m² dan beban air hujan sebesar 0,50 kN/m², dengan faktor beban ultimit sebesar 2,0 sesuai SNI 1725:2016 Pasal 7.3.

Beban transien pada pelat lantai meliputi beban hidup truk (TT), gaya rem (TB), dan beban pejalan kaki (TP). Berdasarkan SNI 1725:2016, beban truk rencana (TT) memiliki berat total sebesar 500 kN, namun dalam perhitungan kekuatan pelat digunakan beban roda gandar sebesar 112,5 kN. Beban tersebut bekerja pada bidang kontak roda dengan permukaan lantai berukuran lebar 25 cm dan panjang 75 cm, sehingga tekanan akibat beban gandar diperoleh sebesar 600 kN/m². Nilai ini digunakan sebagai dasar dalam analisis kekuatan pelat dengan faktor beban ultimit sebesar 1,8 sesuai SNI 1725:2016 Pasal 8.4. Selain itu, gaya rem (TB) diperhitungkan sebesar 25% dari berat satu gandar truk desain, sehingga diperoleh nilai sebesar 6,25 kN. Beban

pejalan kaki (*TP*) ditetapkan sebesar 5 kPa atau setara dengan 5 kN/m². Seluruh komponen pembebanan tersebut kemudian dikombinasikan sesuai ketentuan pembebanan yang berlaku untuk memperoleh kondisi pembebanan kritis pada pelat lantai dan digunakan sebagai dasar dalam analisis struktur serta perencanaan penulangan.

Tabel 2. Kombinasi Beban Pelat Lantai

Kuat I	γ MS	+	γ MA	+	TT	+	TB	+	TP
	1,3 x MS	+	2 x MA	+	1,8 x TT	+	1,8 x TB	+	1,8 x TP
Daya Layan II	MS	+	MA	+	TT	+	TB	+	TP
	1 x MS	+	1 x MA	+	1,3 x TT	+	1,3 x TB	+	1,3 x TP

Analisis pembebanan gelagar dilakukan dengan memperhitungkan berat sendiri gelagar (*MS*) sebagai salah satu beban permanen yang bekerja pada struktur atas jembatan. Berdasarkan hasil perhitungan, berat sendiri satu buah gelagar diperoleh dari volume gelagar dikalikan dengan berat jenis material sebesar 31,68 kN. Dengan jumlah gelagar sebanyak 4 buah, total berat sendiri gelagar menjadi sebesar 126,73 kN. Dalam analisis menggunakan SAP2000, berat sendiri gelagar dimasukkan secara otomatis melalui fitur *self-weight*, sehingga nilai perhitungan manual tersebut digunakan sebagai kontrol sekaligus sebagai bagian dari perhitungan berat total struktur (*Wt*). Untuk kondisi ultimit, berat sendiri gelagar menggunakan faktor beban sebesar 1,3. Selain berat sendiri, analisis gelagar juga memperhitungkan beban mati tambahan (*MA*), yaitu beban permanen nonstruktural yang bekerja pada gelagar dan diteruskan melalui sistem pelat lantai sesuai konfigurasi struktur jembatan.

Tabel 3. Beban Mati Tambahan Pada Gelagar

No	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
1	Aspal + Overlay	1,20	0,05	22	1,32
2	Genangan Air Hujan	1,20	0,05	10	0,60
3	Beban mati tambahan			MA	1,92

Selain berat sendiri gelagar, analisis pembebanan juga memperhitungkan beban mati tambahan (*MA*) sebesar 1,92 kN/m yang dimasukkan secara langsung pada elemen gelagar dalam pemodelan SAP2000, dengan faktor beban ultimit sebesar 2,0. Beban hidup truk (*TT*) yang digunakan mengacu pada berat gandar truk desain sebesar 112,5 kN dengan faktor beban ultimit sebesar 1,8. Selanjutnya, beban angin pada struktur (*FWs*) diperhitungkan sebesar 0,0046 MPa atau setara dengan 4,6 kN/m², yang diterapkan sebagai gaya tekan pada badan gelagar. Selain beban tersebut, analisis juga memperhitungkan beban gempa (*EQ*) berdasarkan SNI 2833:2016. Penentuan spektrum respons desain dilakukan dengan menggunakan data dari laman lini.binamarga.pu.go.id.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh gaya gempa horizontal statis sebesar 525 kN. Dalam analisis ini, *EQ* merupakan gaya gempa horizontal statis, *Csm* merupakan koefisien respons elastis, *R* merupakan faktor modifikasi respons, sedangkan *Wt* merupakan berat total struktur yang terdiri atas beban mati dan beban hidup. Untuk kondisi periode struktur $T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$, nilai koefisien respons elastis (*Csm*) diambil sama dengan nilai percepatan spektral desain (*SDS*), yaitu sebesar 0,895. Seluruh beban yang bekerja pada gelagar, meliputi berat sendiri (*MS*), beban mati tambahan (*MA*), beban hidup truk (*TT*), beban angin (*FWs*), dan beban gempa (*EQ*), selanjutnya dikombinasikan sesuai ketentuan pembebanan yang digunakan untuk memperoleh kondisi gaya dalam paling kritis sebagai dasar analisis dan perencanaan penulangan gelagar.

Tabel 4. Kombinasi Beban Gelagar

Kuat I	γ MS	+	γ MA	+	TT		
	1,3 x MS	+	2 x MA	+	1,8 x TT		
Ekstrem I	γ MS	+	γ MA	+	γ EQ TT	+	EQ
	1,3 x MS	+	2 x MA	+	0,3 x TT	+	1 x EQ
Daya Layan I	MS	+	MA	+	TT	+	EWs
	1 x MS	+	1 x MA	+	1 x TT	+	0,3 x EWs

Analisis pembebanan diafragma dilakukan dengan memperhitungkan berat sendiri diafragma (*MS*) sebagai bagian dari beban permanen yang bekerja pada struktur atas jembatan. Berdasarkan perhitungan volume elemen dikalikan dengan berat jenis material, berat sendiri satu buah diafragma diperoleh sebesar 2,016 kN. Dengan jumlah diafragma sebanyak 9 buah, berat total diafragma selanjutnya diperhitungkan sebagai bagian dari berat struktur dan digunakan dalam analisis pembebanan, dengan faktor beban ultimit sebesar 1,3. Selain berat sendiri, pembebanan diafragma juga memperhitungkan beban mati tambahan (*MA*), yaitu beban permanen nonstruktural yang bekerja dan diteruskan ke elemen diafragma sesuai dengan sistem serta konfigurasi struktur atas jembatan. Nilai-nilai pembebanan tersebut selanjutnya digunakan dalam pemodelan dan analisis struktur untuk memperoleh gaya dalam yang menjadi dasar dalam perencanaan penulangan diafragma.

Tabel 5. Beban Mati Tambahan Pada Diafragma

No	Jenis	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)	BJ (kN/m ³)	Beban (kN)
1	Lapisan Aspal	1,20	1,20	0,05	22	1,584
2	Air Hujan	1,20	1,20	0,05	10	0,72
				MA		2,304

Selain berat sendiri diafragma (*MS*), analisis pembebanan diafragma juga memperhitungkan beban mati tambahan (*MA*) yang ditinjau berdasarkan luas tributari sebesar 1,20 m × 1,20 m. Dari hasil perhitungan diperoleh beban mati tambahan sebesar 2,304 kN, yang selanjutnya dimasukkan secara langsung pada elemen diafragma dalam pemodelan menggunakan SAP2000 dengan faktor beban ultimit sebesar 2,0. Beban transien yang diperhitungkan meliputi beban hidup truk (*TT*) dan beban gempa (*EQ*). Beban hidup truk menggunakan berat gandar truk desain sebesar 112,5 kN dengan faktor beban ultimit sebesar 1,8, sedangkan beban gempa yang bekerja pada struktur diperoleh sebesar 525 kN. Seluruh komponen pembebanan yang bekerja pada diafragma, meliputi berat sendiri (*MS*), beban mati tambahan (*MA*), beban hidup truk (*TT*), dan beban gempa (*EQ*), kemudian disusun dalam kombinasi pembebanan sesuai ketentuan perencanaan yang digunakan. Kombinasi pembebanan tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan SAP2000 untuk memperoleh respons struktur dan gaya-gaya dalam kritis pada elemen diafragma yang menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan penulangan.

Tabel 6. Kombinasi Beban Terhadap Diafragma

Kuat I	γ MS	+	γ MA	+	TT		
	1,3 x MS	+	2 x MA	+	1,8 x TT		
Ekstrem I	γ MS	+	γ MA	+	γ EQ TT	+	EQ
	1 x MS	+	1 x MA	+	0,3 x TT	+	1 x EQ

Rekapitulasi kombinasi beban struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri dilakukan dengan menggabungkan seluruh beban yang bekerja sesuai faktor pembebanan untuk memperoleh kondisi kritis sebagai dasar analisis SAP2000 dan perencanaan penulangan.

Tabel 7. Rekapitulasi Beban Struktur Atas Jembatan

Rekapitulasi Beban Hidup & Mati Pada Struktur Atas Jembatan			
Beban Mati Struktur (kN)			
Berat Sandaran & Railing 2 sisi	=	41,06	kN
Berat Sendiri Pelat	=	118,80	kN
Berat Sendiri Gelagar 4 bh	=	126,72	kN
Berat Sendiri Diafragma 9 bh	=	18,14	kN
Total Beban Mati (MS)	=	304,73	kN
Beban Mati Tambahan (kN)			
Berat Aspal di kemudian hari	=	24,20	kN
Berat Air Hujan	=	11	kN
Total Beban Mati Tambahan (MA)	=	35,20	kN
Beban Hidup (kN)			
Beban Horizontal Sandaran	=	1	kN
Beban Truk TT	=	112,5	kN
Gaya Rem TB	=	6,25	kN
Pejalan Kaki TP	=	5	kN
Tekanan Angin EWs	=	4,6	kN
Total Beban Hidup (LL)	=	129,35	kN
Wt Struktur	=	469,28	kN

Kombinasi gaya gempa dianalisis menggunakan persamaan $DL + \gamma EQ_{LL} \pm 1EQ_x \pm 0,3EQ_y$ dan $DL + \gamma EQ_{LL} \pm 1EQ_y \pm 0,3EQ_x$, yang selanjutnya digunakan bersama kombinasi pembebanan jembatan untuk menentukan kondisi pembebanan paling kritis pada struktur atas.

Tabel 8. Kombinasi Beban Struktur Atas Jembatan

KUAT I Pelat	1,3	MS	2	MA	1,8	TT	1,8	TB	1,8	TP
KUAT I Gelagar	1,3	MS	2	MA	1,8	TT				
KUAT I Diafragma	1,3	MS	2	MA	1,8	TT				
DAYA LAYAN I Gelagar	1	MS	1	MA	1	TT	0,3	Ews		
DAYA LAYAN II Pelat	1	MS	1	MA	1,3	TT	1,3	TB	1,3	TP
EKSTREM I A	1	MS	1	MA	0,3	TT	+	1	EQx	+ 0,3 EQy
EKSTREM I B	1	MS	1	MA	0,3	TT	+	1	EQx	~ 0,3 EQy
EKSTREM I C	1	MS	1	MA	0,3	TT	~	1	EQx	+ 0,3 EQy
EKSTREM I D	1	MS	1	MA	0,3	TT	~	1	EQx	~ 0,3 EQy
EKSTREM I E	1	MS	1	MA	0,3	TT	+	1	EQy	+ 0,3 EQx
EKSTREM I F	1	MS	1	MA	0,3	TT	+	1	EQy	~ 0,3 EQx
EKSTREM I G	1	MS	1	MA	0,3	TT	~	1	EQy	+ 0,3 EQx
EKSTREM I H	1	MS	1	MA	0,3	TT	~	1	EQy	~ 0,3 EQx

Analisis Struktur Atas Jembatan

Analisis sandaran jembatan menghasilkan momen ultimit (M_u) sebesar 22,99 kN·m dan gaya geser ultimit (V_u) sebesar 16,72 kN berdasarkan beban terfaktor, sedangkan analisis pelat lantai dilakukan berdasarkan nilai momen ultimit (M_u) akibat kombinasi pembebanan KUAT I sebagai dasar perencanaan kekuatan dan penulangan pelat.

Tabel 9. MU arah x dan y akibat KUAT I Pelat

MU Arah X (kN-m)	MU Arah Y (kN-m)
-1867,79	-192,15
673,60	100,09

Analisis gelagar dilakukan berdasarkan gaya-gaya dalam maksimum dari kombinasi pembebanan KUAT I, dengan tinjauan utama pada gelagar interior 2 dan 3, sedangkan arah x pada pemodelan SAP2000 menunjukkan arah memanjang jembatan.

Tabel 10. Mu & Vu KUAT I Gelagar

Momen & Geser Gelagar Akibat KUAT I Gelagar															
G	MU- (0 m)	kN	m	MU+ (2,75 m)	kN	m	MU- (5,5 m)	kN	m	VU- (0 m)	kN	VU- (2,75)	kN	VU+ (5,5 m)	kN
1	-455,02			595,21			-455,02			-791,3		-74,3		-791,3	
2	-526,22			664,08			-526,22			-959,8		-114		-959,8	
3	-526,22			664,08			-526,22			-959,8		-114		-959,8	
4	-455,02			595,21			-455,02			-791,3		-74,3		-791,3	

Analisis diafragma dilakukan berdasarkan gaya-gaya dalam maksimum yang diperoleh dari kombinasi pembebanan KUAT I Diafragma pada gelagar interior 5

Tabel 11. Mu & Vu KUAT I Diafragma

Momen & Geser Gelagar Akibat KUAT I Diafragma															
D	MU- (0 m)	kN	m	MU+ (0,60 m)	kN	m	MU- (1,20 m)	kN	m	VU- (0 m)	kN	VU- (0,60)	kN	VU+ (1,20 m)	kN
5	-17,89			19,77			-17,89			-125,5		0		-125,5	

Analisis Penulangan Struktur Atas Jembatan

Perencanaan penulangan struktur jembatan dilakukan berdasarkan hasil analisis gaya-gaya dalam yang diperoleh dari pemodelan menggunakan SAP2000. Gaya-gaya dalam tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan tulangan pada masing-masing elemen struktur. Namun, khusus untuk pelat lantai jembatan, penentuan tulangan tidak secara langsung menggunakan output gaya dalam dari SAP2000, melainkan menggunakan metode koefisien momen pada daerah tumpuan dan lapangan.

Pada elemen sandaran beton, perhitungan dilakukan dengan memodelkan sandaran sebagai balok persegi berukuran 200×750 mm dengan panjang 5.500 mm. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan tulangan horizontal pada bagian tarik ditetapkan sebanyak 7D12, sedangkan pada bagian tekan digunakan sebanyak 3D12. Sementara itu, untuk tulangan vertikal digunakan tulangan D12 dengan jarak antar tulangan sebesar 150 mm. Susunan tulangan tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan kekuatan sandaran beton terhadap gaya-gaya yang bekerja pada struktur.

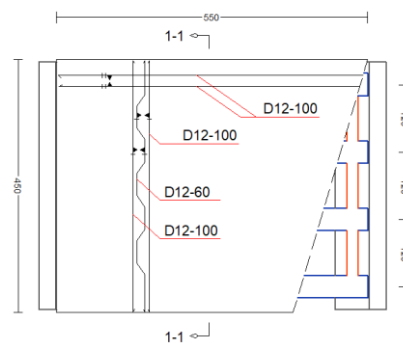
Selanjutnya, perencanaan penulangan pelat lantai diawali dengan menentukan tipe pelat berdasarkan perbandingan antara panjang dan lebar bentang yang ditinjau dari pusat ke pusat tumpuan. Panjang tinjauan pelat dalam arah L_y adalah sebesar 247 cm, sedangkan lebar tinjauan dalam arah L_x sebesar 120 cm. Berdasarkan kriteria penentuan jenis pelat, apabila nilai perbandingan L_y/L_x lebih besar dari 2 maka pelat dikategorikan sebagai pelat satu arah, sedangkan apabila nilai L_y/L_x kurang dari 2 maka pelat dikategorikan sebagai pelat dua arah. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai L_y/L_x sebesar 2,058. Dengan demikian, pelat lantai jembatan tersebut dikategorikan sebagai pelat satu arah sehingga mekanisme penyaluran beban dan perencanaan tulangan utamanya mengikuti perilaku pelat satu arah.

Perhitungan momen pada pelat lantai selanjutnya dilakukan menggunakan metode koefisien momen pelat dengan mempertimbangkan kondisi momen pada daerah tumpuan maupun lapangan. Berdasarkan hasil analisis terhadap kombinasi pembebanan yang digunakan, diperoleh bahwa nilai momen terfaktor (M_u) terbesar terjadi pada kombinasi pembebanan KUAT I Pelat. Nilai momen terbesar tersebut kemudian digunakan sebagai kondisi kritis dalam menentukan

kebutuhan luas tulangan pelat lantai, sehingga tulangan yang direncanakan mampu menahan momen maksimum yang terjadi dan memenuhi persyaratan kekuatan struktur.

Tabel 16. Rekapitulasi Hasil Penulangan Pelat

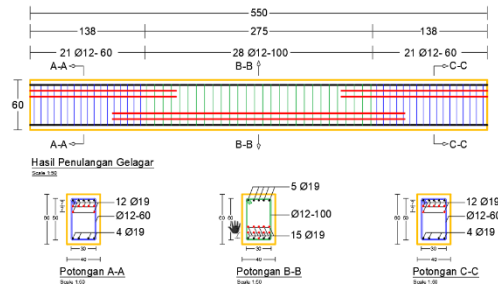
Rekapitulasi Hasil Penulangan Pelat Lantai Jembatan			
Tulangan	Spasi tulangan utama (mm)	Spasi tulangan susut (mm)	
Tumpuan Tepi A & D	60	300	
Tumpuan Tengah B & C	20	100	
Lapangan A-B & C-D	30	150	
Lapangan B-C	40	200	
Dipakai spasi tulangan pelat lantai, yaitu :	60	100	



Gambar 2. Hasil Penulangan Pelat Lantai Jembatan

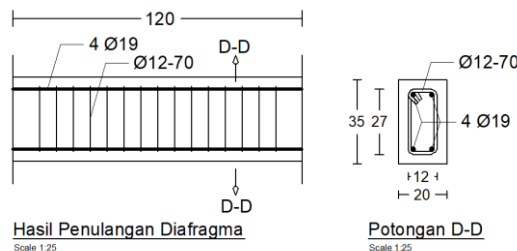
Perencanaan penulangan gelagar dilakukan berdasarkan hasil analisis gaya-gaya dalam yang diperoleh dari kombinasi pembebanan KUAT I Gelagar. Gaya-gaya dalam tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan tulangan lentur dan tulangan geser pada daerah tumpuan maupun lapangan. Penentuan jumlah dan diameter tulangan dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas penampang agar mampu menahan gaya-gaya yang bekerja sesuai dengan persyaratan kekuatan struktur. Pada penulangan lentur daerah tumpuan, digunakan tulangan tarik sebanyak 13D19 dan tulangan tekan sebanyak 4D19. Berdasarkan hasil pemeriksaan kapasitas lentur, diperoleh kondisi bahwa nilai kapasitas momen rencana (M_d) lebih besar daripada momen terfaktor yang bekerja (M_u), sehingga penulangan lentur pada daerah tumpuan dinyatakan memenuhi persyaratan atau aman. Sementara itu, pada daerah lapangan digunakan tulangan tarik sebanyak 17D19 dan tulangan tekan sebanyak 5D19. Hasil pemeriksaan juga menunjukkan bahwa nilai kapasitas momen rencana (M_d) lebih besar daripada momen terfaktor (M_u), sehingga penulangan lentur pada daerah lapangan dinyatakan memenuhi persyaratan kekuatan.

Selain penulangan lentur, gelagar juga direncanakan terhadap gaya geser yang terjadi. Pada daerah tumpuan, digunakan tulangan geser berdiameter 12 mm dengan jarak 60 mm atau $\phi 12-60$ mm. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kapasitas geser rencana setelah dikalikan faktor reduksi kekuatan, yaitu ϕV_n , lebih besar daripada gaya geser terfaktor yang bekerja (V_u), sehingga penulangan geser pada daerah tumpuan dinyatakan aman. Adapun pada daerah lapangan digunakan tulangan geser berdiameter 12 mm dengan jarak 100 mm atau $\phi 12-100$ mm. Berdasarkan hasil pemeriksaan, nilai ϕV_n juga lebih besar daripada V_u , sehingga penulangan geser pada daerah lapangan telah memenuhi persyaratan kekuatan yang ditetapkan. Dengan demikian, hasil perencanaan menunjukkan bahwa penulangan lentur maupun penulangan geser gelagar telah memenuhi kriteria keamanan terhadap kombinasi pembebanan KUAT I Gelagar.



Gambar 3. Hasil Penulangan Gelagar Jembatan

Perencanaan penulangan diafragma didasarkan pada gaya-gaya dalam dari kombinasi KUAT I Diafragma. Tulangan lentur yang digunakan adalah 4D12 dengan kapasitas momen rencana (M_d) lebih besar dari momen terfaktor (M_u), sehingga dinyatakan aman. Sementara itu, tulangan geser menggunakan Ø12-70 mm, dengan kapasitas geser rencana (ϕV_n) lebih besar dari gaya geser terfaktor (V_u). Dengan demikian, penulangan diafragma telah memenuhi persyaratan kekuatan struktur.



Gambar 4. Hasil Penulangan Diafragma

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri mampu memenuhi persyaratan kekuatan pada kombinasi pembebanan yang ditinjau. Respons struktur memperlihatkan bahwa gelagar interior 2 dan 3 menerima tuntutan gaya dalam terbesar, dengan momen positif maksimum sebesar 664,08 kN·m dan gaya geser maksimum sebesar 959,8 kN, sedangkan diafragma menghasilkan momen maksimum 19,77 kN·m dan gaya geser 125,5 kN. Pada tahap desain, seluruh elemen yang ditinjau memenuhi kondisi kapasitas lebih besar daripada gaya terfaktor, baik terhadap lentur maupun geser. Hasil ini memperlihatkan bahwa sistem pelat, gelagar, dan diafragma bekerja sebagai satu kesatuan dalam meneruskan beban dari lantai jembatan menuju elemen pemikul utama.

Temuan tersebut sejalan dengan Fetriani et al. (2026), yang menunjukkan bahwa evaluasi gelagar T beton bertulang harus didasarkan pada hubungan antara tuntutan momen dan geser ultimit terhadap kapasitas lentur dan geser penampang. Penelitian tersebut juga menemukan bahwa gelagar dinyatakan memenuhi *ultimate limit state* ketika ($M_u < \phi M_n$) dan ($V_u < \phi V_n$). Pola yang sama diperoleh dalam penelitian ini, yaitu tulangan lentur gelagar sebesar 13D19 pada tumpuan dan 17D19 pada lapangan serta tulangan geser Ø12-60 mm dan Ø12-100 mm menghasilkan kapasitas yang lebih besar daripada gaya yang bekerja. Konsistensi tersebut memperkuat bahwa penggunaan kombinasi beban kritis sebagai dasar penentuan tulangan merupakan pendekatan yang rasional dalam memastikan keamanan gelagar T beton bertulang. Distribusi gaya yang lebih besar pada gelagar interior juga menegaskan pentingnya mempertimbangkan mekanisme distribusi transversal beban dalam sistem jembatan multi-gelagar.

McGeown et al. (2024) menunjukkan bahwa beban kendaraan tidak hanya diteruskan secara longitudinal, tetapi juga terdistribusi antar-gelagar melalui interaksi tiga dimensi struktur. Hedegaard et al. (2024) juga menegaskan bahwa distribusi beban hidup pada jembatan beton sangat menentukan besarnya respons aktual setiap elemen pemikul. Dengan demikian, dominasi respons pada gelagar interior dalam penelitian ini bukan sekadar hasil numerik SAP2000, tetapi

mencerminkan mekanisme transfer beban pada sistem struktur jembatan, di mana posisi elemen, kekakuan transversal, dan hubungan pelat-gelagar memengaruhi besarnya gaya dalam yang diterima masing-masing gelagar.

Peran diafragma semakin memperkuat mekanisme tersebut. Meskipun momen dan gaya geser diafragma relatif lebih kecil dibandingkan gelagar utama, elemen ini berfungsi menjaga kestabilan transversal dan membantu redistribusi beban antar-gelagar. Shoukry et al. (2025) melalui analisis nonlinier terhadap 27 jembatan beton *slab-on-girder* menemukan bahwa keberadaan diafragma antara dapat meningkatkan distribusi transversal dan menurunkan tuntutan momen pada gelagar longitudinal, sementara Chen et al. (2023) menunjukkan bahwa kekakuan dan konfigurasi diafragma secara langsung memengaruhi perilaku struktur serta faktor distribusi beban pada jembatan T-girder. Oleh karena itu, terpenuhinya kapasitas lentur dan geser diafragma dengan tulangan 4D12 dan Ø12-70 mm dalam penelitian ini penting bukan hanya pada tingkat elemen, tetapi juga dalam mempertahankan integritas sistem struktur atas secara keseluruhan.

Pada pelat lantai, rasio (L_y/L_x) sebesar 2,058 menunjukkan perilaku dominan sebagai pelat satu arah sehingga transfer beban terutama terjadi pada arah bentang pendek. Penentuan tulangan berdasarkan kondisi momen kritis KUAT I memberikan pendekatan konservatif terhadap tuntutan beban kendaraan, beban mati tambahan, gaya rem, dan beban pejalan kaki yang bekerja secara simultan. Temuan ini relevan dengan Zhou dan Chen (2024), yang menegaskan bahwa pelat lantai merupakan komponen yang langsung menerima beban lalu lintas dan responsnya sangat dipengaruhi oleh distribusi beban roda serta interaksi kendaraan-struktur. Hasil Hedegaard et al. (2024) juga menunjukkan bahwa representasi distribusi beban yang akurat penting untuk memperoleh estimasi respons pelat beton yang lebih realistis. Dengan demikian, penggunaan kondisi pembebanan kritis dalam penelitian ini memberikan dasar yang memadai untuk menjamin kapasitas pelat terhadap tuntutan operasional jembatan.

Secara praktis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi antara pembebanan sesuai standar, pemodelan numerik menggunakan SAP2000, evaluasi gaya dalam, dan pemeriksaan kapasitas penampang dapat digunakan sebagai dasar yang sistematis dalam perencanaan struktur atas jembatan gelagar T beton bertulang bentang pendek. Pendekatan berbasis model numerik juga konsisten dengan praktik evaluasi jembatan terkini, termasuk penelitian Anggraeni (2025), yang menggunakan SAP2000 untuk mengevaluasi perilaku dan kapasitas jembatan terhadap pembebanan operasional. Implikasi penting dari penelitian ini adalah bahwa keamanan struktur tidak cukup dinilai hanya berdasarkan satu elemen kritis, tetapi harus mempertimbangkan keterkaitan pelat, gelagar, dan diafragma sebagai sistem distribusi beban yang terintegrasi.

Penelitian ini tetap memiliki ruang pengembangan, terutama karena evaluasi difokuskan pada respons struktur berdasarkan model numerik dan kombinasi pembebanan rencana, sehingga belum memasukkan verifikasi lapangan melalui *load testing*, respons nonlinier material, akumulasi kelelahan akibat lalu lintas berulang, maupun perubahan sifat material selama umur layanan. Batasan tersebut tidak mengurangi validitas hasil perencanaan pada kondisi yang dianalisis, tetapi menunjukkan peluang untuk meningkatkan representasi perilaku aktual jembatan pada penelitian berikutnya. Hal ini relevan dengan perkembangan penelitian terkini yang mulai mengintegrasikan pemodelan elemen hingga, pengujian lapangan, interaksi kendaraan-jembatan, serta kondisi material aktual untuk memperoleh evaluasi struktur yang semakin realistis dan komprehensif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur atas Jembatan Negeri Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon, dapat disimpulkan bahwa perencanaan pembebanan berdasarkan PPPJIR 1987, SNI 1725:2016, dan SNI 2833:2016 menghasilkan beban mati struktur sebesar 304,73 kN, beban mati tambahan 35,20 kN, beban hidup 129,35 kN, total beban mati dan hidup 469,28 kN, serta beban gempa statik ekuivalen sebesar 525 kN. Analisis menggunakan SAP2000 v14 menunjukkan bahwa respons kritis struktur terjadi pada beberapa elemen, yaitu sandaran dengan

momen maksimum 22,99 kN·m dan gaya geser 16,72 kN, pelat lantai dengan momen maksimum arah memanjang sebesar M_u^- 1.867,79 kN·m dan M_u^+ 673,60 kN·m, gelagar interior 2 dan 3 dengan M_u^+ 664,08 kN·m, M_u^- 526,22 kN·m, serta gaya geser maksimum 959,8 kN, dan diafragma dengan M_u^+ 19,77 kN·m, M_u^- 17,89 kN·m, serta V_u 125,57 kN.

Berdasarkan respons tersebut, kebutuhan tulangan yang diperoleh meliputi sandaran beton dengan tulangan horizontal 7D12 pada daerah tarik, 3D12 pada daerah tekan, dan tulangan vertikal D12-150 mm; pelat satu arah dengan tulangan utama D12-60 mm dan tulangan susut D12-100 mm; gelagar dengan tulangan lentur tumpuan 13D19 dan 4D19, tulangan lentur lapangan 17D19 dan 5D19, serta tulangan geser Ø12-60 mm pada tumpuan dan Ø12-100 mm pada lapangan; sedangkan diafragma menggunakan tulangan lentur 4D19 dan tulangan geser Ø12-70 mm. Secara keseluruhan, konfigurasi penulangan tersebut menunjukkan bahwa struktur atas jembatan dapat memenuhi kebutuhan kekuatan terhadap kombinasi pembebanan yang dianalisis, dengan perhatian khusus pada daerah tumpuan gelagar yang memerlukan sengkang Ø12 dengan spasi 60 mm agar kapasitas geser rencana lebih besar daripada gaya geser ultimit yang bekerja.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, analisis serupa disarankan tidak hanya mengevaluasi kapasitas kekuatan, tetapi juga membandingkan kinerja teknis, efisiensi material, biaya konstruksi, kemudahan pelaksanaan, dan kebutuhan pemeliharaan antara jembatan gelagar T beton bertulang dengan bentang ≤ 6 m dan alternatif struktur *double box culvert*. Bagi praktisi, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pengendalian jarak tulangan geser pada daerah tumpuan gelagar karena penggunaan spasi 80 mm belum memberikan kapasitas geser yang memadai, sedangkan penggunaan spasi 60 mm dapat memenuhi kebutuhan kekuatan yang diperhitungkan. Dari sisi kebijakan dan perencanaan teknis, evaluasi jembatan bentang pendek sebaiknya dilakukan melalui analisis pembebanan yang konsisten dengan standar nasional yang berlaku, pemodelan struktur yang terverifikasi, serta pemeriksaan kapasitas setiap elemen sebelum konstruksi dilaksanakan. Pendekatan tersebut dapat menjadi dasar dalam menentukan alternatif struktur yang aman, efisien, ekonomis, dan sesuai dengan kondisi lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Terima kasih kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan saran, dukungan, dan inspirasi selama proses penelitian. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua partisipan dan responden yang telah meluangkan waktu untuk berpartisipasi dalam penelitian ini. Tak lupa, kami juga mengucapkan terima kasih kepada lembaga atau institusi yang telah memberikan dukungan dan fasilitas dalam menjalankan penelitian ini. Semua kontribusi dan bantuan yang diberikan sangat berarti bagi kelancaran dan kesuksesan penelitian ini. Terima kasih atas segala kerja keras dan kolaborasi yang telah terjalin.

DAFTAR PUSTAKA

- CFR. (2024, November 25). Retrieved from Code of Federal Regulations: <https://www.ecfr.gov/current/title-23/part-650/section-650.305> 18 Desember 2024.
- CSI. Computers and Structures, Inc: www.csiamerica.com. 5 Desember 2024.
- M. Sang Gumilar, M. R, 2017, Analisa Struktur Atas (Upper Structure) Jembatan. *Jurnal Ilmiah Bering's*, Vol.04, 37-43.
- Marga, D. J, 2021. Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Marga, D. J, 2008. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Untuk Jembatan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Marga, D. J, 2008. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Untuk Jembatan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Nasahari, A. D, 2022, Analisis Kekuatan Struktur Atas Jembatan Berdasarkan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Magelang.

- NCDOT, Jembatan Balok Tee Beton Bertulang, ncdot.gov. 3 April 2025.
- PPPIJR, 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya. Menteri Pekerjaan Umum. Jakarta
- Pranowo, dkk. (2020). Struktur Atas. In F. Geraldine, Bab 2 Tinjauan Pustaka (p. 4). Jebres, Surakarta: UNS.
- Sapulete, C. A, 2016, Optimasi Teknik Struktur Atas Jembatan Beton. *Jurnal Sipil Statik* Vol.4, 233-240.
- SNI, 1725:2016. Pembebanan Untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI, 2833:2016. Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI, 2847:2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI, 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Suhendra, M. N, 2019, Analisis Struktur Jembatan Sungai Kampung Tengah. *Jurnal Talenta Sipil*, Vol.2, 50-56, 51-55.
- Supriyadi, B. & Munhotar, A.S, 2017, Jembatan. Edisi-7. Yogyakarta.
- Fetriani, W., Naduta, O., Putra, B. A., & Dewi, S. U. (2026). *Performance Evaluation of T-Beam Bridge Girder: A Structural Capacity Analysis for Flexure and Shear*. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(1), 2608–2617. <https://doi.org/10.26418/jts.v26i1.102659>
- Shoukry, M. E., Ebeido, T. I., Mahmoud, Z. I., & Mohamed, H. S. (2025). *Nonlinear analysis of reinforced concrete slab-on-girder bridges with and without intermediate diaphragms*. *Alexandria Engineering Journal*, 124, 422–434. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.03.080>
- Anggraeni, I. (2025). *Analisis perkuatan struktur jembatan dalam kondisi di bawah beban muatan melebihi kapasitas*. *Jurnal Jalan Jembatan*, 42(1). <https://doi.org/10.58499/jatan.v42i1.1368>
- Hedegaard, B. D., Dymond, B. Z., Linderman, L. E., & Hill, K. A. (2024). *Load Distribution in Reinforced Concrete Slab Span Bridges*. *Journal of Bridge Engineering*, 29(9). <https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6634>
- McGeown, C., Hester, D., Kreslin, M., Pakrashi, V., Anžlin, A., & OBrien, E. (2024). *Using the load distribution between girders to monitor the condition of bridges*. *Engineering Structures*, 318, 118426. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118426>
- Zhou, Y., & Chen, S. (2024). *A hybrid approach for fatigue assessment of reinforced concrete bridge deck considering realistic bridge-traffic interaction*. *Advances in Bridge Engineering*, 5, 1. <https://doi.org/10.1186/s43251-023-00112-2>
- Chen, C., Yang, C., Zhang, K., Wang, W., & Dong, L. (2023). *Structural Behavior and Load Distribution Factor of a T-Girder Bridge with Various Truss Diaphragms*. *Journal of Bridge Engineering*, 28(12). <https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6171>