Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)
Volume 6, Number 10, Oktober 2026, pp. 3223-3235
e-ISSN 2774-5155
https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v6i10.33013

Analisis Gelagar Jembatan Beton Bentang 15 Meter Menggunakan SAP2000 di Pulau Babar

Sidney Casey Rosalia Palapa, Julius Everhart Tenda*, Noldie E. Kondoj
Politeknik Negeri Manado, Indonesia
Email: julius.tenda@sipil.polimdo.ac.id*

Keywords:
reinforced concrete bridge, SAP2000, T-girder, reinforcement, serviceability

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasiku Publisher

Abstract

Bridges support connectivity in island regions, requiring reliable assessment of structural strength and serviceability. This study examined the design of reinforced concrete T-girders for the proposed Batu Merah 2 Bridge, spanning 15 meters on Babar Island, Indonesia. The objectives were to review structural modeling, report reinforcement and internal forces, verify selected capacity calculations, and clarify deflection conclusions. A quantitative analytical case study used documentary data comprising geometry, material properties, loading calculations, SAP2000 screenshots, reinforcement details, and deflection records. Reported design actions were retained, while reinforcement areas, flexural capacity, and shear capacity were recalculated using stated parameters. The examination yielded reduced flexural and shear capacities of 3,791.207 kNm and 792.718 kN, respectively, compared with reported demands of 1,447.1743 kNm and 722.52 kN. Utilization ratios were 0.382 for flexure and 0.911 for shear, identifying shear as the closer capacity constraint. The largest recorded individual deflection was 11.40 mm under lane loading, below the adopted comparison limit of 62.50 mm. However, inconsistent geometry, unavailable model files, and untraceable governing combinations restricted interpretation. The findings support conditional sectional adequacy under the examined assumptions; comprehensive structural safety and serviceability require model reconciliation, verified loading combinations, detailed reinforcement checks, and evaluation of combined and long-term deflections.

Kata Kunci:
jembatan beton bertulang, SAP2000, gelagar T, penulangan, kelayanan

Abstrak

Jembatan menunjang konektivitas transportasi wilayah kepulauan sehingga memerlukan pemeriksaan kekuatan dan kelayanan struktur. Penelitian ini mengkaji dokumentasi desain gelagar T beton bertulang pada rencana Jembatan Batu Merah 2 bentang 15 meter di Pulau Babar. Tujuannya adalah menelaah pemodelan struktur, menyajikan gaya dalam dan penulangan, memeriksa konsistensi kapasitas terpilih, serta memperjelas batas kesimpulan lendutan. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif analitis berupa studi kasus dengan penelaahan dokumen geometri, mutu material, perhitungan pembebanan, tangkapan layar SAP2000, detail penulangan, dan catatan lendutan. Gaya dalam rencana dipertahankan sesuai sumber, sedangkan luas tulangan, kapasitas lentur, dan kapasitas geser dihitung ulang berdasarkan parameter. Hasil pemeriksaan menunjukkan kapasitas lentur tereduksi sebesar 3.791,207 kNm dan kapasitas geser tereduksi sebesar 792,718 kN, dibandingkan tuntutan momen 1.447,1743 kNm dan geser 722,52 kN. Rasio pemanfaatan lentur sebesar 0,382 dan geser sebesar 0,911 menunjukkan bahwa geser lebih dekat terhadap kapasitas. Lendutan individual terbesar akibat beban lajur mencapai 11,40 mm, di bawah batas pembanding 62,50 mm. Namun, ketidakkonsistenan geometri, ketiadaan berkas model, dan kombinasi pengendali yang belum terlacak membatasi

interpretasi hasil. Penelitian menyimpulkan bahwa kecukupan penampang bersifat bersyarat; penetapan keamanan dan kelayanan menyeluruh memerlukan penyelarasan model, verifikasi kombinasi pembebanan, pemeriksaan detail penulangan, serta evaluasi lendutan kombinasi dan jangka panjang sebelum desain akhir dapat ditetapkan.

PENDAHULUAN

Jembatan pada wilayah kepulauan menunjang kesinambungan perjalanan ketika jaringan jalan terputus oleh alur sungai atau hambatan topografi. Pada bentang pendek, sistem pelat dan gelagar beton bertulang dapat menjadi alternatif struktur atas yang perlu dinilai melalui pembebanan, gaya dalam, penulangan, dan kelayanan. Rencana Jembatan Batu Merah 2 di Pulau Babar, Kabupaten Maluku Barat Daya, merupakan konteks kasus yang dikaji. Penelitian ini membatasi evaluasi pada struktur atas; kebutuhan hidrologi, struktur bawah, dan fondasi tidak dihitung dalam artikel.

Kajian gelagar T beton bertulang telah dilakukan oleh Fauzan & Alamsyah, (2020) pada Jembatan Sungai Pinang. Sher et al., (2020) menggunakan *SAP2000* untuk membandingkan sistem gelagar kotak dan gelagar T. Kedua kajian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan perangkat lunak ditempatkan dalam rangkaian perencanaan penampang dan pembebanan, bukan sebagai pengganti pemeriksaan teknis. Perbedaan konfigurasi dan standar beban antarpenelitian juga berarti bahwa hasil penulangan tidak dapat langsung dipindahkan dari satu kasus ke kasus lain.

Ketepatan representasi struktur memengaruhi respons numerik. Firdaus et al., (2023) membandingkan pemodelan elemen garis dan elemen bidang pada jembatan beton. (Agarwal et al., 2023) mengevaluasi gaya dalam dan lendutan jembatan gelagar kotak dengan pendekatan elemen hingga serta validasi model. Meskipun tipe jembatan berbeda dari kasus Pulau Babar, penelitian tersebut relevan dalam menekankan hubungan antara asumsi geometri, jenis elemen, dan hasil analisis. Dokumentasi model menjadi syarat agar angka keluaran dapat diperiksa kembali.

Distribusi beban antargelagar juga tidak selalu dapat diwakili oleh pembagian beban yang seragam. Ravazdezh, Seok et al., (2021) mengkaji pengaruh elemen tepi terhadap distribusi beban jembatan pelat dan gelagar T. Ndong, (Sherif et al., 2022) menilai perubahan faktor distribusi momen dan geser melalui analisis yang lebih rinci. (Hedegaard et al., 2024) memadukan pengujian beban dengan model pelat untuk mengkaji distribusi beban. Kajian-kajian ini memberi alasan untuk menelusuri posisi kendaraan, keterhubungan elemen, dan kondisi tumpuan sebelum menetapkan gelagar pengendali.

Pada sistem melintang, Subedi *et al.,* (2024) menunjukkan bahwa perubahan susunan balok melintang memengaruhi gaya dalam dan lendutan jembatan (T. Zhou et al., 2026) menjelaskan peran diafragma dalam pembagian beban dan pembatasan perbedaan lendutan antargelagar. Sementara itu, (Guo et al., 2024) mengembangkan analisis distribusi beban dengan memperhatikan perilaku sambungan pelat pracetak. Kesamaan mekanisme distribusi tidak berarti kesamaan sistem konstruksi; temuan tersebut digunakan untuk menjelaskan pentingnya kekakuan melintang pada kasus ini, bukan untuk mengganti parameter model yang belum tersedia.

Palapa, (2026) memuat rencana jembatan beton dengan *SAP2000*, hasil penulangan, dan pemeriksaan lendutan, tetapi beberapa parameter berubah antarbagian. Celah pada tingkat studi

kasus adalah belum terpisahnya nilai hasil analisis yang dilaporkan, pemeriksaan aritmetika penampang, dan bukti kelayanan dari kombinasi beban. Kontribusi artikel ini adalah menyusun ketiga tingkat informasi tersebut secara terlacak pada rencana gelagar bentang 15 m. Tujuannya adalah menguraikan pemodelan struktur atas, menyajikan gaya dalam dan penulangan, memeriksa konsistensi kapasitas terpilih, serta menilai batas kesimpulan lendutan. Manfaatnya adalah memberikan dasar evaluasi awal yang lebih dapat dipertanggungjawabkan tanpa mengisi kekosongan data melalui angka yang tidak tersedia.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif analitis berupa studi kasus desain struktur atas jembatan. Lokasi kasus adalah rencana Jembatan Batu Merah 2, Pulau Babar, Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. Data berasal dari penelitian, meliputi geometri, mutu material, perhitungan pembebanan, gambar penampang, tangkapan layar *SAP2000*, penulangan gelagar dan pelat, serta catatan lendutan. Artikel tidak menambahkan pengujian material, pengukuran lapangan, atau analisis numerik baru. Waktu pengumpulan data lapangan tidak dinyatakan lengkap pada sumber sehingga tidak ditetapkan dalam naskah.

Objek analisis adalah satu rancangan struktur atas. Populasi operasional terdiri atas elemen pelat, gelagar utama, dan diafragma pada model kasus. Gelagar T dengan hasil perhitungan paling lengkap menjadi unit pemeriksaan kuantitatif, sedangkan pelat dan diafragma disajikan terbatas pada hasil yang tersedia. Pemilihan ini merupakan pemilihan kasus berdasarkan ketersediaan data, bukan sampel acak untuk generalisasi statistik. Tidak terdapat responden dan tidak digunakan uji signifikansi inferensial.

Pengumpulan data dilakukan melalui penelaahan dokumen dan transkripsi angka beserta satuan. Pemeriksaan silang menghubungkan parameter pada bagian pembebanan, penulangan, dan kontrol kapasitas. Bentang 15 m digunakan sebagai basis pembahasan karena muncul berulang pada pembebanan serta perhitungan akhir, sementara bentang 10 m pada bagian awal dan 14,20 m pada satu perhitungan berat sendiri dipertahankan sebagai ketidaksesuaian yang belum direkonsiliasi. Lebar total jembatan tidak ditetapkan secara pasti karena sumber menyebut 8 m dan 9 m.

Penggunaan *SAP2000* v22.2 dan menampilkan model pelat serta rangka gelagar–diafragma. Tangkapan layar keluaran memperlihatkan *SAP2000* v24.2.0. Dengan demikian, versi model asli belum dapat dipastikan tanpa berkas proyek. Diafragma disebut sebagai elemen rangka, sedangkan jenis formulasi pelat, ukuran diskretisasi, dan penetapan sumbu lokal belum tersedia lengkap. Kondisi tumpuan ditulis sebagai sendi–rol; derajat kebebasan tiap titik tumpuan tidak direkonstruksi dari gambar saja.

Pembebanan yang ditelaah meliputi berat sendiri (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur (TD), beban truk (TT), rem (TB), angin (EW), temperatur (ET), dan gempa (EQ). Acuan yang dinyatakan adalah SNI 1725:2016 untuk pembebanan serta SNI 2833:2016 untuk gempa (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2016a, 2016b). Dokumentasi tersebut diperlakukan sebagai dasar prosedural, bukan bukti bahwa seluruh kombinasi dan parameter sudah diterapkan lengkap. Kasus kendaraan yang mengendalikan momen maupun geser perlu ditelusuri terpisah; beban lajur dan truk tidak otomatis dijumlahkan sebagai satu kondisi kritis.

Analisis dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama merangkum gaya dalam, penulangan, dan lendutan yang dilaporkan. Tahap kedua memeriksa luas baja, blok tegangan,

kapasitas lentur sederhana, serta perhitungan geser dengan parameter akhir tertulis. Nilai momen dan geser rencana dipertahankan sebagai hasil sumber karena berkas model, tabel kombinasi ultimit, dan keluaran numerik tidak tersedia untuk penelusuran ulang. Pemeriksaan kapasitas bukan keluaran baru *SAP2000* atau desain ulang yang telah disahkan.

Parameter pemeriksaan adalah b_v = 500 mm, h = 1.200 mm, t_s = 200 mm, $b_e$ff = 2.000 mm, d = 1.050 mm, f'c = 29,05 MPa, dan fy = 420 MPa, mengikuti bagian kontrol kapasitas. Faktor reduksi lentur 0,80 dan geser 0,75 mengikuti asumsi perhitungan sumber; penerapannya tidak dinyatakan sebagai verifikasi seluruh persyaratan desain beton jembatan. Penampang tekan diperiksa dengan model blok tegangan sederhana serta asumsi tulangan tarik mencapai leleh. Kontribusi tulangan tekan tidak ditambahkan dalam pemeriksaan sederhana ini.

$$A_s = n\pi D^2/4;\ \ a = A_s f_y/(0{,}85 f'c b_e ff);\ \ M_n = A_s f_y(d - a/2)$$

A_s adalah luas tulangan tarik, n jumlah batang, D diameter, a tinggi blok tegangan tekan, dan M_n kapasitas nominal. Persamaan penampang persegi efektif hanya dipakai apabila $a \leq t_s$, sehingga blok tekan berada dalam sayap. M_n dihitung dalam Nmm lalu dikonversi menjadi kNm. Indikator pemanfaatan lentur dihitung sebagai $\eta M = Mu/(\varphi M_n)$. Nilai lebih kecil daripada satu menunjukkan bahwa tuntutan momen sumber berada di bawah kapasitas yang dibandingkan pada asumsi tersebut.

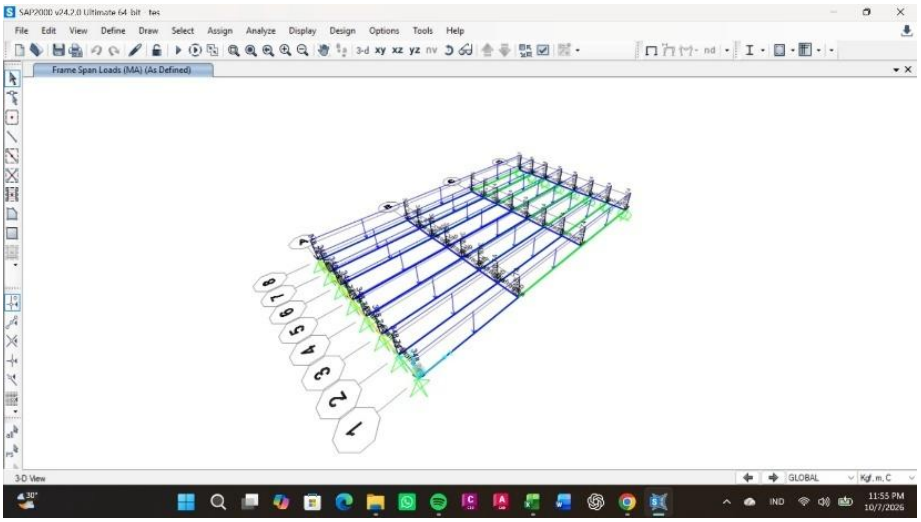
$$V_c = \sqrt{f'c}\, b_v d/6;\ \ V_s = A_v f_y d/s;\ \ \varphi V_n = \varphi(V_c + V_s)$$

V_c dan V_s adalah kontribusi geser beton dan sengkang, A_v luas dua kaki sengkang, serta s jarak sengkang. Perhitungan dalam N dikonversi menjadi kN. Untuk lendutan, artikel membedakan δ_i sebagai respons individual suatu beban dan δkomb sebagai respons dari kombinasi layan yang ditetapkan. Rasio $\delta_i/(L/240)$ hanya digunakan terhadap batas yang dipilih dalam penelitian. Karena dasar pemilihan L/240 belum dirujuk pada pasal standar jembatan, rasio ini bukan pernyataan kepatuhan normatif terhadap SNI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geometri dan pemodelan struktur atas

Gambar 1 memperlihatkan sistem model yang didokumentasikan, berupa gelagar memanjang dengan elemen penghubung melintang. Representasi ini sesuai tujuan analisis distribusi beban dalam struktur atas, tetapi tidak cukup untuk menilai jenis elemen pelat dan konektivitas hanya dari bentuk tampilan. Tabel 1 merangkum parameter yang digunakan untuk pemeriksaan gelagar. Pemilihan parameter mengikuti bagian kontrol kapasitas, karena bagian tersebut memberi dimensi dalam satuan yang lebih jelas.



Gambar 1. Dokumentasi model tiga dimensi struktur atas pada SAP2000
Sumber: dokumentasi pemodelan, Palapa (2026).

Tabel 1. Parameter gelagar untuk pemeriksaan konsistensi

Parameter	Nilai pemeriksaan	Keterangan sumber
Bentang L	15,00 m	Dipakai berulang pada pembebanan akhir
Lebar badan b_v	500 mm	Bagian kontrol kapasitas
Tinggi gelagar h	1.200 mm	Bagian kontrol kapasitas dan lendutan
Tebal pelat t_s	200 mm	Bagian kontrol kapasitas dan hasil pelat
Lebar sayap efektif $b_e$ff	2.000 mm	Dipakai pada perhitungan kapasitas
Tinggi efektif d	1.050 mm	h − d′; d′ = 150 mm
Kuat tekan f'c	29,05 MPa	Nilai yang tertulis dalam analisis
Kuat leleh fy	420 MPa	Mutu baja U-42 pada sumber
Diafragma	300 × 500 mm	Bentang melintang tertulis 2,00 m

Sumber: Olahan penelitian Palapa (2026)

Pada bagian lain, sumber menyebut lebar badan 450 mm dan tinggi gelagar 850 mm. Jika tinggi 850 mm dipakai dengan d′ = 150 mm, tinggi efektif seharusnya 700 mm, bukan 1.050 mm. Lebar antar-gelagar juga berubah dari 1,50 m menjadi 2,00 m. Perbedaan ini berdampak pada lebar tributari beban, berat sendiri, dan kapasitas penampang. Artikel menggunakan set parameter Tabel 1 untuk pemeriksaan bersyarat; konsistensi set tersebut dengan berkas model belum dapat dibuktikan.

Lebar sayap efektif 2.000 mm perlu dihubungkan dengan jarak gelagar dan kondisi pelat yang benar. Secara mekanis, sayap memperbesar daerah tekan sehingga meningkatkan kapasitas lentur saat garis netral berada dalam pelat. Akan tetapi, sayap efektif dan pembagian beban melintang adalah dua konsep berbeda: penampang efektif untuk kapasitas tidak langsung membuktikan jumlah beban yang diterima satu gelagar. Ravazdezh et al. (2021) dan Ndong et al. (2022) menunjukkan bahwa representasi sistem dan posisi kendaraan dapat mengubah tuntutan momen serta geser.

Pembebanan dan gaya dalam yang dilaporkan

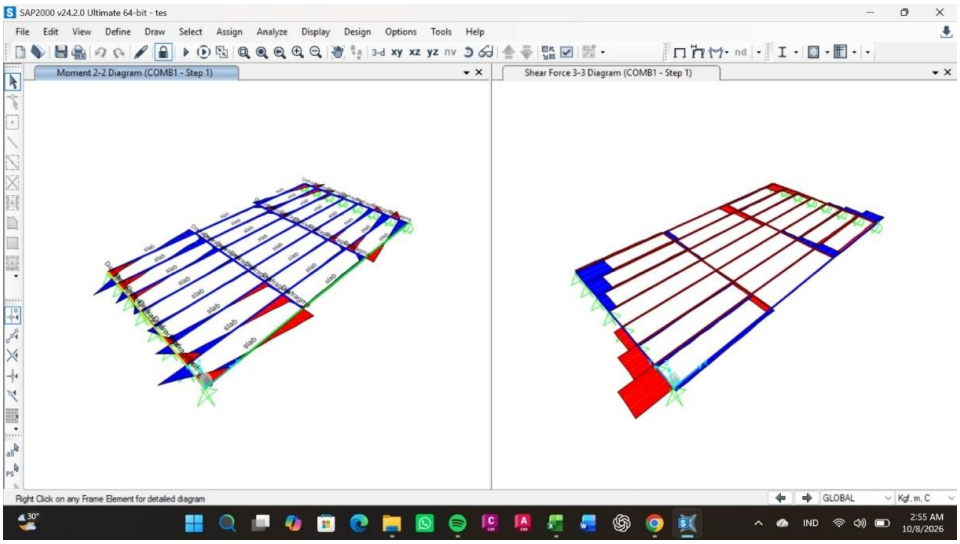
Tabel 2 menyajikan nilai pembebanan dan respons rencana yang dapat ditelusuri pada sumber. Angka beban tersebut belum merupakan daftar lengkap beban model. Intensitas lajur 9 kPa dilaporkan untuk bentang 15 m, sementara nilai beban garis, lebar distribusi, dan faktor dinamis perlu dipastikan sesuai tahap pemodelan. Berat sendiri dengan pengali satu juga harus dipisahkan dari beban permanen yang dimasukkan secara manual agar tidak terjadi penghitungan ganda.

Tabel 2. Pembebanan terpilih dan respons struktur

Besaran	Nilai yang dilaporkan	Batas interpretasi
Berat sendiri per gelagar	23,70 kN/m	Tidak ditelusuri ulang dari model
Beban mati tambahan	5,38 kN/m	Lingkup komponen perlu diperjelas
Beban terbagi rata lajur	9,00 kPa	Nilai pada pembebanan bentang 15 m
Beban roda truk pada pelat	112,50 kN	Bukan berat total satu kendaraan
Beban gempa vertikal	3,206 kN/m	Parameter gempa horizontal belum lengkap
Momen ultimit gelagar Mu	1.447,1743 kNm	Kombinasi pengendali belum terlacak
Geser ultimit gelagar Vu	722,52 kN	Posisi penampang kritis belum terlacak
Momen ultimit diafragma	78,895 kNm	Rincian kapasitas tidak tersedia lengkap
Geser ultimit diafragma	166,685 kN	Rincian kapasitas tidak tersedia lengkap

Sumber: Olahan penelitian Palapa (2026)

Gambar 2 merupakan diagram momen dan geser untuk kombinasi *COMB1* yang disebut sebagai kondisi berat sendiri. Gambar ini menunjukkan bahwa keluaran gaya dalam telah didokumentasikan, tetapi tidak digunakan untuk menyatakan bahwa Mu = 1.447,1743 kNm berasal dari *COMB1*. Tangkapan layar memakai satuan kgf dan m, sedangkan uraian perhitungan menggunakan kN dan m. Keterlacakan hasil membutuhkan tabel elemen, stasiun, kombinasi, dan konversi satuan. Jika keluaran dibaca sebagai kgf·m, faktor konversi ke kNm adalah 0,00980665; faktor tersebut tidak diterapkan pada angka yang tidak dapat dibaca pasti dari gambar.



Gambar 2. Diagram momen dan geser COMB1 yang didokumentasikan untuk kondisi berat sendiri

Sumber: dokumentasi pemodelan, Palapa (2026).

Dominasi respons individual beban lajur pada catatan lendutan sesuai mekanisme pembebanan vertikal sepanjang bentang. Untuk gelagar sederhana, kontribusi beban merata pada lendutan sebanding dengan $qL^4/(EI)$, sedangkan kontribusi beban terpusat sebanding dengan $PL^3/(EI)$. Karena itu, perubahan bentang maupun kekakuan sangat memengaruhi hasil, meskipun beban nominal sama. Agarwal et al. (2023) menempatkan geometri sebagai parameter penting dalam evaluasi gaya dalam dan lendutan; hasil model lain tidak dipakai untuk mengoreksi angka kasus ini.

Penulangan gelagar dan pelat

Tabel 3 merangkum penulangan usulan. Luas tulangan dihitung ulang dari diameter dan jumlah batang, sehingga pembaca dapat memeriksa konsistensi geometrisnya. Luas tarik 14 D32 sesuai dengan nilai 11.259,47 mm² yang ditulis pada bagian kontrol kapasitas. Lima batang D32 memberikan luas sekitar 4.021,24 mm², lebih besar dari target 30% luas tarik, yaitu 3.377,84 mm². Pemenuhan target luas tersebut belum membuktikan daktilitas secara menyeluruh karena pemeriksaan regangan dan detail pengekangan tetap diperlukan.

Tabel 3. Penulangan yang diusulkan dan luas baja geometris

Komponen	Penulangan sumber	Luas baja hasil hitung
Tulangan tarik gelagar	14 D32	11.259,47 mm²
Tulangan tekan gelagar	5 D32	4.021,24 mm²
Sengkang gelagar	2 kaki D13–200	A_v = 265,46 mm²
Tulangan badan gelagar	4 D13	530,93 mm²
Pelat arah memanjang	D12–125	904,78 mm²/m per lapis
Pelat arah melintang	D13–150	884,88 mm²/m per lapis

Sumber: Olahan penelitian Palapa (2026)

Pelat mempunyai tebal 200 mm dengan tulangan memanjang D12–125 dan melintang D13–150 sebagaimana hasil penelitian. Luas baja per meter pada Tabel 3 merupakan hasil konversi diameter dan jarak, bukan kebutuhan lentur hasil analisis pelat. Posisi tulangan atas dan bawah, momen positif dan negatif, panjang penyaluran, serta pemeriksaan gaya geser lokal belum tersedia lengkap. Karena itu, penulangan pelat disajikan sebagai usulan sumber, tidak dinyatakan sudah memenuhi seluruh persyaratan kapasitas.

Susunan 14 batang tarik juga perlu diperiksa melalui gambar detail. Sumber mencantumkan enam batang per baris tanpa memperlihatkan pembagian seluruh batang. Tinggi efektif bergantung pada titik berat gabungan tulangan, sehingga tidak boleh ditetapkan hanya dari diameter atau satu lapis. Dengan selimut 30 mm, sengkang D13, lebar badan 500 mm, dan enam batang D32 dalam satu lapis, jarak bersih geometris sekitar 44,40 mm. Nilai ini bukan penilaian akhir kecukupan jarak, karena ukuran agregat dan susunan lapis belum terkonfirmasi.

Kapasitas lentur dan pemeriksaan penampang

Sumber melaporkan kapasitas lentur tereduksi 3.506,390 kNm. Jika dibandingkan dengan momen rencana 1.447,1743 kNm, rasio pemanfaatannya 0,413. Namun, beberapa hasil antara tidak konsisten dengan parameter Tabel 1. Mu/0,80 seharusnya 1.808,968 kNm, sedangkan nilai nominal kebutuhan yang ditulis dalam sumber adalah 3.940,2203 kNm. Pemeriksaan Tabel 4 karena itu dihitung langsung dari luas baja terpasang, geometri, dan mutu material, tanpa memakai hasil antara tersebut.

Dari A_s = 11.259,468 mm², gaya tarik baja A_sfy sebesar 4.729.976,59 N. Tinggi blok tekan a = 95,757 mm, lebih kecil dari tebal pelat 200 mm, sehingga pada asumsi penampang Tabel 1 blok tekan berada dalam sayap. Dengan d = 1.050 mm, M_n = 4.739,008 kNm dan φM_n = 3.791,207 kNm untuk φ = 0,80. Rasio Mu/(φM_n) menjadi 0,382. Angka ini memeriksa konsistensi aritmetika penampang, bukan mengesahkan hasil model atau ketentuan faktor reduksi yang digunakan.

Tabel 4. Perbandingan hasil antara sumber dan pemeriksaan ulang

Besaran	Nilai sumber	Pemeriksaan ulang
Mu/φ	3.940,2203 kNm	1.808,968 kNm
Gaya tarik A_sfy	4.391.192,5 N	4.729.976,59 N
Tinggi blok tekan a	103,74 mm	95,757 mm
Momen nominal M_n	4.382,987 kNm	4.739,008 kNm
Kapasitas φM_n	3.506,390 kNm	3.791,207 kNm
Rasio Mu/(φM_n)	0,413 hasil turunan	0,382 hasil turunan
Kontribusi geser beton V_c	436,624 kN	471,608 kN
Modulus 4.700√f'c	23.453 MPa	25.332,084 MPa

Sumber: Olahan penelitian Palapa (2026)

Perbedaan kapasitas tereduksi sekitar 8,12% terhadap nilai sumber tidak mengubah arah perbandingan momen pada parameter yang dipakai, tetapi mengubah besarnya cadangan kapasitas yang dinyatakan. Istilah faktor keamanan tidak digunakan untuk rasio ini, karena

kapasitas telah direduksi dan beban rencana telah difaktorkan. Sher et al. (2020) membahas perbandingan sistem dalam kerangka keadaan batas; pembacaan hasil desain perlu tetap membedakan kapasitas nominal, kapasitas tereduksi, dan tuntutan ultimit.

Geser sebagai pemeriksaan yang lebih dekat terhadap kapasitas

Untuk sengkang dua kaki D13–200, $A_v = 265{,}465$ mm². Menggunakan fy = 420 MPa dan d = 1.050 mm menghasilkan $V_s = 585{,}349$ kN. Dengan $V_c = 471{,}608$ kN dan $\varphi = 0{,}75$ diperoleh $\varphi V_n = 792{,}718$ kN. Dibanding Vu = 722,52 kN, rasio pemanfaatan geser adalah 0,911. Dengan demikian, dalam pemeriksaan sederhana yang sama, geser lebih dekat terhadap kapasitas dibandingkan lentur dengan rasio 0,382. Temuan ini menentukan prioritas pemeriksaan, bukan bukti bahwa penampang telah aman untuk seluruh kasus beban.

Sumber memberikan V_s yang diperlukan sebesar 526,727 kN dan jarak sengkang 206,383 mm. Memakai V_c hasil hitung ulang memberi kebutuhan $V_s = 491{,}752$ kN dan jarak teoritis sekitar 238,06 mm. Jarak terpasang 200 mm lebih rapat daripada kedua hasil kebutuhan tersebut. Akan tetapi, lokasi penampang kritis, batas jarak maksimum, pengangkuran sengkang, torsi, serta interaksi dengan lentur tidak diperiksa lengkap dalam data yang tersedia. Pemeriksaan tersebut tetap dibutuhkan untuk menetapkan penulangan final.

Secara mekanis, ketersediaan kapasitas lentur tidak menjamin mode kegagalan lentur yang daktail apabila kekuatan geser tidak memadai. Arowojolu, Ibrahim, Almakrab, Saras, dan Nielsen (2021) meneliti pengaruh rasio bentang geser terhadap tinggi efektif pada perilaku balok beton mutu tinggi. Hasilnya relevan untuk menegaskan bahwa mekanisme geser dan model perhitungan memiliki batas asumsi, tetapi nilai eksperimen beton mutu tinggi pada penelitian tersebut tidak dipindahkan ke beton f'c = 29,05 MPa kasus ini.

Lendutan individual dan keterbatasan pemeriksaan kelayanan

Tabel 5 merangkum lendutan individual yang dicatat. Beban lajur memberikan nilai terbesar, 11,40 mm, diikuti berat sendiri 9,27 mm. Terhadap batas sumber L/240 = 62,50 mm, rasio beban lajur adalah 0,182 atau 18,24%. Pernyataan ini hanya berlaku untuk nilai individual yang dilaporkan dan batas pembanding yang dipilih. Angka 11,40 mm tidak ditafsirkan sebagai lendutan maksimum semua kombinasi layan.

Tabel 5. Catatan lendutan individual dalam penelitian

Beban	Lendutan (mm)	Rasio terhadap 62,50 mm
Berat sendiri MS	9,27	0,148
Beban mati tambahan MA	2,10	0,034
Beban lajur TD	11,40	0,182
Gaya rem TB	0,54	0,009
Angin EW	0,40	0,006
Temperatur ET	0,23	0,004
Gempa EQ	1,30	0,021

Sumber: Olahan penelitian Palapa (2026)

Untuk model linier dan respons pada titik serta arah yang sama, kontribusi yang diizinkan hadir bersama dapat disuperposisikan mengikuti faktor kombinasi. Namun, data sumber tidak

menunjukkan stasiun dan arah perpindahan yang sama, tanda respons, serta kombinasi layan pengendali. Menjumlahkan seluruh nilai maksimum individual tanpa informasi tersebut akan menghasilkan angka yang belum tentu merupakan respons satu keadaan beban yang sah. Kajian ini karena itu tidak membuat kombinasi baru atau menyatakan batas layan telah terpenuhi secara definitif.

Kekakuan juga perlu ditelusuri. Rumus $Ec = 4.700\sqrt{f'c}$ dengan $f'c = 29{,}05$ MPa menghasilkan sekitar 25.332,08 MPa, berbeda dari 23.453 MPa dalam sumber. Konversi MPa ke kPa dan inersia dalam m^4 harus konsisten pada perhitungan lendutan. Inersia 0,072 m^4 yang dipakai sesuai penampang persegi 0,50 × 1,20 m, tetapi tidak mewakili inersia utuh penampang T dengan sayap 2,00 m secara langsung. Pilihan inersia efektif retak membutuhkan perhitungan garis netral dan kekakuan yang sesuai.

Souza, Assis, dan Amorim (2023) membandingkan model kekakuan efektif dan estimasi lendutan dengan hasil eksperimen. Kajian tersebut mendukung pentingnya retak dan kekakuan pada pemeriksaan kelayanan. Nilai lendutan yang rendah dari model elastis belum cukup untuk menyimpulkan respons jangka panjang, karena rangkak, susut, dan perubahan kekakuan dapat memengaruhi deformasi. Data kasus Pulau Babar tidak memuat durasi beban dan perhitungan lendutan jangka panjang yang dapat diverifikasi.

Distribusi melintang dan batas validasi model

Diafragma berdimensi 300 × 500 mm berfungsi menghubungkan gelagar dan memengaruhi distribusi melintang. Subedi et al. (2024) menunjukkan bahwa tambahan balok melintang dapat meningkatkan berat sendiri sekaligus mengubah pembagian beban dan kekakuan. Zhou et al. (2026) menjelaskan pembatasan perbedaan lendutan antargelagar melalui diafragma pada sistem pracetak. Temuan tersebut menjelaskan kebutuhan memeriksa jarak, konektivitas, dan kekakuan diafragma pada model kasus; tidak menetapkan jumlah diafragma optimum untuk bentang 15 m tanpa studi parametrik.

Liu, Alexander, Song, dan Li (2024) mengkaji pembagian beban antargelagar prategang dengan memperhatikan elemen penghubung geser dan validasi eksperimental. Walaupun konstruksinya berbeda, penelitian itu memperlihatkan bahwa kapasitas elemen tunggal dan perilaku sistem tidak identik. Hedegaard et al. (2024) juga menekankan konfigurasi beban pada distribusi pelat, sementara Guo et al. (2024) memeriksa kondisi sambungan dan batas model. Pada kasus ini, hasil satu gelagar tidak dapat menggantikan pemeriksaan gelagar tepi, pelat, diafragma, dan perletakan.

Dokumentasi spektrum gempa memang terdapat dalam penelitian, tetapi parameter situs, jenis tanah, arah analisis, sumber massa, faktor modifikasi respons, serta hasil kombinasi gempa belum ditautkan lengkap terhadap Mu dan Vu yang dipakai. Pemenuhan ketahanan gempa sesuai BSN (2016b) karena itu tidak disimpulkan dari koefisien vertikal saja. Demikian pula, jenis analisis dinamis tidak dinyatakan telah tervalidasi hanya karena perangkat lunak memiliki fasilitas analisis tersebut.

Keterbatasan utama penelitian adalah tidak tersedianya berkas *SAP2000*, ekspor tabel kombinasi dan gaya dalam, serta hasil uji atau pembanding independen untuk model kasus. Data lapangan yang dapat membuktikan geometri final juga belum disajikan lengkap. Kesimpulan dibatasi pada hasil desain awal yang dilaporkan dan pemeriksaan terpilih dari dokumen. Penguatan selanjutnya perlu menyamakan geometri model, menelusuri beban dan satuan, mengidentifikasi kombinasi pengendali, lalu memeriksa kembali seluruh elemen dan

detail penulangan. Penggunaan ulang model lebih bermanfaat daripada menambahkan asumsi numerik yang tidak tercatat.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemeriksaan ulang gelagar T beton bertulang pada rencana Jembatan Batu Merah 2 bentang 15 m di Pulau Babar menghasilkan kapasitas lentur tereduksi sebesar 3.791,207 kNm dan kapasitas geser tereduksi sebesar 792,718 kN, dibandingkan dengan momen rencana 1.447,1743 kNm dan gaya geser rencana 722,52 kN yang dilaporkan dalam dokumen sumber. Rasio pemanfaatan lentur sebesar 0,382 dan geser sebesar 0,911 menunjukkan bahwa geser menjadi prioritas pemeriksaan karena tuntutannya lebih dekat terhadap kapasitas. Lendutan individual terbesar berasal dari beban lajur sebesar 11,40 mm, lebih kecil daripada batas pembanding L/240 sebesar 62,50 mm yang digunakan dalam sumber. Namun, hasil tersebut hanya mendukung kecukupan penampang secara bersyarat berdasarkan parameter dan asumsi pemeriksaan, belum membuktikan keamanan maupun kelayanan struktur secara menyeluruh karena ketidakkonsistenan geometri, keterbatasan dokumentasi model SAP2000, dan belum terlacaknya kombinasi beban pengendali.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan berkas model SAP2000 asli dan data geometri terverifikasi untuk menyelaraskan dimensi penampang, jarak antargelagar, mutu material, kondisi tumpuan, serta satuan pembebanan. Validasi perlu dilakukan melalui pembandingan dengan perhitungan independen atau pengujian yang sesuai, disertai penelusuran kombinasi ultimit dan layan pada seluruh elemen struktur atas. Pemeriksaan lanjutan perlu memprioritaskan geser, torsi, pengangkuran, susunan tulangan, dan distribusi beban antargelagar, serta memperhitungkan kekakuan retak, rangkak, dan susut dalam evaluasi lendutan jangka panjang. Studi parametrik mengenai jarak dan kekakuan diafragma juga diperlukan untuk menilai pengaruhnya terhadap gaya dalam dan deformasi, sehingga rekomendasi desain akhir memiliki dasar analitis yang lebih lengkap dan dapat diverifikasi.

PENDANAAN

Para penulis menyatakan tidak memiliki hubungan komersial, finansial, atau kepentingan pribadi yang dapat memengaruhi pelaksanaan penelitian, interpretasi hasil, maupun penyusunan artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Sidney Casey Rosalia Palapa menyusun penelitian yang menjadi sumber penelitian, meliputi penyusunan data perencanaan, pemodelan, analisis, dan pelaporan. Julius Everhart Tenda dan Noldie E. Kondoj memberikan supervisi akademik sebagai pembimbing penelitian. Julius Everhart Tenda menjadi penulis korespondensi artikel. Rincian kontribusi penyusunan dan penelaahan artikel serta persetujuan versi akhir perlu dikonfirmasi oleh ketiga penulis sebelum pengajuan.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Kecerdasan artifisial generatif digunakan untuk membantu konversi penelitian menjadi artikel, penataan struktur, penyuntingan bahasa, penelusuran rujukan, dan pemeriksaan

aritmetika terpilih. Data desain berasal dari dokumen sumber; angka hasil pemeriksaan ulang dibedakan dari hasil yang dilaporkan dalam penelitian. Bantuan tersebut tidak mencakup pengujian lapangan atau pelaksanaan ulang analisis *SAP2000*. Penulis perlu menelaah dan menyetujui naskah akhir serta bertanggung jawab atas data, interpretasi, dan rujukannya.

REFERENSI

Agarwal, P., Pal, P., & Mehta, P. K. (2023). Finite element analysis of reinforced concrete curved box-girder bridges. *Advances in Bridge Engineering*, *4*(1), 1.

Arowojolu, O., Ibrahim, A., Almakrab, A., Saras, N., & Nielsen, R. (2021). Influence of shear span-to-effective depth ratio on behavior of high-strength reinforced concrete beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials, 15*, 14. https://doi.org/10.1186/s40069-020-00444-7

Badan Standardisasi Nasional. (2016a). *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/pembebanan-untuk-jembatan

Badan Standardisasi Nasional. (2016b). *SNI 2833:2016 Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/sni-2833-2016-standar-perencanaan-ketahanan-gempa-untuk-jembatan

Fauzan, M. N., & Alamsyah. (2020). Perancangan jembatan beton bertulang T-girder Sungai Pinang. *Jurnal Inovtek Seri Teknik Sipil dan Aplikasi, 2*(1), 26–32. https://doi.org/10.35314/tekla.v2i1.1434

Firdaus, A., Alami, F., Isnaeni, M., & Helmi, M. (2023). Studi perbandingan pembebanan dinamis pada jembatan beton terhadap pemodelan FEA. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 11*(2), 331–340. https://doi.org/10.23960/jrsdd.v11i2.3190

Guo, K., Bairán, J.-M., & Liu, Z. (2024). Simplified analytical approach for calculating the transverse load distribution of precast slab bridges with and without concrete overlays. *Journal of Bridge Engineering, 29*(7). https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6551

Hedegaard, B. D., Dymond, B., Linderman, L. E., & Hill, K. (2024). Load distribution in reinforced concrete slab span bridges. *Journal of Bridge Engineering, 29*(9), 04024065. https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6634

Liu, J., Alexander, J., Song, S., & Li, Y. (2024). Finite-element-based study on girder behavior and load-sharing of shear-connected multigirder prestressed concrete bridges. *Journal of Bridge Engineering, 29*(1). https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6064

Ndong, A. K., Sherif, M. M., Kassner, B., Harris, D. K., & Ozbulut, O. E. (2022). Potential improvement in rating factors of concrete T-beam bridges through refined analysis: Evaluation of distribution factors. *Journal of Bridge Engineering, 27*(9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001928

Palapa, S. C. R. (2026). *Desain jembatan beton menggunakan aplikasi SAP 2000* (Naskah skripsi yang disediakan penulis). Manado: Politeknik Negeri Manado.

Ravazdezh, F., Seok, S., Haikal, G., & Ramirez, J. A. (2021). Effect of nonstructural elements on lateral load distribution and rating of slab and T-beam bridges. *Journal of Bridge Engineering, 26*(9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001766

Sher, R. J., Irfan-ul-Hassan, M., Ghafoor, M. T., & Qayyum, A. (2020). Analysis and design of box girder and T-beam bridge superstructure—A comparative study. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology, 39*(3), 453–465. https://doi.org/10.22581/muet1982.2003.01

Souza, A. A. F., Assis, W. S., & Amorim, D. L. N. F. (2023). Deflection estimate of reinforced concrete beams by the lumped damage mechanics. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 16*(5), e16505. https://doi.org/10.1590/S1983-41952023000500005

Subedi, A., Adhikari, B., Poudel, A., Khadka, B., Poudel, S., & Chhetri Sapkota, S. (2024). Influence of cross-girder spacing on RC T-beam bridges: A comparative theoretical and finite element approach. *Discover Civil Engineering, 1*, 126. https://doi.org/10.1007/s44290-024-00126-3

Zhou, S., Li, Z., & Yu, P. (2026). The effect and mechanical mechanism of intermediate diaphragms in prefabricated T-beam bridges. *Advances in Civil Engineering, 2026*, 5546271. https://doi.org/10.1155/adce/5546271