



PERKUATAN JEMBATAN TYPE C MENGGUNAKAN RANGKA BAJA IWF DAN PELAT BAJA TERHADAP BEBAN MOBILITAS ALAT BERAT

Midia Rahma^{1*}, Wiwien Suzanti²

¹²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kota Cilegon

*midia.rahma@untirta.ac.id

ABSTRACT

Bridges are important infrastructure that connect regions and mobilization logistics, but many existing bridges in the region are not designed to withstand heavy loads of project vehicles. This study was conducted to evaluate the effectiveness of strengthening the upper structure of the Gading Bridge, a type C bridge in Gadingrejo Village, Pati Regency, which experienced overstress when passed by a project vehicle carrying a 60-ton trailer truck. Modeling and structural analysis were carried out using SAP2000 software in three scenarios, namely existing conditions without reinforcement, reinforcement with IWF steel frames, and a combination of reinforcement using IWF steel frames and 2 cm thick steel plates on the bridge floor. The results of the analysis showed that the existing conditions and reinforcement with only IWF were unable to withstand the load, with capacity ratios of 35 and 35.64, respectively, far above the safe limit (1.00). In contrast, the combination of IWF and steel plate reinforcement produced a ratio of 0.467, indicating that the structure was in a safe condition. This study concluded that the combination reinforcement method is an effective, simple solution that can be adopted on similar bridges in areas with limited structural capacity.

Keywords: Bridge reinforcement, SAP2000, IWF steel, steel plate, structural capacity

ABSTRAK

Jembatan merupakan infrastruktur penting yang menghubungkan berbagai wilayah dan mobilisasi logistik, namun banyak jembatan eksisting di daerah tidak dirancang untuk menahan beban berat kendaraan proyek. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas perkuatan struktur atas Jembatan Gading, sebuah jembatan tipe C di Desa Gadingrejo, Kabupaten Pati, yang mengalami overstress saat dilewati kendaraan proyek truk trailer bermuatan 60 ton. Permodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 pada tiga skenario, yaitu kondisi eksisting tanpa perkuatan, perkuatan dengan rangka baja IWF, dan kombinasi perkuatan menggunakan rangka baja IWF serta pelat baja tebal 2 cm pada lantai jembatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi eksisting dan perkuatan hanya dengan IWF tidak mampu menahan beban, dengan rasio kapasitas masing-masing sebesar 35 dan 35,64, jauh di atas batas aman (1,00). Sebaliknya, perkuatan kombinasi IWF dan pelat baja menghasilkan rasio 0,467, menunjukkan struktur berada dalam kondisi aman. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode perkuatan kombinasi merupakan solusi yang efektif, sederhana, dan dapat diadopsi pada jembatan serupa di daerah dengan keterbatasan kapasitas struktural.

Kata kunci: Perkuatan jembatan, SAP2000, baja IWF, pelat baja, kapasitas struktur

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan bagian vital dari sistem transportasi yang menghubungkan wilayah satu dengan yang lain [1]. Peranannya tidak hanya sebagai prasarana umum, tetapi juga menjadi jalur logistik penting dalam pembangunan infrastruktur berskala besar [2]. Mobilisasi alat berat dalam proyek pembangunan infrastruktur, sering kali memerlukan akses melalui jembatan eksisting yang tidak dirancang untuk beban berat. Salah satu kasus nyata terjadi pada Jembatan Gading di Desa Gadingrejo, Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Jembatan ini termasuk

dalam tipe C. Jembatan Gading dirancang hanya untuk kendaraan ringan warga setempat, dan terbukti tidak mampu menahan beban kendaraan proyek dengan kapasitas 60 ton.

Perencanaan jembatan di Indonesia mengacu pada SNI 1725:2016 yang mengatur mengenai beban lalu lintas pada jembatan [3]. Beban kendaraan proyek seperti truk trailer memiliki nilai beban lebih tinggi dibandingkan kendaraan normal, sehingga struktur jembatan harus dievaluasi jika mengalami peningkatan beban selama proyek berlangsung. Beban berlebih dapat menyebabkan kerusakan struktural seperti lentur berlebihan, tegangan geser tinggi, hingga keruntuhan total [4]. Perkuatan struktur adalah salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas suatu elemen struktur agar mampu menahan beban tambahan atau memperpanjang umur layanan struktur [5], [6]. Beberapa metode yang umum digunakan meliputi penambahan elemen struktural baru, penggunaan bahan tambahan seperti pelat baja [7], atau sistem rangka bantu. Baja profil IWF (*I Wide Flange*) sering digunakan sebagai elemen perkuatan karena memiliki kekakuan tinggi dan mudah dipasang pada struktur eksisting [8].

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan maka penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi jembatan tanpa perkuatan dan efektivitas berbagai skenario perkuatan struktur atas Jembatan Gading, khususnya dengan menggunakan rangka baja IWF dan kombinasi pelat baja. Penelitian terdahulu tentang penggunaan pelat baja sebagai metode perkuatan lentur pada dek jembatan beton eksisting menunjukkan bahwa penambahan pelat baja secara signifikan meningkatkan kapasitas lentur, dengan pengurangan lendutan mencapai titik aman, serta distribusi tegangan menjadi lebih merata. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi struktur atas Jembatan Gading pada kondisi eksisting (tanpa perkuatan), menganalisis efektivitas perkuatan menggunakan rangka baja IWF dan kombinasi pelat baja. Diharapkan hasil evaluasi ini dapat memberikan solusi teknis yang praktis dan aplikatif, serta dapat diadopsi pada jembatan-jembatan serupa di wilayah lain yang menghadapi permasalahan serupa.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kasus kuantitatif berbasis simulasi numerik yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode perkuatan struktur atas Jembatan Gading di Desa Gadingrejo, Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Pendekatan penelitian dilakukan secara terstruktur melalui beberapa tahapan utama, yaitu survei lapangan dan pengumpulan data, pemodelan struktur, simulasi beban, analisis struktur, evaluasi hasil, dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

Tahap pertama adalah survei lapangan yang bertujuan untuk memperoleh data geometrik dan kondisi aktual jembatan. Data yang dikumpulkan meliputi panjang bentang, lebar total jembatan, jumlah dan dimensi girder utama, tebal pelat lantai, jenis sambungan antar elemen, serta informasi mengenai jenis dan mutu material yang digunakan dalam konstruksi awal jembatan. Selain pengukuran dimensi, dilakukan pula dokumentasi visual kerusakan seperti retak, deformasi, atau korosi, sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan jenis perkuatan yang sesuai. Data lapangan ini digunakan sebagai acuan untuk membangun model struktur yang representatif dan realistis.

Selanjutnya, dilakukan pemodelan numerik struktur atas Jembatan Gading dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 versi 22, yang merupakan software analisis dan desain struktur berbasis *Finite Element Method* (FEM). Tiga skenario pemodelan dilakukan untuk keperluan analisis perbandingan, yaitu kondisi eksisting tanpa perkuatan, perkuatan menggunakan rangka baja profil IWF, dan perkuatan kombinasi antara rangka baja IWF dan pelat baja setebal 2 cm yang ditempatkan di atas lantai jembatan. Dalam pemodelan ini, elemen batang (girder dan balok lintang) dimodelkan dengan tipe *frame element*, sementara lantai jembatan dimodelkan menggunakan *shell element* agar dapat menangkap perilaku lentur dan geser secara dua arah. Asumsi perletakan struktur menggunakan sistem *simply supported* yang umum digunakan pada jembatan tipe C di wilayah pedesaan.

Pada tahap simulasi beban, diterapkan pembebanan yang merepresentasikan kendaraan proyek berupa truk trailer dengan total beban 60 ton. Beban ini didistribusikan ke lantai jembatan sesuai dengan konfigurasi roda dan titik berat kendaraan. Simulasi beban dilakukan sebagai beban statik terdistribusi, mengingat fokus penelitian ini adalah evaluasi kapasitas struktur terhadap beban maksimum kendaraan berat secara konservatif. Beban-beban lain seperti beban mati struktur dan beban dinamis kendaraan dihitung sesuai pedoman dalam SNI 1725:2016 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Jembatan. Faktor kejutan kendaraan (*impact factor*) juga diterapkan berdasarkan standar tersebut untuk memastikan keakuratan hasil simulasi.

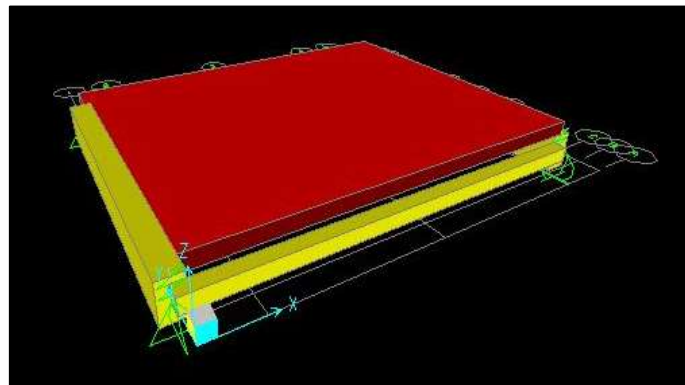
Analisis struktur dilakukan untuk mengevaluasi respons elemen terhadap beban kerja pada masing-masing skenario. Parameter utama yang dianalisis meliputi *capacity ratio*, yaitu rasio antara tegangan maksimum terhadap kapasitas izin elemen struktur, tegangan lentur dan geser, serta defleksi vertikal maksimum di tengah bentang [9], [10]. Struktur dianggap dalam kondisi aman apabila *capacity ratio* kurang dari 1,00. Nilai lebih dari 1,00 menunjukkan adanya kondisi *overstress* yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur [8]. Analisis ini juga memberikan gambaran sebaran tegangan pada seluruh elemen, sehingga memudahkan dalam mengevaluasi efektivitas penyebaran beban oleh sistem perkuatan yang diterapkan [11].

Hasil dari ketiga skenario dibandingkan secara kuantitatif dan visual untuk mengetahui tingkat efektivitas masing-masing metode perkuatan. Perbandingan dilakukan terhadap nilai *capacity ratio*, pola distribusi tegangan, serta nilai defleksi. Selain itu, kemudahan pelaksanaan di lapangan dan efisiensi bahan juga menjadi pertimbangan dalam menentukan solusi perkuatan yang paling aplikatif. Metode perkuatan yang terbukti menurunkan nilai tegangan dan defleksi hingga berada dalam batas aman, sekaligus mudah diterapkan di lapangan tanpa membongkar seluruh struktur eksisting, dinilai sebagai solusi teknis yang optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi tanpa perkuatan (eksisting)

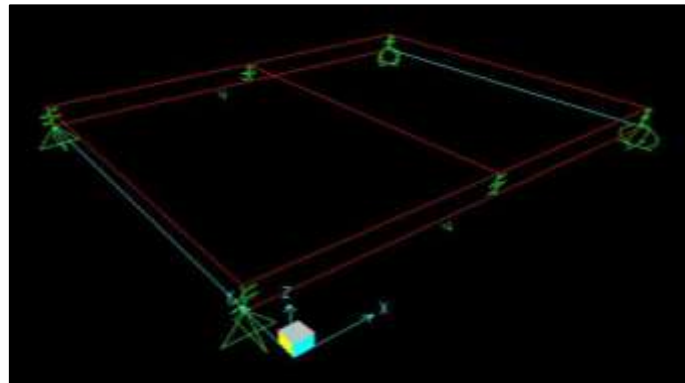
Struktur atas Jembatan Gading dimodelkan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000 untuk mengetahui kondisi struktur atas Jembatan Gading pada saat dilintasi alat berat kendaraan proyek truk trailer dengan beban 60 Ton. Hasil pemodelan Jembatan Gading dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Permodelan 3D struktur atas Jembatan Gading kondisi tanpa perkuatan

Setelah seluruh tahapan pemodelan dan simulasi beban selesai dilakukan, analisis awal difokuskan pada kondisi struktur atas Jembatan Gading tanpa perkuatan (kondisi eksisting) untuk mengetahui sejauh mana kemampuan struktur dalam menahan beban kendaraan proyek sebesar 60 ton. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dan titik-titik kritis pada struktur yang menjadi dasar pertimbangan perlunya dilakukan perkuatan. Hasil pemodelan dan

analisis struktur atas Jembatan Gading dalam kondisi tanpa perkuatan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Nilai gaya internal struktur atas Jembatan Gading tanpa perkuatan

Gambar 2 menunjukkan gambar struktur atas Jembatan dalam kondisi eksisting, tanpa tambahan elemen perkuatan. Model ini akan digunakan sebagai dasar analisis untuk mengetahui apakah struktur mampu menahan beban kendaraan proyek yang bekerja padanya, sebelum diterapkan skenario perkuatan. Adapun hasil penghitungan rasio kapasitas pada struktur atas Jembatan Gading dapat dilihat pada Gambar 3.

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT CHECK FOR PU, M2, M3						
Capacity	Design	Design	Design	Minimum	Minimum	
Ratio	Pu	M2	M3	M2	M3	
O/S #35	-572,246	12,155	-200,090	12,155	12,155	
O/S #35 Capacity ratio exceeds limit						
O/S #3 Shear stress exceeds maximum allowed						

Gambar 3. Hasil output SAP2000 analisis struktur atas Jembatan Gading tanpa perkuatan

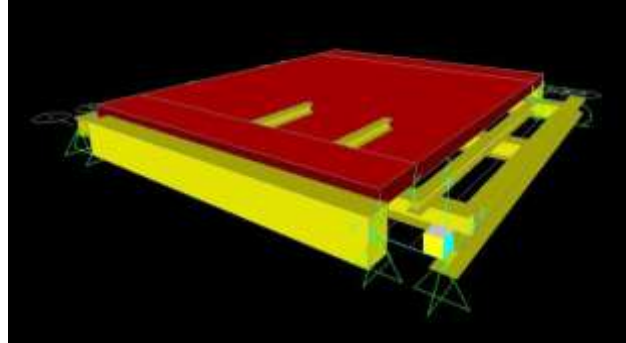
Gambar 3 menunjukkan nilai rasio kapasitas memiliki nilai 35, nilai tersebut sangat jauh melebihi batas aman yaitu sebesar 1,00, nilai batas aman tersebut sesuai dengan batas yang disyaratkan pada SNI 1725:2016, serta indikasi tegangan geser melampaui batas maksimum (*Shear stress exceeds maximum allowed*). Hal ini menandakan bahwa struktur tidak mampu menahan beban kendaraan proyek dan berpotensi mengalami kegagalan total.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan perkuatan, pada penelitian ini perkuatan dilakukan menggunakan dua skenario yaitu skenario perkuatan dengan rangka baja IWF dan skenario perkuatan dengan rangka baja IWF dan pelat baja.

Perkuatan struktur atas jembatan dengan rangka baja IWF

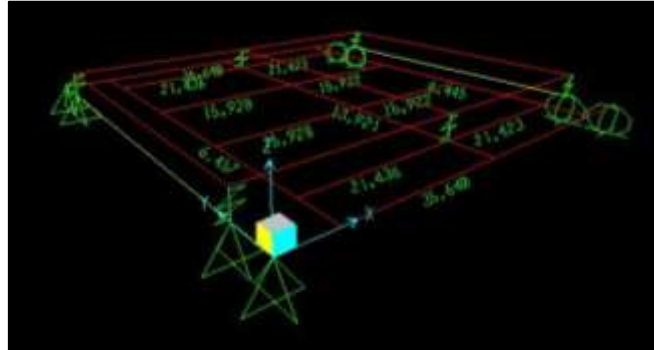
Setelah diketahui bahwa struktur atas Jembatan Gading dalam kondisi eksisting tidak mampu menahan beban kendaraan proyek akibat nilai *capacity ratio* yang jauh melebihi batas aman, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi perkuatan dengan menambahkan elemen struktural berupa rangka baja profil IWF.

Jembatan Gading bagian struktur atas diperkuat dengan rangka baja IWF, dimodelkan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui kondisi struktur atas Jembatan Gading pada saat dilintasi alat berat kendaraan proyek. Adapun hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Permodelan 3D struktur atas Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF

Setelah pemodelan struktur atas Jembatan Gading dengan penambahan rangka baja IWF diselesaikan, analisis struktur dilakukan untuk menilai pengaruh perkuatan terhadap kemampuan struktur dalam menahan beban kendaraan proyek. Analisis ini difokuskan pada nilai *capacity ratio*, distribusi tegangan lentur dan geser, serta potensi terjadinya *overstress* pada elemen struktural utama. Hasil analisis dari skenario perkuatan ini akan menjadi dasar untuk mengevaluasi apakah penambahan rangka baja IWF secara tunggal sudah memadai, atau masih diperlukan strategi perkuatan tambahan. Visualisasi dan interpretasi hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Nilai gaya internal struktur atas Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF

Gambar 5 menunjukkan gambar hasil kekuatan struktur atas Jembatan setelah perkuatan. Model ini akan digunakan sebagai dasar analisis untuk mengetahui apakah struktur sudah mampu menahan beban kendaraan proyek yang bekerja pada struktur jembatan ini. Adapun hasil penghitungan rasio kapasitas pada struktur atas Jembatan Gading dapat dilihat pada Gambar 6.

DESIGN MESSAGES						
Error: Section overstressed						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
2,750	29,995	5801,769	-29,124	-1742,373	26,149	0,758
P/M DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing	Total	P	Major	Minor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
(H1-1b)	35,640	= 0,009	+ 35,1	+ 0,406	0,950	Overstress

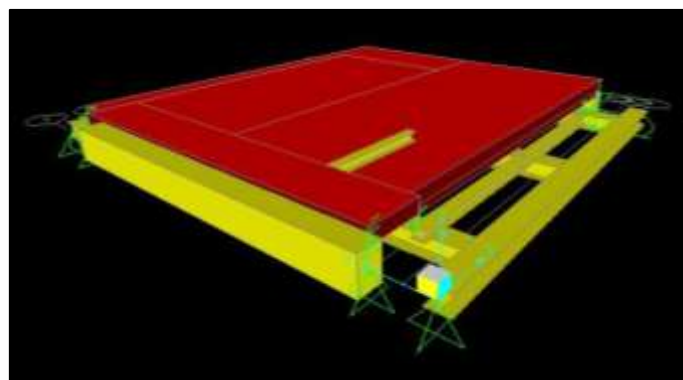
Gambar 6. Hasil analisis struktur atas Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF

Gambar 6 menunjukkan hasil analisis perangkat lunak SAP2000 untuk memeriksa desain struktur atas jembatan dengan perkuatan rangka baja IWF yang ada pada Gambar 5. Nilai rasio struktur atas jembatan perkuatan rangka baja IWF adalah sebesar 35,64, nilai tersebut jauh melebihi batas standar sebesar 1,00. Nilai rasio pada rangka baja tersebut mengalami keadaan *overstrees*, sehingga jembatan yang diperkuat diduga masih akan mengalami kegagalan struktur.

Setelah melakukan evaluasi Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 yang dilewati beban berupa truk trailer 60 ton, diketahui bahwa jembatan masih mengalami kegagalan struktur, sehingga perlu dianalisis skenario perkuatan dengan menambahkan plat baja dengan ketebalan 2 centimeter.

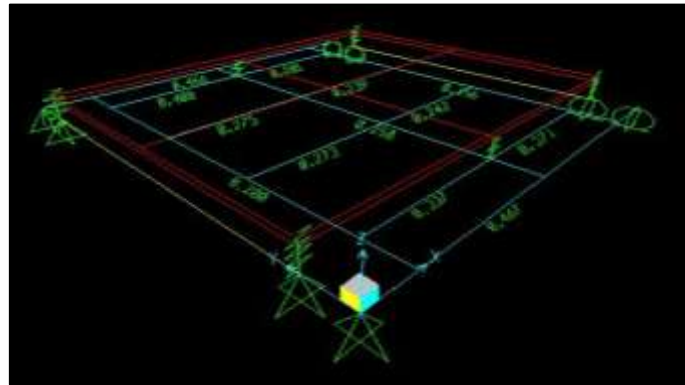
Perkuatan struktur atas jembatan dengan rangka baja IWF dan pelat baja di lantai jembatan

Berdasarkan hasil analisis pada skenario kedua, diketahui bahwa perkuatan dengan rangka baja IWF saja belum mampu menurunkan capacity ratio hingga berada di bawah batas aman, sehingga struktur masih berada dalam kondisi *overstress*. Oleh karena itu, dilakukan skenario ketiga berupa kombinasi metode perkuatan dengan menambahkan pelat baja setebal 2 cm di atas lantai jembatan, bersamaan dengan rangka baja IWF pada bagian bawah struktur. Penambahan pelat baja ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas lentur dan mendistribusikan tegangan secara lebih merata pada pelat lantai, sehingga diharapkan dapat menurunkan tegangan maksimum pada elemen utama. Model perkuatan kombinasi ini kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk menilai efektivitas metode dalam memperbaiki kinerja struktur terhadap beban kendaraan berat. Hasil pemodelan dan analisis disajikan pada gambar berikut.. adapun hasil pemodelan struktur atas Jembatan Gading dengan perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja setebal 2 cm dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan 3D struktur atas Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja 2 cm di lantai jembatan

Setelah pemodelan struktur atas Jembatan Gading dengan kombinasi perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja setebal 2 cm pada lantai jembatan diselesaikan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis struktur untuk mengevaluasi efektivitas metode ini dalam meningkatkan kapasitas jembatan. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, serta nilai *capacity ratio* pada elemen-elemen utama struktur. Skenario ini diharapkan mampu mengatasi kelemahan pada dua skenario sebelumnya, serta menghasilkan respon struktur yang memenuhi batas aman sesuai ketentuan SNI 1725:2016. Hasil analisis pada skenario perkuatan kombinasi ini disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Nilai gaya internal struktur atas Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja 2 cm di lantai jembatan

Gambar 8 menunjukkan gambar hasil kekuatan struktur atas Jembatan setelah perkuatan menggunakan rangka saja IWF dan pelat setebal 2centimeter. Model ini akan digunakan sebagai dasar analisis untuk mengetahui apakah struktur sudah mampu menahan beban kendaraan proyek yang bekerja pada struktur jembatan ini. Adapun hasil penghitungan rasio kapasitas pada struktur atas Jembatan Gading dapat dilihat pada Gambar 9.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
2,750	-0,212	61,891	3,417	-16,336	-2,722	0,026
PMT DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	Major Ratio	Minor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(H1-1b)	0,467	= 0,000	+ 0,418	+ 0,057	0,950	OK

Gambar 9. Hasil analisis struktur atas Jembatan Gading perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja 2 cm di lantai jembatan

Hasil analisis perangkat lunak SAP2000 pada Gambar 9 digunakan untuk mengevaluasi desain struktur atas jembatan dengan perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja tebal 2 cm di lantai jembatan pada Gambar 8. Nilai rasio untuk struktur atas jembatan dengan perkuatan pada skenario ini memperoleh rasio sebesar 0,467 yang berarti kurang dari batas standar sebesar 1,00. Nilai rasio tersebut sudah di bawah batas standar, sehingga struktur jembatan yang diperkuat rangka baja IWF dan pelat baja di atas lantai jembatan tidak akan mengalami kegagalan struktur.

Analisis perbandingan perkuatan

Rekapitulasi hasil analisis tiga skenario dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil analisis tiga skenario

Kondisi Jembatan	Nilai Rasio	Batas Nilai Rasio	Hasil Analisis
Tanpa perkuatan	35	1	Tidak aman
Perkuatan rangka baja IWF	35,64	1	Tidak aman
Perkuatan rangka baja IWF dan pelat baja 2 cm	0,467	1	Aman

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa dari ketiga skenario hanya perkuatan dengan kombinasi rangka baja IWF dan pelat baja yang memenuhi kriteria kelayakan struktural berdasarkan hasil analisis. Solusi ini tidak hanya efektif, tetapi juga relatif mudah diimplementasikan pada jembatan desa atau infrastruktur eksisting di Indonesia yang mengalami keterbatasan kapasitas struktural.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis struktur atas jembatan eksisting yang didapatkan dari perangkat lunak SAP2000 bahwa desain struktur atas mengalami kegagalan struktur. Setelah Jembatan Gading ditambahkan perkuatan rangka baja IWF dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 yang dilewati beban truk trailer 60 ton bahwa jembatan masih mengalami kegagalan struktur. Nilai rasio kapasitas yang didapatkan sebesar 35,64, menunjukkan nilai rasio lebih dari batas standar sebesar satu. Jembatan Gading bagian struktur atas dengan perkuatan rangka baja IWF masih mengalami kegagalan struktur, sehingga ditambahkan pelat baja 2 cm di lantai jembatan. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 menunjukkan hasil nilai rasio sebesar 0,467 yang berarti kurang dari batas standar sebesar satu. Nilai rasio pada rangka baja tersebut sudah berstatus aman, sehingga struktur atas Jembatan Gading yang diperkuat rangka baja IWF dan pelat baja 2 cm di atas lantai jembatan tidak mengalami kegagalan struktur. Rekomendasi teknis ini dapat menjadi solusi sederhana bagi jembatan sejenis di daerah lain yang menghadapi kondisi serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fauzi dan M. Ridwan, "Analisa Penyebab Kalimantan Timur Kerusakan Pondasi Jembatan Dondang," vol. 20, no. 1, hal. 60–68, 2025.
- [2] A. F. Alkautsar, A. Khamid, D. D. Aprilianno, W. Diantoro, dan M. Yunus, "Planning of Cijalu River Prestressed Bridge, Cilacap Regency," *J. Sci. Eng. Inf. Syst. Res.*, vol. 1, no. 1, hal. 12–19, 2023.
- [3] M. Ridwan dan L. Umroniah, "Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Parker Bentang 78 Meter Menggunakan SNI 1725-2016 Dan SNI 1729-2020," *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 4, no. 5, hal. 570–578, 2023, doi: 10.59141/jist.v4i5.617.
- [4] R. R. Zein, R. Franchitika, F. Teknik, U. H. Medan, T. Sipil, dan U. P. Negeri, "Evaluasi Beban Berlebih Kendaraan Terhadap Kerusakan Pada Perkerasan Rigid Pavement Di Jalan Karya Jaya Medan Johor Evaluation of Vehicle Overload on Rigid Pavement Damage on Jalan Karya Jaya Medan Johor," vol. 4057, hal. 31–37, 2023.
- [5] A. Dewi, A. Sagara, T. Kurniawan, dan L. Zalbuin, "Kajian Kegagalan Pondasi Jembatan Di Atas Tanah Lunak : Dampak Terhadap Stabilitas dan Rekomendasi Perkuatan Pada Proyek Jembatan di Kalimantan Timur," vol. 1, no. 1, hal. 1–8, 2020.
- [6] B. W. Hidayatullah, R. M. Simatupang, dan D. Setyowulan, "Studi Analisis Pengaruh Perkuatan Sambungan Pada Struktur Jembatan Rangka Canai Dingin Terhadap Lendutan," *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 1, hal. 111818, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.neliti.com/publications/111818/>
- [7] S. Agustinus dan C. Lesmana, "Perbandingan Analisis Perkuatan Struktur Pelat dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, hal. 1–25, 2019, doi:

- 10.28932/jts.v15i1.1852.
- [8] Khairul Rijal, “Analisis Perkuatan Struktur Jembatan Puskesmas Narmada Kabupaten Lombok Barat,” *J. Sangkareang Mataram*, vol. 3, no. 2, hal. 49–56, 2017.
 - [9] K. Romadon dan B. Nuranita, “Evaluasi Kapasitas Struktur Atas Jembatan Eksisting Callender Hamilton Tajum II Margasana Berdasarkan Standar Pembebanan SNI 1725 : 2016,” hal. 515–520, 2024.
 - [10] B. Nuranita, “Evaluasi Struktur Atas Jembatan Kereta Api WTT dengan Modifikasi Lebar Jalan Rel Standard Gauge,” *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 1, hal. 46, 2023, doi: 10.26760/rekaracana.v9i1.46.
 - [11] S. U. Khan, T. Ayub, dan A. Qadir, “Effect of overloaded vehicles on the performance of highway bridge girder: A case study,” *Procedia Eng.*, vol. 77, hal. 95–105, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.07.010.