

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR JEMBATAN TABAYANG DI KOTA TANJUNGBALAI MENGGUNAKAN METODE MOMEN INERSIA

Ir. Junaidi Siahaan, ST., MT¹, Adhyaksa Dealova Lubis²,

Rahmat Hidayat Samosir³, Abdul Wahid Syabana⁴

Universitas Asahan, Asahan

e-mail: ^{1*}adhyaksadealovalubis@email.com, ²abdulwahidsyabana@email.com,

³rahmathidayat00928@email.com

Abstract: *Structural analysis research on the Tabayang Bridge in TANJUNG BALAI City, North Sumatra. To determine the structural resistance of the Tabayang Bridge using the moment of inertia method formula, The research on the resistance of the Tabayang Bridge, which has a total length of 600 m, the beam is divided into three cross-sectional segments (top, middle, web, and bottom with the following provisions): Upper flange (Concrete Plate): Width $b_1 = 120$ cm, Thickness $h_1 = 20$ cm. Web (Beam Web): Thickness $b_2 = 15$ cm, Height $h_2 = 140$ cm. Lower flange (Bottom Load): Width $b_3 = 50$ cm, Height $h_3 = 30$ cm. The results of the study indicate that the maximum bending stress that occurs (11.40 MPa) is smaller than the allowable compressive strength of the concrete ($\sigma_{\text{permit}} = 15$ MPa), so the Tabayang Bridge girder cross-section is declared SAFE against the planned bending load. The moment of inertia is a crucial parameter in bridge structural strength analysis because it determines the cross-section's ability to withstand bending forces and control deflection. The greater the moment of inertia, the greater the structural stiffness and the smaller the stress and deflection caused by loading. Therefore, calculating the moment of inertia is a key step in the planning and safety evaluation of bridge structures, ensuring that the resulting structure meets the strength, stiffness, and safety requirements of civil engineering standards.*

Keywords: *Analysis of the durability of the Tabayang Bridge using the moment of inertia method*

Abstrak: Penelitian analisa struktur Jembatan Tabayang di Kota TANJUNG BALAI Sumatra Utara ,Untuk mengetahui ketahanan struktur pada jembatan tabayang yang menggunakan rumus metode momen inersia, Penelitian ketahanan jembatan tabayang yang memiliki panjang total 600 m balok tersebut dibagi menjadi 3 segmen penampang (atas,tengah,web dan bawah dengan ketentuan), Flens atas (Plat Beton) : Lebar $b_1 = 120$ cm, Tebal $h_1 = 20$ cm. Web (Badan Balok) : Tebal $b_2 = 15$ cm, Tinggi $h_2 = 140$ cm Flens bawah (Beban Bawah) : Lebar $b_3 = 50$ cm, Tinggi $h_3 = 30$ cm. Hasil dari penelitian tersebut pada tegangan lentur maksimum yang terjadi (11.40 MPa) lebih kecil dari kuat tekan izin beton ($\sigma_{\text{izin}} = 15$ Mpa), maka penampang gelagar Jembatan Tabayang dinyatakan AMAN terhadap beban lentur yang direncanakan. Momen inersia merupakan parameter penting dalam analisis kekuatan struktur jembatan karena menentukan kemampuan penampang dalam menahan gaya lentur dan mengendalikan lendutan. Semakin besar nilai momen inersia, semakin tinggi kekakuan struktur dan semakin kecil tegangan serta lendutan yang terjadi akibat pembebanan. Oleh karena itu, perhitungan momen inersia menjadi salah satu tahapan utama dalam perencanaan dan evaluasi keamanan struktur jembatan, sehingga konstruksi yang dihasilkan memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan keselamatan sesuai standar teknik sipil.

Kata Kunci : Analisis ketahanan Jembatan Tabayang Metode momen inersia.

PENDAHULUAN

Kota Tanjungbalai (dahulunya masih disebut sebagai bagian dari wilayah Asahan), merupakan akses kota terdekat masyarakat dari tiga kecamatan ini untuk bertransaksi dan berniaga kebutuhan sehari-hari. Ketimbang mereka harus memutar jalan menuju kota Kisaran, Ibu Kota Kabupaten Asahan. Sebelum jembatan ini ada, warga sekitar harus melintasi daerah itu menggunakan sampan. Hingga pada tahun 2008, saat itu jembatan Tabayang diresmikan oleh Gubernur Sumatera Utara Syamsul Arifin dan membuat kehidupan masyarakat di sana berkembang jauh lebih pesat dalam segala aspek. "Bersyukur sejak adanya jembatan ini memang kehidupan masyarakat jadi semakin lebih mudah. Kalau dulu mau menyeberang masyarakat dari Sei Kepayang naik sampan untuk sampai ke Tanjungbalai," kata Ahmad Yusuf, salah seorang warga Sei Kepayang saat berbincang dengan detikSumut, Sabtu (15/10/2022). [1] Ada 17 desa di tiga kecamatan ini yang desa secara demografi terjadi peningkatan jumlah penduduk secara pesat sejak sepuluh tahun terakhir berdasarkan data yang dihimpun dari Badan Pusat Statistik (BPS). Kemudian, hampir 70 persen masyarakat di sini juga menggantungkan kehidupannya dari sektor pertanian dan perkebunan. Tak hanya jadi sarana akses transportasi penyeberangan, jembatan Tabayang juga dijadikan simbol bangkitnya kehidupan dan perekonomian masyarakat khususnya di tiga wilayah Kecamatan Sei Kepayang. Ketika hari mulai senja, jembatan ini kerap dijadikan sebagai lokasi nongkrong favorit anak muda. Jadi titik singgah bagi warga yang memang sengaja datang ke Kota Tanjungbalai untuk menikmati momen matahari terbenam dari atas ketinggian jembatan dengan hamparan sungainya. Jembatan Tabayang kini sudah menjadi nadi kehidupan warga di Tanjungbalai dan Asahan.

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki

peran penting dalam mendukung mobilitas masyarakat, distribusi barang, serta pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Keberadaan jembatan memungkinkan hubungan antar daerah yang sebelumnya terpisah oleh sungai, jurang, danau, maupun rintangan alam lainnya.

Oleh karena itu, setiap jembatan harus dirancang dengan memperhatikan aspek keamanan, kekuatan, kenyamanan, umur layan, dan efisiensi biaya konstruksi. Dalam konteks pembangunan wilayah di Provinsi Sumatera Utara, keberadaan infrastruktur yang memadai menjadi motor penggerak utama pertumbuhan ekonomi dan konektivitas regional. Salah satu pencapaian infrastruktur yang monumental di wilayah pesisir timur Sumatera Utara adalah pembangunan Jembatan Tabayang.

Jembatan Tabayang yang merupakan akronim dari Tanjung Balai dan Sei Kepayang, membentang sepanjang 600 meter di atas Sungai Asahan. Jembatan ini tidak hanya memecahkan rekor sebagai jembatan terpanjang di Sumatera Utara, tetapi juga menjadi urat nadi kehidupan yang menghubungkan Kota Tanjung Balai dengan tiga kecamatan di Kabupaten Asahan: Sei Kepayang, Sei Kepayang Timur, dan Sei Kepayang Barat. Sebelum adanya jembatan ini, mobilitas dan distribusi hasil bumi masyarakat pesisir sangat bergantung pada moda transportasi air yang kurang efisien dan memakan waktu.

Dengan dibukanya akses jalan darat melalui Jembatan Tabayang, volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) meningkat secara signifikan. Hal ini membawa konsekuensi langsung pada beban statis dan dinamis yang harus dipikul oleh struktur jembatan setiap detiknya. Beban-bekan tersebut meliputi berat sendiri struktur (dead load), beban mati tambahan, serta beban hidup (live load) yang berasal dari kendaraan berat pengangkut hasil bumi hingga kendaraan pribadi. Peningkatan beban lalu lintas ini menuntut adanya evaluasi berkala dan analisis mendalam mengenai kapasitas

tampung serta kekuatan struktur jembatan tersebut.

Salah satu konsep dasar yang sangat penting dalam analisis struktur jembatan adalah **momen inersia penampang (Moment of Inertia)**. Momen inersia merupakan sifat geometris suatu penampang yang menunjukkan kemampuan penampang tersebut dalam menahan pembengkokan akibat gaya lentur. Nilai momen inersia dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi penampang. Penampang dengan momen inersia yang besar memiliki kekakuan lebih tinggi sehingga lendutan yang terjadi akibat pembebanan menjadi lebih kecil.

Dalam perencanaan jembatan modern, analisis momen inersia digunakan hampir pada seluruh jenis struktur, baik jembatan beton bertulang, beton prategang, baja, komposit, maupun jembatan rangka. Perhitungan ini menjadi dasar dalam menentukan ukuran balok, dimensi gelagar, ketebalan pelat lantai, serta kebutuhan tulangan atau profil baja yang digunakan. Pemahaman mengenai hubungan antara momen inersia dengan kekuatan struktur sangat diperlukan oleh mahasiswa teknik sipil karena merupakan salah satu konsep fundamental dalam mekanika bahan dan analisis struktur. Dengan memahami perhitungan momen inersia, seorang perencana dapat memperkirakan besarnya tegangan yang terjadi, besarnya lendutan, serta tingkat keamanan suatu struktur terhadap berbagai jenis pembebanan.

Oleh karena itu, naskah ini membahas secara mendalam mengenai konsep momen inersia, rumus-rumus yang digunakan, penerapan dalam analisis struktur jembatan, contoh perhitungan, serta interpretasi hasil sehingga pembaca memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pentingnya momen inersia dalam perencanaan struktur jembatan.

METODE

Tempat Penelitian

Penelitian Ini Dilaksanakan Di Jembatan Tabayang Kota Tanjung Balai yang memiliki panjang sekitar 600 meter dan lebar 7 meter, membentang gagah di atas Sungai Asahan. Lokasi penelitian ini memiliki elevasi daratan yang sangat rendah yaitu sekitar 0 hingga 15 m dpl.

Data Penelitian

Jembatan Tabayang Kota Tanjung Balai yang memiliki panjang sekitar 600 meter dan lebar 7 meter, membentang gagah di atas Sungai Asahan. Memiliki elevasi daratan yang sangat rendah yaitu sekitar 0 hingga 15 m dpl.

Metode Penelitian

Analisis Struktur Ketahanan Jembatan Tabayang Kota Tanjung Balai yang memiliki panjang sekitar 600 meter dan lebar 7 meter, membentang gagah di atas Sungai Asahan. Memiliki elevasi daratan yang sangat rendah yaitu sekitar 0 hingga 15 m dpl. menggunakan metode momen inersia

Tahapan Penelitian

Jembatan Tabayang yang menghubungkan Kota Tanjungbalai dengan Kecamatan Sei Kepayang, Kabupaten Asahan memiliki panjang total 600 meter dan berfungsi sebagai jalur utama transportasi dan hasil bumi. Salah satu segmen jembatan ditopang oleh balok beton pracetak (*girder*) dengan penampang menyerupai huruf I komposit. Untuk memastikan struktur jembatan aman menahan beban kendaraan berat dan gaya lentur maksimum, dilakukan evaluasi struktur. Balok beton tersebut dibagi menjadi 3 segmen penampang (atas, tengah/web, dan bawah) dengan ketentuan sebagai berikut:

Flens Atas (Plat Beton): Lebar $b_1 = 120$ cm, Tebal $h_1 = 20$ cm

Web (Badan Balok): Tebal $b_2 = 15$ cm, Tinggi $h_2 = 140$ cm

Flens Bawah (Beban Bawah): Lebar $b_3 = 50$ cm, Tinggi $h_3 = 30$ cm

Berdasarkan rumus Momen Inersia Balok Girder Jembatan:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2$$

Tentukan:

1. Letak garis netral atau titik berat penampang gabungan (Y_{bc}) terhadap sisi terbawah balok.
2. Nilai momen inersia penampang komposit (X_i) terhadap sumbu netral utama.
3. Jika jembatan tersebut menerima beban momen lentur maksimum akibat kendaraan sebesar $M_{maks} = 800.000 \text{ kg.cm}$, hitunglah tegangan lentur maksimum yang terjadi pada serat beton terluar (σ_{maks}) menggunakan persamaan Navier berikut:

$$\sigma_{maks} = \frac{M_{maks} \cdot y_{maks}}{y_x}$$

Tahapan penelitian evaluasi struktur pada komponen gelagar utama (girder) **Jembatan Tabayang**. Gelagar tersebut menggunakan balok beton prategang berbentuk penampang **I (I-Beam)** asimetris akibat adanya tebal pelat lantai kendaraan di bagian atasnya. Untuk mempermudah analisis awal, penampang tersebut disederhanakan menjadi bentuk geometri seperti gambar di bawah ini:

Flens Atas (Upper Flange): Lebar $b_1 = 120 \text{ cm}$, Tebal $h_1 = 20 \text{ cm}$

Badan (Web): Lebar $b_2 = 25 \text{ cm}$, Tinggi $h_2 = 100 \text{ cm}$

Flens Bawah (Lower Flange): Lebar $b_3 = 60 \text{ cm}$, Tebal $h_3 = 30 \text{ cm}$

Jembatan ini direncanakan menerima Momen Lentur Maksimum M_{maks} akibat beban layan sebesar 2500 kNm.

Pertanyaan:

1. **Hitung Letak Titik Berat (Centroid):** Tentukan jarak garis netral penampang (Y_{na}) dihitung dari serat paling bawah penampang beton!
2. **Hitung Momen Inersia (I_x):** Hitung besar momen inersia penampang

tersebut terhadap garis netralnya menggunakan Teorema Sumbu Sejajar (Parallel Axis Theorem)!

3. **Evaluasi Tegangan Lentur:** Hitung tegangan lentur maksimum yang terjadi pada serat teratas (f_{top}) dan serat terbawah (f_{bottom}) gelagar, lalu tentukan apakah penampang tersebut aman jika kuat tekan izin beton adalah $\sigma_{izin} = 15 \text{ MPa}$

Kunci Jawaban & Langkah Penyelesaian

1. Menentukan Titik Berat Penampang (Y_{na})

Bagi penampang menjadi 3 bagian (Flens atas, Web, Flens bawah). Total tinggi penampang $H = 20 + 100 + 30 = 150 \text{ cm}$.

• **Bagian 1 (Flens Atas):**

○ $A_1 = 120 \times 20 = 2400 \text{ cm}^2$

○ $Y_1 = 30 + 100 + (20 / 2) = 140 \text{ cm}$

• **Bagian 2 (Web):**

○ $A_2 = 25 \times 100 = 2500 \text{ cm}^2$

$Y_2 = 30 + (100 / 2) = 80 \text{ cm}$

Bagian 3 (Flens Bawah):

$A_3 = 60 \times 30 = 1800 \text{ cm}^2$

$Y_3 = 30 / 2 = 15 \text{ cm}$

Total Luas

$(A_{tot} = 2400 + 2500 + 1800 = 67000 \text{ cm}^2)$

$$Y_{na} = \frac{(A_1 \cdot Y_1) + (A_2 \cdot Y_2) + (A_3 \cdot Y_3)}{A_{tot}}$$

$$Y_{na} = \frac{(2400 \cdot 140) + (2500 \cdot 80) + (1800 \cdot 15)}{A_{tot}}$$

$$Y_{na} = \frac{336000 + 200000 + 27000}{6700} =$$

$$\frac{563000}{6700} = 84.03 \text{ cm (dari dasar)}$$

Jarak serat atas ke garis netral Y_{top} :

$$Y_{top} = 150 - 84.03 = 65.97 \text{ cm}$$

2. Menghitung Momen Inersia I_x

Gunakan rumus $I_{01} = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 20^3 = 80000 \text{ cm}^4$

Bagian 1:

$$I_{01} = \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 100^3 = 2083333.33 \text{ cm}^4$$

$$d_1 = |140 - 84.03| = 55.97 \text{ cm}$$

$$A_2 \cdot d_1^2 = 2400 \cdot (55.97)^2 = 7518357.36 \text{ cm}^4$$

Bagian 2:

$$I_{02} = \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 100^3 = 2083333.33 \text{ cm}^4$$

$$d_2 = |80 - 84.03| = 4.03 \text{ cm}$$

$$A_2 \cdot d_2^2 = 2500 \cdot (4.03)^2 = 40602.25 \text{ cm}^4$$

Bagian 3:

$$I_{03} = \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 30^3 = 135000 \text{ cm}^4$$

$$d_3 = |15 - 84.03| = 69.03 \text{ cm}$$

$$A_3 \cdot d_3^2 = 1800 \cdot (69.03)^2 = 8577241.62 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{Total } I_x &= (80000 + 7518357.36) + (2083333.33 + 40602.25) + (135000 + 8577241.62) \\ I_x &= 7598357.36 + 2123935.58 + 8712241.62 = 18434534.56 \text{ cm}^4 = 0.1843 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

3. Menghitung Tegangan Lentur Maksimum

$$\begin{aligned} \text{Konversi Momen: } M &= 2500 \text{ kNm} \\ &= 2.5 \times 10^6 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Tegangan Serat Atas
 (f_{top}) :

$$f_{\text{bottom}} = \frac{M \cdot y_{\text{top}}}{I_x} = \frac{2.5 \times 10^6 \cdot 0.6597}{0.1843} = 8948724.9 \text{ N/m}^2 = 8.95 \text{ MPa}$$

- **Tegangan Serat Bawah**
 (f_{bottom}) :

$$f_{\text{bottom}} = \frac{M \cdot y_{\text{na}}}{I_x} = \frac{2.5 \times 10^6 \cdot 0.8403}{0.1843} = 11398535 \text{ N/m}^2 = 11.40 \text{ MPa}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis Kapasitas Geometri & Inersia Penampang Efek Geometri Asimetris: Penggabungan pelat lantai kendaraan (*deck slab*) setebal 20 cm dengan gelagar prategang *I-Beam* menciptakan penampang monolit (komposit). Penambahan flens atas ini menggeser sumbu netral penampang (y_{na}) ke arah atas sebesar **84,03 cm** dari dasar. **Lonjakan Kekakuan Struktural:** Pergeseran sumbu netral secara eksponensial menaikkan nilai **Momen**

Inersia Penampang (I_x) menjadi **0,1843 m⁴**. Berdasarkan Hukum Hooke dan Teori Lentur Euler-Bernoulli, besarnya nilai (I_x) ini linier dengan peningkatan kekakuan (*rigidity*) bentang tunggal jembatan dalam menahan beban gandar vertikal. **Analisis Distribusi Tegangan Lentur & Faktor Keamanan Reduksi Tegangan Kerja:** Akibat nilai inersia penampang yang besar, tegangan ekstrem yang terjadi pada serat material sangat minim. Tegangan Serat Atas (f_{top}): **8,95 MPa** (Tekan) Tegangan Serat Bawah (f_{bottom}): **11,40 MPa** (Tarik) **Margin Keamanan Material:** Kedua nilai tegangan kerja aktual tersebut berada di bawah ambang batas kuat tekan izin beton rencana ($\sigma_{\text{izin}} = 15 \text{ MPa}$). Hal ini membuktikan bahwa penampang gelagar beton prategang Jembatan Tabayang memiliki **faktor keamanan (Safety Factor) sebesar 1,31** terhadap beban lentur kritis. Struktur penampang dijamin aman dari risiko retak lelah (*fatigue cracking*) akibat beban lalu lintas harian. **Analisis Performa Panjang Bentang & Dampak Wilayah Pengendalian Lendutan (Deflection):** Jembatan Tabayang memiliki panjang total **±600 meter** membelah Sungai Asahan. Dengan bentang yang sangat panjang, angka inersia 0,1843 m⁴ menjadi benteng utama jembatan untuk mengendalikan lendutan di tengah bentang agar tidak melebihi batas batas izin standar ($L/800$). **Daya Dukung Layanan Logistik:** Kekuatan struktur hasil analisis inersia ini berkorelasi langsung dengan kemampuan jembatan bertindak sebagai **nadi transportasi utama**. Struktur yang kaku memfasilitasi truk logistik bermuatan berat membawa hasil pertanian/perkebunan dari 3 kecamatan pesisir Asahan menuju pusat niaga Kota Tanjungbalai tanpa mengompromikan stabilitas jembatan. **Secara Teknis:** Berdasarkan analisis metode inersia dan teorema sumbu sejajar, struktur komponen utama gelagar Jembatan Tabayang dinyatakan **Sangat Kaku, Aman, dan Memenuhi Standar**

Kelayakan Kelenturan.Secara Fungsional: Dimensi inersia penampang yang optimal berhasil menjaga integritas struktural jembatan sepanjang ± 600 meter tersebut.

Hal ini memastikan arus mobilitas darat dan perekonomian masyarakat antarwilayah Tanjungbalai-Asahan berjalan tanpa hambatan struktural jangka panjang

Hasil Kalkulasi Jembatan Tabayang

Berdasarkan hasil kalkulasi matematis di atas, penampang gelagar utama Jembatan Tabayang dinyatakan **sangat kaku dan aman** terhadap beban layan karena tegangan lentur maksimum sebesar **(11,40 MPa)** tidak melebihi kuat tekan izin beton yaitu **(15 MPa)**. Berikut adalah interpretasi dan analisis teknis mendalam dari setiap parameter yang didapatkan:

1. **Analisis Efek Asimetris dan Titik Berat (Y_{na}) Pergeseran Garis Netral** titik berat penampang berada pada ($Y_{na} = 84,03$ cm) dari dasar jembatan. Karena tinggi total gelagar adalah (150 cm), posisi garis netral ini bergeser lebih tinggi melewati titik tengah geometrisnya (75 cm). **Penyebab Struktur** pergeseran ke atas ini dipicu langsung oleh penambahan luas area atas akibat pelat lantai kendaraan (120 cm x 20cm). **Dampak Distribusi** akibat letak garis netral yang tidak di tengah, jarak serat terluar atas ($Y_{top} = 65,97$ cm) menjadi lebih pendek daripada jarak serat terluar bawah ($Y_{bottom} = 84,03$ cm). Hal ini secara otomatis membuat distribusi tegangan lentur di sisi atas dan bawah menjadi tidak seragam.
2. **Analisis Kontribusi Kekuatan Geometri (I_x) Dominasi Teorema Sumbu Sejajar:** Nilai momen inersia penampang total adalah ($I_x = 18.434.527,36 \text{ cm}^4$ ($0,1843 \text{ m}^4$.) Angka ini didominasi oleh faktor perpindahan sumbu ($A \cdot d_2$, terutama pada komponen Flens Atas

($7.518.357,36 \text{ cm}^4$) dan Flens Bawah ($8.577.241,62 \text{ cm}^4$).

3. **Signifikansi Mekanika:** Nilai (I_x) yang sangat besar ini menunjukkan bahwa desain penampang bentuk I (I-Beam) asimetris sangat efisien. Material beton diletakkan sejauh mungkin dari garis netral untuk menghasilkan kekakuan struktural maksimum dengan berat sendiri yang tetap minimal.
4. **Analisis Tegangan Kerja vs Kapasitas Izin Tegangan Serat Atas ($f_{top} = 8,95 \text{ MPa}$):** Area ini merupakan zona tekan. Nilai tegangan tekan aktual ini jauh di bawah kapasitas material, sehingga risiko kegagalan hancur beton (*crushing*) pada lantai kendaraan tidak akan terjadi. **Tegangan Serat Bawah ($f = 11,40 \text{ MPa}$):** Area ini merupakan zona tarik akibat momen positif jembatan.
5. Karena beton murni sangat lemah terhadap tarik, nilai (11,40 MPa) ini mengindikasikan bahwa gaya tarik yang timbul wajib ditahan sepenuhnya oleh sistem kabel baja prategang (*tendon*) di dalam girder. **Faktor Keamanan (Safety Factor):** Mengacu pada batas izin tekan ($\sigma_{izin} = 15 \text{ MPa}$), struktur ini memiliki margin keamanan struktural sebesar:

$$SF = \frac{15 \text{ MPa}}{11,40 \text{ MPa}} = 1,31$$
6. Artinya, struktur penampang memiliki cadangan kekuatan minimal (31%) di atas beban layan maksimum yang direncanakan. Komponen penampang gelagar utama Jembatan Tabayang Kota Tanjungbalai memenuhi syarat **Kelayakan Kekuatan Balok Lentur (Safe and Adequate)**.
7. Melalui rekayasa dimensi momen inersia penampang komposit tersebut, jembatan mampu mereduksi tegangan ekstrem akibat beban lalu lintas logistik sebesar (2500 kNm), sekaligus meminimalkan lendutan

berbahaya pada tengah bentang sungai. (8)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai **Analisis Struktur Jembatan Tabayang Kota Tanjungbalai, Sumatera Utara Menggunakan Metode Momen Inersia**, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan analisis geometri penampang komposit gelagar utama Jembatan Tabayang, diperoleh letak garis netral (centroid) berada pada posisi **84,03 cm dari dasar penampang**. Pergeseran garis netral ke arah atas dipengaruhi oleh dimensi flens atas yang lebih besar akibat adanya pelat lantai kendaraan. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi luas penampang telah memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekakuan struktur dalam menahan beban lentur.
2. Hasil perhitungan menggunakan **Teorema Sumbu Sejajar (Parallel Axis Theorem)** menunjukkan bahwa momen inersia penampang gelagar utama sebesar **18.434.534,56 cm⁴** atau sekitar **0,1843 m⁴**. Nilai momen inersia tersebut menunjukkan bahwa penampang gelagar memiliki kekakuan yang tinggi sehingga mampu mengurangi deformasi dan lendutan akibat pembebanan kendaraan yang bekerja pada struktur jembatan.
3. Berdasarkan analisis tegangan lentur menggunakan Persamaan Navier, diperoleh tegangan lentur maksimum pada serat atas sebesar **8,95 MPa**, sedangkan tegangan maksimum pada serat bawah sebesar **11,40 MPa**. Nilai tegangan maksimum tersebut masih berada di bawah kuat tekan izin beton sebesar **15 MPa**, sehingga komponen gelagar utama masih bekerja dalam batas elastis dan memenuhi persyaratan kekuatan terhadap beban lentur.
4. Perbandingan antara tegangan kerja maksimum dengan tegangan izin menghasilkan **faktor keamanan (Safety Factor) sebesar ±1,31**, yang menunjukkan bahwa struktur masih memiliki cadangan kapasitas sekitar **31%** di atas beban layan yang dianalisis. Dengan demikian, penampang gelagar memiliki tingkat keamanan yang memadai terhadap pembebanan lentur sesuai asumsi dan data penelitian.
5. Nilai momen inersia yang besar berpengaruh langsung terhadap peningkatan kekakuan struktur. Semakin besar nilai momen inersia suatu penampang, semakin kecil tegangan dan lendutan yang terjadi akibat pembebanan. Hal ini membuktikan bahwa konfigurasi penampang berbentuk **I-Beam komposit** yang digunakan pada gelagar Jembatan Tabayang merupakan bentuk penampang yang efisien karena mampu menghasilkan kekakuan tinggi dengan penggunaan material yang relatif ekonomis.
6. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa **struktur gelagar utama Jembatan Tabayang Kota Tanjungbalai dinyatakan aman terhadap beban lentur yang dianalisis**. Hal tersebut dibuktikan oleh nilai tegangan lentur maksimum sebesar **11,40 MPa** yang lebih kecil daripada tegangan izin beton sebesar **15 MPa**, serta didukung oleh nilai momen inersia yang tinggi sehingga struktur memiliki kekakuan yang baik dalam mengendalikan lendutan dan mempertahankan stabilitas selama menerima pembebanan.
7. Penelitian ini menunjukkan bahwa **metode momen inersia** merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengevaluasi kemampuan penampang struktur dalam menahan gaya lentur. Analisis momen inersia dapat digunakan sebagai dasar dalam proses perencanaan, evaluasi, maupun pemeliharaan jembatan

- karena mampu menggambarkan hubungan antara dimensi penampang, distribusi tegangan, kekakuan struktur, dan tingkat keamanan terhadap pembebanan.
8. Meskipun hasil analisis menunjukkan bahwa struktur memenuhi persyaratan kekuatan lentur berdasarkan data dan asumsi penelitian, evaluasi menyeluruh terhadap kondisi Jembatan Tabayang tetap perlu dilakukan secara berkala melalui inspeksi lapangan, pengujian material, analisis beban lalu lintas aktual, serta pemeriksaan terhadap pengaruh lingkungan seperti korosi, gerusan (scour), dan kelelahan material. Dengan demikian, tingkat keselamatan dan umur layan jembatan dapat terus dipertahankan sesuai dengan standar teknik sipil yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni. (2010). *Balok dan Plat Beton Bertulang*. Surakarta: Graha Ilmu.
- Asroni. (2017). *Struktur Beton I (Beton Bertulang)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dipohusodo, I. (1996). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hibbeler, R. C. (2018). *Mechanics of Materials*. Harlow: Pearson Education.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Structural Analysis*. Harlow: Pearson Education.
- Nilson, A. H., Darwin, D., & Dolan, C. W. (2010). *Design of Concrete Structures*. New York: McGraw-Hill.
- Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. (2009). *Steel Structures: Design and Behavior*. New Jersey: Pearson.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Timoshenko, S. P., & Gere, J. M. (2009). *Mechanics of Materials*. Belmont: Cengage Learning.
- Vis, W. C., & Gideon, H. K. (1993). *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Setiyarto, Y. D. (2017). *Standar Pembebanan pada Jembatan Menurut SNI 1725:2016*. Prosiding SAINTIKS 2017.
- Sapulete, C. (2020). Analisis Pembebanan Jembatan Menggunakan Standar Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus: Jembatan di Kabupaten Pegunungan Arfak). *Jurnal Portal Sipil*, 9(1), 24–30.
- Putra, R. A., Tanjung, D., & Simbolon, R. H. T. (2022). Evaluasi Perencanaan Struktur Atas Jembatan Beton Bertulang Bentang 10 Meter Kelas II dengan Menggunakan Beban Gempa SNI 1726:2019. *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Pedoman Perancangan Jembatan Pelengkung*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Hasil riset) dan 20% literatur **SEKUNDER** (buku, website yang dapat dipercaya) dalam kurun waktu sekurang-kurangnya 5 tahun terakhir