

**ANALISIS STRUKTUR JEMBATAN SEGMENTAL BOX GIRDER
TERHADAP BEBAN KONSTRUKSI MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA DENGAN PEMODELAN SOLID
(Studi Kasus: Jalan Tol Ir. Wiyoto – Wiyono, M.Sc Section Ancol Timur –
Pluit Elevated (Harbour Road 2))**

Fadhillah Rahma Indra¹,
Universitas Bung Hatta
fadhillahrahmaindra@gmail.com¹

Khadavi²
Universitas Bung Hatta
qhad_17@yahoo.com²

ABSTRAK

Jembatan merupakan infrastruktur strategis dalam sistem transportasi yang berfungsi menghubungkan dua titik terpisah secara geografis. Peran strategis jembatan menuntut perencanaan struktur yang mampu menahan berbagai jenis beban, baik beban layanan (*service load*) selama masa operasional maupun beban sementara (*construction load*) yang terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Pada tahap konstruksi, struktur jembatan menerima beban sementara yang dapat menimbulkan tegangan lokal signifikan, salah satunya pada metode *span-by-span* dengan *Launching Gantry* (LG). Penelitian ini menganalisis pengaruh beban konstruksi dari kaki belakang (*rear leg*) LG terhadap segmen box girder pracetak dengan pendekatan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*). Pemodelan dilakukan menggunakan solid element tiga dimensi untuk merepresentasikan distribusi tegangan secara detail, di mana beban konstruksi direpresentasikan sebagai tekanan permukaan (*surface pressure*) pada pelat atas (*top slab*). Hasil analisis menunjukkan konsentrasi tegangan pada daerah perletakan *rear main support* (RMS) dan *rear leg* (RL). Nilai tegangan yang diperoleh masih berada dalam batas izin beton sesuai AASHTO LRFD 2020, yaitu pada RMS sebesar 0,92 MPa (serat atas) dan 0,58 MPa (serat bawah), sedangkan akibat RL diperoleh tegangan tarik 0,41 MPa pada *top slab* serat bawah dan 0,36 MPa pada *bottom slab*. Selain itu, tegangan tekan akibat beban tumpuan bearing tercatat sebesar 12,56 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beban konstruksi dari LG menghasilkan konsentrasi tegangan lokal pada box girder yang masih berada dalam batas izin sesuai AASHTO LRFD 2020, sehingga respon struktur tetap berada dalam batas aman sesuai standar desain yang berlaku.

Kata Kunci: Kriteria; Jembatan *box girder*; Beban konstruksi; Metode elemen hingga; *Launching Gantry*; Analisis tegangan

ABSTRACT

Bridges are strategic infrastructures in transportation systems, serving to connect two geographically separate points. The strategic role of bridges demands structural planning capable of withstanding various types of loads, including both service loads during operation and temporary construction loads. During the construction phase, bridge structures are subjected to temporary loads that can cause significant local stresses, particularly in the span-by-span method using a Launching Gantry (LG).

This research analyzes the effect of construction loads from the LG's rear leg on precast box girder segments using the Finite Element Method (FEM). Modeling was performed using three-dimensional solid elements to represent stress distribution in detail, where the construction load was represented as a surface pressure on the top slab.

The analysis results show stress concentration in the bearing areas of the rear main support (RMS) and the rear leg (RL). The stress values obtained are still within the allowable concrete limits according to AASHTO LRFD 2020. Specifically, at the RMS, the stresses are 0.92 MPa (top fiber) and 0.58 MPa (bottom fiber). The RL loads resulted in tensile stresses of 0.41 MPa on the top slab's bottom fiber and 0.36 MPa on the bottom slab. Furthermore, the bearing compressive stress was recorded at 12.56 MPa.

The findings of this study indicate that the construction loads from the LG generate local stress concentrations on the box girder that remain within the allowable limits of AASHTO LRFD 2020, thus ensuring the structural response remains within safe design standards.

Keywords: *Box girder bridge; Construction load; Finite element method; Launching gantry; Stress analysis.*

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam sistem transportasi modern yang dirancang untuk menghubungkan dua titik yang terputus oleh rintangan alami maupun buatan. Sebagai elemen kunci, jembatan harus mampu menahan berbagai macam beban, baik beban permanen, beban layanan (seperti kendaraan), maupun beban sementara yang terjadi selama proses konstruksi. Pentingnya evaluasi terhadap beban sementara ini sering kali terabaikan, padahal beban konstruksi, terutama yang berasal dari alat-alat berat seperti *launching gantry* (LG), bisa menghasilkan tegangan lokal yang signifikan dan berpotensi melebihi kapasitas desain.

Jembatan *segmental box girder* adalah salah satu tipe struktur yang sering dipilih untuk bentang menengah di area dengan lalu lintas padat. Keunggulan utama dari jembatan ini adalah metode konstruksinya yang cepat dan efisien, salah satunya menggunakan metode *span-by-span* dengan bantuan LG. Meskipun metode ini sangat efektif, bobot besar dari LG dan distribusinya yang terpusat pada segmen pracetak (*precast segment*) dapat menimbulkan konsentrasi tegangan yang tidak terduga. Beban ini bersifat dinamis dan bervariasi tergantung pada posisi LG selama proses *erection*.

Untuk menganalisis dampak dari beban konstruksi ini secara detail, diperlukan metode yang akurat dan komprehensif. *Finite Element Method* (FEM) adalah alat analisis yang sangat

relevan untuk studi kasus ini. FEM memungkinkan pemodelan struktur yang rumit dan mampu memprediksi distribusi tegangan dengan tingkat presisi yang tinggi. Dalam penelitian ini, pemodelan dilakukan dengan menggunakan *solid element* tiga dimensi (3D). Pendekatan ini dipilih karena *solid element* dapat mereplikasi geometri struktur secara akurat dan menunjukkan bagaimana tegangan tersebar di dalam volume material beton, bukan hanya pada permukaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktural jembatan *box girder* segmental terhadap beban konstruksi dari kaki belakang (*rear leg*) LG yang beroperasi pada proyek Jalan Tol Ir. Wiyoto - Wiyono, M.Sc Section Ancol Timur - Pluit Elevated (Harbour Road 2). Fokus utama penelitian adalah mengevaluasi distribusi tegangan yang timbul pada pelat atas (*top slab*) dan membandingkannya dengan batas tegangan izin yang berlaku, khususnya berdasarkan standar AASHTO LRFD 2020. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai keamanan dan keandalan struktur selama tahap konstruksi, serta menegaskan efektivitas metode *erection launching* yang digunakan.

TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan

Jembatan didefinisikan sebagai struktur yang dibangun untuk melintasi rintangan fisik, seperti sungai, lembah, atau jalan lainnya, guna menyediakan jalur kontinu untuk transportasi. Sejarah perkembangan jembatan mencerminkan evolusi peradaban manusia, dari struktur sederhana yang terbuat dari kayu hingga jembatan modern yang menggunakan material canggih seperti beton prategang, baja, dan komposit. Klasifikasi jembatan dapat didasarkan pada berbagai aspek, termasuk material (beton, baja), tipe struktural (balok, lengkung, gantung), dan metode konstruksi (pracetak, cor di tempat).

Jembatan *Box Girder*

Menurut de Silva dalam A Concise Handbook, *box girder* adalah balok berongga dengan kekakuan torsi tinggi sehingga sesuai untuk jembatan melengkung. Chen dan Liew (2003) mendefinisikan jembatan *box girder* sebagai struktur dengan superstruktur berupa balok kotak berongga dari beton atau baja. Keunggulannya meliputi kedalaman struktur yang dangkal, konstruksi monolitik, ruang dalam yang dapat dimanfaatkan untuk utilitas, kekakuan torsi yang baik pada tikungan tajam, serta nilai estetika yang tinggi..

Metode Konstruksi *Span-by-Span* dengan *Launching Gantry*

Metode *span-by-span* merupakan teknik konstruksi segmental di mana segmen pracetak dipasang berurutan dari satu pier ke pier berikutnya hingga membentuk satu bentang penuh. Penyambungan dilakukan dengan epoxy dan tendon prategang longitudinal, kemudian struktur diturunkan ke tumpuan permanen (Hewson, 2003). Keunggulan metode ini terletak pada efisiensi, sifat repetitif, serta kemampuannya diterapkan di lokasi dengan akses terbatas seperti sungai atau jalur lalu lintas aktif. Alat utama metode ini adalah *launching gantry*, yaitu rangka baja longitudinal yang menopang segmen tanpa perancah bawah (Levintov, 1995). Struktur modular ini ditopang tiga kaki utama (*rear leg*, *central leg*, dan *guide leg*) dengan panjang melebihi satu bentang, bahkan hingga dua kali panjang bentang, untuk memudahkan pemasangan berikutnya. Material baja mutu tinggi umumnya digunakan guna mengurangi

berat, meskipun menimbulkan defleksi yang perlu dikendalikan dengan *king post* dan kabel penahan (Mathivat, 1983). Pada jembatan kontinyu, antar bentang dihubungkan dengan beton cor *in situ* dan tendon kontinyuitas.

Beban Konstruksi

Tahap konstruksi merupakan fase kritis karena struktur belum mencapai kekuatan akhirnya. Pada kondisi ini, beban sementara dari peralatan erection, material, maupun penopang sementara dapat menimbulkan tegangan signifikan pada struktur yang belum selesai (ACI Committee 343R-95, 1995; AASHTO LRFD, 2020). Untuk menjamin keamanan, tegangan akibat beban konstruksi dibandingkan dengan tegangan izin beton pada fase konstruksi. AASHTO LRFD (2020) menetapkan batasan tegangan tekan maksimum sebesar $0,6 f'_{ci}$ dan tegangan tarik transversal sebesar $0,25\sqrt{f'_{ci}}$ (MPa).

Metode Elemen Hingga dan Pemodelan *Solid Element*

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) merupakan pendekatan numerik yang digunakan untuk menganalisis struktur dengan geometri rumit dan kondisi pembebanan kompleks (Logan, 1987; Kosasih, 2012). Prinsip dasar metode ini adalah membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil, menganalisisnya secara lokal, kemudian merakitnya menjadi solusi global. Dalam konteks jembatan *box girder*, FEM memungkinkan evaluasi tegangan longitudinal (σ_x), transversal (σ_y), dan vertikal (σ_z), serta efektif dalam mengidentifikasi konsentrasi tegangan akibat beban konstruksi, khususnya dari kaki *launching gantry*.

Pemodelan dalam penelitian ini menggunakan solid element ber-node delapan dengan tiga derajat kebebasan translasi (UX, UY, UZ) pada tiap node (CSI Manual, 2016). Elemen ini sesuai untuk pemodelan tiga dimensi pada struktur masif karena mampu menangkap distribusi tegangan volumetrik dalam tiga arah. Dalam analisis *box girder*, solid element dipilih untuk mengevaluasi respon lokal pada daerah kritis, terutama konsentrasi tegangan di zona kontak antara kaki *launching gantry* dan *top slab*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan studi kasus pada proyek Jalan Tol Harbour Road II. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua sumber utama:

1. Data Proyek: Data spesifik mengenai proyek, seperti gambar desain (*shop drawing*), spesifikasi teknis jembatan *box girder* segmental, dan data beban konstruksi dari alat *launching gantry*, diperoleh langsung dari dokumentasi proyek yang relevan.

Data – Data jembatan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Nama Jembatan	: Jalan Tol II Harbour Road 2
Tipe Struktur	: Simple Span menggunakan bering LRB (Lead Rubber Bearing)
Panjang	: 47 m

Lebar dek	: 14.3 m
Tinggi Girder	: 2.60 m
Metode Ereksi	: Span by Span
Jumlah Segmen	: 17
Mutu Material Box	: 40 MPa

2. Studi Literatur: Landasan teori dan konsep analisis diperoleh melalui studi literatur dari berbagai sumber, termasuk buku teks, jurnal ilmiah, standar teknis (seperti AASHTO LRFD 2020), dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan jembatan, analisis struktural, dan metode elemen hingga.

Analisis difokuskan pada perilaku *box girder* segmental saat tahap konstruksi. Metode analisis yang digunakan adalah *Finite Element Method* (FEM) dengan pemodelan *solid element* 3D. Proses pemodelan mencakup beberapa tahapan:

1. Input Data Awal

- Mengumpulkan data proyek, termasuk gambar cross section dan spesifikasi teknis.
- Mengidentifikasi properti material beton, seperti modulus elastisitas dan kuat tekan, yang akan digunakan dalam pemodelan.
- Memperoleh data pembebanan dari alat ereksi launching gantry (LG), termasuk beban vertikal dan posisi *base plate* dari Rear Main Support (RMS) dan Rear Leg (RL).

2. Pemodelan Geometri

- Membuat model tiga dimensi (3D) struktur *box girder* dalam perangkat lunak CSI Bridge.
- Memodelkan segmen-segmen jembatan secara terpisah sesuai dengan tahapan ereksi.

3. Definisi Elemen dan *Meshing*

- Menerapkan elemen solid 3D untuk memodelkan struktur. Pendekatan ini dipilih untuk mendapatkan distribusi tegangan yang akurat, terutama di area kontak dengan beban.
- Melakukan proses *meshing* pada elemen solid, yaitu membagi model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dan diskrit untuk analisis FEM yang presisi.

4. Penerapan Beban Konstruksi

- Mendefinisikan beban Rear Main Support (RMS) dan Rear Leg (RL)
- Menerapkan beban tersebut tidak sebagai beban titik, melainkan sebagai tekanan permukaan (*surface pressure*) yang bekerja pada area kontak *base plate* di atas *top slab* jembatan.
- Mensimulasikan beban yang berurutan sesuai dengan urutan ereksi segmen.

5. Analisis dan Interpretasi Hasil

- Menjalankan analisis struktural dengan FEM untuk menghitung tegangan yang terjadi pada setiap elemen.
- Fokus pada tegangan vertikal dan transversal yang timbul, khususnya nilai **S22** yang merepresentasikan tegangan melintang.
- Menganalisis dan menginterpretasi hasil tegangan yang diperoleh.

6. Validasi dan Evaluasi

- Membandingkan nilai tegangan yang dihasilkan dari analisis dengan batas tegangan izin yang telah ditetapkan oleh standar desain AASHTO LRFD (2020).
- Menentukan apakah struktur jembatan memenuhi syarat keamanan selama fase ereksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Gambaran Umum Objek Penelitian

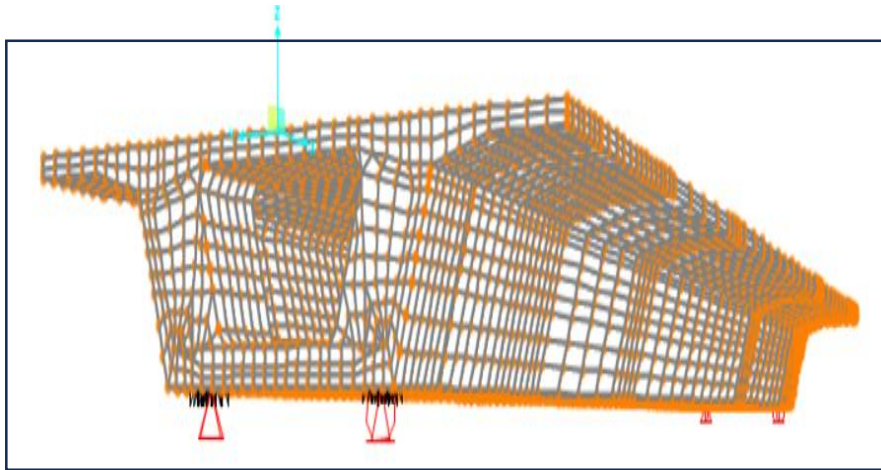
Penelitian ini mengambil objek pada bentang P111S Jalan Tol Harbour Road II (HBR II) yang menggunakan struktur box girder segmental beton prategang. Bentang ini terdiri dari 17 segmen dengan dimensi tinggi 2,6meter dan lebar dek 14 meter, serta dibangun dengan metode span by span menggunakan launching gantry. Metode tersebut efisien dalam pelaksanaan, namun memberikan beban konstruksi sementara yang cukup besar, terutama dari Rear Main Support (RMS) dan Rear Leg (RL). Untuk mengevaluasi pengaruhnya, digunakan analisis metode elemen hingga (FEM) dengan pemodelan solid element yang mampu menggambarkan distribusi tegangan dan deformasi secara lebih akurat sesuai kondisi lapangan..

2. Hasil Analisis

2.1 Hasil Pemodelan

Pemodelan box girder ini terdiri dari 17 segmen, dengan urutan pemasangannya disesuaikan dengan tahapan konstruksi aktual di lapangan. Konfigurasi segmen tersebut dapat dilihat pada potongan melintang penampang pada Gambar 4.31, yang menunjukkan posisi relatif tiap segmen mulai dari *Expansion Join (EJ)*, *Stabilizer Vertical (SV)*, *Standard (STDR)*, hingga *Deviation (DV)* sesungguhnya modelan box girder ini terdiri dari 17 segmen dengan

urutan pemasangan nya disesuaikan dengan Pemodelan dilakukan pada satu bentang struktur segmental box girder dengan menggabungkan empat tipe.



Gambar 1. Hasil Pemodelan Box Girder

Rekapitulasi parameter pemodelan tiap tipe segmen ditampilkan pada Tabel 1. Dari tabel terlihat bahwa segmen Standard (STDR) memiliki jumlah mesh terbanyak dengan ukuran 750×750 mm, sedangkan segmen Expansion Joint/Load Span (EJ/LS) dimodelkan lebih rapat dengan ukuran mesh 300×300 mm untuk menangkap konsentrasi tegangan di daerah tersebut. Seluruh segmen dimodelkan menggunakan node 8 titik (eight-node hexahedral element) yang sesuai dengan standar elemen solid pada perangkat lunak analisis elemen hingga.

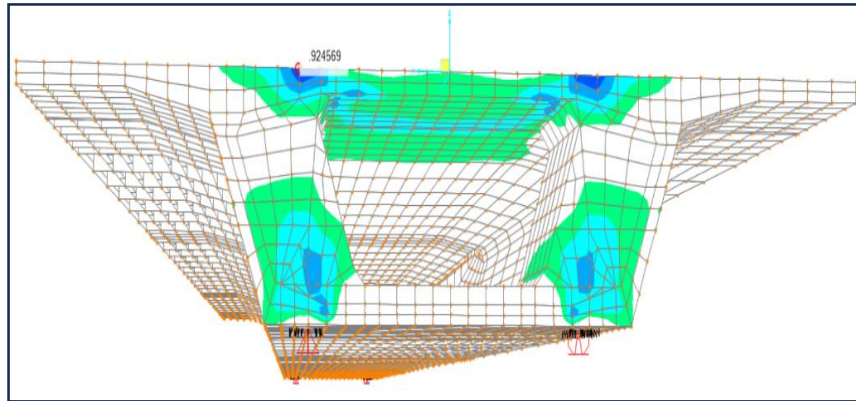
Tabel 1. Hasil Pemodelan

Tipe Box Girder	Jumlah Box	Ukuran Mesh (mm)	Tipe Node	Joint
Box Girder EJ/LS	2	300x 300	Hexahendral	8
Box Girder SV	2	480x480	Hexahendral	8
Box Girder STDR	11	750x750	Hexahendral	8
Deviator	2	500x500	Hexahendral	8

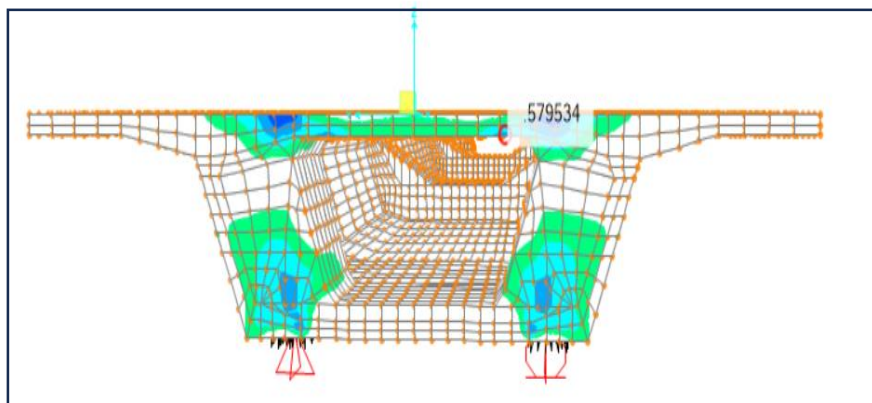
Dengan demikian, hasil pemodelan menunjukkan bahwa distribusi mesh pada tiap tipe segmen telah disesuaikan dengan fungsi struktural dan kebutuhan analisis, sehingga hasil simulasi tegangan yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi nyata struktur di lapangan.

2.2 Hasil Analisis Tegangan Akibat Pembebanan RMS

Setelah beban Rear Main Support (RMS) ditempatkan secara vertikal di area *top slab*, analisis dijalankan (run analysis). Hasil tegangan diperoleh melalui menu Show Forces/Stresses, dengan fokus pada komponen S22 sebagai tegangan arah transversal.



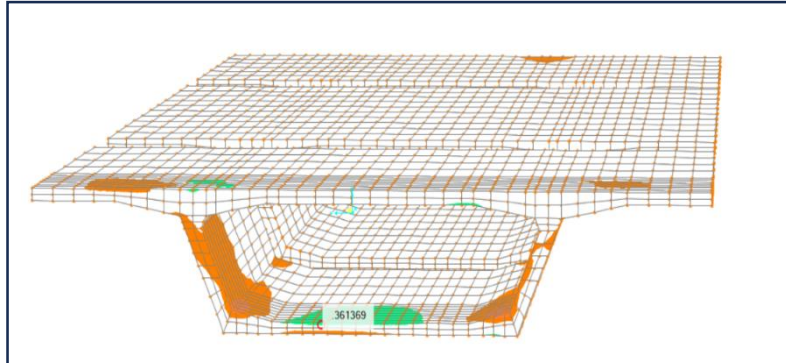
Gambar 2. Hasil Tegangan Top Slab Serat Atas



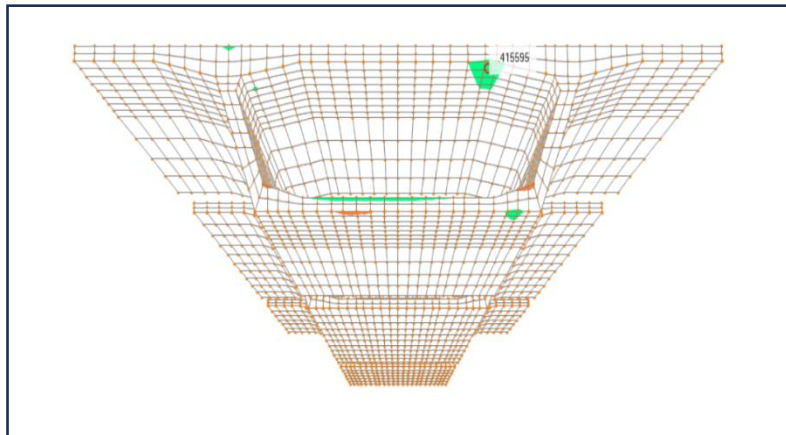
Gambar 3. Hasil Tegangan Top Slab Serat Bawah

2.3 Hasil Analisis Tegangan Akibat Pembebanan RL

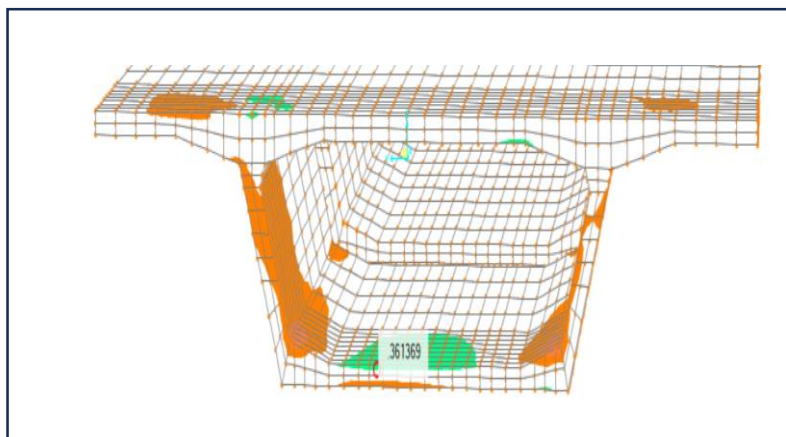
Beban dari Rear Leg (RL) dimodelkan bertumpu pada box girder tipe STDR dengan base plate berukuran 800 mm × 800 mm dan jarak antar kaki 7240 mm. Hasil analisis FEM memperlihatkan respon tegangan sebagai berikut:



Gambar 4. Top Slab Serat Atas



Gambar 5. Top Slab Serat Bawah



Gambar 6. Bottom Slab

Tabel 2. Hasil Tegangan Box Girder Keseluruhan

Tipe Box Girder	Elemen Yang Ditinjau	Tegangan Izin AASHTO (Mpa)	Hasil Tegangan (Mpa)	Safety Factor (SF)
Box Girder LS/EJ	Top Slab Serat Atas	1.58	0.92	0.58
	Top Slab Serat Bawah	1.58	0.57	0.36
Box Girder STDR	Top Slab Serat Atas	1.58	-	-
	Top Slab Serat Bawah	1.58	0.4	0.25
	Bottom Slab	1.58	0.36	0.22

Hasil perbandingan dengan tegangan izin AASHTO (1,58 MPa) menunjukkan seluruh nilai tegangan masih di bawah batas. Tegangan maksimum terjadi pada top slab LS/EJ sebesar 0,92 MPa ($SF = 0,58$) akibat RMS, sedangkan pada STDR tegangan terbesar terdapat pada bottom slab sebesar 0,36 MPa ($SF = 0,22$) akibat RL. Dengan demikian, struktur dapat dinyatakan aman terhadap beban konstruksi, meskipun potensi retak lokal pada daerah sekitar RMS tetap perlu diperhatikan.

2.3 Hasil Tegangan Tekan Temporary Bearing

Tegangan tekan yang terjadi pada temporary bearing diperoleh dari hasil pemodelan struktur, yang memuat kombinasi beban berat sendiri dan beban Rear Main Support (RMS). Pada penelitian ini, digunakan empat buah temporary bearing, masing-masing berukuran 650 mm × 800 mm.

Nilai gaya reaksi total yang bekerja pada masing-masing bearing diambil dari hasil analisis pemodelan, lalu dibagi dengan luas penampang bearing untuk memperoleh tegangan tekan.

Dengan luas penampang sebesar:

$$A = 650 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} = 520.000 \text{ mm}$$

Tabel 3. Hasil Tegangan Tekan Temporary Bearing

Jumlah Bearing	Gaya Reaksi (N)	Ukuran Bearing (mm)	Bearing Stress (MPa)	Tegangan Izin (Mpa)
1	6,529,564.30	650 X 800	12.56	24
2	6,526,095.20	650 X 800	12.55	24
3	2,345,175.63	650 X 800	4.51	24
4	2,343,996.39	650X 800	4.51	24

Berdasarkan Tabel 4.5, distribusi tegangan pada temporary bearing bervariasi sesuai dengan besarnya reaksi yang diterima. Bearing dengan gaya reaksi terbesar (No.1 dan No.2) menunjukkan tegangan tekan lebih tinggi dibandingkan bearing No.3 dan No.4. Tegangan

maksimum tercatat 12,56 MPa, masih jauh di bawah batas tegangan izin beton menurut AASHTO sebesar 24 MPa, sehingga tidak menimbulkan risiko crushing lokal.

Hasil ini membuktikan bahwa sistem tumpuan sementara mampu mendistribusikan beban konstruksi secara efektif tanpa konsentrasi tegangan yang berbahaya. Dengan demikian, temporary bearing dinyatakan memenuhi kriteria keamanan teknis dan berfungsi optimal selama fase erection, sesuai dengan representasi simulasi FEM terhadap kondisi aktual di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan Finite Element Method (FEM) pada bentang P111S–P112S, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Pemodelan FEM

Pemodelan dengan elemen solid 3D (8-node hexahedral) mampu merepresentasikan distribusi tegangan pada box girder secara detail. Sistem koordinat lokal sejajar dengan sistem global sehingga memudahkan interpretasi tegangan. Beban konstruksi dari Launching Gantry dimodelkan sebagai surface load pada top slab sesuai dimensi base plate, dengan evaluasi utama pada komponen S22 (tegangan transversal).

2. Analisis Tegangan Konstruksi Span by Span

- Rear Main Support (RMS) pada segmen LS/EJ menghasilkan tegangan tarik 0,92 MPa (top slab serat atas) dan 0,57 MPa (top slab serat bawah).
- Rear Leg (RL) pada segmen STDR menimbulkan tegangan 0,41 MPa (top slab serat bawah) dan 0,36 MPa (bottom slab), sedangkan serat atas top slab relatif aman.
- Dimensi tumpuan: jarak kaki RMS 5.000 mm, RL 7.240 mm, dengan base plate 800 × 800 mm.
- Tegangan maksimum pada temporary bearing tercatat 12,45 MPa dengan ukuran base plate 650 × 800 mm.

3. Evaluasi Keamanan dan Dasar Teknis

Seluruh tegangan hasil analisis berada di bawah batas izin AASHTO (24 MPa untuk beton), sehingga struktur dinyatakan aman terhadap beban konstruksi. Data distribusi tegangan ini dapat dijadikan dasar teknis pengambilan keputusan dalam desain maupun metode erection, sekaligus memastikan kestabilan struktur selama tahap konstruksi span by span.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. (2020). LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS.

Collins, S. P., Storrow, A., Liu, D., Jenkins, C. A., Miller, K. F., Kampe, C., & Butler, J. (2021). Concrete Segmental Bridges.

CSI & ACECOMS. (n.d.). Introduction to Solid Elements Symmetric 3D Solid Lug. 5(662), 1–27.

CSI Manual. (2016). CSI Analysis References Manual. Computers & Structures Inc, 556.

Daryl L. Logan. (1987). A first course in the finite element method. In Finite Elements in Analysis and Design (Vol. 3, Issue 2).

Hewson, N. R. 2003. (2003). Prestressed Concrete Bridges : Design and Construction.

Kosasih, P. B. (2012). Teori dan Aplikasi Metode Elemen Hingga. 1–278.

Mikkola, M. J., & Paavola, J. (1980). Finite Element Analysis of Box Girders.

Podolny, W. (1982). Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges.

SNI 1725- 2016. (2005). Standar pembebanan untuk jembatan.

W.f. CHEN J.y. Richard LieW. (2003). THE CIVIL ENGINEERING HANDBOOK SECOND EDITION. In Civil Engineering (Vol. 332).