

Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Struktur Jembatan Baja

Imam Nakhrowi¹⁾, Josia Irwan Rastandi²⁾, Arvilla Delitriana³⁾

^{1, 2)} Fakultas Teknik, Depok, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, 16424

³⁾ Cipta Graha Abadi, Kota Bandung, Jawa Barat 40134

email: imam.nakhrowi@ui.ac.id¹⁾, jrastandi@gmail.com²⁾, dina_arvila@yahoo.com³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1099>

(Received: 09 March 2024 / Revised: 30 June 2024 / Accepted: 14 August 2024)

Abstrak

Kemajuan dalam teknologi rekayasa struktur telah membawa inovasi signifikan dalam pembangunan infrastruktur, termasuk pengembangan jembatan segmental baja. Studi ini bertujuan untuk menyelidiki dampak perubahan temperatur dan jenis perletakan terhadap perilaku struktur jembatan segmental baja, dengan fokus pada tiga kondisi perletakan yang berbeda: sendi-rol (SSC), sendi-sendi (FEC), dan penggunaan *Lead Rubber Bearing* (LRB). Pemodelan dilakukan menggunakan metode elemen hingga dalam perangkat lunak MidasCivil. Analisis *finite element* diarahkan untuk memahami deformasi dan distribusi tegangan dalam struktur jembatan di bawah beban mati dan variasi temperatur. Hasil studi menunjukkan bahwa perubahan temperatur menyebabkan deformasi yang signifikan pada struktur jembatan, dengan pola perilaku yang berbeda tergantung pada jenis perletakan. Perletakan Sendi-Rol dan penggunaan LRB cenderung menunjukkan respons deformasi yang serupa, sementara perletakan Sendi-Sendi menunjukkan perilaku yang berbeda. Selain itu, distribusi tegangan juga bervariasi tergantung pada kondisi perletakan, dengan Sendi-Sendi menghasilkan tegangan yang lebih tinggi pada beberapa titik tertentu.

Kata kunci: *Temperatur, Perletakan, Jembatan Segmental Baja, Finite Element*,

Abstract

Advancements in structural engineering have led to significant innovations in infrastructure development, notably segmental steel bridges. This study investigates the effects of temperature changes and different bearing conditions: simply supported condition (SSC), fixed end condition (FEC), and the implementation of Lead Rubber Bearing (LRB) on segmental steel bridge behavior. Utilizing finite element analysis use MidasCivil, the research examines deformation and stress distribution under dead loads and varying temperatures. Findings indicate temperature fluctuations induce significant deformations, with distinct responses based on bearing conditions. SSC and LRB show similar deformation patterns, while FEC behaves differently. Stress distribution varies accordingly, with FEC resulting in higher stresses at certain points. These insights enhance understanding of temperature and bearing effects on segmental steel bridges, informing maintenance strategies for durability. Validating computational models with field observations is recommended to ensure accurate simulations.

Keywords: *Temperature, Boundary Condition, Segmental Steel Bridge, Finite Element*

1. Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi, terdapat berbagai inovasi dalam bidang rekayasa struktur yang bertujuan untuk memudahkan pembangunan infrastruktur, termasuk di dalamnya jembatan. Salah satu inovasi terbaru adalah penggunaan jembatan segmental baja, yang memungkinkan pembangunan jembatan dengan spesifikasi yang lebih ringan dan kekuatan yang tinggi. Struktur ini terdiri dari segmen-segmen baja yang dipasang bersama-sama untuk membentuk jembatan dengan bentang yang panjang tanpa dukungan tambahan. Keunggulan utama dari struktur ini adalah kemampuannya untuk menggabungkan kecepatan perakitan dengan kekuatan struktural yang tinggi (Matiere dkk., 2018). Selain itu jembatan ini pula memiliki keunikan di mana *bending moment* pada tiap ujung segmen ditumpu oleh *flange* di bagian atas dan sambungan *ear* dan *pin* di bagian bawah.

Seperti halnya struktur jembatan lain, jembatan segmental baja ini juga akan terpengaruh oleh kondisi lingkungan terutama perubahan temperatur. Lendutan akibat beban temperatur cukup signifikan sehingga dalam uji beban harus dilakukan pemantauan selama minimal 24 jam tanpa beban sehingga bisa dilakukan koreksi lendutan akibat perubahan temperatur (Soleh & Rastandi, 2021). Temperatur udara dan radiasi matahari juga berperan penting dalam mengubah distribusi temperatur pada jembatan baja (Zhu dkk., 2020). Perubahan kondisi temperatur memiliki dampak yang lebih signifikan pada jembatan dibandingkan beban operasional, seperti yang ditunjukkan oleh eksperimen laboratorium dan investigasi lapangan (He dkk., 2021). Regangan akibat beban temperatur juga dapat melebihi regangan akibat beban lalu lintas maupun beban statis jika dilihat dari hasil pengamatan di lapangan (Xia dkk., 2018), namun, tidak hanya temperatur yang mempengaruhi perilaku struktur jembatan baja, tetapi juga jenis perletakan yang digunakan. Penggunaan perletakan sederhana atau sendi-rol pada struktur dapat menyebabkan elongasi atau pemendekan tergantung pada perubahan temperatur, sedangkan penggunaan perletakan fix end pada kedua sisi dapat meningkatkan tegangan yang terjadi secara signifikan (Brenner B.R dkk., 2012; He dkk., 2021). Lebih lanjut, penelitian oleh (Kurniawan Santoso dkk., 2022) menunjukkan bahwa penggunaan *Lead Rubber Bearing* lebih efektif dalam mengurangi dampak respons seismik dibandingkan dengan penggunaan elastomer biasa.

Pada tahun 2018 pembangunan *flyover* di daerah Jawa Timur telah menggunakan jenis jembatan segmental baja ini, di mana penggunaan jenis jembatan ini merupakan yang pertama digunakan di Indonesia. Karena jenis jembatan ini tergolong teknologi baru, maka belum ada studi yang cukup tentang jenis jembatan ini.

Selain itu jembatan dengan teknologi baru juga masuk dalam kategori jembatan yang harus dilakukan penyelenggaraan keamanan (Menteri PUPR, t.t.) yang harus dilakukan pengkajian teknis terhadap strukturnya. Di mana pengkajian teknis ini termasuk uji beban statik seperti yang dilakukan (Herusiswoyo & Ma'ruf, 2023; Ma'ruf dkk., t.t.; Setiati dkk., 2012) dan uji beban dinamis seperti yang dilakukan (Christian dkk., 2019; Rastandi, Pramesti, dkk., 2021; Rastandi, Putra, dkk., 2021).

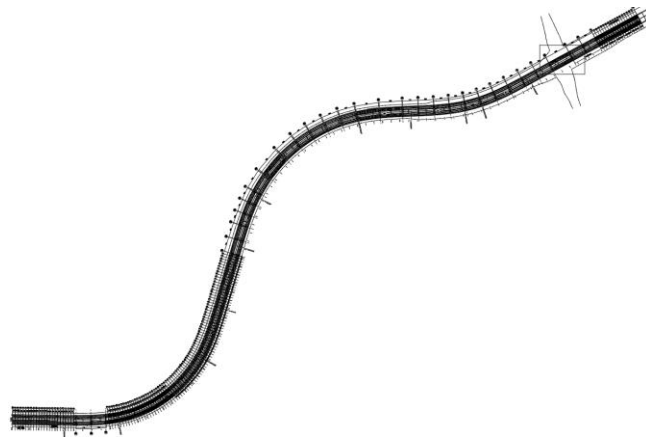
Kegagalan terjadi ketika invarian kedua deviator tegangan J_2 melampaui nilai yang ditentukan. Dengan kata lain kegagalan akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari suatu material melampaui nilai kritis tertentu atau *yield strength*.

Oleh karena itu penelitian ini ditujukan untuk melakukan studi tentang hubungan antara temperatur dengan perilaku struktur jembatan baja jenis ini pada beberapa kondisi perletakan baik terhadap deformasi maupun tegangannya. Sehingga dapat dipelajari perilaku struktur terhadap perubahan temperatur yang terjadi dan dapat menjadi acuan untuk kegiatan pemeliharaan jembatan yang lebih efektif guna menjaga durabilitas jembatan agar dapat terjaga hingga masa umur layan jembatan.

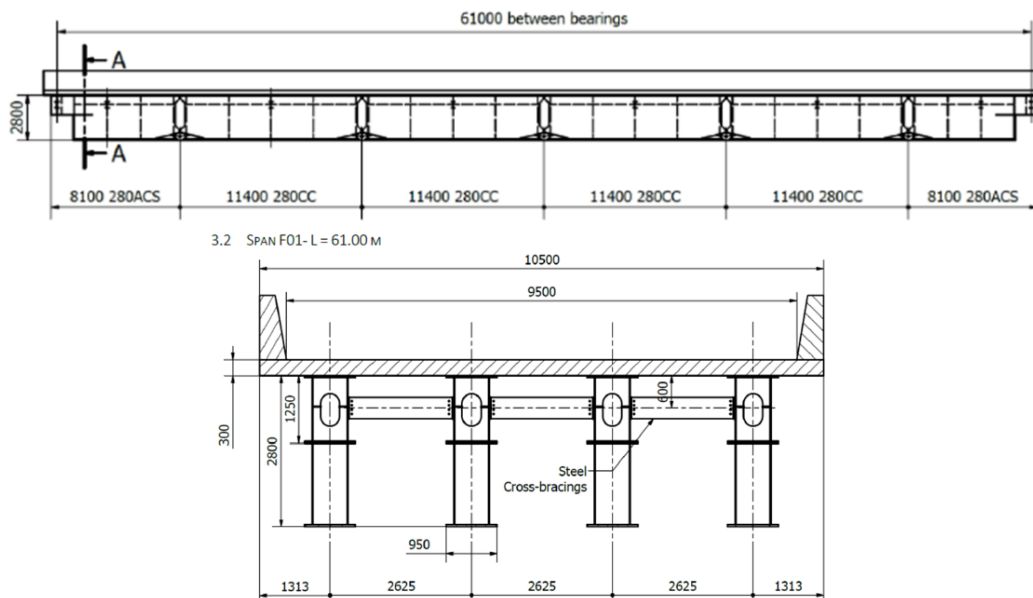
2. Metode Penelitian

2.1 Data Umum Jembatan

Pada penelitian ini digunakan studi pada salah satu bentang jembatan yang ada pada proyek *Flyover* Teluk Lamong Terminal Teluk Lamong - Jalur Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya yaitu P3 – P4 yang berlokasi di Kota Surabaya. Jembatan ini memiliki panjang bentang 61 meter, lebar 10,5 meter, dan tinggi girder 2,8 meter.



Gambar 1 Plan proyek Flyover Teluk Lamong Terminal Teluk Lamong - Jalur Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya



Gambar 2 Tampak Samping dan Potongan Jembatan

2.2 Pemodelan *Finite Element* Jembatan Baja Segmental

Pemodelan 3D *Finite Element* pada penelitian ini menggunakan *software* MidasCivil. *Finite element* dengan *software* MidasCivil digunakan karena hasil simulasi mendekati kondisi aktualnya (Zhou dkk., 2013). Girder, pelat lantai, sambungan *ear*, dan *barrier* dimodelkan dengan elemen shell. Sedang diafragma dimodelkan dengan elemen *frame*. Dan untuk aspal dan *lighting* dimodelkan sebagai beban di atas *barrier*. *Rigid link* digunakan untuk memodelkan *shear connector* dan sambungan antar pin. Kuat tekan beton yang digunakan adalah 33 MPa dan untuk mutu baja yang digunakan untuk segmen ujung dan segmen Tengah adalah S355 dan S460. Properti material yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. *Density* digunakan sesuai dengan SNI1725:2016 (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

Tabel 1 Properti Material yang Digunakan

Properti	Beton $f_c'=33$ MPa	Baja S355 dan S460
Modulus Elastisitas (MPa)	27000	210.000
Poisson Ratio	0.2	0.3
Koefisien Muai (mm/°C)	1.10e-005	1.20e-005
<i>Density</i> (kN/m ³)	2.5	7.85

Untuk penelitian ini menggunakan tiga perletakan berbeda yang diberi kode model seperti pada Tabel 2. Untuk properti material LRB yang digunakan dijelaskan pada Tabel 3. Gambar ilustrasi dari pemodelan perletakan ini tercantum pada Gambar 3, perletakan LRB sama dengan Sendi-Sendi hanya properti *link* dimasukkan K1 karena beban yang bekerja bukan beban gempa Tabel 4.

Tabel 2 Jenis perletakan yang digunakan dalam penelitian

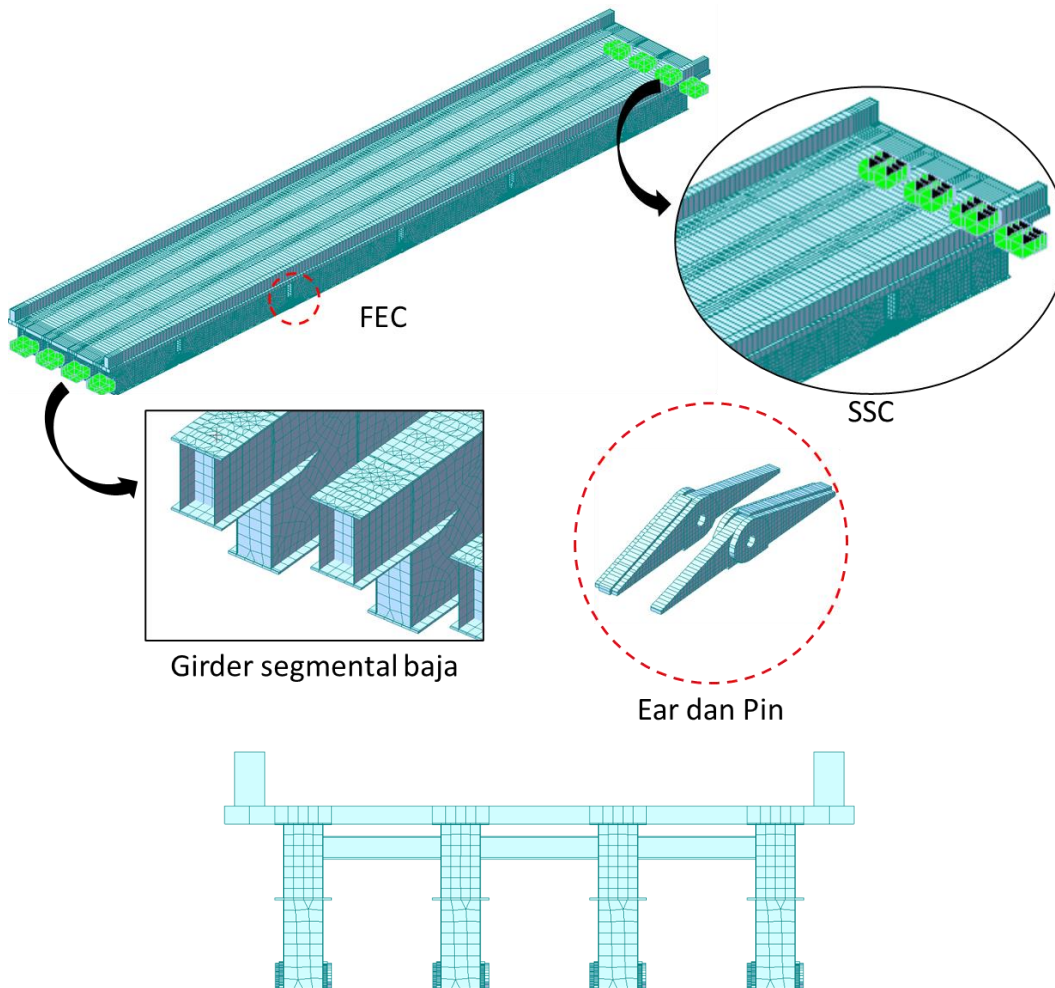
Jenis Perletakan	Kode Model
Sendi – Rol	SSC (<i>Simply Support Condition</i>)
LRB – LRB	LRB (<i>Lead Rubber Bearing</i>)
Sendi – Sendi	FEC (<i>Fix End Condition</i>)

Tabel 3 Properti Material LRB

Properti	Nilai
Kekakuan Awal (K1)	8198.7 kN/m
Kekakuan Efektif (Keff)	2817 kN/m
Redaman (ζ)	27%

Tabel 4 Input properti LRB pada *software* MidasCivil

Kode	SDx	SDy	SDz	SRx	SRy	SRz
Model	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN-m/rad)	(kN-m/rad)	(kN-m/rad)
LRB	1.00e-6	8198.7	8198.7	-	-	-



Gambar 3 Model *finite element* dari P3-P4 *flyover* Teluk Lamong

2.3 Pembebanan

Untuk menginvestigasi perilaku struktural dari jembatan segmental baja, studi ini melihat dua beban: beban mati (termasuk beban aspal dan *lighting*) dan beban temperatur (temperatur seragam).

2.3.1 Beban Mati

Berat struktur jembatan dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini termasuk pelat lantai, diafragma, *barrier*, aspal dan *lighting*. *Density* setiap komponen telah ditulis pada Tabel 1. Sedang beban dari aspal dan *lighting* ada pada Tabel 5.

Tabel 5 Beban tambahan

Beban	Berat
Aspal 10 cm	2.2 kN/m ²
Lighting	2 kN/m

2.3.2 Beban Temperatur

Untuk melihat deformasi dan efek lainnya maka beban temperatur yang digunakan adalah beban temperatur seragam (Badan Standarisasi Nasional, 2016). Di mana temperatur desain maksimum ($T_{maxdesign}$) dan temperatur desain minimum ($T_{mindesign}$) adalah 15°C dan 40°C. Temperatur awal digunakan 20°C untuk melihat pengaruh akibat perbedaan temperatur tersebut. Sehingga perbedaan temperatur yang digunakan adalah 20°C untuk temperatur positif (TU+) dan 5 °C untuk temperatur negatif (TU-).

2.3.3 Deformasi

Berdasarkan pengaruh temperatur maka besaran dari simpangan yang diakibatkan perubahan temperatur dapat dilihat dalam persamaan yang mengikuti SNI 1725:2016 sebagai berikut:

$$\Delta T = \alpha L (T_{Max Design} - T_{Min Design}) \quad (1)$$

di mana;

L = panjang jembatan (mm)

α = Koefisien muai panjang akibat temperatur (mm/mm/C)

2.3.4 Tegangan Termal

Tegangan termal terjadi ketika suatu material mengalami perubahan temperatur yang menyebabkan ekspansi atau kontraksi pada material tersebut. Untuk menganalisis masalah ini, perlu mempertimbangkan dua sumber regangan, yaitu regangan akibat tegangan mekanis dan tegangan akibat perubahan temperatur. Di mana tegangan mekanis Regangan yang terjadi karena beban atau gaya eksternal yang dibebankan pada material tersebut. Sedangkan tegangan akibat perubahan temperatur adalah tegangan yang terjadi karena ekspansi atau kontraksi termal material saat terbebani perubahan temperatur, di mana regangan termal didapatkan dengan rumus (2). α untuk koefisien termal (1/°C), dan T adalah perubahan temperatur (°C).

$$\epsilon_t = \alpha T \quad (2)$$

Total dari regangan x dan y, ϵ_x dan ϵ_y , diperoleh dengan menambahkan hasil tegangan akibat gaya eksternal ke dalam regangan termal di mana ditunjukkan pada persamaan:

$$\epsilon_x = 1/E (\sigma_x - \nu \sigma_y) + \alpha T \quad (3)$$

$$\epsilon_y = 1/E (\sigma_y - \nu \sigma_x) + \alpha T \quad (4)$$

$$\gamma_{xy} = 1/E (\sigma_y - \nu \sigma_x) + \alpha T \quad (5)$$

Dalam hal komponen regangan didapatkan persamaan:

$$\sigma_x = E/(1-\nu^2) (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) - E\alpha T/(1-\nu) \quad (6)$$

$$\sigma_y = E/(1-\nu^2) (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) - E\alpha T/(1-\nu) \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad (8)$$

Persamaan kompatibilitas

$$(\partial^2 \epsilon_x)/(\partial y^2) + (\partial^2 \epsilon_y)/(\partial x^2) = (\partial^2 \gamma_{xy})/\partial x \partial y \quad (10)$$

Dengan substitusi regangan yang diberikan di atas ke dalam persamaan kompatibilitas menggunakan persamaan:

$$\partial \sigma_x / \partial x + \partial \tau_{xy} / \partial y + F_x = 0 \quad (11)$$

$$\partial \sigma_y / \partial y + \partial \tau_{xy} / \partial x + F_y = 0 \quad (12)$$

Jika body force diabaikan, persamaan kompatibilitas dalam hal tegangan adalah sebagai berikut:

$$(\partial^2 / (\partial x^2) + \partial^2 / (\partial y^2))(\sigma_x + \sigma_y + \alpha E T) = 0 \quad (13)$$

Dengan persamaan (14).

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \quad (14)$$

Maka didapatkan persamaan (15) yang valid untuk plane strain atau plane stress.

$$\nabla^4 \Phi + \alpha E \nabla^2 T = 0 \quad (15)$$

Teori *Distortion Energy* (DE) memprediksi bahwa *yield* terjadi ketika energi regangan distorsi per unit volume mencapai atau melebihi energi regangan distorsi per unit volume untuk *yield* dalam tarikan atau tekanan sederhana dari material yang sama. Teori DE ini juga dikenal sebagai teori *Von Mises*. DE memprediksi *yield* terjadi ketika

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y \quad (16)$$

Untuk tujuan desain, Persamaan 17 dapat dimodifikasi untuk memasukkan faktor keamanan (n), menjadi

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad \text{atau dapat ditulis} \quad \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{1/2}}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (17)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil analisis *finite element*

Agar fokus pada bahasan di awal tentang pengaruh beban temperatur seragam dan kondisi perletakan yang berbeda. Maka dalam studi ini akan ditampilkan hasil *output* dari *software* perihal tegangan von mises beberapa titik pada masing-masing web bagian bawah dan deformasi akibat beban mati, temperatur positif (TU+) dan temperatur negatif (TU-) pada kondisi perletakan: 1) Sendi-Rol (SSC), 2) Sendi-Sendi (FEC), dan 3) LRB-LRB (LRB).

3.1.1 Deformasi hasil analisis

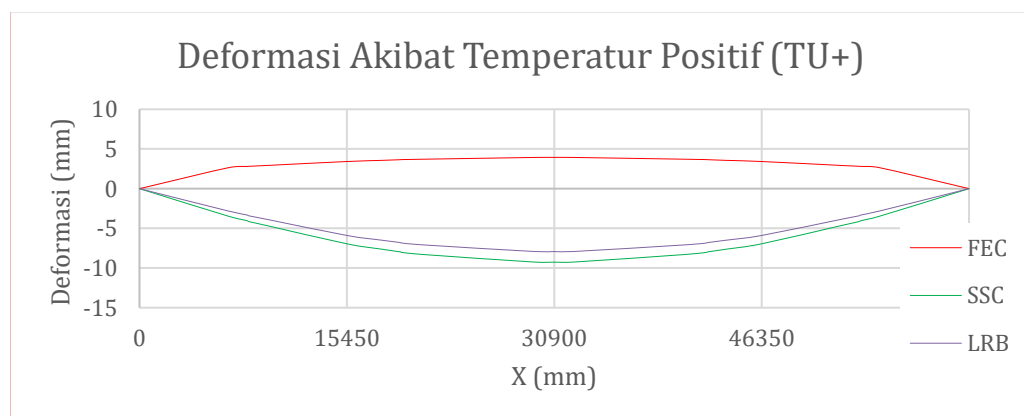
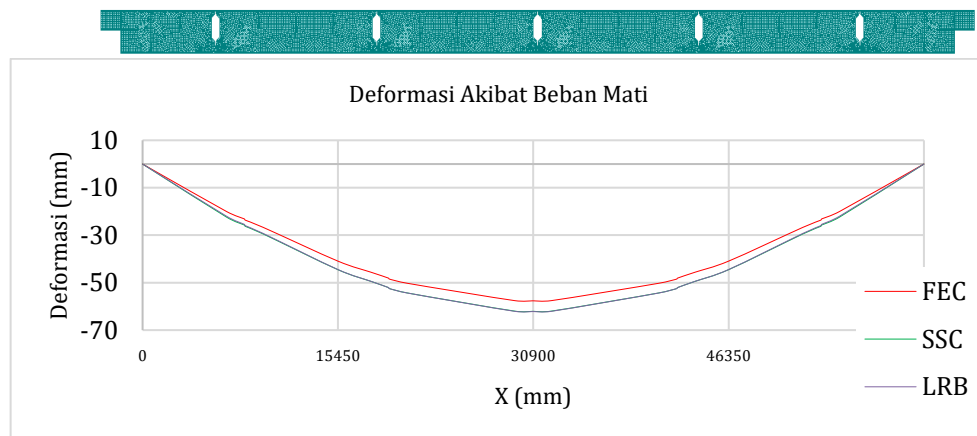
Dari hasil pemodelan 3D FEM deformasi yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 4 dan dijelaskan juga pada Tabel 6.

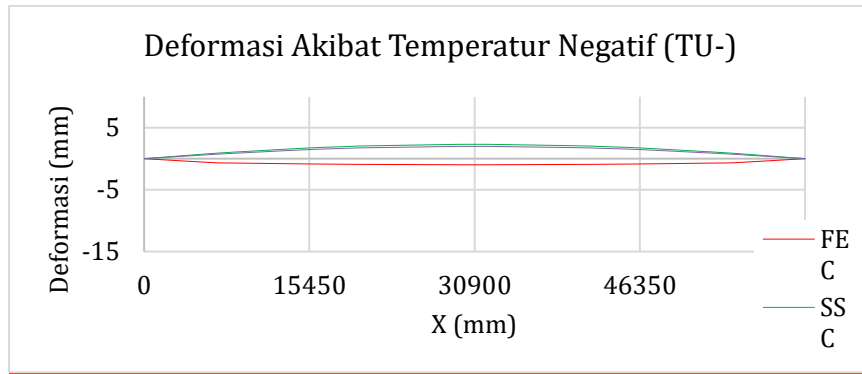
Tabel 6 Hasil deformasi pada Tengah bentang

Jenis Perletakan	Beban Mati	Beban TU+	Beban TU-
FEC	-57.670 mm	3.946 mm	-0.986 mm
SSC	-62.091 mm	-9.262 mm	2.316 mm
LRB	-62.183 mm	-7.929 mm	1.982 mm

Pada Gambar 4, trend deformasi yang terjadi sama di tiga macam perletakan akibat beban mati. Sedangkan, akibat temperatur positif (TU+) dan temperatur negatif (TU-), perilaku jembatan dengan kondisi perletakan sendi-sendi (FEC) menunjukkan tren yang berbeda di mana tren yang terjadi pada FEC adalah ketika temperatur meningkat deformasi yang terjadi adalah naik sedangkan ketika temperatur turun terjadi sebaliknya.

Hal ini sama jika dibandingkan dengan hasil pengamatan yang dilakukan pada Jembatan Proto di mana terjadi deformasi naik ketika musim panas 5.4 mm dan penurunan 3.4 mm ketika musim dingin (Niu dkk., 2020). Hal tersebut membuat jembatan menjadi lebih kaku ketika temperatur naik pada jembatan dengan perletakan sendi-sendi (FEC) begitu juga sebaliknya (christian, 2018) (Christian dkk., 2019). Sedangkan untuk tren yang terjadi di Sendi-Rol (SSC) dan LRB-LRB (LRB) sama dengan hasil pengamatan (Abid dkk., 2021, 2022) di mana terjadi penurunan 12.5 mm dan kenaikan 2.7 mm ketika musim panas dan dingin secara berurutan.

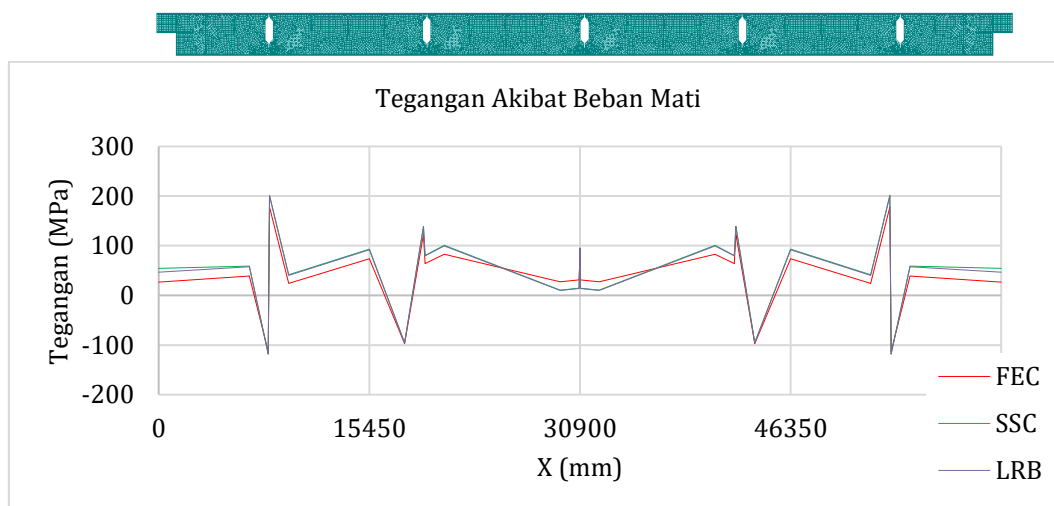


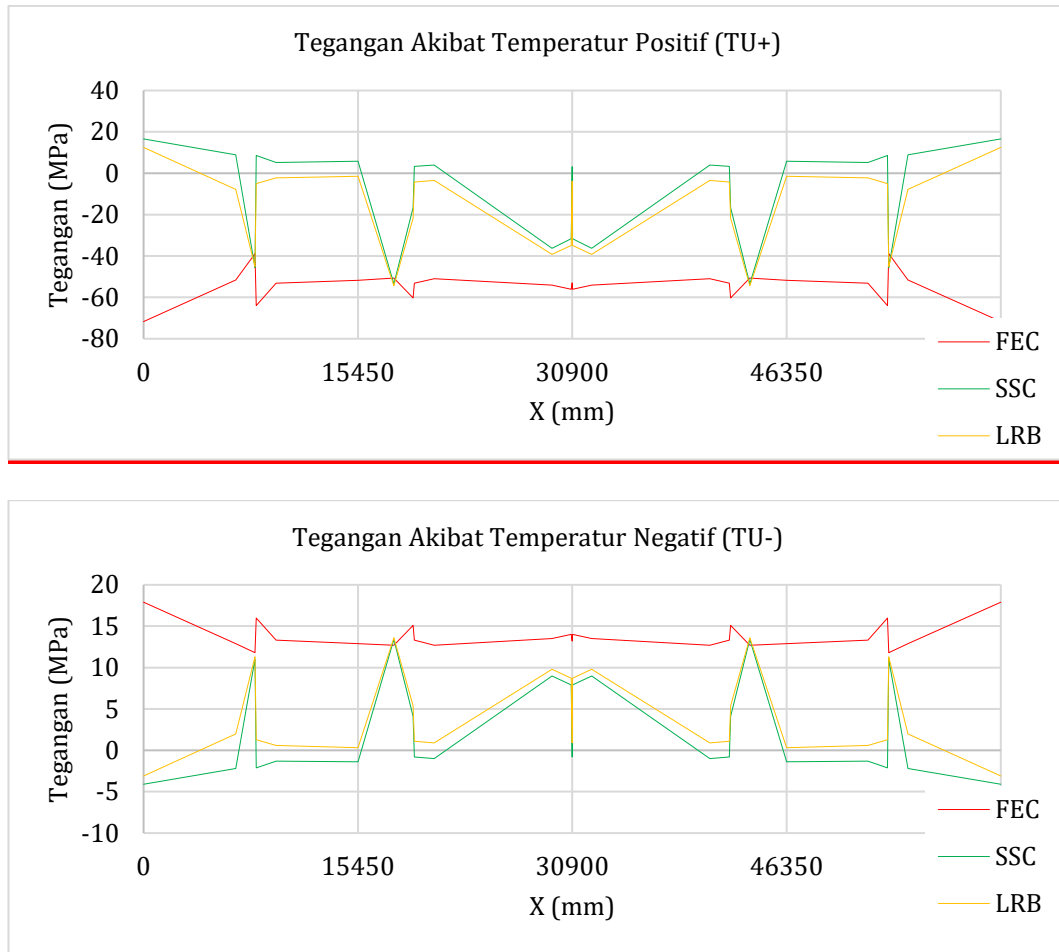


Gambar 4 Deformasi hasil analisis

3.1.2 Tegangan hasil analisis

Tegangan yang diambil pada penelitian ini adalah tegangan arah x pada web pada bagian bawah, di mana terdapat sambungan antar segmen. Tegangan yang terjadi pada jembatan segmental baja ini dapat dilihat pada Gambar 5, tegangan yang terjadi akibat beban mati pada semua kondisi perletakan memiliki tren yang sama. Namun tegangan pada perletakan sendi-sendi (FEC) mengalami tekan pada seluruh segmen akibat beban temperatur positif (TU+). Sedang untuk Sendi-Rol (SSC) dan LRB-LRB (LRB) pada web yang tersambung dengan ear mengalami perbedaan tarik tekan yang cukup besar pada masing-masing sambungan segmen. Contohnya sambungan segmen 1 dan 2 tegangan yang terjadi adalah -45,6 MPa dan 8,6 MPa, serta -45,1 MPa dan -5 MPa secara berurutan akibat beban temperatur positif (TU+) pada perletakan Sendi-Rol (SSC) dan LRB-LRB (LRB) secara berurutan, namun hal ini masih di bawah tegangan yang terjadi pada perletakan sendi-sendi (FEC) pada posisi yang sama -38,9 MPa dan -64 MPa. Sebaliknya struktur akan mengalami tarik di semua segmen akibat beban TU- pada perletakan sendi-sendi (FEC). Tren yang sama terjadi pada perletakan Sendi-Rol (SSC) dan LRB-LRB (LRB) dengan nilai 11 MPa dan -2,1 MPa serta 11,3 MPa dan 1,3 MPa secara berurutan.





Gambar 5 Tegangan hasil analisis

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil *Finite Element Model*, deformasi yang terjadi akibat beban mati di semua kondisi perletakan memiliki tren yang sama. Namun, deformasi Sendi-Rol (SSC) dan LRB-LRB (LRB) memiliki tren pergerakan yang sama jika dibandingkan dengan Sendi-Sendi (FEC) yang memiliki tren sebaliknya akibat beban temperatur. Di mana hasil deformasi pada Sendi-Sendi (FEC) lebih kecil jika dibandingkan dengan Sendi-Rol (SSC) maupun LRB-LRB (LRB), namun dengan konsekuensi pada hasil tegangan dengan perletakan Sendi-Sendi (FEC) memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Sendi-Rol (SSC) maupun LRB-LRB (LRB).

Pada hasil pemodelan akibat beban temperatur, lendutan dan tegangan pada perletakan Sendi-Rol (SSC) maupun LRB-LRB (LRB) memiliki tren ketika temperatur meningkat (panas) maka lendutan yang terjadi akan turun dan ketika temperatur turun (dingin) maka lendutan akan naik, sedangkan pada perletakan Sendi-Sendi (FEC) memiliki tren sebaliknya. Pola tegangan memiliki tren yang sama yaitu ketika temperatur naik (panas) maka regangan akan bergerak ke arah positif (tarik) dan ketika temperatur turun (dingin) maka regangan akan bergerak ke arah negatif (tekan).

4.2 Saran

Hasil pemodelan 3D FEM dengan kondisi perletakan yang berbeda ini harus divalidasi dengan hasil pengamatan di lapangan menggunakan sensor agar dapat dipelajari perilaku kondisi aktualnya terutama pada posisi web dekat sambungan antar segmen yang memiliki arah tegangan yang berbeda.

Daftar Kepustakaan

- Abid, S. R., Tayşi, N., Özakça, M., Xue, J., & Briseghella, B. (2021). Finite element thermo-mechanical analysis of concrete box-girders. *Structures*, 33, 2424–2444. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.009>
- Abid, S. R., Xue, J., Liu, J., Tayşi, N., Liu, Y., Özakça, M., & Briseghella, B. (2022). Temperatures and gradients in concrete Bridges: Experimental, finite element analysis and design. *Structures*, 37, 960–976. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.070>
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan*. www.bsn.go.id
- Brenner B.R, M. Sanayei, E.S. Bell, P.L. Rosenstrauch, E.J. Pheifer, & W.A. Marr. (2012). 3. *The Influence of Temperature Changes on Bridge Structural Behavior*.
- christian. (2018). *Evaluation Of Temperature Changes Effect To Dynamic Performances Of a Pinned-Support Steel-Arch-Bridge*.
- Christian, C., Rastandi, J. I., & Lase, Y. (2019). Temperature changes effects to dynamics performances of a pinned-supported steel-arch-bridge. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 473(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/473/1/012029>
- He, J., Xin, H., Wang, Y., & Correia, J. A. F. O. (2021). Effect of temperature loading on the performance of a PC bridge in Oklahoma: Reliability analysis. *Structures*, 34, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.099>
- Herusiswoyo, M. A., & Ma'ruf, B. (2023). Analisis Uji Beban Jembatan dengan Total station. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.22146/jgise.73182>
- Kurniawan Santoso, A., Sulisty, D., Awaludin, A., Fajar Setiawan, A., Satyarno, I., Purnomo, S., & Harry, I. (2022). Structural Systems Comparison of Simply Supported PSC Box Girder Bridge Equipped with Elastomeric Rubber Bearing and Lead Rubber Bearing. *Civil Engineering Dimension*, 24(1), 19–30. <https://doi.org/10.9744/ced.24.1.19-30>
- Ma'ruf, B., Aminullah, A., & Herusiswoyo, M. A. 2021 (22-30) @Ikatan Surveyor Indonesia-Teknik Geodesi UNDIP. Dalam *Prosiding FIT ISI* (Vol. 1).
- Matiere, N., Ung, Q. H., & Nicolaudie, P. A. (2018). Unibrige®: A new concept in prefabricated modular bridge. Dalam *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 8, hlm. 981–987). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6713-6_98

Menteri PUPR. (t.t.). *Permen PUPR No.10 Tahun 2022*.

- Niu, Y., Wang, Y., & Tang, Y. (2020). Analysis of temperature-induced deformation and stress distribution of long-span concrete truss combination arch bridge based on bridge health monitoring data and finite element simulation. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(10). <https://doi.org/10.1177/1550147720945205>
- Rastandi, J. I., Pramesti, K., & Orientilize, M. (2021). Forced vibration test of pedestrian steel bridge using eccentric mass shaker. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012010>
- Rastandi, J. I., Putra, I. A., & Orientilize, M. (2021). The dynamic test of simple span precast prestressed concrete bridge with elastomeric bearing support. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012012>
- Setiati, N. R., Jalan, P., & Jembatan, D. (2012). Kajian Analisis Respon Statis Jembatan Tipe Gelagar Beton Bertulang Dengan Metode Pembebanan (Loading Test). Dalam *Industrial Research Workshop and National Seminar*.
- Soleh, C., & Rastandi, J. I. (2021). Alternatif Uji Beban Pada Struktur (Studi Kasus : Jembatan Baja). *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 5(1), 27. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v5i1.7215>
- Xia, Q., Zhou, L., & Zhang, J. (2018). Thermal performance analysis of a long-span suspension bridge with long-term monitoring data. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 8(4), 543–553. <https://doi.org/10.1007/s13349-018-0299-y>
- Zhou, M. R., Shen, Q. F., Zhang, Z. N., Li, H. S., Guo, Z. Y., & Li, Z. B. (2013). Based on MIDAS/CIVIL the anchorage of mass concrete temperature field and stress field simulation analysis. *Advanced Materials Research*, 724–725, 1482–1488. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.724-725.1482>
- Zhu, Q.-X., Asce, S. M., Wang, H., Asce, M., Mao, J.-X., Wan, H.-P., Zheng, W.-Z., & Zhang, Y.-M. (2020). *Investigation of Temperature Effects on Steel-Truss Bridge Based on Long-Term Monitoring Data: Case Study*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE))