

Efektifitas Gelagar Pci Girder Bentang 40 Meter Jembatan Integral Multispan Pilar Tinggi

*Try Kurniawan Akhbar¹, Amirah Zakiyyah², Ira Puspitasari³, Muhammad Irfan Nurdin⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Kabupaten Bandung Barat, 40599

ARTICLE INFORMATION

Received: October 04, 2025

Revised: October 27, 2025

Accepted: October 29, 2025

Available online: October 30, 2025

KEYWORDS

Integral Bridge; PCI Girder; High Pier, Expansion Joint

*CORRESPONDENCE

try.kurniawan@polban.ac.id

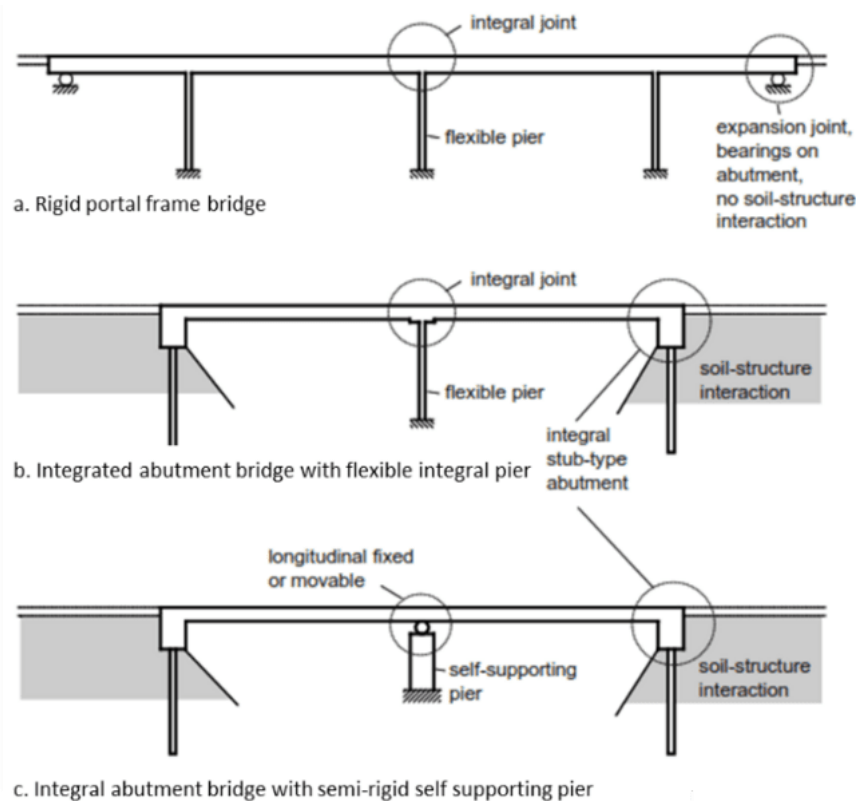
ABSTRACT

Integral bridges are a type of bridge designed without the use of expansion joints or dilation gaps, allowing the superstructure and substructure to act monolithically without relative movement. In Indonesia, the application of integral bridge concepts is limited. Generally, bridges in the country are designed using simple-span systems with conventional bearings, which, despite their straightforward construction, require periodic maintenance and replacement. Precast prestressed concrete (PCI) girders have been implemented in several integral bridge designs in Indonesia; however, their application is restricted, particularly for piers of considerable size or height. This study aims to determine the maximum pier height applicable for multispan integral bridges utilizing PCI girders commonly available in the market. The investigation focuses on girders with a span length of 40 meters, given their widespread use in Indonesia. Structural modeling was carried out for pier heights ranging from 30 to 60 meters, considering structural behavior during both construction stages and service conditions. The results indicate that for a pier height of 30 meters, the stresses in the PCI girder remain within permissible limits. However, when the pier height increases to 40 meters, the stress exceeded allowable thresholds. Therefore, the use of standard PCI girders with a 40-meter span under such conditions is not recommended unless supported by design modifications or advanced construction technologies. It is thus concluded that 40-meter PCI girders are effective for integral bridge applications with pier heights below 30 meters.

1. PENDAHULUAN

Jembatan integral merupakan jembatan yang didesain tanpa adanya siar muai (expansion joint) dan celah (dilatasi) [1], [2], [3], [4], [5], [6] sehingga tidak memungkinkan adanya pergerakan antara gelagar dengan struktur bawah jembatan. Di Indonesia, penerapan jembatan integral masih terbatas, karena sebagian besar jembatan umumnya dirancang dengan sistem bentang sederhana. Pada struktur jembatan simple span, diperlukan perawatan rutin pada komponen expansion joint dan bearing pad [7]. Sementara itu, penggunaan jembatan integral dapat mengurangi permasalahan tersebut sekaligus berpotensi menekan biaya konstruksi [8], [9], karena adanya pengurangan kebutuhan perawatan rutin, khususnya pada elemen expansion joint dan bearing pad [10]. Selain aspek biaya, jembatan integral juga menawarkan keunggulan lain, seperti meminimalkan risiko kerusakan akibat rembesan air pada sambungan dilatasi, serta meningkatkan kenyamanan pengguna jalan karena tidak adanya celah sambungan tersebut [11]. Secara teknis, jembatan integral dapat diwujudkan dengan memanfaatkan PCI girder yang sudah banyak diproduksi di pasaran. Beberapa konsep struktur Konsep struktur jembatan integral yang umum

digunakan ditunjukkan pada Gambar 1. dan pada studi ini digunakan tipe struktur rigid portal frame bridge.

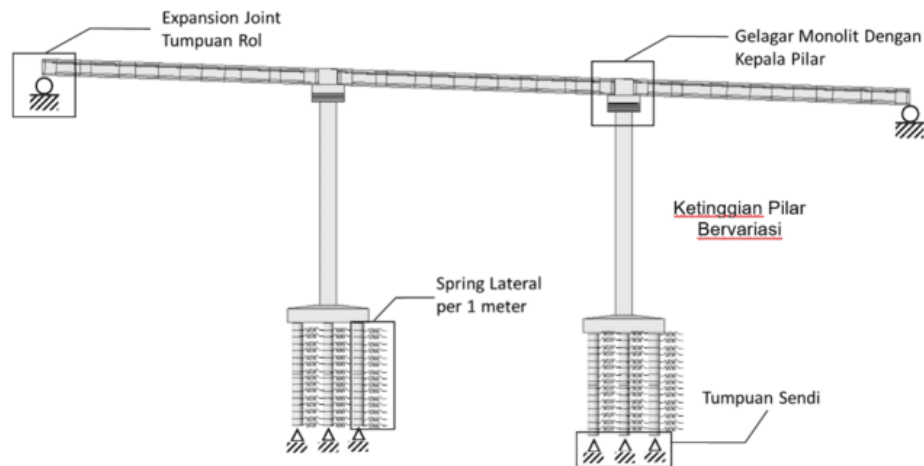


Gambar 1. Tipe Struktur Jembatan Integral Integral [12]

Penerapan sistem ini tidak dianggap tidak hanya mempercepat konstruksi dan menurunkan biaya, namun juga memiliki performa seismik yang baik [13], [14] Penerapan jembatan ini masih menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait detail koneksi antara girder dengan abutmen atau kepala pilar, serta keterbatasan penggunaannya pada struktur dengan pilar tinggi. Penggunaan sistem integral memiliki keterbatasan pada struktur pilar dengan ketinggian tertentu. Terdapat pengaruh antara ketinggian pilar terhadap gaya aksial pada gelagar. Desain geometri terhadap struktur jembatan integral memiliki pengaruh yang besar[15]. Hal tersebut yang mendasari studi ini untuk mengetahui batasan ketinggian pilar yang masih memungkinkan digunakan pada sistem jembatan integral dengan PCI girder. Pembahasan dalam tulisan ini difokuskan pada analisis jembatan integral dengan PCI girder bentang 40 Meter. Analisis ini diharapkan dapat membantu perencanaan dalam pengambilan Keputusan.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam analisis yaitu dengan membuat simulasi model jembatan integral rigid portal frame bridge. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan program analisis struktur. Konsep pemodelan ditunjukkan pada Gambar 2.



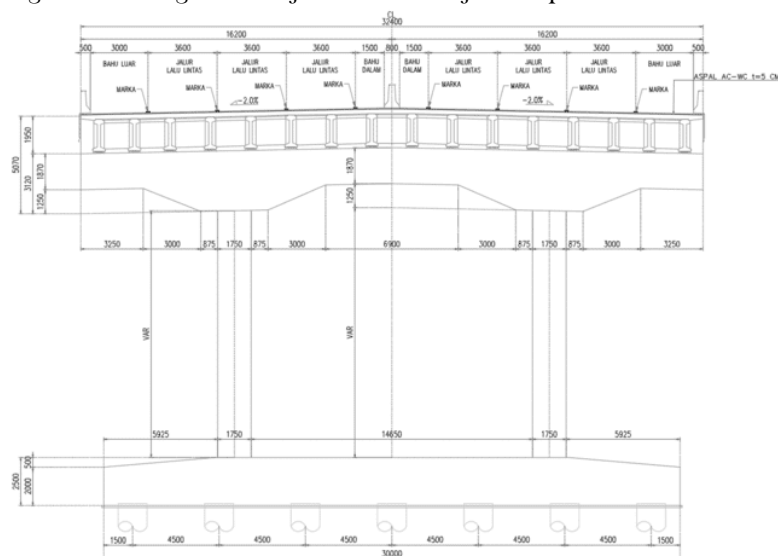
Gambar 2. Konsep Pemodelan Struktur

Pondasi didesain dengan kedalaman 15-30 meter. Pondasi dimodelkan sebagai line elemen dengan memberikan nilai spring lateral permeternya untuk memodelkan kekangan tanah. Pada setiap ujung pondasi diberikan perletakan sendi dengan asumsi fondasi berdiri di atas tanah keras. Pelat lantai dimodelkan sebagai shell element dengan ketebalan 0,25 m. Elemen pilar dimodelkan sebagai line element dengan variasi ketinggian 30 sampai 50 meter.

Data umum struktur jembatan yaitu sebagai berikut:

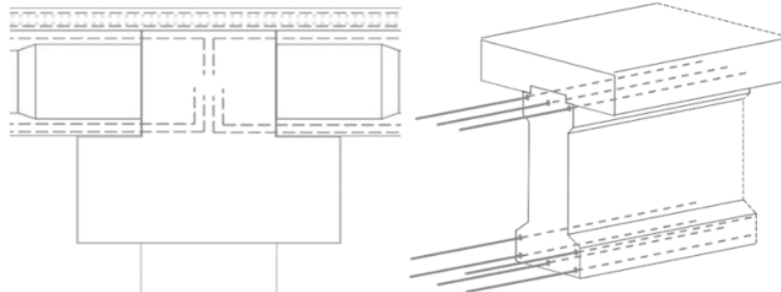
- Jenis struktur : jembatan beton
- Jenis selagar : gelagar beton *PCI girder* integral multispans
- Tipe pilar : pilar solid
- Lebar : 32.4 m
- Variasi tinggi pilar : 30 m, 35 m, 40 m, 50 m.
- Jenis tanah : Tanah sedang
- Spasi antar balok : 2.1 m
- Jenis pondasi : *bored pile*, diameter 0.8 m

Tipikal potongan melintang struktur jembatan ditunjukkan pada Gambar 3.



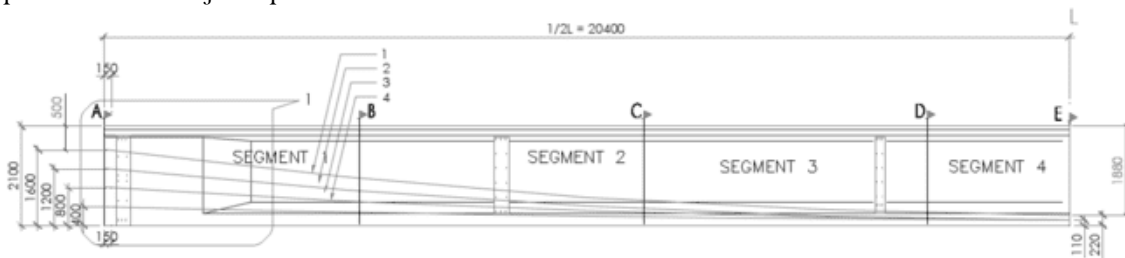
Gambar 3. Potongan Melintang Pilar

Gelagar dengan kepala pilar dihubungkan dengan tulangan tambahan yang dapat disiapkan pada saat fabrikasi PCI girder. Gelagar yang digunakan merupakan gelagar yang umum dipasaran dengan penambahan stek tulangan pada bagian ujung. Hubungan antara pelat lantai, gelagar dan kepala pilar ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Modifikasi Penampang Girder PCI

Konfigurasi dan posisi koordinat tendon pada gelagar PCI girder yang dianalisis dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 5. dan Tabel 1.



Gambar 5. Skematik Layout Tendon

Tabel 1 Koordinat Tendon.

Nomor Tendon	Jumlah Strand - Diameter	Sumbu Tendon (y)	Jarak dari Ujung Gelagar (x)										
			150	2400	4400	6400	8400	10400	12400	14400	16400	18400	CL (20400)
1	19 - 12.7	Y1	1600	1310	1082	880	705	557	385	341	274	233	220
		Y2	1558	1268	1039	837	662	514	341	299	231	191	178
2	19 - 12.7	Y1	1200	971	709	631	493	376	240	206	153	121	110
		Y2	1158	929	748	588	450	333	238	163	110	78	68
3	19 - 12.7	Y1	800	655	541	440	352	278	198	171	137	117	110
		Y2	758	613	498	397	310	236	152	128	94	74	68
		Z			0	19	54	83	107	126	139	147	150
4	19 - 12.7	Y1	400	339	291	249	212	181	155	135	121	113	110
		Y2	358	297	249	206	169	138	113	93	79	70	68
		Z				-19	-54	-83	-107	-126	-139	-147	-150

Pemodelan struktur jembatan dibuat mengikuti tahapan kerja lapangan. Secara garis besar dikelompokkan menjadi empat tahapan sebagai berikut:

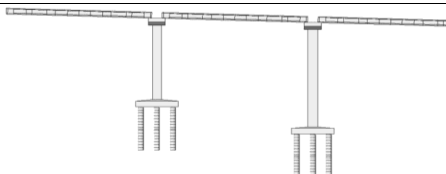
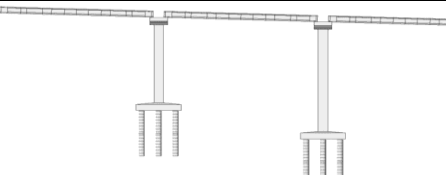
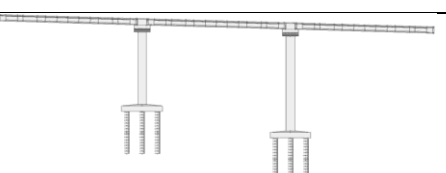
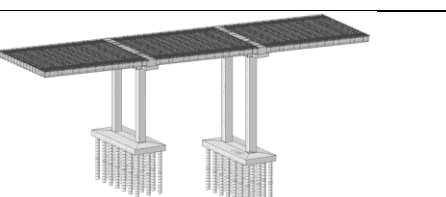
- Tahap 1, launching balok girder
Pada tahap ini struktur bawah jembatan sudah terbangun dengan umur 30 hari, maka erection girder dilakukan.
- Tahap 2, pengecoran diafragma, rc plate, dan pelat lantai
Pada tahapan ini dilakukan pekerjaan pengecoran diafragma, RC plate dan slab. Elemen slab pada tahap ini diasumsikan masih dalam keadaan basah, sehingga masih belum berfungsi struktural.
- Tahap 3, pengecoran *backwall* dan simulasi *creep shrinkage*

Pada *stage* ini struktur *slab* basah pada *stage* 3 menjadi *slab* kering dengan umur 3 hari, *slab* basah yang semula dimodelkan berupa beban kemudian diganti menjadi elemen. Pada *stage* juga ini dilakukan pengecoran kepala *backwall* pada *pier head* dan *slab* bagian atas *pier head* sehingga system struktur berubah menjadi portal. Selanjutnya struktur diberi umur 10.000 hari untuk mensimulasikan perilaku *creep & shrinkage*.

- Tahap 4, Operasional struktur jembatan
 Pada tahap ini struktur jembatan sudah dibangun secara keseluruhan, beban hidup dan beban gempa dalam diaktifkan.

Beban yang aktif dan jenis perletakan pada masing-masing tahapan pekerjaan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tahapan Pekerjaan

Tahap Pekerjaan	Beban yang bekerja	Sistem Struktur	Pemodelan
<i>Launching</i> balok girder	Berat sendiri girder	<i>Simple span</i> (perletakan sendi - rol)	
Pengecoran diafragma, <i>RC plate</i> dan pelat lantai	Berat sendiri girder, diafragma, <i>RC plate</i> , Berat beton basah pelat lantai	<i>Simple span</i> (perletakan sendi - rol)	
Pengecoran <i>backwall pierhead</i>	Berat sendiri girder, diafragma, <i>RC plate</i> , Berat pelat lantai	Integrated/portal (pilar dan gelagar monolit)	
Operasional struktur jembatan	Berat mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa	Integrated/portal (pilar dan gelagar monolit)	

Batasan tegangan beton yang digunakan dalam analisis ditunjukkan pada Tabel 3.

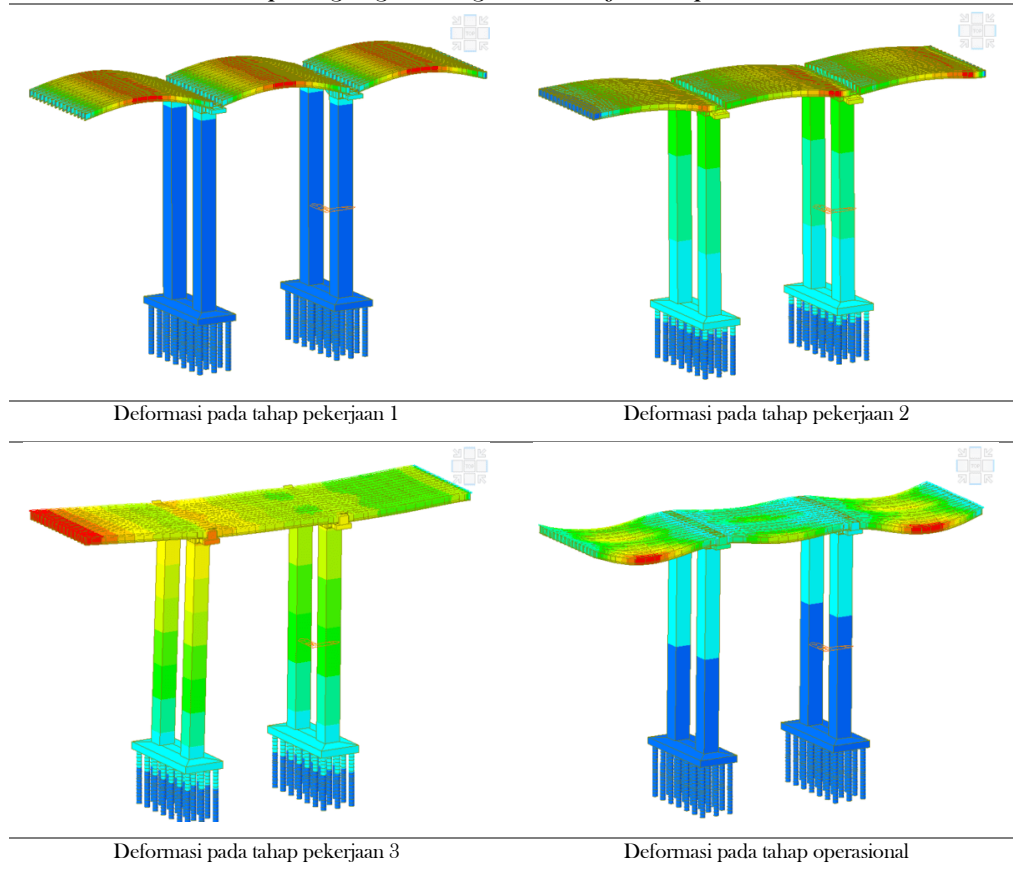
Tabel 3. Batas Ijin Tegangan Beton [15]

Jenis Tegangan	Kondisi	Tegangan
Tegangan Tekan	Jembatan non segmental tahap layan	0.45 f_c'
	Jembatan nonsegmental tahap transfer dan konstruksi	0.6 f_c'
	Jembatan segmental tahap transfer dan konstruksi	0.6 f_c'
Tegangan Tarik	Zona Tarik prategang dengan asumsi bagian tidak retak	

	Jembatan segmental tahap transfer	$0.25 \sqrt{f_{ci}'}$
	Jembatan segmental tahap layan	$0.5 \sqrt{f_c'}$
	Jembatan segmental daerah sambungan	0
	Jembatan segmental daerah tumpuan	$0.25 \sqrt{f_c'}$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ilustrasi deformasi pada gelagar PCI girder ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Ilustrasi Lendutan pada Balok Jembatan

Hasil perhitungan lendutan pada tengah bentang akibat kombinasi beban servis dan beban hidup ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Lendutan pada Gelagar

Tinggi Pilar (m)	Panjang Gelagar, (m)	Lendutan Maksimum Kombinasi Beban Servis (mm)	Lendutan Maksimum Beban LL Servis (mm)
30	40.8	41.66	21.15
40	40.8	43.30	19.62
50	40.8	47.80	18.57
60	40.8	52.53	16.02

Nilai lendutan berdasarkan hasil analisis masih memenuhi ketentuan lendutan yang disyaratkan peraturan yang berlaku, selanjutnya dilanjutkan pada pengecekan tegangan pada serat atas dan bawah gelagar.

Hasil perhitungan tegangan yang terjadi pada serat atas dan serat bawah pada masing-masing ketinggian pilar yaitu sebagai berikut:

- Pilar Tinggi 30 m

Grafik nilai tegangan penampang Gelagar PCI girder dengan tinggi pilar 30 Meter pada tahap layan dan konstruksi ditunjukkan pada Gambar 7.

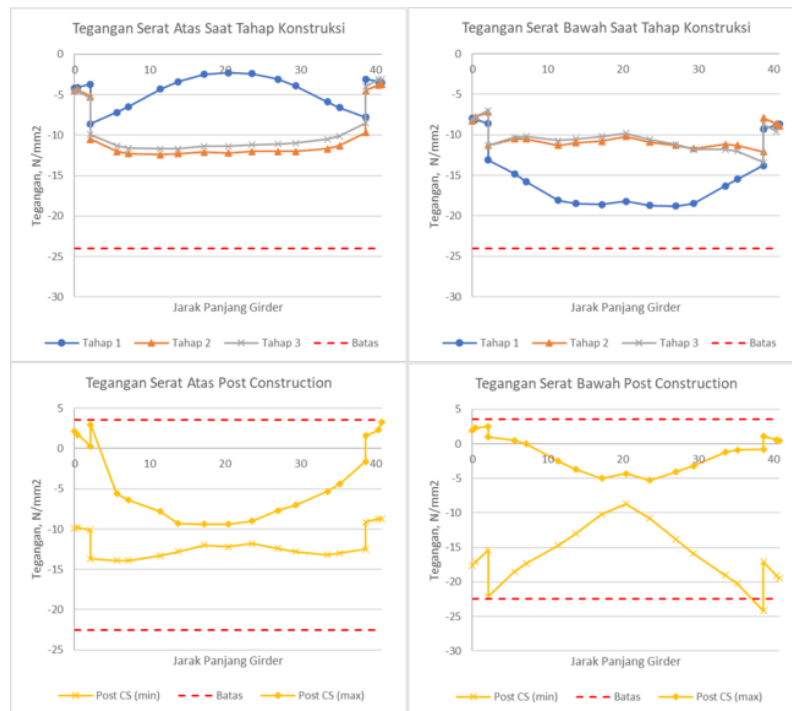


Gambar 7. Grafik Tegangan pada PCI Girder dengan Tinggi Pilar 30 Meter

Tegangan yang terjadi pada PCI girder dengan tinggi pilar 30 Meter tidak melebihi ketentuan yang disyaratkan baik pada saat tahap layan maupun konstruksi.

- Pilar Tinggi 40 m

Grafik nilai tegangan penampang PCI girder dengan tinggi pilar 40 Meter pada tahap layan dan konstruksi ditunjukkan pada Gambar 8.

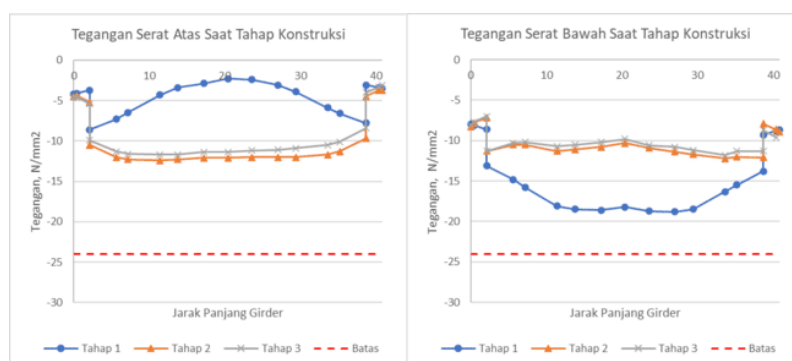


Gambar 8. Grafik Tegangan pada PCI Girder dengan Tinggi Pilar 40 Meter

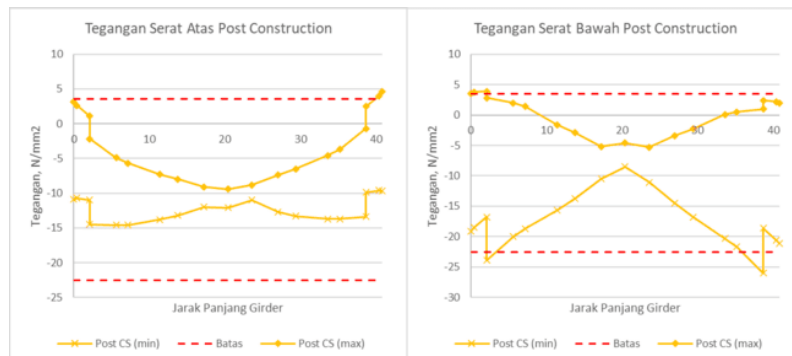
Grafik tegangan tekan pada PCI girder serat bawah menunjukkan tegangan telah melewati batas yang ditentukan, sehingga penggunaan PCI girder pada ketinggian ini tidak direkomendasikan. Tegangan tekan meningkat apabila dibandingkan dengan pemodelan dengan tinggi pilar 30 meter, hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beban lateral struktur jembatan.

- Pilar Tinggi 50 m

Grafik nilai tegangan penampang PCI girder dengan tinggi pilar 50 meter pada tahap layan dan konstruksi ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Grafik tegangan pada *PCI girder* dengan tinggi pilar 50 meter



Gambar 10. Grafik tegangan pada *PCI girder* dengan tinggi pilar 50 meter (lanjutan)

Sama halnya dengan pilar tinggi 40 meter, grafik tegangan tekan pada *PCI girder* serat bawah menunjukkan tegangan telah melewati batas yang ditentukan. Tegangan tekan pada ujung gelagar serat bawah semakin membesar seiring penambahan tinggi pilar.

4. KESIMPULAN

Ketinggian memiliki pengaruh terhadap tegangan pada serat atas dan bawah gelagar, ditunjukkan adanya perubahan tegangan seiring penambahan tinggi pilar. Tegangan yang terjadi pada penampang *PCI girder* dengan tinggi pilar 30 Meter sudah mendekati batasan tegangan yang diijinkan, sedangkan pada ketinggian 40 hingga 50 Meter sudah melewati batas ijin tegangan. *PCI girder* bentang 40 Meter yang umum dipasaran, hanya efektif digunakan pada struktur jembatan dengan ketinggian pilar hingga 30 meter. Penggunaan *PCI girder* bentang 40 Meter pada ketinggian diatas 30 Meter membutuhkan gelagar dengan desain khusus.

5. SARAN

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang dapat menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya. Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk menutup kekurangan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Melakukan analisis dinamik struktur secara lebih mendalam, khususnya terhadap pengaruh beban gempa dengan variasi spektrum respons dan arah pembebanan, untuk memperoleh gambaran perilaku struktur jembatan integral pada kondisi ekstrem.
2. Melakukan kajian eksperimental terhadap detail sambungan antara gelagar dan pilar untuk memverifikasi asumsi permodelan monolitik yang digunakan dalam analisis numerik.
3. Meneliti alternatif desain bentang selain 40 Meter *PCI girder* serta penggunaan *PCI Girder* non-standar, seperti modifikasi bentuk penampang atau penerapan teknologi prategang lanjutan, guna memungkinkan penerapan pada struktur dengan ketinggian pilar di atas 30 meter.
4. Melakukan studi jangka panjang terhadap pengaruh creep dan shrinkage pada kondisi iklim tropis Indonesia, agar diperoleh data yang lebih representatif untuk perencanaan jembatan integral di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan tulus menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung atas dukungan penuh yang telah diberikan sepanjang pelaksanaan studi ini. Dukungan tersebut tidak hanya mencakup penyediaan fasilitas yang memadai, tetapi juga akses terhadap berbagai referensi yang sangat berharga, yang telah membantu penulis dalam memperkaya wawasan serta memperdalam kajian yang dilakukan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen, tenaga kependidikan, serta rekan-rekan yang senantiasa memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik. Tanpa dukungan, kerjasama, dan kebersamaan yang terjalin, penyusunan karya ini tentu tidak akan berjalan sebagaimana

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. D. Sigdel, A. Al-Qarawi, C. J. Leo, S. Liyanapathirana, and P. Hu, "Geotechnical design practices and soil-structure interaction effects of an integral bridge system: A review," Aug. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/app11157131.
- [2] M. S. K. Hassan, D. S. Liyanapathirana, W. Fuentes, C. J. Leo, and P. Hu, "A review of soil deformation and lateral pressure ratcheting phenomena in integral abutment bridges," Nov. 01, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.trgeo.2024.101388.
- [3] N. E. Far, S. Maleki, and M. Barghian, "Design of integral abutment bridges for combined thermal and seismic loads," *Earthquakes and Structures*, vol. 9, no. 2, pp. 415–430, Aug. 2015, doi: 10.12989/eas.2015.9.2.415.
- [4] J. M. LaFave *et al.*, "Numerical Simulations of Steel Integral Abutment Bridges under Thermal Loading," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 21, no. 10, Oct. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000919.
- [5] C. Choudhary and R. Chaturvedi, "Comparative Study of Simply Supported, Continuous and Integral Slab Bridge," 2019. [Online]. Available: www.ijert.org
- [6] S. A. Mitoulis, "Challenges and opportunities for the application of integral abutment bridges in earthquake-prone areas: A review," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 135, p. 106183, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.soildyn.2020.106183.
- [7] P. Jain, A. Sharma, P. Singh, Mt. Scholar, and A. Professor, "Comparison of Integral Bridge with Conventional Bridge," 2020. [Online]. Available: www.ijtrd.com
- [8] D. G. Morley, Y. B. Asia, G. S. Madabhushi, I. Thusyan-than, and D. Sakufiwa, "Influence of Relative Stiffness on Integral Bridge Design," 2024.
- [9] B. H. Choi, L. B. Moreno, C. S. Lim, D. D. Nguyen, and T. H. Lee, "Seismic performance evaluation of a fully integral concrete bridge with end-restraining abutments," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/6873096.
- [10] A. Devitofranceschi and E. Paolieri, "Integral Bridges: A Construction Method to Minimize Maintenance Problems," 2020, pp. 515–529. doi: 10.1007/978-3-030-23748-6_40.
- [11] C. Lan, B. Briseghella, L. Fenu, J. Xue, and T. Zordan, "The optimal shapes of piles in integral abutment bridges," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 4, no. 6, pp. 576–593, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.jtte.2017.11.001.
- [12] C. Lan, E. Siviero, A. Chen, T. Zordan, and B. Briseghella, "ON THE PERFORMANCE OF SUPER-LONG INTEGRAL ABUTMENT BRIDGES-PARAMETRIC ANALYSES AND DESIGN OPTIMIZATION," 2024.
- [13] Justin Vander Werff, Rick Snyder, Sri Sritharan, and Jay Holombo, "A cost effective integral bridge system with precast concrete I-girders for seismic application," 2015.
- [14] A. Chaurasiya and A. Rai, "Girder's Response under Integral Abutment Bridge," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1326/1/012015.
- [15] W. Kim, J. A. Laman, F. Zareian, G. Min, and D. H. Lee, "Influence of construction joint and bridge geometry on integral abutment bridges," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/app11115031.