E-ISSN: 3025-0994
Halaman 7491-7501
Volume 4 Nomor 3 Tahun 2026

Analisis Kapasitas Balok Prategang PCI Girder Pada Jembatan Mainroad 4 Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 Seksi 6

Reswanda Ervaldi Saputra[1], Budi Nugroho[2], Tumingan[3]

[1,2,3] Politeknik Negeri Samarinda
e-mail: reswandaes22@gmail.com, budinugroho@polnes.ac.id, tumingan@polnes.ac.id

Abstrak

Jembatan merupakan struktur yang berfungsi menghubungkan dua lokasi yang terpisah oleh suatu rintangan dengan mempertimbangkan aspek kekuatan, kestabilan, dan fungsionalitas. Jembatan Mainroad 4 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 Seksi 6 merupakan jembatan non integral yang menggunakan beton prategang tipe penampang PCI Girder sebagai struktur atas. Analisis balok PCI Girder dilakukan menggunakan metode pascatarik (post-tensioning) dengan sistem bentang tunggal sederhana.Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aspek keamanan balok prategang yang meliputi kapasitas momen lentur dan kapasitas gaya geser, serta aspek kenyamanan yang meliputi lendutan jangka pendek dan jangka panjang. Penelitian menggunakan penampang PCI Girder dengan tinggi 1,6 m dan panjang bentang 25,3 m.Hasil analisis menunjukkan momen ultimit (Mu) sebesar 10833,599 kNm dengan momen nominal reduksi (ØMn) sebesar 6683,31 kNm, sehingga memenuhi persyaratan (ØMn > Mu). Nilai geser ultimit (Vu) sebesar 1367,827 kN dengan kapasitas geser (Vc) sebesar 1311,77 kN dan memenuhi persyaratan kapasitas geser (Vc> Vu). Lendutan jangka pendek diperoleh sebesar 0,00306 m, sedangkan lendutan jangka panjang pada umur 5–75 tahun berkisar antara 0,00921–0,00981 m. Nilai lendutan yang terjadi masih berada di bawah batas lendutan izin 0,03163 m, sehingga struktur dinyatakan memenuhi persyaratan kekuatan dan kinerja layan.

Kata Kunci: Beton Prategang, Jembatan, Kapasitas Geser, Lendutan, Momen Lentur, PCI Girder.

Abstract

A bridge is a structure designed to connect two locations separated by an obstacle, while addressing aspects of strength, stability, and functionality. The Mainroad 4 Bridge, part of the Yogyakarta–Bawen Toll Road Construction Project (Package 1, Section 6), is a non-integral bridge utilizing a prestressed concrete PCI Girder cross-section for its superstructure. The analysis of the PCI Girder employed a post-tensioning method within a simple single-span configuration. This study aims to evaluate the safety of the prestressed girder—specifically its flexural moment and shear force capacities—as well as serviceability aspects, including short-

term and long-term deflection. The study utilized a PCI Girder cross-section with a height of 1.6 m and a span length of 25.3 m. The analysis results indicate an ultimate moment (Mu) of 10,833.599 kNm and a reduced nominal moment (ØMn) of 6,683.31 kNm, thereby satisfying the requirement (ØMn > Mu). The ultimate shear force (Vu) was calculated at 1,367.827 kN, with a shear capacity (Vc) of 1,311.77 kN, satisfying the shear capacity requirement (Vc > Vu). The short-term deflection was found to be 0.00306 m, while long-term deflection over a 5–75 year period ranged from 0.00921 to 0.00981 m. These deflection values remain below the allowable limit of 0.03163 m; consequently, the structure is deemed to meet the requirements for strength and serviceability performance.

***Keywords**: Prestressed Concrete, Bridge, Shear Capacity, Deflection, Flexural Moment, PCI Girder.*

LATAR BELAKANG

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia terus mengalami peningkatan sebagai upaya mendukung konektivitas antarwilayah serta memperlancar distribusi barang dan mobilitas masyarakat. Salah satu komponen utama dalam pembangunan jalan tol adalah jembatan yang berfungsi menghubungkan ruas jalan yang terpisah oleh sungai, lembah, maupun hambatan lainnya. Untuk jembatan bentang menengah hingga panjang, penggunaan balok beton prategang tipe Precast Concrete I (PCI) Girder menjadi pilihan yang banyak diterapkan karena memiliki kapasitas menahan beban yang tinggi, dimensi yang lebih ramping, mutu konstruksi yang lebih baik, serta proses pelaksanaan yang lebih cepat melalui sistem pracetak. Selain itu, sistem prategang mampu mengurangi tegangan tarik pada beton sehingga meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan umur layan struktur jembatan (Aulia & Suryanita, 2025; Herbudiman et al., 2025). Penelitian mengenai evaluasi PCI Girder juga menunjukkan bahwa kapasitas lentur, kapasitas geser, kehilangan gaya prategang, serta lendutan merupakan parameter penting yang harus dipenuhi agar struktur tetap aman terhadap kombinasi pembebanan sesuai standar perencanaan jembatan (Yudi et al., 2025; Sanjaya et al., 2025).

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa analisis kapasitas balok prategang PCI Girder perlu dilakukan dengan mempertimbangkan perkembangan standar pembebanan, mutu material, serta metode analisis struktur yang semakin modern. Penggunaan perangkat lunak analisis seperti MIDAS Civil maupun CSI Bridge mampu memberikan hasil evaluasi yang lebih akurat terhadap respons struktur, kapasitas momen, kapasitas geser, lendutan, dan kehilangan gaya prategang (Aulia & Suryanita, 2025; Firmadi, 2023). Di sisi lain, penelitian mengenai efisiensi tipe girder menunjukkan bahwa PCI Girder memiliki kinerja yang baik untuk jembatan bentang sekitar 20–45 meter sehingga banyak digunakan pada proyek jalan tol di Indonesia (Herbudiman et al., 2025; Dewobroto & Canny, 2024). Oleh karena itu, analisis kapasitas balok prategang PCI Girder pada Jembatan Mainroad 4 Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 Seksi 6 menjadi penting untuk mengetahui apakah struktur yang direncanakan telah memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, dan kinerja layan sesuai ketentuan SNI

1725:2016, SNI 2847:2019, dan standar perencanaan jembatan yang berlaku sehingga mampu menjamin keamanan struktur selama umur layan jembatan.

Pembangunan infrastruktur transportasi merupakan salah satu faktor utama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pemerataan pembangunan wilayah di Indonesia. Jalan tol sebagai bagian dari sistem transportasi nasional memiliki peranan penting dalam meningkatkan konektivitas antar wilayah, memperlancar arus lalu lintas, serta menurunkan biaya logistik. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan jalan tol, pembangunan jembatan sebagai bagian integral dari ruas jalan tol menjadi aspek yang sangat krusial, baik dari segi perencanaan, pelaksanaan, maupun pengendalian mutu struktur.

Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen merupakan salah satu proyek strategis nasional yang dirancang untuk menghubungkan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan wilayah Jawa Tengah. Keberadaan jalan tol ini diharapkan mampu meningkatkan aksesibilitas, mendukung pertumbuhan kawasan industri dan pariwisata, serta mengurangi beban lalu lintas pada jalan nasional eksisting. Pada proyek ini terdapat berbagai struktur jembatan yang dirancang untuk melewati kondisi topografi yang bervariasi, seperti sungai, lembah, dan perlintasan jalan eksisting. Salah satu jembatan penting pada proyek tersebut adalah Jembatan Mainroad 4 Paket 1 Seksi 6.

Beton konvensional dan beton prategang merupakan sistem struktur yang banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur, khususnya jembatan. Pada beton konvensional, gaya tarik yang timbul akibat pembebanan ditahan oleh tulangan baja setelah struktur menerima beban kerja, sedangkan pada beton prategang diberikan gaya tekan awal melalui tendon untuk mengurangi tegangan tarik yang terjadi pada beton. Penerapan sistem prategang memberikan berbagai keuntungan, seperti peningkatan kapasitas lentur, pengurangan lendutan, serta pengendalian retak yang lebih baik dibandingkan beton konvensional. Keunggulan tersebut menjadikan beton prategang lebih efektif untuk struktur dengan bentang yang lebih panjang. Pada konstruksi jembatan jalan tol, kebutuhan akan struktur yang aman, andal, dan mampu menahan beban lalu lintas yang besar menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan sistem struktur. Salah satu elemen yang banyak digunakan adalah PCI Girder (Precast Concrete I Girder) karena memiliki kapasitas struktur yang tinggi, dimensi yang lebih efisien, serta mutu beton yang lebih terjamin melalui proses produksi pracetak yang terkontrol.

Penggunaan beton prategang pada struktur jembatan bertujuan untuk meningkatkan kinerja struktur dengan cara memberikan gaya tekan awal pada beton, sehingga mampu mengurangi tegangan tarik akibat beban kerja. Dengan demikian, lendutan dan retak pada balok dapat diminimalkan, yang pada akhirnya akan meningkatkan umur layan struktur. Namun demikian, penerapan sistem prategang memerlukan analisis yang cermat, khususnya terkait dengan kapasitas lentur dan geser balok, serta pengaruh kehilangan gaya prategang (loss of prestress) yang terjadi selama masa layan struktur.

Dalam perencanaan jembatan di Indonesia, pembebanan struktur mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Standar ini mengatur jenis dan kombinasi beban yang harus diperhitungkan, antara lain beban mati, beban hidup lalu lintas, beban rem, beban angin, dan beban gempa. Sementara itu, perencanaan beton struktural mengacu pada SNI 2847:2019, dan khusus untuk beton prategang jembatan mengacu pada RSNI T-12-2004.

Standar-standar tersebut menetapkan ketentuan mengenai kekuatan nominal, faktor reduksi kekuatan, serta persyaratan detailing yang harus dipenuhi agar struktur memenuhi aspek keamanan dan kinerja.

Balok prategang PCI Girder yang digunakan pada Jembatan Mainroad 4 Paket 1 Seksi 6 direncanakan untuk menahan kombinasi beban sesuai dengan ketentuan SNI 1725:2016. Oleh karena itu, diperlukan analisis kapasitas balok untuk memastikan bahwa momen lentur dan gaya geser yang terjadi akibat beban rencana tidak melebihi kapasitas nominal balok setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan sesuai SNI 2847 dan RSNI T-12-2004. Selain itu, analisis ini juga diperlukan untuk mengevaluasi apakah konfigurasi tendon prategang, mutu beton, dan dimensi penampang yang digunakan telah memenuhi persyaratan perencanaan.

mbatan merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki peran penting dalam menghubungkan wilayah yang terpisah oleh sungai, lembah, jalan raya, maupun hambatan lainnya. Keberadaan jembatan tidak hanya mendukung kelancaran mobilitas masyarakat, tetapi juga memperlancar distribusi barang dan jasa sehingga berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Oleh karena itu, perencanaan dan pembangunan jembatan harus dilakukan secara cermat agar mampu memberikan tingkat keamanan, kenyamanan, dan umur layan yang panjang (Nasution et al., 2020; Hidayah, 2021).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur, penggunaan beton prategang menjadi salah satu alternatif yang banyak diterapkan pada konstruksi jembatan. Beton prategang memiliki berbagai keunggulan dibandingkan beton bertulang konvensional, di antaranya mampu meningkatkan kapasitas lentur, mengurangi tegangan tarik pada beton, menghasilkan penampang yang lebih ramping, serta memungkinkan pembangunan jembatan dengan bentang yang lebih panjang. Selain itu, struktur beton prategang memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap retak sehingga biaya pemeliharaan menjadi lebih rendah dan umur layan struktur menjadi lebih panjang (Nasution et al., 2020).

Dalam perencanaan jembatan beton prategang, analisis struktur merupakan tahapan yang sangat penting untuk memastikan seluruh elemen konstruksi mampu menahan berbagai jenis pembebanan yang bekerja selama masa pelayanan. Beban tersebut meliputi berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban angin, perubahan temperatur, hingga beban gempa. Analisis yang tepat akan menghasilkan struktur yang aman, efisien, dan ekonomis sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku (Hidayah, 2021; Miranda et al., 2019).

Analisis kapasitas balok prategang menjadi semakin penting mengingat struktur jembatan direncanakan untuk melayani lalu lintas dalam jangka waktu yang panjang dengan intensitas beban yang terus meningkat. Kegagalan dalam memperkirakan kapasitas struktur dapat mengakibatkan penurunan kinerja jembatan, kerusakan struktural, bahkan membahayakan keselamatan pengguna jalan. Oleh karena itu, diperlukan kajian teknis yang komprehensif terhadap kapasitas balok prategang PCI Girder pada jembatan ini sebagai bentuk verifikasi terhadap perencanaan struktur yang telah dilakukan. Dalam praktik konstruksi jembatan di Indonesia, tipe girder yang umum digunakan adalah PCI Girder (Precast Concrete I-Girder) dan PCU Girder (Precast Concrete U-Girder). PCI Girder memiliki

penampang berbentuk I yang efisien dalam menahan momen lentur serta relatif lebih ringan sehingga memudahkan proses fabrikasi dan ereksi, sedangkan PCU Girder memiliki penampang berbentuk U yang memungkinkan integrasi dengan pelat lantai secara monolit, memiliki kekakuan yang lebih tinggi, serta lebih efektif dalam menahan torsi dan bentang yang lebih panjang. Perbedaan karakteristik tersebut berimplikasi pada kapasitas struktur, metode pelaksanaan, serta efisiensi biaya konstruksi. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis kapasitas balok prategang PCI Girder pada Jembatan Mainroad 4 Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 Seksi 6 dengan mengacu pada peraturan dan standar yang berlaku di Indonesia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kemampuan balok dalam menahan beban rencana serta kesesuaiannya terhadap ketentuan SNI dan RSNI yang digunakan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada struktur Jembatan Mainroad 4 Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 (Seksi 1 dan 6). Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Adhi Karya (Persero) Tbk., meliputi gambar kerja (shop drawing), spesifikasi teknis, dimensi PCI Girder beton prategang, serta data material yang terdiri atas beton, tulangan, dan kabel prategang. Pengumpulan data dilakukan melalui studi lapangan, studi pustaka, dan studi dokumentasi untuk memperoleh informasi teknis yang diperlukan. Analisis dilaksanakan berdasarkan ketentuan SNI 2833:2016, SNI 1725:2016, dan RSNI T-12-2004 dengan tahapan meliputi identifikasi spesifikasi dan dimensi struktur, penentuan lebar efektif pelat lantai, analisis karakteristik penampang PCI Girder, perhitungan pembebanan jembatan, penentuan eksentrisitas, gaya prategang awal dan kebutuhan tendon, evaluasi kehilangan gaya prategang, pemeriksaan tegangan pada berbagai kondisi layanan, analisis kapasitas momen lentur dan geser, perhitungan lendutan jangka pendek maupun jangka panjang, serta interpretasi hasil analisis untuk menilai kinerja struktur PCI Girder terhadap persyaratan perencanaan yang berlaku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Kapasitas Lendutan

Perhitungan kapasitas lendutan dilakukan untuk mengetahui besarnya deformasi vertikal pada struktur akibat beban yang bekerja. Evaluasi ini memastikan kinerja struktur dan kenyamanan pengguna tetap memenuhi batas izin standar RSNI T-12-2004. Analisis lendutan dibagi menjadi dua tahap utama: lendutan jangka pendek dan lendutan jangka panjang.

Parameter Utama Struktur:

1. Panjang Bentang (L) = 25,3 m | • Tinggi Girder (h) = 1,6 m
2. Mutu Beton ($f'c$) = 60 MPa | • Modulus Elastisitas (E_c / E_{ci}) = 41.634.570,97 kPa
3. Inersia Balok Asli (I_x) = 0,1694 m⁴ | • Inersia Komposit (I_{xc}) = 0,357 m⁴
4. Batas Lendutan Izin ($\delta_{ijin} = L / 800$) = **0,03163 m** (31,63 mm)

Lendutan Jangka Pendek

Lendutan jangka pendek memperhitungkan efek seketika dari gaya prategang awal (*Pt* = 4637,04 kN), kehilangan prategang seketika (LOP), pengecoran *slab* (beton muda), hingga beban-beban dinamis dan lingkungan pada kondisi penampang komposit. Hasil rekapitulasi menunjukkan lendutan total jangka pendek adalah sebesar 0,00306 m (ke bawah).

Tabel 1. Rekapitulasi dan Kontrol Lendutan Jangka Pendek

Kondisi Tahapan / Pembebanan	Nilai Lendutan (m)	Arah Lendutan
Saat Transfer Prategang Awal	*-0,01713*	Ke Atas (Chamber)
Setelah Kehilangan Prategang (LOP)	*-0,01550*	Ke Atas
Setelah Slab Selesai Dicor (Beton Muda)	*-0,00551*	Ke Atas
Setelah Slab dan Balok Menjadi Komposit	*-0,00262*	Ke Atas
Lendutan Girder Komposit Akibat Beban:		
1. Beban Mati (MS)	*0,00995*	Ke Bawah
2. Beban Mati Tambahan (MA)	*0,00259*	Ke Bawah
3. Beban Prategang Efektif Komposit	*-0,01901*	Ke Atas
4. Beban Rangkak Jangka Pendek	*0,00163*	Ke Bawah
5. Beban Lajur "D" (TD)	*0,00462*	Ke Bawah
6. Beban Gaya Rem (TB)	*0,00004*	Ke Bawah
7. Beban Angin Struktur (EWS)	*0,00022*	Ke Bawah
8. Beban Angin pada Kendaraan (EWL)	*0,0000461*	Ke Bawah
Beban Gempa (EQ)	*0,0000113*	Ke Bawah
Jumlah Lendutan Total Jangka Pendek (δterjadi)	*0,00306*	Ke Bawah
Batas Lendutan Izin (δijin = L/800)	*0,03163*	-
Kontrol Lendutan (δijin > δmax)	AMAN (0,03163 m > 0,00306 m)	

Lendutan Jangka Panjang

Lendutan jangka panjang terjadi akibat sifat beton yang dipengaruhi oleh waktu, yaitu rangkak (creep) akibat beban kontinu dan susut (shrinkage) akibat hilangnya kelembaban beton. Analisis ditinjau pada variasi masa pelayanan dari 5 tahun hingga 75 tahun dengan parameter nilai koefisien rangkak *Cu* = 2,00 dan koefisien susut *Csh* = 0,000153 (sesuai spesifikasi beton mutu tinggi 60 MPa).

Tabel 2. Rekapitulasi dan Kontrol Lendutan Jangka Panjang

Masa Pelayanan	5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	75 Tahun
Akibat Rangkak (δcr) (m)	*0,00550*	*0,00568*	*0,00587*	*0,00596*	*0,00599*
Akibat Susut (δsh) (m)	*0,00371*	*0,00377*	*0,00380*	*0,00381*	*0,00382*
Lendutan Total (δmax) (m)	*0,00921*	*0,00945*	*0,00967*	*0,00977*	*0,00981*
Batas Lendutan Izin (δijin) (m)	*0,03163 (L / 800)*				
Kontrol Lendutan	δijin > δmax → AMAN (0,03163 m > 0,00981 m)				

Berdasarkan hasil analisis jangka panjang, lendutan kumulatif terbesar terjadi pada akhir masa layanan tahun ke-75 dengan nilai 0,00981 m. Struktur dinyatakan sangat aman karena nilai aktual lendutan jangka panjang tersebut jauh di bawah batas maksimum deformasi vertikal izin standar konstruksi jembatan (*δijin* = 0,03163 m).

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur Jembatan Mainroad 4 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 Seksi 6 menggunakan balok beton prategang tipe PCI Girder dengan tinggi 1,6 m, panjang bentang 25,3 m, dan jumlah delapan girder. Material yang digunakan berupa beton mutu tinggi dengan kuat tekan 60 MPa, tulangan BJTS 420B, serta kabel prategang PC Strand Grade 270 yang memenuhi ketentuan SNI. Penggunaan beton mutu tinggi bertujuan untuk meningkatkan kapasitas tekan struktur, sedangkan sistem prategang dipilih agar balok mampu menahan beban yang bekerja dengan lendutan yang lebih kecil dibandingkan balok beton bertulang biasa.

Analisis dimulai dengan menentukan lebar efektif pelat lantai yang berfungsi sebagai bagian dari penampang komposit antara pelat dan girder. Berdasarkan hasil perhitungan, lebar efektif pelat yang digunakan sebesar 2,3 m karena merupakan nilai terkecil sesuai ketentuan perencanaan. Setelah memperhitungkan perbedaan modulus elastisitas antara beton pelat dan beton girder, diperoleh lebar efektif pengganti sebesar 1,38 m. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pelat lantai dapat bekerja secara komposit dengan balok sehingga meningkatkan kekakuan dan kapasitas penampang dalam menahan beban.

Perhitungan karakteristik penampang menunjukkan bahwa luas penampang PCI Girder sebesar 0,52955 m² dengan titik berat berada pada jarak 0,781 m dari sisi bawah. Setelah pelat lantai diperhitungkan sebagai penampang komposit, luas penampang meningkat menjadi 0,87494 m² dan momen inersia juga mengalami peningkatan yang cukup besar. Bertambahnya luas penampang dan momen inersia menunjukkan bahwa balok komposit memiliki kekakuan lebih tinggi dibandingkan balok prategang tanpa pelat. Kondisi ini memberikan keuntungan karena mampu mengurangi tegangan serta lendutan yang terjadi ketika struktur menerima beban pelayanan maupun beban ultimit.

Analisis pembebanan dilakukan sesuai SNI 1725:2016 dengan mempertimbangkan seluruh beban yang mungkin bekerja pada jembatan. Beban mati terdiri atas berat sendiri PCI Girder, diafragma, dan pelat lantai, sedangkan beban mati tambahan berasal dari parapet, lapisan aspal, dan genangan air hujan. Selain itu diperhitungkan pula beban lalu lintas berupa beban lajur "D", beban rem kendaraan, beban angin pada struktur dan kendaraan, serta beban gempa. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban mati memberikan kontribusi terbesar terhadap gaya dalam karena berat struktur sendiri selalu bekerja sepanjang umur jembatan. Sementara itu, beban lalu lintas menjadi beban hidup yang menghasilkan momen dan gaya geser cukup besar sehingga harus diperhitungkan secara teliti dalam proses desain.

Dari seluruh jenis pembebanan, beban lajur "D" menghasilkan momen lentur terbesar dibandingkan beban hidup lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kendaraan yang melintas menjadi faktor dominan dalam menentukan kapasitas lentur PCI Girder. Sebaliknya, beban rem, beban angin, dan beban gempa memberikan kontribusi yang lebih kecil terhadap gaya dalam, namun tetap harus diperhitungkan karena dapat memengaruhi keamanan struktur, khususnya pada kondisi pembebanan tertentu dan kombinasi beban ekstrem.

Seluruh beban kemudian dikombinasikan sesuai ketentuan SNI 1725:2016 untuk memperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi beban Kuat I menghasilkan gaya geser dan momen ultimit terbesar dibandingkan kombinasi lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi antara beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas, dan beban rem merupakan kondisi yang paling menentukan dalam proses perencanaan struktur. Oleh karena itu, kapasitas balok harus mampu menahan kombinasi pembebanan tersebut agar memenuhi persyaratan keamanan.

Analisis sistem prategang menunjukkan bahwa eksentrisitas tendon sebesar 0,601 m pada penampang girder dan meningkat menjadi 0,974 m pada penampang komposit. Nilai eksentrisitas ini memberikan lengan momen yang cukup besar sehingga gaya prategang dapat bekerja secara efektif dalam mengurangi tegangan tarik akibat beban luar. Berdasarkan hasil perhitungan, gaya prategang awal yang digunakan sebesar 4.637,038 kN. Nilai ini dipilih karena masih berada dalam batas tegangan izin beton saat transfer sehingga risiko retak pada tahap awal dapat dihindari.

Perhitungan kebutuhan tendon menghasilkan nilai sekitar dua tendon, namun dalam perencanaan digunakan tiga tendon dengan total 43 strand. Penambahan jumlah strand dilakukan untuk meningkatkan kapasitas lentur, memperbesar cadangan kekuatan, serta mengurangi lendutan selama masa layan struktur. Pemeriksaan terhadap tegangan baja prategang menunjukkan bahwa tegangan saat proses penarikan masih berada di bawah batas yang diizinkan menurut RSNI T-12-2004 sehingga proses stressing dinyatakan aman. Selain

itu, jarak antar tendon juga memenuhi persyaratan minimum sehingga penempatan kabel tidak menimbulkan gangguan pada proses pengecoran maupun pemadatan beton.

Tata letak tendon dirancang mengikuti lintasan parabola, yaitu berada lebih rendah di tengah bentang dan lebih tinggi di dekat tumpuan. Pola ini sesuai dengan distribusi momen lentur pada balok sederhana karena momen maksimum terjadi di tengah bentang. Dengan demikian, gaya prategang mampu memberikan momen penyeimbang yang lebih efektif terhadap beban luar sehingga tegangan tarik pada serat bawah balok dapat dikurangi secara signifikan. Penempatan tendon seperti ini juga meningkatkan efisiensi penggunaan kabel prategang sekaligus memperbaiki kinerja struktur terhadap beban pelayanan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa dimensi PCI Girder, mutu material, konfigurasi tendon, serta sistem pembebanan yang diterapkan telah memenuhi ketentuan perencanaan berdasarkan SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, dan RSNI T-12-2004. Penggunaan tiga tendon dengan total 43 strand memberikan kapasitas yang memadai untuk menahan kombinasi beban yang bekerja pada jembatan. Dengan demikian, struktur PCI Girder yang direncanakan memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang baik sehingga layak digunakan sebagai elemen utama pada Jembatan Mainroad 4 Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis struktur balok sederhana pada jembatan Prestressed Concrete I Girder metode paskatarik dalam proyek pembangunan jalan tol Yogyakarta – Bawen paket 1 seksi 6 yang telah diuraikan pada Bab 4, dapat disimpulkan dua hal berikut Hasil analisis PCI Girder ini menunjukkan bahwa kapasitas momen lentur memenuhi persyaratan yaitu memiliki nilai 0,9 dari momen nominal (Mn) sebesar 10833,599 kNm dan momen ultimit (Mu) terbesar dari kombinasi Kuat I sebesar 6683,31 kNm. Rasio antara 0,9 Mn dan Mu adalah sekitar 1:0,61 atau 61%. Dengan demikian, 0,9 Mn > Mu akibat pembebanan, yang berarti aman. Kapasitas gaya geser juga memenuhi persyaratan, yaitu memiliki nilai kapasitas gaya geser (Vc) 1367,827 kN dan geser ultimit (Vu) terbesar dari kombinasi Kuat I sebesar 1311,77 kN. Rasio antara Vc dan Vu adalah sekitar 1:0,95 atau 95% Dengan demikian, Vc > Vu akibat pembebanan, yang berarti aman. Secara keseluruhan, perhitungan ini memenuhi aspek keamanan.

Hasil perhitungan lendutan jangka pendek seketika total sebesar 0,00306 m (ke atas). Nilai ini tidak melebihi lendutan yang diijinkan (L/800) yaitu 0,03163 m. Hasil perhitungan lendutan jangka panjang selama 5 tahun adalah 0,00921 m, 10 tahun adalah 0,00945 m, 25 tahun adalah 0,00967 m, 50 tahun adalah 0,00977 m, dan 75 tahun adalah 0,00981 m. Semua nilai lendutan ini tidak melebihi lendutan yang diijinkan (L/800) yaitu 0,03163 m. Sehingga perhitungan ini memenuhi aspek kenyamanan.

DAFTAR PUSTAKA

Ann Arbor Techno Press 3000.

Ashto (2017) Aashto Lrfd Bridge Design Spesifications, American Association Of State Highway And Transportation Officials, Washington Dc.

Asmaraman, D. A. (2017). *Analisis Ulang Struktur Atas Jembatan Gelagar I Beton Prategang Berdasarkan Standar Peraturan Terbaru (Studi Kasus Jembatan Srandakan 2, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta)* (Skripsi Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Aulia, P. A., & Suryanita, R. (2025). Optimasi Pemilihan Model Girder Pada Jembatan Dengan Desain Post-Tension Berdasarkan Kinerja Struktur.

Bina Marga. (2017). Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga.

Bina Marga. (2021). Panduan Bidang Jalan Dan Jembatan No. 02/M/Bm/2021, Direktorat Jenderal Bina Marga

Bsn (2004) Rsni T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Bsn (2016). Sni 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Bsn (2019). Sni 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Dewobroto, W., & Canny, K. A. (2024). Evaluation Of The Indonesian Standard Guidelines For Long-Span Pc Girder Erection.

Dharma, A., Dkk. (2021). Analisis Kehilangan Gaya Prategang Pada Struktur Beton Prategang. Jurnal Teknik Sipil, 15(2), 85–94.

Firmadi, A. R. (2023). Analisis Perbandingan Pci Girder Existing Dengan Pcu Girder Pada Proyek Jembatan Utama Kali Pesanggrahan.

Herbudiman, B., Nuranita, B., & Putra, S. M. I. (2025). Studi Efisiensi Desain Jembatan Beton Prategang Dengan Variasi Tipe I-Girder.

Hidayah, A. Q. (2021). Perencanaan Struktur Jembatan Beton Prategang Di Sungai Bengawan Solo Kecamatan Jebres–Surakarta. Jurnal Teknik Sipil, 14(1).

Jepriani, R., (2022). Evaluasi Kehilangan Prategang Pada Balok Beton Pascatarik, Jurnal Rekayasa Struktur, 18(1), 45–54.

Miranda, M., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2019). Analisis Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Box Girder. Jurnal Sainstek Stt Pekanbaru, 7(2), 62–72.

Naaman, A. E., (2012). Prestressed Concrete Analysis And Design: Fundamentals.

Nasution, A. E., Suwarjo, & Indriyani, T. (2020). Perencanaan Gelagar Penampang I Jembatan Beton Prategang Bentang 30 Meter. Jurnal Komposits, 1(2), 103–117.

Nawy, E. G. (2001). Prestressed Concrete: A Fundamental Approach, New Jersey: Prentice Hall.

Nawy, E. G. (2010). Prestressed Concrete: A Fundamental Approach (6th Ed.), New Jersey.

Nilson, A. H., Darwin, D., & Dolan, C. W. 2010. Design Of Concrete Structures, New York.

Nofiyanto, I. (2024). Analisis Perbandingan Kapasitas Struktur Beton Prategang Penampang Pci Girder Dengan Pcu Girder.

Rizkia, L., Dkk. (2025). Pengaruh Kehilangan Prategang Jangka Panjang Terhadap Kinerja Gelagar Beton Jurnal Infrastruktur Dan Konstruksi, 10(1), 12–21.

Sanjaya, R., Aminullah, A., & Suhendro, B. (2025). The Ratio Of Live Load To Dead Load On I-Girder Prestressed Concrete Bridges.

Wahyuddin, M., Dkk. (2023). Perbandingan Efisiensi Sistem Girder Pada Jembatan Beton Prategang. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, 28(3), 201–210.
Yudi, A., Ramadhan, F., Kirtinanda, P., & Sitepu, A. R. H. (2025). Superstructure Design Of Pci Girder Bridge.