

Evaluasi Kelayakan Struktur Girder Jembatan Akibat Naiknya Muka Air Sungai di Jakarta

Ruben Adicahya¹, Jimmy Chandra²

¹Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra,
ruben.adicahya@petra.ac.id

²Prodi Teknik Sipil dan Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra
chandra.jimmy@petra.ac.id

Abstract— *In engineering practice, professionalism and ethics are essential for every engineer to produce designs with good reliability and safety. An engineer must uphold the principles of honesty and impartiality, and prioritize health, safety, and the environment (HSE). During his career as a civil engineer in the structural field, the author encountered several challenges related to violations of professionalism and ethics that could harm an engineer's integrity. The case study presented in this article is an existing bridge project constructed in 1990 in Jakarta. Due to rising water levels in the North Jakarta area, the river water level has reached the level of the girder soffit. Therefore, the girder will be raised 60 cm by jacking if the girder structure is still safe and suitable for reuse. However, considering the limited as-built drawing and the development of bridge design load regulations from 1990 to the present, the evaluation of the existing girder was carried out with conservative assumptions to prioritize safety. The evaluation results show that the existing girder fails to meet the minimum requirements for service stress and flexural strength. The real estate developer in North Jakarta as the bridge owner, still wants to maintain the existing girders or make only minor repairs. However, as a professional engineer, he still conveys the results of the technical evaluation as is, even though it could result in increased costs.*

Keywords: *Ethics, Structural Evaluation, Bridge Girders, Engineers, Professionalism*

Abstrak— Dalam praktik keinsinyuran, profesionalisme dan etika merupakan aspek yang wajib dimiliki oleh setiap insinyur untuk menghasilkan desain dengan keandalan dan keamanan yang baik. Seorang insinyur wajib mempunyai prinsip kejujuran dan ketidakberpihakan, serta mengutamakan aspek kesehatan, keselamatan, keamanan, dan lingkungan (K3L). Selama berkarir sebagai insinyur sipil di bidang struktur, penulis menemui beberapa tantangan terkait pelanggaran profesionalisme maupun etika yang dapat mencederai integritas seorang insinyur. Studi kasus yang diangkat pada artikel ini adalah sebuah proyek jembatan *eksisting* yang dikonstruksi pada tahun 1990 di Jakarta. Akibat naiknya level permukaan air di area Jakarta Utara, muka air sungai telah menyentuh level *soffit girder* jembatan. Maka dari itu, gelagar jembatan akan ditinggikan 60 cm dengan metode *jacking* bila struktur gelagar masih aman dan layak digunakan kembali. Namun, mengingat terbatasnya data gambar *as-built* dan perkembangan peraturan desain beban jembatan sejak tahun 1990 hingga kini, evaluasi struktur gelagar *eksisting* dilakukan dengan asumsi yang konservatif agar aspek keamanan yang paling diutamakan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa gelagar *eksisting* gagal memenuhi persyaratan tegangan layan dan kekuatan lentur minimum. Pihak pengembang *real estate* di kawasan Jakarta Utara sebagai pemilik jembatan, tetap berkeinginan untuk mempertahankan gelagar *eksisting*, ataupun melakukan perbaikan minor saja. Namun, sebagai seorang insinyur profesional, hasil evaluasi teknis tetap disampaikan apa adanya walaupun mengandung konsekuensi peningkatan biaya.

Kata Kunci : Etika, Evaluasi Struktur, Gelagar Jembatan, Insinyur, Profesionalisme.

I. PENDAHULUAN

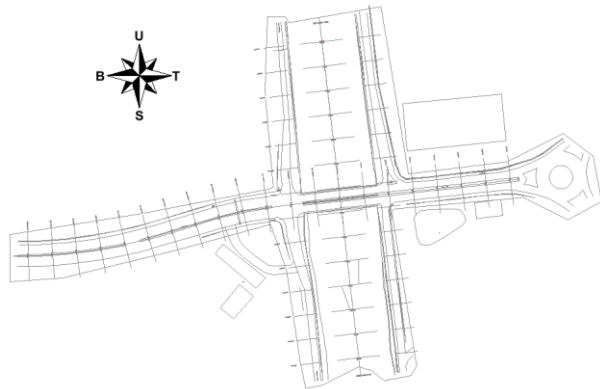
Fenomena pemanasan global dan isu lingkungan berdampak pada tinggi muka air laut yang terus naik setiap tahunnya. Hal ini menjadi perhatian global bagi kota-kota pesisir laut, termasuk Jakarta. Kondisi di Jakarta diperburuk oleh eksploitasi air tanah dan pembangunan infrastruktur berlebihan yang mempercepat penurunan muka tanah hingga 15 cm per tahun [1]. Kondisi ini menimbulkan permasalahan bagi infrastruktur, terutama jembatan yang berfungsi sebagai elemen vital konektivitas antar wilayah. Tantangan ini menjadi semakin genting mengingat tingginya aktivitas transportasi di Jakarta dan kebutuhan akan keandalan

infrastruktur.

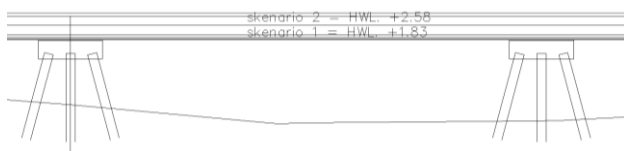
Studi kasus yang diangkat pada penelitian ini adalah sebuah proyek jembatan *eksisting* yang dikonstruksi pada tahun 1990 di Jakarta. Jembatan ini menghubungkan dua wilayah yang terpisah oleh sungai di area Jakarta Utara dengan denah situasi pada Gambar 1. Jembatan ini memiliki panjang bentang total 75 m yang dibagi menjadi 3 bentang tipikal sepanjang 25 m. Struktur gelagar jembatan menggunakan *precast prestressed concrete I-girder (PC-I girder)* dengan jarak *center-to-center* 1,7 m.

Setelah 25 tahun beroperasi, jembatan ini mengalami permasalahan akibat naiknya muka air banjir yang telah menyentuh level *soffit* gelagar jembatan seperti yang

diilustrasikan pada Gambar 2. Demi terjaganya keandalan struktur dan kenyamanan pengendara, pihak pengembang *real estate* selaku pengelola, berencana menaikkan elevasi gelagar setinggi 60 cm dengan metode *jacking*. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kelayakan struktur gelagar eksisting sebagai bahan pertimbangan apakah gelagar tersebut bisa digunakan kembali atau tidak.

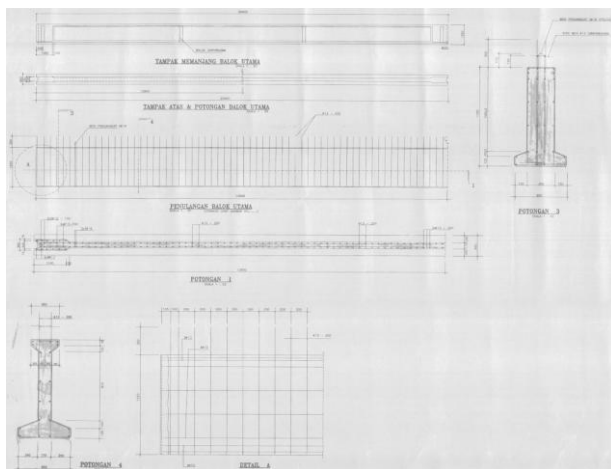


Gambar 1. Denah situasi jembatan



Gambar 2. Cuplikan potongan memanjang jembatan

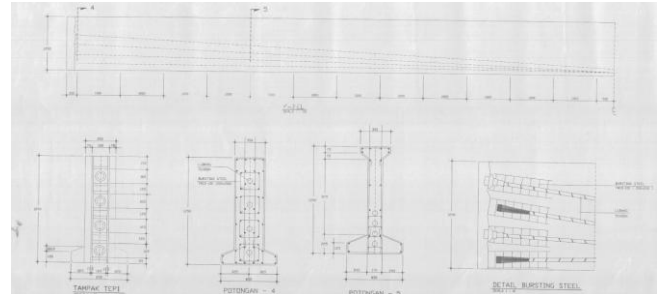
Tantangan yang dihadapi selama evaluasi kelayakan struktur gelagar adalah terbatasnya data perencanaan dan gambar *as-built*. Pada tahun 1990, gambar yang tersedia saat itu hanya berupa cetak biru seperti pada Gambar 3. Selain itu, gambar detail jumlah dan diameter kabel prategang tidak tersedia. Gambar cetak biru hanya menginformasikan *layout* tendon, detail daerah penjangkaran, dan detail tulangan seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Cetak biru gelagar jembatan

Tantangan kedua yang dihadapi dalam analisis adalah perbedaan peraturan beban desain jembatan pada saat perencanaan dan masa kini. Jika konstruksi jembatan dimulai

pada tahun 1990, seharusnya beban desain jembatan mengacu kepada Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPJR) 1987 [2]. Sedangkan pada masa kini, peraturan beban desain jembatan sudah menggunakan SNI 1725:2016 [3]. Nilai beban pada umumnya akan mengalami kenaikan sehingga risiko kegagalan struktur eksisting semakin meningkat.



Gambar 4. Detail gelagar jembatan

Melihat tantangan yang ada, evaluasi struktur wajib dilakukan secara hati-hati dan profesional, dengan asumsi konservatif yang dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan struktur gelagar *eksisting* yang dikaitkan dengan aspek profesionalisme dan etika seorang insinyur. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam memutuskan opsi tindak lanjut yang terbaik dari segi keamanan, keselamatan, dan lingkungan.

II. LANDASAN TEORI

A. Profesionalisme dan Etika Keinsinyuran

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2014 tentang Keinsinyuran [4], istilah keinsinyuran didefinisikan sebagai “kegiatan teknik dengan menggunakan kepakaran dan keahlian berdasarkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk meningkatkan nilai tambah dan daya guna secara berkelanjutan dengan memperhatikan keselamatan, kesehatan, kemaslahatan, serta kesejahteraan masyarakat dan kelestarian lingkungan”.

Dalam praktik keinsinyuran, kode etik dan etika profesi merupakan aspek yang wajib dimiliki setiap insinyur untuk menghasilkan rekayasa keteknikan yang andal dan aman. Kode etik insinyur memiliki prinsip-prinsip dasar yang telah dirumuskan oleh Persatuan Insinyur Indonesia (PII) untuk melindungi pengguna jasa insinyur akibat perbuatan yang tidak profesional. Oleh sebab itu, berdasarkan asas profesionalitas, seorang insinyur hendaknya memelihara citra profesi, mengejar kualitas dan cita-cita profesi, dan serta mengembangkan diri secara berkelanjutan [4].

Praktik keinsinyuran mempersyaratkan kejujuran, ketidakberpihakan, kewajiban, dan kesetaraan serta keadilan. Demi mewujudkan hal tersebut, insinyur wajib berpijak pada prinsip-prinsip perilaku etis dan standar integritas tertinggi yang disusun dalam Kode Etik Insinyur [5] sebagai berikut.

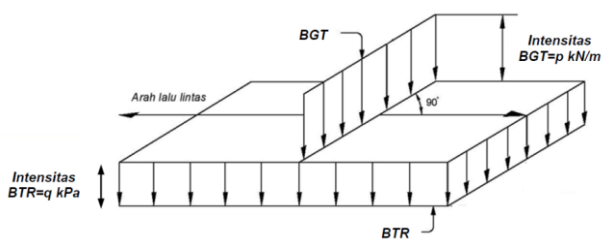
1. Mengutamakan keluhuran budi, keamanan,

keselamatan, kesehatan, dan kemaslahatan masyarakat serta lingkungan.

2. Berpraktik hanya di bidang kompetensinya.
3. Menyatakan pendapat kepada publik hanya secara objektif dan berdasarkan kebenaran menyeluruh.
4. Bertindak sebagai pihak yang jujur dan dapat dipercaya kepada Pemberi Tugas atau Pemberi Pekerjaan.
5. Menghindari perbuatan yang mengelabui.
6. Berperilaku terhormat, penuh tanggung jawab, berbudi luhur, dan taat hukum demi menjunjung tinggi martabat, reputasi, dan kedayagunaan profesi.

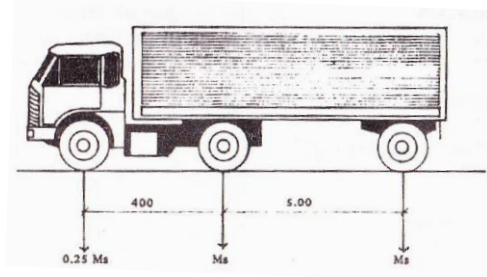
B. Beban Hidup pada Jembatan

Beban hidup pada jembatan berupa beban lalu lintas yang terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis terpusat (BGT) seperti terlihat pada gambar berikut.

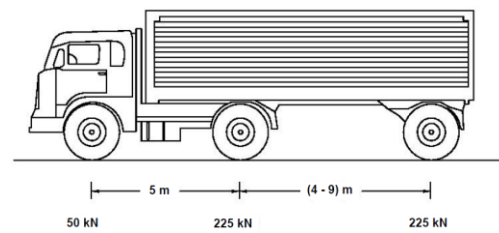


Gambar. 5. Beban lajur "D" [3]

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan tiga as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana yang dapat memberikan efek terbesar pada struktur dan dimodelkan pada analisis struktur sebagai *moving load*. Dalam penggunaannya, beban truk "T" tidak dapat diaplikasikan bersama dengan beban lajur "D". Ilustrasi susunan dan distribusi beban gandar truk dapat dilihat pada gambar 6.



(a)



(b)

Gambar. 6. Beban truk "T" berdasarkan: (a) PPJR 1987 [2], (b) SNI 1725:2016 [3]

Sebagai perbandingan, intensitas setiap komponen beban hidup menurut masing-masing standar diberikan dalam tabel 1.

TABEL I
INTENSITAS BEBAN HIDUP PADA JEMBATAN

Komponen	Intensitas Beban	
	PPJR 1987	SNI 1725:2016
BTR	0,8 ton/m ²	9 kPa
BGT	4,36 ton/m	49 kN/m
Truk	45 ton	500 kN

Berdasarkan Tabel 1, intensitas semua komponen beban hidup mengalami kenaikan nilai sebesar kurang lebih 12%. Sebagai catatan, beban truk menurut PPJR 1987 tidak dikalikan dengan koefisien kejut, sedangkan beban truk menurut SNI 1725:2016 harus ditambahkan faktor beban dinamis sebesar 30%.

C. Keadaan Batas Daya Layan

Keadaan batas daya layan disyaratkan dalam perencanaan dengan melakukan pembatasan pada tegangan dan deformasi pada kondisi pembebanan layan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencana. Berdasarkan SNI 2847:2019 [6], tegangan beton pada komponen struktur lentur prategang harus dibatasi sesuai tabel 2.

TABEL II
TEGANGAN IZIN LENTUR BETON PRATEGANG

Kondisi Pembebanan	Tegangan Tekan Izin	Tegangan Tarik Izin
Transfer	$0,6f'_{ci}$	$0,25\sqrt{f'_{ci}}$
Prategang + beban tetap	$0,45f'_c$	$0,62\sqrt{f'_c}$
Prategang + beban total	$0,6f'_c$	$0,62\sqrt{f'_c}$

Keterangan:

f'_{ci} = kekuatan tekan beton pada waktu prategang awal (MPa)

f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

Gelagar merupakan elemen struktur lentur utama jembatan balok sehingga harus memiliki kekakuan cukup agar dapat membatasi terjadinya deformasi yang berpengaruh negatif ke kekuatan dan kemampuan layan struktur. Oleh karena itu, lendutan yang terjadi harus direncanakan agar tidak melebihi lendutan izin, yang merupakan fungsi dari panjang bentang (L). Berdasarkan RSNI T-12-2004 [7], nilai lendutan izin diatur sesuai tabel 3.

TABEL III
LENDUTAN IZIN GELAGAR JEMBATAN

Kondisi Pembebanan	Lendutan Izin
Beban hidup	L/800
Prategang + beban tetap	L/300
Prategang + beban total	L/250

D. Keadaan Batas Kekuatan

Keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan untuk memastikan adanya kekuatan dan kestabilan jembatan yang memadai dalam memikul kombinasi pembebanan yang secara statistik memiliki kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama umur rencana. Kombinasi beban ini kemungkinan besar tidak akan terjadi saat operasional jembatan pada situasi normal, tetapi diperkirakan bisa terjadi pada usia layan jembatan.

Pada keadaan batas kekuatan, kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktural dapat terjadi, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih dapat dipertahankan. Untuk memastikan hal tersebut, filosofi perencanaan menganut prinsip *Load and Resistance Factor Design* (LRFD), yaitu komponen beban diberikan faktor pembesaran, sedangkan komponen tahanan diberikan faktor reduksi. Kekuatan desain harus sama atau lebih besar dari kekuatan perlu akibat aksi kombinasi beban terfaktor sesuai dengan persamaan berikut [3].

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (1)$$

Keterangan:

η_i = faktor pengubah respons

γ_i = faktor beban ke-i

Q_i = pengaruh gaya

ϕ = faktor tahanan

R_n = tahanan nominal

R_r = tahanan terfaktor

III. METODOLOGI PENELITIAN

Evaluasi kelayakan struktur gelagar pada proyek jembatan *eksisting* di Jakarta Utara menggunakan metode kuantitatif, yaitu pendekatan penelitian yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data berbentuk angka untuk mengukur, menguji asumsi, serta memprediksi fenomena secara objektif dan terukur. Tahap awal evaluasi dimulai dengan pengumpulan data terdahulu berupa gambar *as-built* jembatan. Gambar yang diperoleh berupa pindaian cetak biru sehingga kejelasan detail gambar kurang baik. Selain itu detail jumlah dan diameter kabel prategang tidak disebutkan dalam gambar sehingga metode analisis harus menggunakan asumsi yang logis dan konservatif.

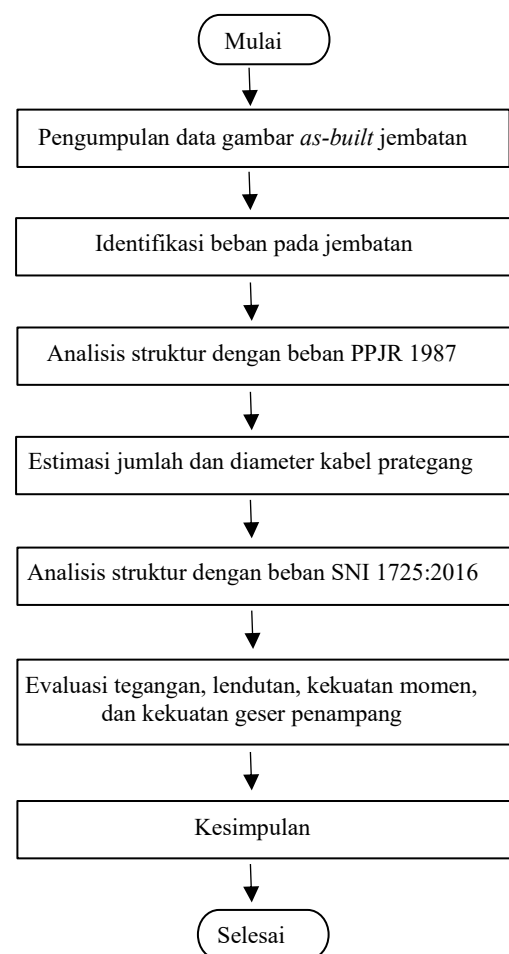
Selanjutnya, identifikasi seluruh beban pada jembatan dilakukan dengan mengacu ke dua standar yang berlaku di Indonesia pada masa awal perencanaan dan masa kini. Tujuan dilakukan dua macam pembebanan karena terbatasnya data *eksisting* jembatan sehingga evaluasi struktur tidak dapat langsung dilakukan sesuai dengan beban

yang berlaku saat ini. Diperlukan beberapa konfirmasi terkait asumsi data yang digunakan dengan cara melakukan analisis menggunakan beban yang berlaku pada masa lampau.

Pada tahap analisis struktur, gelagar jembatan tidak dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak karena sistem struktur gelagar hanya ditumpu oleh perletakan sederhana. Keluaran yang dihasilkan dari tahap ini berupa tegangan beton lentur akibat beban rencana sesuai dengan PPJR 1987. Dengan menyesuaikan besaran tegangan yang terjadi terhadap nilai tegangan izin, diperoleh perkiraan jumlah dan diameter kabel prategang yang digunakan.

Setelah data perencanaan lengkap, analisis struktur dilanjutkan dengan beban yang berlaku masa kini sesuai SNI 1725:2016. Keluaran yang ditinjau berupa tegangan beton, lendutan, momen terfaktor, dan gaya geser terfaktor. Semua parameter tersebut dievaluasi terhadap nilai batas izin yang relevan dan tahanan nominal penampang terfaktor.

Hasil evaluasi kemudian disimpulkan agar menjadi bahan pertimbangan apakah gelagar *eksisting* dapat digunakan kembali atau tidak. Jika tidak bisa digunakan kembali, rekomendasi singkat terkait tindak lanjut struktur gelagar akan disampaikan. Seluruh tahapan evaluasi proyek dirangkum dalam diagram alir berikut.



Gambar. 7. Diagram alir evaluasi proyek

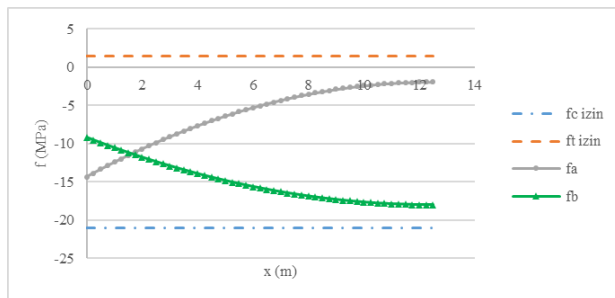
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Tegangan Beton Akibat Lentur

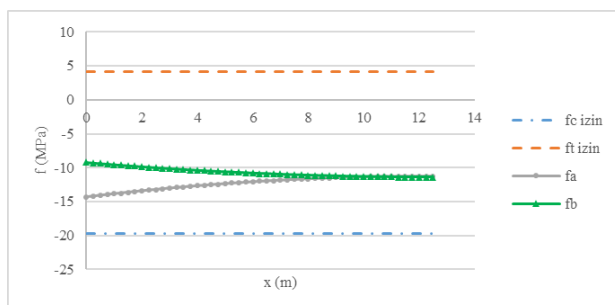
Untuk perhitungan tegangan saat transfer prategang maupun beban layan, teori elastisitas digunakan dengan asumsi regangan berubah secara linier sebagai fungsi jarak terhadap garis netral. Pada praktik umum di Indonesia, beton prategang didesain sebagai *fully prestressed concrete* sehingga gelagar yang dievaluasi diklasifikasikan ke dalam kelas U (*uncracked*).

Data perencanaan yang diperoleh berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4, antara lain penampang gelagar menggunakan *PC-I girder* H-125 dengan 4 tendon *layout* parabola. Dari data uji lapangan, kekuatan tekan beton yang diperoleh adalah $f'_c = 43,77$ MPa. Kekuatan tekan beton pada waktu prategang awal (f'_{ci}) diizinkan diambil sama dengan $0,8f'_c$ [8]. Sebelum menghitung tegangan pada beton, besarnya gaya prategang perlu dianalisis dengan prosedur kehilangan tegangan kabel pasca tarik, baik kehilangan seketika maupun kehilangan jangka panjang.

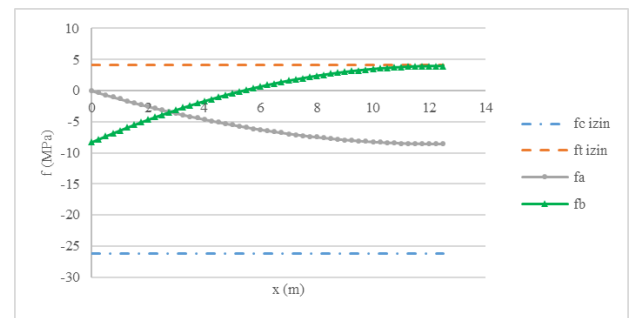
Grafik tegangan beton sepanjang bentang gelagar dengan beban sesuai PPJR 1987 dicoba-coba untuk berbagai kemungkinan jumlah kabel agar tegangan yang terjadi masih memenuhi angka tegangan izin. Grafik akhir tegangan ditunjukkan melalui Gambar 8, dengan jumlah total 28 kabel diameter 0,5 inci, yang terbagi ke dalam 4 tendon masing-masing berisi 7 kabel.



(a)



(b)



(c)

Gambar. 8. Tegangan beton akibat beban sesuai PPJR 1987 pada kondisi pembebanan: (a) transfer, (b) prategang + beban tetap, (c) prategang + beban total

Keterangan:

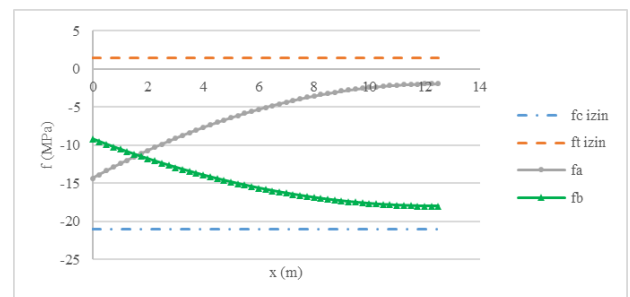
fa = tegangan pada serat atas terluar

fb = tegangan pada serat bawah terluar

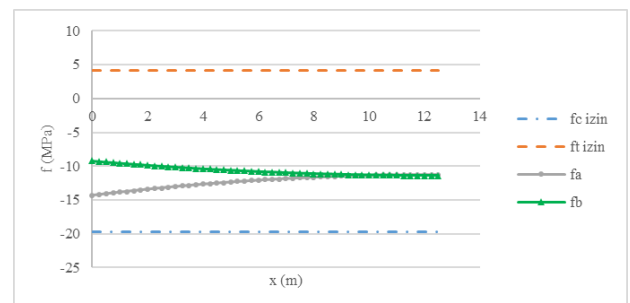
fc izin = tegangan tekan izin

ft izin = tegangan tarik izin

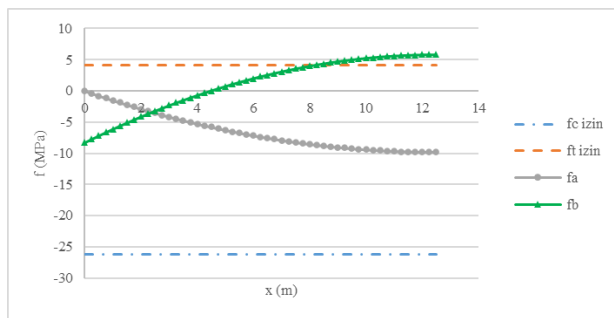
Dengan diketahuinya estimasi jumlah kabel prategang yang terpasang pada gelagar, evaluasi tegangan beton akibat beban yang berlaku masa kini sesuai SNI 1725:2016 dapat dilakukan. Prosedur dan asumsi perhitungan tegangan dilakukan serupa dengan kasus beban PPJR 1987. Evaluasi tegangan ditunjukkan oleh Gambar 9 yang berupa grafik tegangan beton sepanjang bentang untuk tiga kondisi pembebanan.



(a)



(b)



Gambar 9. Tegangan beton akibat beban sesuai SNI 1725:2016 pada kondisi pembebanan: (a) transfer, (b) prategang + beban tetap, (c) prategang + beban total

Berdasarkan Gambar 9, tegangan pada serat bawah terluar penampang gelagar telah melebihi tegangan tarik izin. Hal ini dikarenakan besarnya momen positif akibat beban luar tidak mampu dilawan oleh momen prategang. Akibatnya, gelagar eksisting gagal dalam memenuhi persyaratan keadaan batas daya layan.

A. Lendutan

Lendutan untuk komponen struktur beton prategang kelas U dapat dihitung dengan metode dan formula biasa untuk lendutan elastis menggunakan momen inersia penampang bruto. Khusus beban total, lendutan yang disajikan merupakan lendutan jangka panjang yang diestimasi dengan *PCI (precast/prestressed concrete institute) multipliers method* [9]. Nilai lendutan dievaluasi untuk tiga kondisi pembebanan dan ditampilkan pada Tabel IV.

TABEL IV
EVALUASI LENDUTAN GELAGAR JEMBATAN

Kondisi Pembebanan	Lendutan	Lendutan Izin
	mm	mm
Beban hidup	25,86	31,25
Prategang + beban tetap	26,90	83,33
Prategang + beban total	84,98	100,00

Berdasarkan pengecekan lendutan, gelagar jembatan eksisting masih memenuhi syarat lendutan izin untuk ketiga kondisi pembebanan.

B. Kekuatan Momen

Kapasitas penampang dalam memikul momen diperoleh dari kontribusi gaya tekan beton, gaya tarik kabel prategang, dan gaya tarik tulangan nonprategang saat regangan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003. Tulangan longitudinal nonprategang yang tergambar menggunakan diameter 13 mm dengan rasio sekitar 0,7%. Sebagai alternatif perhitungan nilai tegangan dalam kabel prategang pada kekuatan lentur nominal (f_{ps}) yang lebih akurat berdasarkan kompatibilitas regangan, nilai f_{ps} yang dihitung pada evaluasi ini menggunakan rumus pendekatan yang diizinkan SNI 2847:2019.

Pada gelagar dengan tumpuan sederhana, momen maksimum akibat beban luar terjadi di tengah bentang sehingga kekuatan momen dievaluasi di lokasi tersebut dan dirangkum dalam Tabel V.

TABEL V
EVALUASI KEKUATAN MOMEN PENAMPANG

Kondisi Pembebanan	Mu	ϕM_n
	kNm	kNm
Prategang + beban total terfaktor	6033,8	5924,2

Keterangan:

Mu = momen terfaktor

ϕM_n = kekuatan lentur nominal tereduksi

Hasil pengecekan menunjukkan bahwa kekuatan momen penampang telah terlampaui, yang menandakan gelagar eksisting tidak memenuhi persyaratan keadaan batas kekuatan.

C. Kekuatan Geser

Kapasitas penampang dalam menahan geser diperoleh dari kontribusi beton dan tulangan nonprategang. Tahanan geser dari beton diambil dari nilai tahanan yang terkecil dari mekanisme *web-shear cracking* dan *flexure-shear cracking* sesuai SNI 2847:2019. Tulangan geser yang tergambar menggunakan diameter 13 mm dengan spasi 200 mm sepanjang bentang.

Pada gelagar dengan tumpuan sederhana, gaya geser maksimum akibat beban luar terjadi di dekat tumpuan sehingga kekuatan geser dievaluasi di lokasi tersebut dan dirangkum dalam Tabel VI.

TABEL VI
EVALUASI KEKUATAN GESER PENAMPANG

Kondisi Pembebanan	Vu	ϕV_n
	kN	kN
Prategang + beban total terfaktor	829,8	884,2

Keterangan:

Vu = gaya geser terfaktor

ϕV_n = kekuatan geser nominal tereduksi

Hasil pengecekan menunjukkan bahwa kekuatan geser penampang masih cukup untuk memikul gaya geser terfaktor yang terjadi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi teknis yang telah dilakukan, gelagar jembatan eksisting tidak dapat digunakan kembali di masa mendatang. Walaupun kriteria lendutan dan kekuatan geser masih memenuhi syarat, tegangan tarik penampang saat beban total bekerja telah melampaui batas tegangan izin tarik. Hal ini sangat berisiko akan timbulnya retak struktural dan penurunan kemampuan layan struktur. Fakta ini dikonfirmasi juga oleh gagalnya kapasitas momen lentur penampang dalam memikul momen terfaktor maksimum yang terjadi.

Sebagai insinyur profesional yang patuh terhadap kode etik profesi, hasil evaluasi teknis disampaikan secara objektif demi tercapainya keamanan dan keselamatan masyarakat. Melihat hasil evaluasi tegangan penampang, untuk ke depannya sudah tidak ada ruang bagi penambahan atau pengurangan jumlah kabel prategang bila desain ulang tetap menggunakan dimensi beton eksisting. Oleh karena itu,

gelagar jembatan direkomendasikan untuk diganti menjadi PC-I girder H-160.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Fakta atau Mitos: Jakarta Tenggelam?” Diakses: 18 Desember 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://dsda.jakarta.go.id/pengendalian-rob/jakarta-tenggelam>
- [2] Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman perencanaan pembebanan jembatan jalan raya, Jakarta., 1987.
- [3] Pembebanan untuk jembatan, SNI 1725:2016, Jakarta., 2016.
- [4] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2014 tentang Keinsinyuran. 2014.
- [5] Persatuan Insinyur Indonesia, “Kode Etik Insinyur.” 2021.
- [6] Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, SNI 2847:2019, Jakarta., 2019.
- [7] Perencanaan struktur beton untuk jembatan, RSNI T-12-2004, Jakarta., 2004.
- [8] AASHTO LRFD bridge design specifications, customary U.S. units. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [9] PCI design handbook: precast and prestressed concrete, 6th ed. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute, 2005.