

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS LENTUR DAN GESER BOX GIRDER
PRESTRESS PADA JEMBATAN KERETA CEPAT
INDONESIA MENGACU PADA SNI 2847 – 2019
(*FLEXURAL AND SHEAR CAPACITIES OF PRESTRESSED
BOX-GIRDER SECTIONS ON HIGH-SPEED RAILWAY
BRIDGES ACCORDING TO SNI 2847 – 2019*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Rina Noor Sabrina
17511122**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

KAPASITAS LENTUR DAN GESER BOX GIRDER PRESTRESS PADA JEMBATAN KERETA CEPAT INDONESIA MENGACU PADA SNI 2847 – 2019 (*FLEXURAL DAN SHEAR CAPACITIES OF PRESTRESSED BOX-GIRDER SECTIONS ON HIGH-SPEED RAILWAY BRIDGES ACCORDING TO SNI 2847 – 2019*)

Disusun oleh:



Rina Noor Sabrina
17511122

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 19 Januari 2023
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

1/2 2023

Prof. Ir. Mochammad Teguh., MSCE., Ph.D.
NIK : 855110201

1/2 '23

Astriana Hardawati S.T., M.Eng
NIK : 165111301

Elvis Saputra S.T., M.T
NIK : 205111302

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



2/2 '23

R. Kunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Januari 2023
Yang membuat pernyataan,



Rina Noor Sabrina
(17511122)

KATA PENGANTAR

Dengan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir yang berjudul **“Kapasitas Lentur dan Geser Box Girder Prestress Pada Jembatan Kereta Cepat Indonesia Mengacu Pada SNI 2847 – 2019”** ini dapat diselesaikan. Tugas akhir merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

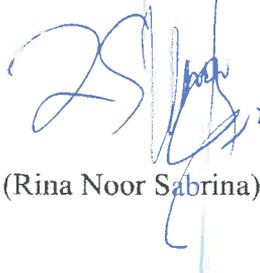
Penulisan tugas akhir ini tidak akan berhasil tanpa doa, bantuan, dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada berbagai pihak yang membantu memberi dorongan agar tugas akhir ini selesai.

1. Prof. Ir. Mochammad Teguh., MSCE., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran pada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng, selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir.
3. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T, selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir.
4. Ir. Yunalia Muntafi. S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua tercinta, Bapak Drs. Muhammad Noor, SH dan Ibu Dra. Muthbi'ah yang telah memberikan dorongan serta bantuan baik secara spiritual dan lisan. Terlebih lagi penulis ucapkan terima kasih karena memberikan kesabaran yang luar biasa pada setiap langkah yang penulis tempuh selama penulisan tugas akhir ini.
6. Kakak kandung tersayang, Omy dan Allan yang telah memberikan motivasi serta nasihat yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Kepada teman – teman yang telah memberikan semangat dan dorongan agar terselesaikan tugas akhir ini.
8. Serta pihak – pihak yang tidak bisa disebutkan yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, masih banyak kekurangan dan kesalahan karena itu segala kritik dan saran yang dapat membangun akan menyempurnakan penulisan tugas akhir ini serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Yogyakarta, Januari 2023

Penulis,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Rina Noor Sabrina', written over a vertical line.

(Rina Noor Sabrina)

DAFTAR ISI

<i>Halaman Judul</i>	<i>i</i>
<i>Halaman Pengesahan</i>	<i>ii</i>
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Pendahuluan	9
2.2 Penelitian Terdahulu	9
2.3 Keaslian Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Kereta Cepat (<i>High-speed Railway</i>)	14
3.2 Jembatan	15
3.2.1 Jenis-jenis Jembatan	15
3.2.2 Bagian-Bagian Jembatan	16
3.3 Beton Prategang	17
3.3.1 Penampang Box Girder	18
3.3.2 Jenis-Jenis Beton Prategang	18
3.4 Pembebanan Pada Jembatan	20
3.5 Kombinasi Pembebanan	30
3.6 Kehilangan Prategang	32

3.7	Kapasitas Lentur	36
3.8	Kapasitas Geser	37
BAB IV METODE PENELITIAN		38
4.1	Umum	38
4.2	Data Struktur	39
4.2.1	Data Dimensi Penampang	39
4.2.2	Data Material	42
4.2.3	Berat Isi	42
4.3	Tahapan Penelitian	43
4.4	Bagan Alir Penelitian	43
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		45
5.1	Pendahuluan	45
5.2	Data Teknis	45
5.3	Data Material	46
5.4	Perhitungan <i>Section Properties</i>	48
5.5	Pembebanan Pada Jembatan	50
5.5.1	Beban Mati	50
5.5.2	Beban Hidup	52
5.5.3	Beban Tambahan	55
5.5.4	Beban Khusus	56
5.6	Tegangan Izin dan Tendon	60
5.7	Kehilangan Prategang	64
5.7.1	Kehilangan Prategang Jangka Pendek	64
5.7.2	Kehilangan Prategang Jangka Panjang	66
5.8	Kapasitas Lentur	68
5.9	Kapasitas Geser	76
5.10	Pembahasan	80
5.10.1	Pembebanan	81
5.10.2	Kehilangan Prategang	81
5.10.3	Kapasitas Lentur dan Kapasitas Geser	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		85
6.1	Kesimpulan	85
6.1	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan	12
Tabel 3.1	Karakteristik Operasi	14
Tabel 3.2	Perbedaan Karakter Mekanik	17
Tabel 3.3	Pembebanan Pada Jembatan Kereta Cepat	20
Tabel 3.4	Berat Isi Untuk Beban Mati	21
Tabel 3.5	Faktor Beban Untuk Berat Sendiri	22
Tabel 3.6	Faktor Beban Untuk Berat Mati Tambahan	22
Tabel 3.7	Faktor Beban Untuk Berat “T”	23
Tabel 3.8	Tekanan Angin Dasar	25
Tabel 3.9	Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan	25
Tabel 3.10	Kombinasi Pembebanan	31
Tabel 3.11	Koefisien Friksi Tendon Pasca Tarik	33
Tabel 3.12	Susut Maksimum Beton	34
Tabel 3.13	Koefisien Rangkak Maksimum	35
Tabel 3.14	Nilai Pendekatan V_c	37
Tabel 4.1	Berat Isi	42
Tabel 5.1	Data <i>Strands</i>	47
Tabel 5.2	Berat Isi	47
Tabel 5.3	<i>Section Properties</i> Penampang Tipe 1	48
Tabel 5.4	Luas Penampang	49
Tabel 5.5	Rekapitulasi Hasil <i>Section Properties</i>	50
Tabel 5.6	Rekapitulasi Berat Sendiri (MS)	51
Tabel 5.7	Beban Mati Tambahan	52
Tabel 5.8	Detail Penampang	58
Tabel 5.9	Rekapitulasi Pembebanan Penampang Tipe 1	58

Tabel 5.10	Rekapitulasi Pembebanan Penampang Tipe 2	58
Tabel 5.11	Rekapitulasi Pembebanan Penampang Tipe 3	58
Tabel 5.12	Kombinasi Pembebanan Penampang Tipe 1	59
Tabel 5.13	Kombinasi Pembebanan Penampang Tipe 2	59
Tabel 5.14	Kombinasi Pembebanan Penampang Tipe 3	59
Tabel 5.15	Hasil Perhitungan Tendon	63
Tabel 5.16	Rekapitulasi Kehilangan Prategang	68
Tabel 5.17	Nilai Dari γ_p	69
Tabel 5.18	Rekapitulasi Hasil Kapasitas Lentur	71
Tabel 5.19	Resume Momen Balok Pada Penampang Tipe 1	71
Tabel 5.20	Resume Momen Balok Pada Penampang Tipe 2	72
Tabel 5.21	Resume Momen Balok Pada Penampang Tipe 3	72
Tabel 5.22	Kontrol Kombinasi Momen Ultimit Pada Penampang Tipe 1	73
Tabel 5.23	Kontrol Kombinasi Momen Ultimit Pada Penampang Tipe 2	74
Tabel 5.24	Kontrol Kombinasi Momen Ultimit Pada Penampang Tipe 3	75
Tabel 5.25	Kombinasi Pembebanan Gaya Geser Balok Prategang	
Tabel 5.26	Rekapitulasi Gaya Geser dan Kombinasi Gaya Geser Pada Penampang Tipe 1	72
Tabel 5.27	Rekapitulasi Gaya Geser	75
Tabel 5.28	Kehilangan Tegangan Total	77
Tabel 5.29	Kapasitas Lentur	78
Tabel 5.30	Kapasitas Geser	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Dimensi Penampang Tipe 1	6
Gambar 1.2	Dimensi Penampang Tipe 2	7
Gambar 1.3	Dimensi Penampang Tipe 3	8
Gambar 3.1	Kereta Cepat Jakarta-Bandung	14
Gambar 3.2	Box Girder <i>Multi Sel</i> dan <i>Single Sel</i>	18
Gambar 3.3	Tahapan <i>Pretension</i>	19
Gambar 3.4	Tahapan Pabrikasi Pada <i>Pretension</i>	19
Gambar 3.5	Tahapan Pada Tendon Berbelok	19
Gambar 3.6	Ujung Beton Prategang Pada <i>Post Tension</i>	20
Gambar 3.7	Beban Hidup Pada Kereta Cepat	23
Gambar 3.8	Peta Percepatan Puncak Di Batuan Dasar (PGA) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun	27
Gambar 3.9	Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun	28
Gambar 3.10	Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun	29
Gambar 4.1	Lokasi <i>Station</i> Proyek <i>Jakarta-Bandung High Speed Railway</i>	30
Gambar 4.2	Penampang Tipe 1	39
Gambar 4.3	Penampang Tipe 2	39
Gambar 4.4	Penampang Tipe 3	40
Gambar 4.5	Sketsa Posisi Penampang	41
Gambar 4.6	Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 5.1	Penampang Tipe 1	45

Gambar 5.2	Penampang Tipe 2	46
Gambar 5.3	Penampang Tipe 3	46
Gambar 5.4	Diagram Berat Sendiri (MS)	51
Gambar 5.5	Beban Hidup	53
Gambar 5.7	Lintasan Tendon	61
Gambar 5.8	Posisi Tendon	62



GAMBAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknis

Lampiran 2 Gambar Proyek



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= slip pada ankur (2-6 mm).
f_A	= kehilangan prategang (MPa).
f_{ES}	= kehilangan prategang (MPa).
f_F	= kehilangan prategang (MPa).
f_{pR}	= kehilangan prategang yang terjadi (MPa).
μ	= koefisien friksi.
a	= kedalaman blok tekan (m).
A	= luas tampang beton (m ²).
A_b	= luas koefisien bagian samping jembatan (m ²)
A_p	= luas tendon strand (mm ²).
C_{sm}	= koefisien respons elastik.
C_w	= koefisien seret.
d	= jarak serat tekan terjauh ke sentroid prategang dan tulangan longitudinal.
d	= kedalaman tulang non prategang (mm).
d_p	= kedalaman tulangan prategang (mm).
d_p	= letak tulangan baja prategang (mm).
E_c	= modulus elastisitas beton (MPa).
E_p	= modulus elastis prategang (MPa).
E_p	= modulus elastis prategang (MPa).
EQ	= beban gempa
E_Q	= gaya gempa horizontal statis (kN).
EW	= beban angin.
f'_{pi}	= tegangan leleh tendon prategang (MPa).
f_c'	= kuat tekan beton (MPa).
f_c'	= kuat tekan beton (MPa).
f_{ps}	= tegangan tarik prategang (MPa).
f_{ps}	= tegangan tarik prategang (MPa).

f_{pu}	= kuat tarik stand (MPa).
f_y	= kuat tekan baja non prategang (MPa).
K	= koefisien <i>wooble</i> .
L	= panjang lintasan tendon (m).
L_x	= panjang lengkung (m).
MA	= beban mati tambahan.
MS	= berat sendiri.
M_u	= Momen ultimit (kNm).
P_i	= gaya prategang awal (kN).
P_o	= gaya prategang awal (kN).
P_x	= gaya prategang setelah kehilangan akibat friksi (kN).
R	= faktor modifikasi respons.
t	= durasi waktu kondisi terbebani (jam).
TB	= beban gaya rem.
TP	= beban pejalan kaki.
TT	= beban "T".
V_u	= Gaya geser ultimit (kN/m).
V_w	= kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang
W_t	= berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN).
α	= jumlah total perubahan sudut sepanjang lintasan.
β_1	= Distribusi tegangan.
γ_p	= ketentuan dapat dilihat pada SNI.
$\varepsilon_{cc,t}$	= regangan pada rangkai beton.
ε_e	= regangan <i>elastic shortening</i> .
ε_{ES}	= regangan yang terjadi (m).
ε_{SH}	= tegangan susut ultimit (820×10^{-6} mm/mm).
ρ	= rasio tulangan tarik non prategang.
ρ'	= rasio tulangan tekan non prategang.
$\varphi_{cc(t)}$	= koefisien rangkai.

ABSTRAK

Proyek pembangunan *Jakarta-Bandung High Speed Railway* merupakan pembangunan kereta cepat yang berlokasi di Halim (Jakarta) – Tegal Luar (Bandung) yang dibangun sejak tahun 2015 hingga saat ini (2022). Proyek ini memiliki panjang *trase* 142,3 km, lebih dari 80 km memiliki struktur *elevated* sisanya berupa 13 terowongan dan *subgrade*. Proyek *Jakarta-Bandung High Speed Railway* ini dibangun untuk mengatasi masalah transportasi. Salah satunya masalah transportasi yang dialami oleh masyarakat Bandung yang bekerja di Jakarta ataupun sebaliknya. Di dalam kajian proyek ini belum ditentukan referensi konversi standar Cina ke Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga ditemukan banyak topik permasalahan teknis yang menarik untuk materi kajian dalam penelitian. Salah satu topik kajian yang dipilih dalam penelitian tugas akhir ini adalah menghitung kapasitas lentur dan geser Box Girder Prestress.

Berkaitan terhadap perbedaan spesifikasi tersebut tampang girder dievaluasi berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. Pada pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Untuk Jembatan, RSNI T 12 Tahun 2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, SNI 2833 Tahun 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, dan PM No 7 Tahun 2022 Penyelenggaraan Kereta Api Kecepatan Tinggi. Box Girder ini dalam pelaksanaannya menggunakan sistem metode *cast in situ* dan sistem *post tension* dan tumpuannya secara sederhana (*simple beam support*).

Hasil yang didapatkan mengacu pada Standar Nasional Indonesia pada 3 (tiga) varian dimensi yang sama tetapi dengan ketebalan berbeda yaitu untuk daerah tengah bentang sebesar 16,675 ton/m, sedangkan untuk daerah dinding tumpuan sebesar 28,325 ton/m dan 29,275 ton/m. Nilai kapasitas lentur pada bagian tengah bentang adalah 131335,412 kNm dan daerah dinding tumpuan adalah 149162,999 kNm dan 149975,051 kNm. Kapasitas geser pada 3 (tiga) varian tampang dimensi yang sama tetapi dengan ketebalan berbeda diperoleh sebesar 3039493,158 kN, 3029369,854 kN dan 3028646,501 kN. Hasil kehilangan prategang sebesar 36,607%.

Kata kunci: Jembatan, Kapasitas Lentur, Kapasitas Geser, Box Girder, Prategang, SNI

ABSTRACT

The Jakarta-Bandung High-Speed Railway development project is the construction of a fast train located in Halim (Jakarta) – Tegal Luar (Bandung), which was built from 2015 to the present (2022). This project has a track length of 142.3 km, more than 80 km has an elevated structure, and the rest are 13 tunnels and subgrades. The Jakarta-Bandung High-Speed Railway project was built to address transportation problems. One of them is the transportation problem experienced by Bandung people who work in Jakarta or vice versa. In this project study, the reference for converting Chinese standards to Indonesian National Standards (SNI) had not been determined, so many interesting technical issues were found for research study material. One of the research topics chosen in this final project is calculating the bending and shear capacities of the Box Girder Prestressed concrete.

In connection with these differences in specifications, the appearance of the girder is evaluated based on SNI 2847 of 2019 Requirements for Structural Concrete for Buildings and Explanations. In addition, the loading of bridges refers to SNI 1725 of 2016 Loading for Bridges, RSNI T12 of 2004 Planning for Concrete Structures for Bridges, SNI 2833 of 2016 Planning of Bridges Against Earthquake Loads, and PM No. 7 of 2022 Implementation of High-speed Rail. In its implementation, the Box Girder uses the cast in situ method, and the post-tension system and the support are simple (simple beam support).

The results obtained refer to the Indonesian National Standard on 3 (three) variants of the exact dimensions but with different thicknesses, namely for the mid-span area of 16,675 tons/m while for the bearing wall area of 28,325 tons/m and 29,275 tons/m. The flexural capacity values at the center of the span are 131335,412 kNm, and the area of the bearing walls are 149162,999 kNm and 149975,051 kNm. The shear capacities of the 3 (three) variants of the exact dimensions but with different thicknesses were 3039493,158 kN, 3029369,54 kN, and 3028646,501 kN. The result of prestressed loss is 36,607%.

Keywords: Bridge, Flexural Capacity, Shear Capacity, Box Girder Prestressed Concrete

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

World Trade Organisation (WTO) telah mengkategorikan negara Indonesia sebagai negara maju. WTO merupakan sebuah organisasi internasional yang bertujuan membuat perdagangan antar negara semakin terbuka. Dalam laporan Idris (2020), mengatakan bahwa hal ini dikarenakan bahwa Indonesia telah memenuhi pangsa pasar yang telah mencapai 1% ke dunia dan menjadi anggota kelompok *Group Twenty* (G20). Berdasarkan laporan Sugiarto (2019), menyebutkan bahwa Indonesia sudah mempunyai fondasi yang kokoh untuk mencapai negara yang maju. Fondasi ini menjadi hasil dari masifnya pembangunan infrastruktur yang ada di Indonesia. Pembangunan infrastruktur yang menyebar di seluruh wilayah Indonesia dapat menjadi batu loncatan bagi negara Indonesia agar menjadi sebuah negara maju, dan lepas dari perangkap sebagai sebuah negara berkembang atau *middle income trap*.

Infrastruktur memiliki pengertian sebagai pelayan utama dari suatu negara dalam membantu Bergeraknya roda kegiatan ekonomi dan kegiatan masyarakat, diantaranya melalui penyediaan transportasi dan juga fasilitas pendukung lainnya. Dari penjelasan tersebut, maka pembangunan infrastruktur menjadi tahap awal untuk Indonesia sebagai negara maju. Dalam beberapa tahun ini, kemajuan pembangunan infrastruktur dan konstruksi di Indonesia semakin berkembang pesat. Salah satu pembangunan infrastruktur tersebut ialah proyek pembangunan *Jakarta-Bandung High Speed Railway*. Proyek tersebut merupakan pembangunan kereta cepat yang berlokasi di Halim (Jakarta) – Tegal Luar (Bandung) yang dibangun pada tahun 2015. Proyek ini memiliki panjang *trase* 142,3 km, lebih dari 80 km memiliki struktur *elevated* sisanya berupa 13 terowongan dan *subgrade*.

Proyek *Jakarta-Bandung High Speed Railway* ini dibangun untuk mengatasi masalah transportasi. Salah satunya masalah transportasi yang dialami oleh masyarakat Bandung yang bekerja di Jakarta ataupun sebaliknya. Oleh karena hal

tersebut, pemerintah memberikan solusi untuk membangun kereta cepat Jakarta-Bandung. Dengan latar belakang Indonesia yang belum pernah memiliki pengalaman dalam hal teknologi kereta cepat, maka pemerintah bekerja sama dengan pihak Cina dalam hal pembangunan kereta cepat tersebut. Pihak Cina mendesain dan merencanakan jalur kereta cepat tujuan Jakarta-Bandung menggunakan standarisasi yaitu *Code of Design of High-speed Railway* (TB10621-2014), *Code for Design of Railway Bridges and Culverts* (TB10002-2017), dan *Code for Design on Reinforced and Prestressed Concrete Structure of Railway Bridges and Culverts* (TB1009-2017) serta menyediakan rangkaian *Electric Multiple Unit* (EMU) yang mengadopsi teknologi tinggi yaitu *Grade of Automation* (GOA) *Level 1*.

Proyek ini merupakan proyek kereta cepat pertama di Indonesia, baik dalam hal perencanaan maupun dalam pelaksanaannya terdapat hal yang menarik untuk dikaji lebih mendalam. Dengan demikian, dalam proses pengerjaannya pihak Indonesia giat dalam berdiskusi kepada pihak Cina perihal kereta cepat. Proyek ini direncanakan oleh pihak Cina, maka pihak Indonesia sendiri memiliki tim yang bertugas dalam mereview hasil perencanaan mereka yang dilakukan oleh pihak Laboratorium Institut Teknologi Bandung. Dari hasil *review* oleh Laboratorium Institut Bandung disimpulkan bahwa perencanaan tersebut disetujui untuk digunakan di Indonesia.

Di dalam kajian proyek ini belum ditentukan referensi konversi standar Cina ke Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga ditemukan banyak topik permasalahan teknis yang menarik untuk materi kajian dalam penelitian tugas akhir. Salah satu topik kajian yang dipilih dalam penelitian tugas akhir ini adalah menghitung kapasitas lentur dan geser *Prestressed Box Girder*. Penelitian ini mengambil subyek pada titik P76-P77 berpenampang tipe *Prestressed Box Girder* dengan tinggi 2,6 meter, panjang bentang sebesar 32,6 meter, dan lebar sebesar 12,9 meter. Pada jembatan ini menggunakan 3 variasi tebal box girder dengan dimensi yang sama tetapi dengan ketebal yang berbeda, yaitu 0,306 m pada tengah bentang sedangkan 0,706 m, dan 0,8 m berada di dinding tumpuan. Box girder ini dalam

pelaksanaannya menggunakan sistem metode *cast in situ* dengan sistem *post tension*.

Berkaitan dengan perbedaan spesifikasi tersebut tampang girder dievaluasi berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. Pada titik P76-P77 menggunakan *Prestressed Box Girder* dengan 3 (tiga) variasi ketebalan dinding yang berbeda meskipun bentuk dan dimensi tampang yang sama dapat dilihat pada Gambar 1.1 – Gambar 1.3 sepanjang bentangan tersebut, yang tumpuannya secara sederhana (*simple beam support*). Penelitian dilakukan pada titik tersebut mengingat bahwa jembatan ini merupakan bentang panjang dengan kompleksitas permasalahan desain dan pelaksanaan yang tinggi dan apabila dianalisis secara keseluruhan akan membutuhkan *team work* yang mumpuni kapasitas ilmiahnya.

1.2 Rumusan Penelitian

Didasarkan oleh latar belakang diatas, maka rumusan penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil pembebanan dan kehilangan prategang bekerja pada ketiga tampang Jembatan Kereta Cepat titik P76-P77 mengacu pada SNI 1725 Tahun 2016, SNI 2833 Tahun 2016, dan PM No 7 Tahun 2022?
2. Bagaimana hasil kapasitas lentur dan geser balok gelagar dengan 3 (tiga) variasi dimensi yang sama tetapi dengan ketebal di dinding yang berbeda pada Jembatan Kereta Cepat titik P76-P77 mengacu pada SNI 2847 Tahun 2019?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mendapatkan hasil pembebanan dan kehilangan prategang yang terjadi pada ketiga tampang Jembatan Kereta Cepat titik P76-P77 dengan mengacu pada SNI 1725 Tahun 2016, SNI 2833 Tahun 2016, dan PM No 7 Tahun 2022.
2. Menganalisis kapasitas lentur dan geser pada *Prestressed Box Girder* dengan 3 (tiga) variasi dimensi yang sama tetapi dengan ketebalan di

dinding yang berbeda pada Jembatan Kereta Cepat titik P76-P77 mengacu terhadap SNI.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi dalam hal kapasitas lentur dan geser *Prestressed Box Girder* dengan sistem *simple beam* dan menambah wawasan terkait kapasitas lentur dan geser pada kereta cepat dengan mengacu Standar Nasional Indonesia (SNI).

1.5 Batasan Penelitian

Berikut ialah beberapa batasan penelitian yang digunakan, yaitu:

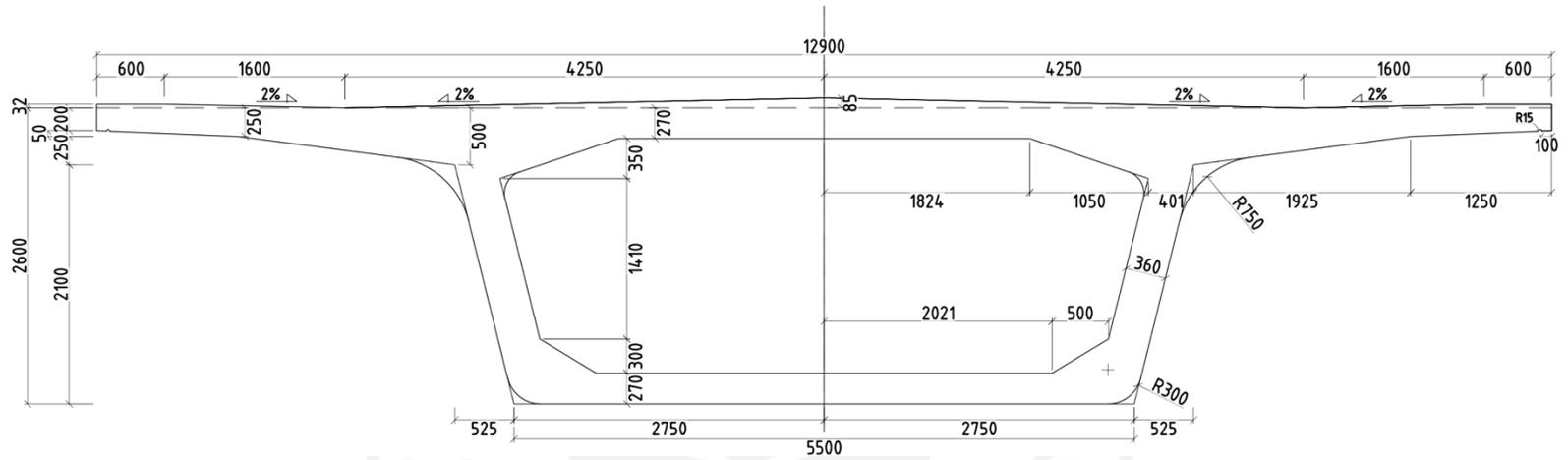
1. Lokasi penelitian adalah Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung.
2. Penelitian mengenai kereta cepat sangat luas untuk diteliti, antara lain:
 - a. Jembatan Kereta Cepat dianalisis secara menyeluruh.
 - b. Studi perbandingan antara peraturan Cina dengan Standar Nasional Indonesia.
 - c. Analisis struktur bawah Jembatan Kereta Cepat.
 - d. dan lain-lain.

Untuk meminimalkan penelitian agar tidak kompleks, penelitian difokuskan pada kapasitas lentur dan geser *Prestressed Box Girder*.

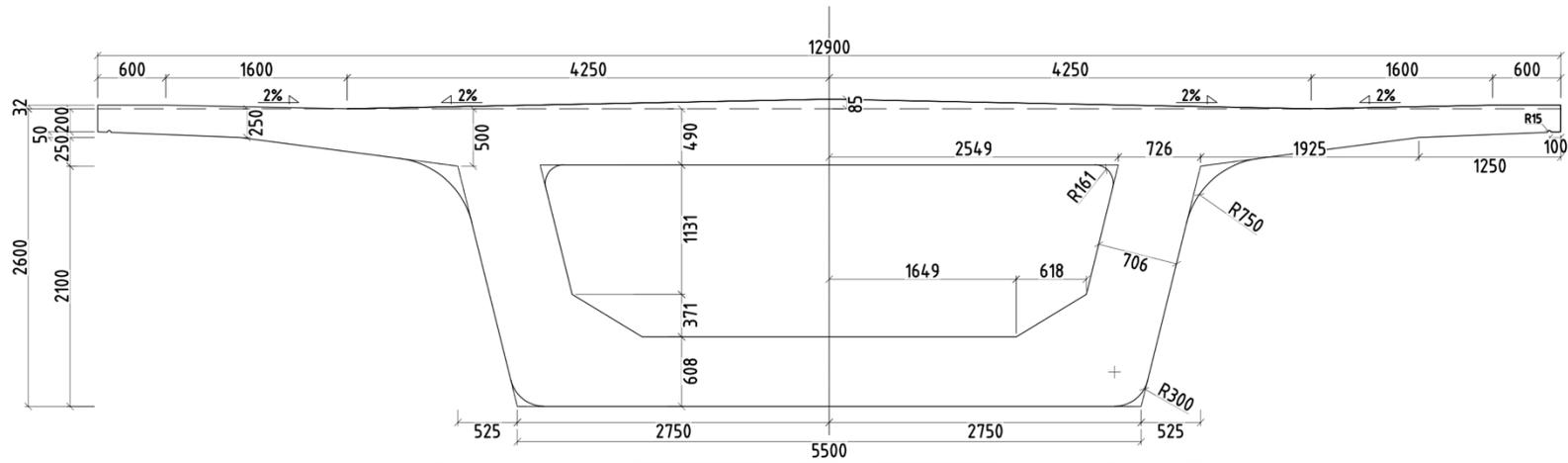
3. Penelitian dilakukan pada titik P76-P77.
4. Jembatan pada titik P76-P77 merupakan sistem *simple beam*.
5. Rancangan anggaran biaya (RAB) tidak dihitung.
6. Peraturan yang digunakan adalah:
 - a. SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Untuk Jembatan,
 - b. RSNI T 12 Tahun 2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan,
 - c. SNI 2833 Tahun 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa,
 - d. PM No 7 Tahun 2022 Penyelenggaraan Kereta Api Kecepatan Tinggi, dan
 - e. SNI 2847 Tahun 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya.

7. Dimensi tampang prategang berupa box girder yang digunakan:
- Tinggi, $h = 2,6$ m.
 - Lebar, $B = 12,9$ m.
 - Dengan tebal yang berbeda yaitu 0,306 m, 0,706 m, dan 0,8 m, seperti terlihat pada Gambar 1.1 sampai dengan Gambar 1.3.

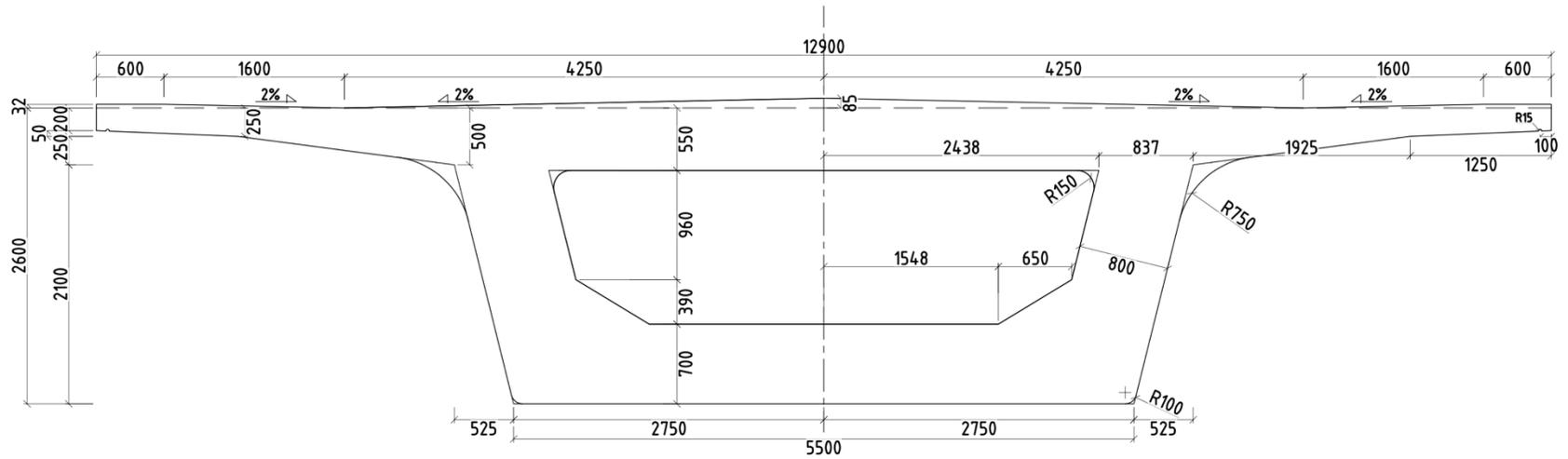




Gambar 1.1 Dimensi Penampang Tipe 1
 (Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



Gambar 1.2 Dimensi Penampang Tipe 2
 (Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



Gambar 1.3 Dimensi Penampang Tipe 3
 (Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Perkembangan kemajuan teknologi dari berbagai bidang mengalami perubahan yang signifikan. Kemajuan teknologi tersebut yaitu di bidang teknologi transportasi dan teknologi beton. Seiring dengan berjalannya waktu terjadi beberapa perubahan terhadap kondisi alam di Indonesia yang harus didukung dengan teknologi yang sesuai dengan kondisi alam tersebut. Oleh sebab itu, konstruksi harus dilakukan perencanaan yang sesuai dengan peraturan-peraturan yang berlaku agar bangunan konstruksi berdiri kokoh.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai struktur atas jembatan sudah pernah dilakukan sebelumnya. Adapun penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya dan dapat dijadikan sebagai tinjauan pustaka adalah sebagai berikut ini.

1. Analisis Jembatan *Box Girder Prestress*

Objek penelitian merupakan salah satu lokasi jembatan dengan panjang total 150 m yang terdiri dari 3 bentang. Pada penelitian tersebut hanya diambil bentang sepanjang 50 m. Struktur jembatan menggunakan tipe *box girder prestress* yaitu *single cellular* dan *twin cellular*. Tujuan dari penelitian tersebut ialah merencanakan profil *prestressed box girder* dan menganalisa pembebanan serta kehilangan gaya prategang dari box girder tersebut.

Rezki (2018) menyatakan hasil dari penelitian ini, untuk box girder tipe *single cellular* dari segi desain digunakan 16 tendon dengan diameter nominal strands 15,2 mm berjumlah 22 kawat untaian. Dari segi gaya prategang awal didapatkan nilai 84354,45 kN dan nilai kehilangan prategangnya sebesar 14,336%. Nilai tegangan ijin tekan beton didapatkan 22410 kPa dan tegangan ijin tarik sebesar 11157,95 kPa. Sedangkan untuk

box girder tipe *twin cellular* didesain dengan menggunakan 24 tendon diameter 15,2 mm dengan masing masing 16 tendon berjumlah 30 kawat untaian dan 6 tendon berjumlah 15 kawat untaian. Gaya prategang awal yang didapatkan sebesar 177860,5 kN dan mengalami kehilangan prategang sebesar 16,606%. Tegangan ijin tekan senilai 22410 kPa dan tegangan ijin tarik senilai 11157,95 kPa.

2. Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 Meter Menggunakan *Prestressed Concrete T-Girder* dan *Prestressed Concrete Box Girder*

Objek penelitian ialah jembatan Sirnobojo dengan bentang 230,4 m. dalam penelitian ini struktur balok di desain ulang lurus tanpa ada belokan dengan panjang bentang 50 m dengan 2 variasi bentuk balok. Tujuan dari penelitian ini ialah mendapatkan hasil desain struktur atas jembatan antara *prestressed concrete T-Girder* dan *prestressed Box Girder*, serta membandingkan hasil dari kedua penampang tersebut.

Ardwitya W. S. Rahmawati (2019) menyatakan hasil yang diperoleh untuk desain pada *t-girder* memiliki luas penampang sebesar 9,452 m² dengan menggunakan 20 tendon berjumlah 800 strands. Kehilangan prategang yang terjadi sebesar 28,83% dan lendutan yang terjadi sebesar 0,05347 m. sedangkan untuk box girder didapatkan luas penampang sebesar 12,289 m² dengan menggunakan 24 tendon berjumlah 960 strands. Kehilangan prategang sebesar 27,8% dan lendutan yang terjadi sebesar 0,01654 m.

3. Analisis Kapasitas *Box Girder* Pada Jembatan

Proyek Jalan Tol Jakarta Cikampek II Selatan Paket 3-Induk adalah tol terintegritas dengan Tol Jakarta *Outer Ring Road* dan Tol Purbaleunyi di Sadang Purwakarta. Pembangunan tol tersebut dibutuhkan pembangunan jembatan karena melintasi sungai citarum. Jembatan citarum ini memiliki bentang sebesar 120 m dan lebar 16,30 m. Jembatan ini dilakukan dengan pelaksanaan *balanced cantilever* dengan spasioal *span box girder*. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui kapasitas pada struktur jembatan citarum dan pemodelan dengan menggunakan program analisis struktur.

Gumilar, dkk. (2022) menyatakan dalam penelitiannya adalah dengan bentang jembatan sebesar 120 m dan lebar 16,30 m didapatkan hasil gaya prategang sebesar 150770,11 kN. Kehilangan prategang pada masing masing ketinggian sebesar 16,583% untuk tinggi 5,620 m, sebesar 17,530% untuk tinggi 4,144 m, dan sebesar 18,588% untuk tinggi 3,034 m. sedangkan untuk kontrol momen ultimitnya memenuhi kriteria dikarenakan nilai $M_{uk} > M_n$. Serta lendutan yang terjadi pada box girder masih dibawah 0,5 m yaitu sebesar 0,004216 m.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian serupa yang pernah dilakukan dapat dijadikan referensi. Adapun beberapa tinjauan Pustaka yang didapatkan dari penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

	Penelitian Terdahulu			Penelitian Saat Ini
Peneliti	Muhammad Rezki (2018)	Ardwitya Wulan Suci Rahmawati (2019)	Eka Cahya Gumilar dan Eko Walujodjati (2022)	Rina Noor Sabrina (2022)
Judul	Analisa Jembatan <i>Box Girder Prestress</i>	Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 Meter Menggunakan <i>Prestressed Concrete TGirder</i> Dan <i>Prestressed Concrete Box Girder</i>	Analisis Kapasitas <i>Box Girder</i> Pada Jembatan	Kapasitas Lentur Dan Geser <i>Box Girder Prestress</i> Pada Jembatan Kereta Cepat Indonesia Mengacu Pada SNI 2847 – 2019
Parameter	Jembatan dengan bentang 50 m dengan tipe <i>box girder prestressed</i> yaitu <i>single cellular</i> dan <i>twin cellular</i>	Jembatan Sirnobojo dengan panjang bentang 50 m dengan tipe <i>prestressed concrete box girder</i> dan <i>prestressed concrete t-girder</i>	Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3-Induk sepanjang 120 m dengan tipe <i>box girder</i> dengan tinggi 5,620 m, 4,144 m, dan 3,034 m.	Kereta Cepat Jakarta-Bandung di titik P76-P77 sepanjang 32 m dengan tinggi <i>box girder</i> 2,6 m.
Metode Analisis	Jembatan dengan sistem <i>simple beam support</i>	Jembatan dengan sistem <i>simple beam support</i>	Jembatan dengan sistem <i>simple beam support</i>	Jembatan dengan sistem <i>simple beam support</i>
Hasil Yang Diperoleh	<i>Box Girder</i> tipe <i>Single Cellular</i> menggunakan 16 tendon berjumlah 22 kawat untai berdiameter 15,2 mm.	<ul style="list-style-type: none"> Luas penampang pada <i>box</i> sebesar 12,289 m² dan <i>t-girder</i> sebesar 9,452 m². 	<ul style="list-style-type: none"> Gaya prategang awal sebesar 150770,11 kN. Kehilangan prategang dengan tinggi 5,620 m didapatkan 16,583%, 	<ul style="list-style-type: none"> Pembebanan untuk berat sendiri didapatkan hasil pada penampang tipe 1 sebesar 166,75 kN/m, penampang tipe 2,

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

	Penelitian Terdahulu			Penelitian Saat Ini
<p>Hasil Yang Diperoleh</p>	<p>Gaya prategang awal sebesar 84354,45 kN dan kehilangan prategang sebesar 14,336%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Box Girder tipe <i>Twin Cellular</i> menggunakan 24 tendon berdiameter 15,2 mm dengan masing masing 16 tendon berjumlah 30 kawat untaian dan 6 tendon berjumlah 35 kawat untaian. Gaya prategang awal sebesar 177860,5 kN dan kehilangan prategang sebesar 16,606%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah tendon untuk box berjumlah 24 tendon, dan t-girder berjumlah 20 tendon. Kehilangan prategang untuk box girder sebesar 27,8% dan t-girder sebesar 28,83%. • Lendutan yang terjadi pada box girder sebesar 0,01654 m dan t-girder sebesar 0,05347 m. 	<p>tinggi 4,144 m didapatkan 17,530%, dan tinggi 3,034 m didapatkan 18,588%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kontrol pada momen ultimit $M_u > M_n$ sudah memenuhi persyaratan. • Kontrol untuk lendutan sudah memenuhi persyaratan karena nilai lebih kecil dari 0,5 m. 	<p>penampang tipe 2 sebesar 283,325 kN/m dan penampang tipe 3 sebesar 292,75 kN/m.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kehilangan prategang yang terjadi adalah 36,607%. • Kapasitas lentur pada penampang tipe 1 adalah 131335,412 kNm, penampang tipe 2 dan 3 adalah 149162,999 kNm dan 149975,051 kNm. • Kapasitas geser yang terjadi pada penampang 1 sebesar 3039493,158 kN, penampang tipe 2 sebesar 3029369,854 kN, dan penampang tipe 3 sebesar 3028646,501 kN.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Kereta Cepat (*High-speed Railway*)

Bersumber dari PM No. 60 Tahun 2012, kereta api merupakan sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, dan lalu lintas yang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api. Kereta cepat memiliki beberapa karakteristik operasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan rangkaian kereta cepat dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik Operasi

Kecepatan	> 350 km/h
Daya tampung	40-60 penumpang
Fungsi	Kereta Api Penumpang
Jarak tempuh	Jarak jauh
Keunggulan	Moda transportasi darat paling cepat dan aman



Gambar 3.1 Kereta Cepat Jakarta-Bandung

Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 mengenai Perkeretaapian, jalan rel merupakan satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton, atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah, dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta api.

3.2 Jembatan

Menurut UU 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya, serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

Pengertian jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus (Ilham, 2010). Jembatan adalah suatu konstruksi yang didirikan untuk melewati massa (lalu-lintas, air) lewat atas suatu penghalang. Pada kondisi lapangan atau geografis yaitu berupa sungai, daerah yang curam (jurang), saluran drainase, rel kereta api, rawa, danau, laut, ruas jalan tidak sejajar dan yang lainnya. Jembatan ialah suatu bagian dari infrastruktur transportasi darat yang vital dalam mengendalikan aliran perjalanan (*traffic flows*).

3.2.1 Jenis-jenis Jembatan

Menurut Ilham, jenis-jenis jembatan dibagi menjadi jenis. Jenis-jenis jembatan dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan lokasinya, jembatan dibagi menjadi:
 - a. jembatan sungai atau danau.
 - b. Jembatan di atas lembah (jurang).
 - c. Jembatan di atas lalu lintas yang ada (*fly over* atau *underpass*).
 - d. Jembatan di atas saluran irigasi, dan
 - e. jembatan di dermaga (*jetty*).
2. Berdasarkan struktur, yaitu:
 - a. jembatan plat (*slab bridge*).
 - b. Jembatan plat rongga (*void slab bridge*).

- c. Jembatan rangka.
 - d. Jembatan pelengkung (*arch bridge*).
 - e. Jembatan gantung (*suspension bridge*).
 - f. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*), dan
 - g. jembatan kantilever.
3. Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dibedakan menjadi:
- a. jembatan kayu (*log bridge*).
 - b. Jembatan beton bertulang (*concrete bridge*).
 - c. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*).
 - d. Jembatan baja (*steel bridge*), dan
 - e. jembatan komposit (*composite bridge*).

3.2.2 Bagian-Bagian Jembatan

Umumnya struktur jembatan pada jalan rel dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Struktur Atas (*superstructure*)
 - a. Rel (*rail*)
 - b. Penambat (*fastening system*).
 - c. Bantalan (*sleeper*).
 - d. Lapisan pondasi atas atau lapisan balas (*ballast*).
 - e. Lapisan fondasi bawah atau lapisan subbalas (*subballast*).
 - f. *Abutment*.
2. Struktur Bawah (*substructure*)
 - a. Drainase.
 - b. Pilar (*pier*)
 - c. Fondasi (*foundation*).

3.3 Beton Prategang

Perkembangan teknologi beton dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Beton tanpa tulangan (*plain concrete*)

Pada beton sendiri terdapat karakter mekanis. Karakter mekanis tersebut ialah tahanan tekan, tahanan tarik dan tahanan lentur. Pada *plain concrete* (beton tanpa tulangan) memiliki tahanan tekan yang tinggi, karena pada intinya karakter dari beton adalah untuk dapat menahan beban sendiri. Namun pada tahanan tarik dan lentur nilainya sangat rendah.

2. Beton bertulang (*reinforced concrete*)

Beton bertulang merupakan hasil inovasi dari beton tanpa tulang yang dibuat untuk dapat meningkatkan kekuatan pada tahanan tarik dan tahanan lentur. Beton bertulang ini tidak hanya berasal dari baja tulangan saja, karena baja tulangan memiliki beberapa kekurangan yaitu berupa sifat daktail, sifat korosi, dan lain-lain. Oleh sebab itu ditemukan inovasi untuk meminimalisir kekurangan baja tulangan tersebut. Dengan adanya tulangan pada beton, kekuatan tahanan tarik dan tahanan lentur meningkat. Namun apabila beton dibebani terus-menerus, maka akan terjadi retak di bagian bawah balok.

3. Beton prategang (*prestressing concrete*)

Agar balok tersebut dapat menahan beban yang besar, diciptakanlah beton prategang (*prestressing concrete*). Beton prategang ialah beton yang sebelum digunakan akan ditekan oleh strand. Beton prategang ini memiliki tahanan tekan, tahanan tarik, dan tahanan lentur yang bernilai tinggi.

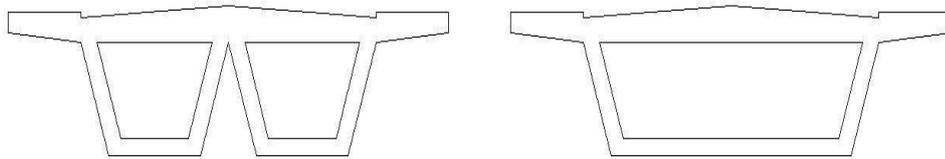
Perbedaan karakter mekanis dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perbedaan Karakter Mekanis

Beton	Tahanan Tekan	Tahanan Tarik	Tahanan Lentur
Beton tanpa tulangan (<i>plain concrete</i>)	Tinggi	Rendah	Rendah
Beton bertulang (<i>reinforced concrete</i>)	Tinggi	Meningkat	Meningkat
Beton prategang (<i>prestressing concrete</i>)	Tinggi	Tinggi	Tinggi

3.3.1 Penampang Box Girder

Box girder ialah sebuah balok penampang yang berbentuk kotak berongga. Umumnya box girder terdiri dari beton pratekan, struktur baja, atau komposit baja dan beton bertulang. Jenis gelagar ini dapat digunakan pada jembatan yang memiliki bentang panjang. Box girder didesain lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang sebesar $\pm 300 \text{ ft}$ ($\pm 100 \text{ m}$). Bentuk penampang dari girder ini adalah persegi atau trapesium dan bisa dirancangan dengan satu sel atau banyak sel. Salah satu kelebihanannya yaitu ketahanan torsi yang lebih baik untuk pengaplikasian jembatan melengkung (Supriyadi dan Muntohar, 2012).



Gambar 3.2 *Box Girder Multi Sel Dan Single Sel*

3.3.2 Jenis-Jenis Beton Prategang

Ada 2 jenis beton prategang, yaitu:

1. Pratarik (*Pre-tension*)

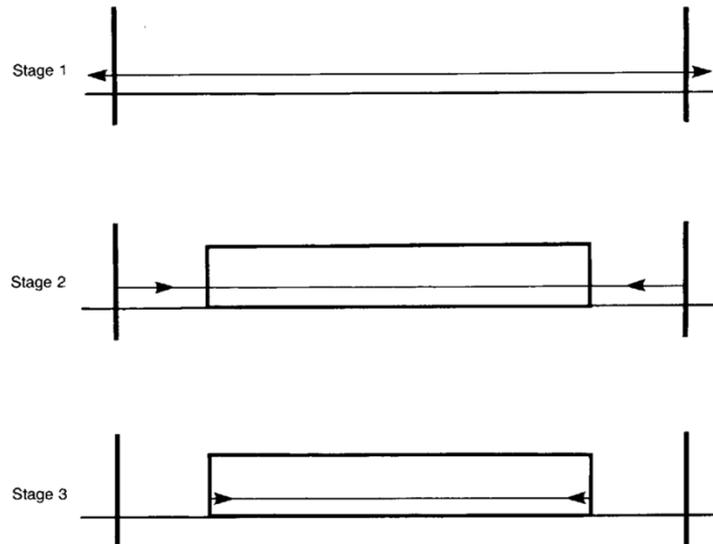
Umumnya beton prategang tipe ini di produksi secara massal dengan unit (dimensi, mutu, bentuk, dll) yang sama. Dalam proses pembuatannya melibatkan proses pabrikasi (dibuat di pabrik), tidak lazim dibuat di lapangan. Tipe ini digunakan untuk tendon yang lurus, artinya lurus disini tidak bisa *smooth* atau *curve* sedangkan untuk tendon yang berbelok harus bersudut. Prinsip dari *pre-tension* ialah tendon *distressing* terlebih dahulu sebelum dilakukan *casting* (pengecoran).

Ada tiga tahapan dari *pre-tension*, yaitu:

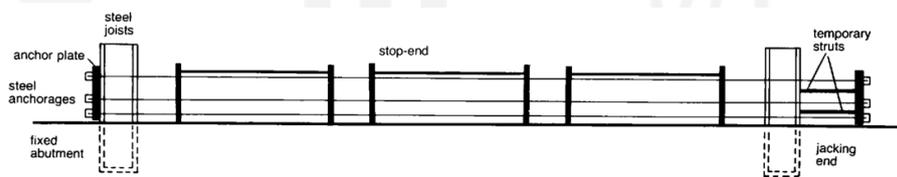
- a. Tahap pertama : pada tahap ini kabel tendon ditarik terlebih dahulu kemudian dikunci. Kabel ini berfungsi untuk menahan gaya yang terjadi.

- b. Tahap kedua : ditahap ini dilakukan pengecoran pada kabel yang telah ditarik.
- c. Tahap ketiga : tahap terakhir sisa kabel prategang dipotong.

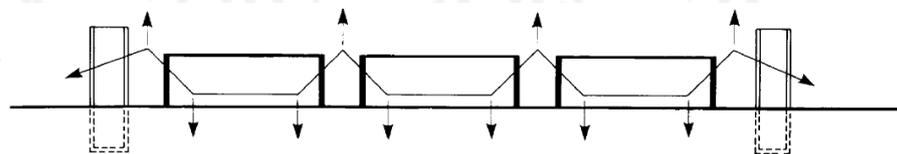
Tahapan *pre-tension* dapat dilihat pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5.



Gambar 3.3 Tahapan *Pre-tension*
(Sumber: A.H. Allen, 1978)



Gambar 3.4 Tahapan Pabrikasi Pada *Pre-tension*
(Sumber: A.H. Allen, 1978)

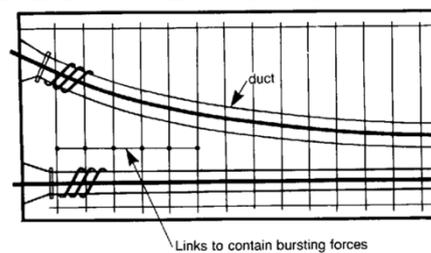


Gambar 3.5 Tahapan Pada Tendon Berbelok
(Sumber: A.H. Allen, 1978)

2. Paska tarik (*Post-tension*)

Umumnya tipe beton prategang ini digunakan pada tipe-tipe beton pracetak yang memiliki tujuan khusus misalnya Girder I, Girder Box, dll.

Untuk tipe tendon lurus, beton prategang ini tidak efektif dipakai untuk dimensi yang besar. Pada proses pelaksanaan, biasanya melibatkan proses *grouting* yaitu injeksi/penyuntikan beton ke *ducting*. Prinsip dari pascatarik ialah beton dibiarkan mengeras terlebih dahulu, kemudian setelah beton mengeras dilakukan *stressing*. Tahapan *post-tension* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Ujung Beton Prategang Pada *Post Tension*
(Sumber: A.H. Allen, 1978)

3.4 Pembebanan Pada Jembatan

Pada perhitungan pembebanan pada jembatan didasarkan oleh SNI 1725 Tahun 2016 dan PM No. 60 Tahun 2012, sedangkan untuk pembebanan gempa berdasarkan SNI 2833 Tahun 2016. Dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Pembebanan Pada Jembatan Kereta Cepat

Klasifikasi Beban		Beban
Beban Utama	Beban Mati	Beban Sendiri Dan Beban Mati Tambahan
		Gaya Prategang
		Efek Rangkak Dan Susut Beton
		Tekanan Tanah
		Tekanan Air Statis Atau Gaya Apung
		Efek Akibat Penurunan Fondasi
	Beban Hidup	Beban Statis Kereta
		Efek Dinamis Kereta
		Beban Akibat Muai Susut Rel
		Gaya Sentrifugal
		Beban <i>Hunting/Nosing</i>
		Beban Hidup Kereta Diinduksi Tekanan Tanah
		Beban Pejalan Kaki
		Beban Aerodinamis

Lanjutan Tabel 3.3 Pembebanan Pada Jembatan Kereta Cepat

Klasifikasi Beban	Beban
Beban Tambahan	Beban Pengereman
	Beban Traksi
	Beban Angin
	Pengaruh Perubahan Suhu
Beban Khusus	Beban <i>Derailment</i>
	Pengaruh Tumbukan Kendaraan
	Beban Konstruksi
	Efek Gempa Bumi
	Gaya Pengereman Rel Panjang

Sumber: PM No 7 Tahun 2022

1. Beban Mati

Beban mati ialah berat masing-masing bagian struktur dan elemen non struktural. Untuk berat isi pada beban mati dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Berat Isi Untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat Isi (kN/m³)	Kerapatan Massa (kg/m³)
1	Besi tuang	71,0	7240
2	Kerikil Dipadatkan	18,8-22,7	1920-2315
3	Beton Prategang	25,0-26,0	2560-2640
4	Beton Bertulang	22,0-25,0	2240-2550
5	Baja	76,9	7850
6	Kayu (Keras)	11,0	1125
7	<i>Ballast Gravel</i> atau Batu Pecah	19,0	1938

Sumber: PM No 7 Tahun 2022

a. Beban Sendiri

Beban sendiri diadaptasi dari SNI 1725 Tahun 2016 yaitu berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikul, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan

elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Faktor untuk beban mati sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton Dicor Di Tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725 Tahun 2016

b. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan ialah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Berdasarkan *Code for Design on Railway Bridge and Culvert* (TB10002.1-2005) berat sendiri peralatan dan fasilitas tambahan terutama yaitu rute fasilitas, kabel komunikasi, tenaga listrik, perisai, dan penghalang suara atau pagar tangan, dan lain-lain. Maka nilai perhitungan beban mati tambahan harus 160 kN/m. Faktor untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Faktor Beban Untuk Berat Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Sumber: SNI 1725 Tahun 2016

2. Beban Hidup

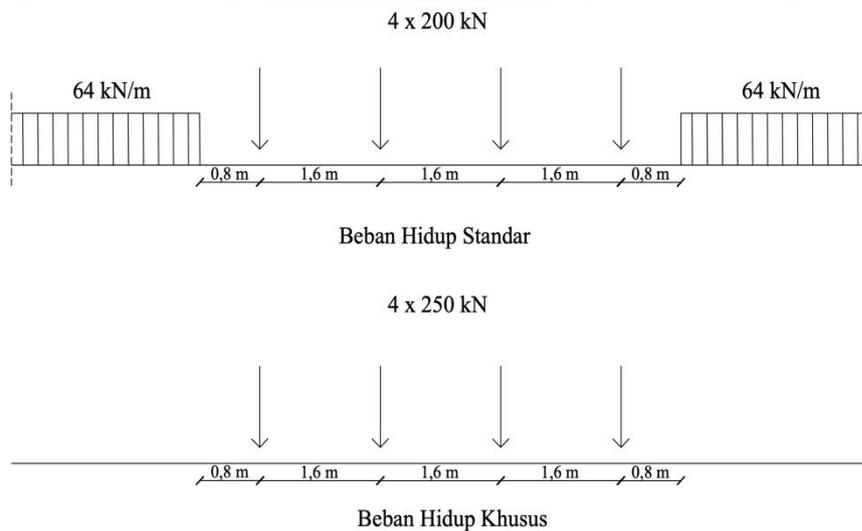
a. Efek Beban Dinamis

Berdasarkan *Code for Design on Railway Bridge and Culvert* (TB10002.1-2005) dan *Code for Design on High-speed Railway* (TB10621-2014) efek dinamis dari beban hidup vertikal kereta harus dimasukkan dalam hitungan struktur jembatan dengan rumus sebagai berikut dan tidak boleh kurang dari 1,0. Untuk faktor beban “T” dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan faktor beban “T” dapat dilihat pada Tabel 3.7.

$$1 + \mu = 1 + \left(\frac{1,44}{\sqrt{L\varphi} - 0,2} - 0,18 \right) \quad (3.1)$$

dengan:

L = panjang beban (m).



Gambar 3.7 Beban Hidup Pada Kereta Cepat

(Sumber: PM No 7 Tahun 2022)

Tabel 3.7 Faktor Beban Untuk Berat “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ($\gamma^{S_{TT}}$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^{U_{TT}}$)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725 Tahun 2016

b. Beban Pejalan Kaki

Berdasarkan SNI 1725 Tahun 2016 didapatkan bahwa semua elemen yang memiliki lebar trotoar lebih dari 6 m atau jembatan langsung memikul beban pejalan kaki harus direncanakan sebesar beban nominal 5 kPa.

3. Beban Tambahan

a. Beban Gaya Rem

Diadaptasi dari *Code for Design on Railway Bridge and Culvert* (TB10002.1-2005), gaya pengereman atau traksi pada jembatan harus diambil sebesar 10% dari beban hidup kereta api dan harus diambil 7% dari beban hidup kereta ketika dipertimbangkan pada saat yang sama dengan gaya sentrifugal atau beban dinamis vertikal. Untuk jembatan jalur ganda yang terletak di luar area stasiun, gaya pengereman atau gaya traksi yang bekerja pada jalur tunggal harus dipertimbangkan. Gaya putus harus bekerja pada ketinggian 2 m di atas permukaan atas rel. Dengan memperhitungkan pilar dan abutment, titik aksi dapat dipindahkan ke tengah pendukung. Saat menghitung beban hidup di bagian atas penyangga, titik aksi dapat dipindahkan ke dasar rel.

b. Beban Angin

1) Angin Pada Struktur (EW_s)

Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.2)$$

dengan:

P_B = tekanan angin dasar seperti yang ditentukan (Tabel 3.8).

V_{DZ} = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana.

V_B = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm.

Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725 Tahun 2016

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

2) Angin Pada Kendaraan (EW_i)

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Komponen yang bekerja tegak lurus maupun parallel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan

Sudut ()	Komponen Tegak Lurus (N/mm)	Komponen Sejajar (N/mm)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

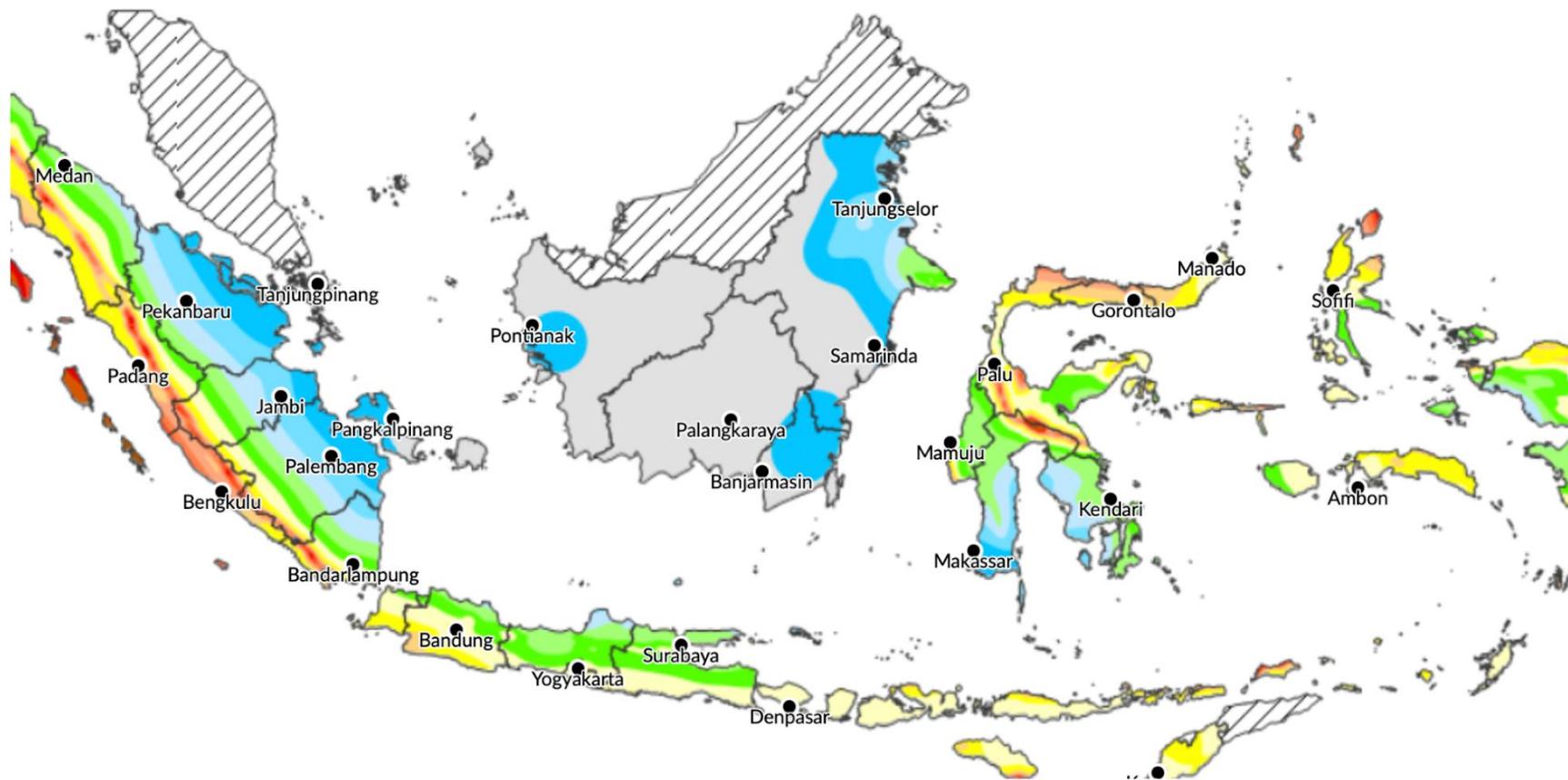
Sumber: SNI 1725 Tahun 2016

4. Beban Khusus

a. Beban Gempa

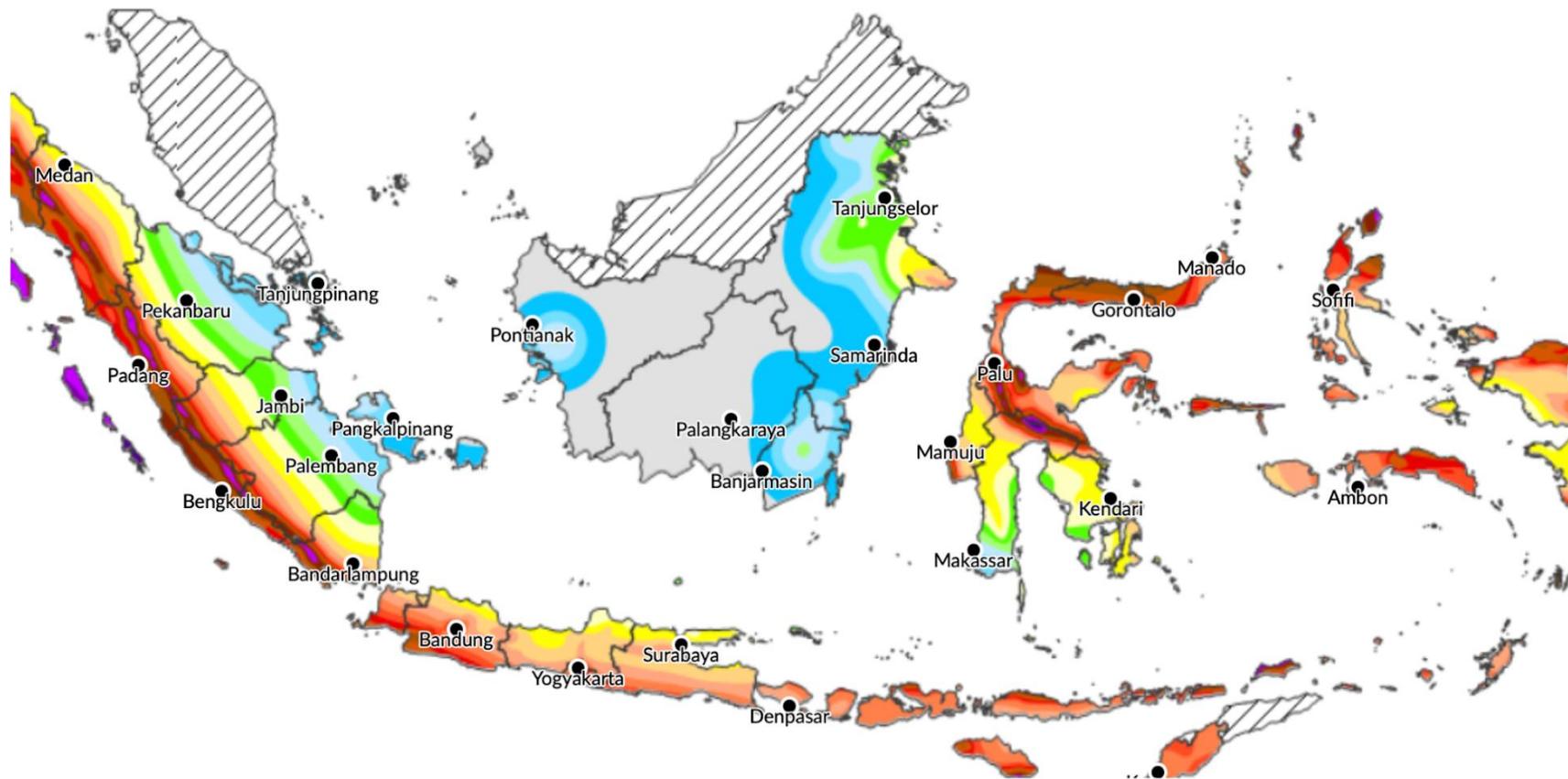
Pada beban gempa, jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuk namun dapat mengalami kerusakan akibat gempa dengan kemungkinan 7% dalam 75 tahun. Berdasarkan SNI 2833 Tahun 2016 pasal 5.11, jembatan yang berlokasi di zona gempa 2, 3, dan 4, *hold down devices* harus disediakan pada perletakan dana pada lokasi sendi untuk struktur menerus dimana gaya gempa vertikal akibat beban gempa longitudinal melebihi 50% dan kurang dari 100% reksi vertikal akibat beban permanen. Gaya angkat efektif untuk perencanaan *hold down devices* diambil 10% dari reaksi akibat beban permanen bila bentang jembatan berupa bentang sederhana.

Untuk koefisien respons elastik didapatkan dari peta gempa 2017 (<https://lini.binamarga.pu.go.id/>) yang dapat dilihat pada Gambar 3.8, Gambar 3.9, dan Gambar 3.10.



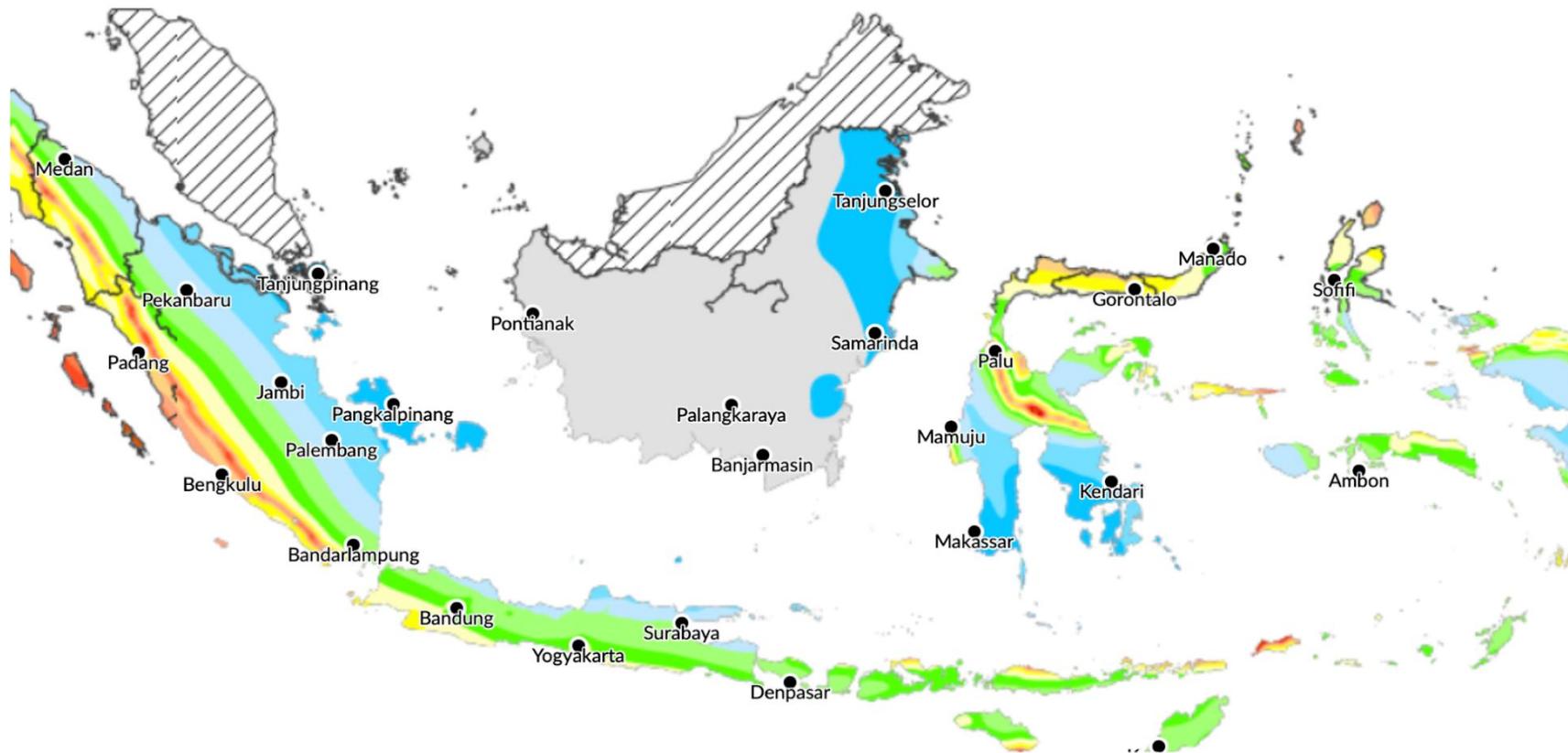
Gambar 3.8 Peta Percepatan Puncak Di Batuan Dasar (PGA) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

ISLAM



Gambar 3.9 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

ISLAM



Gambar 3.10 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

3.5 Kombinasi Pembebanan

Desain untuk struktur jembatan yaitu selama 100 tahun. Mengacu pada PM No 7 Tahun 2022, sedangkan untuk kombinasi didasarkan pada SNI 1725 Tahun 2016, faktor beban untuk keadaan batas ultimit didasarkan pada kepada umur rencana jembatan 50 tahun. Untuk jembatan dengan umur rencana yang berbeda, faktor beban ultimit harus diubah dengan menggunakan faktor pengali. Kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 3.10.



Tabel 3.10 Kombinasi Pembebanan

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _S	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_ρ	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_ρ	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_ρ	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_ρ	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_ρ	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	-	-	-	-
Ekstrem I	γ_ρ	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_ρ	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan: - γ_ρ dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_{SH}$ tergantung beban yang ditinjau
 - γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

Sumber: SNI 1726 Tahun 2016

3.6 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Kehilangan Prategang Seketika

a. Pemendekan elastis (*elastic shortening*)

Ini terjadi apabila tendon mulai menekan penampang beton dan terjadilah pemendekan elastis yang terjadi pada beton. Dengan persamaan:

$$\Delta_{ES} = L \times \frac{P_i}{A \times E_c} \quad (3.3)$$

dengan:

L = panjang lintasan tendon (m).

P_i = gaya prategang awal (kN).

A = luas tampang beton (m²).

E_c = modulus elastisitas beton (MPa).

Nilai $f_{ES} = 0$, jika tendon-tendon ditarik dan diangkur pada waktu yang bersamaan sehingga kehilangan prategangnya:

$$\Delta f_{ES} = \varepsilon_{ES} \times E_p \quad (3.4)$$

dengan:

f_{ES} = kehilangan prategang (MPa).

E_p = modulus elastis prategang (MPa).

ε_{ES} = regangan yang terjadi (m).

b. Pergeseran pada ankur (*anchorage draw in*)

Untuk kehilangan prategang ini hanya terjadi pada *post tension*.

Dengan persamaan kehilangan prategang adalah:

$$\Delta f_A = \varepsilon_{\Delta A} \times E_p \quad (3.5)$$

dengan:

f_A = kehilangan prategang (MPa).

E_p = modulus elastis prategang (MPa).

$\varepsilon_{\Delta A}$ = ketentuan:

$$\varepsilon \Delta_A = \frac{\Delta_A}{L}, \text{ dengan: } \Delta_A = \text{slip pada angkur (2-6 mm)}.$$

c. Efek Kelengkungan dan *Wooble* (*tendon friction*)

Pada kehilangan prategang ini terjadi akibat dari adanya penyimpangan lintasan tak berencana. Persamaan kehilangan prategang yang terjadi yaitu:

$$P_x = P_o \times e^{-(kl_x + \mu\alpha)} \quad (3.6)$$

dengan:

P_x = gaya prategang setelah kehilangan akibat friksi (kN).

P_o = gaya prategang awal (kN).

K = koefisien *wooble*.

μ = koefisien friksi.

L_x = panjang lengkung (m).

α = jumlah total perubahan sudut sepanjang lintasan.

sehingga kehilangan prategang yang terjadi:

$$\Delta f_F = \frac{(P_o - P_x)}{A_p} \quad (3.7)$$

dengan:

f_F = kehilangan prategang (MPa).

Tabel 3.11 Koefisien Friksi Tendon Pasca Tarik

Tendon	Jenis Tendon		Koefisien <i>Wobble</i> , K (1/m)	Koefisien Kelengkungan, μ
	Dengan Lekatan	Tendon kawat		0,0033 – 0,0049
	Batang kekuatan (mutu) tinggi		0,003 – 0,0020	0,08 – 0,30
	Strand 7 kawat		0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
Tendon Tanpa Lekatan	<i>Mastic</i>	Tendon kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15
	<i>Coated</i>	Strand 7 kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15
	<i>Pre-greased</i>	Tendon kawat	0,0010 – 0,0066	0,05 – 0,15
		Strand 7 kawat	0,0010 – 0,0066	0,05 – 0,15

Sumber: SNI 2847 Tahun 2013

2. Kehilangan Prategang Jangka Pendek

a. Pengaruh Susut

Kehilangan prategang ini terjadi diakibatkan oleh susutnya volume beton akibat dari proses panas hidrasi (pengeringan kadar air beton). Kehilangan akibat pengaruh susut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta f_{SH} = \varepsilon_{SH} E_s \quad (3.8)$$

Dengan ε_{SH} dapat dihitung sebagai berikut:

1. *Moist curing*/perawatan basah (setelah 7 hari)

$$\varepsilon_{SH} = \frac{t}{35+t} (\varepsilon_{SH})_u \quad (3.9)$$

dimana:

ε_{SHu} = tegangan susut ultimit (820×10^{-6} mm/mm).

t = waktu dalam hari setelah susut mulai ditinjau.

2. *Steam curing*/perawatan uap (setelah 1 hari)

$$\varepsilon_{SH} = \frac{t}{55+t} (\varepsilon_{SH})_u \quad (3.10)$$

Untuk nilai ε_{SHu} dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Susut Maksimum Beton

Kekuatan Karakteristik, f_c' (MPa)	20	25	30	35	40-60
Koef. Susut Maksimum, $\varepsilon_{cs,u}$	0,000174	0,000170	0,000163	0,000161	0,000153

Sumber: RSNI T12 Tahun 2004

b. Pengaruh Rangkak

Rangkak merupakan bertambahnya deformasi beton secara bertahap pada suatu tegangan tertentu. Kehilangan ini dipengaruhi oleh:

- a. kondisi lingkungan,
- b. luas bidang permukaan,
- c. kualitas dan sifat dari material penyusun beton,
- d. umur beton pada saat pembebanan P_i , dan
- e. besar beban inisial P_i .

Secara umum, kehilangan tegangan akibat rangkai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta f_{CR} = \varepsilon_{cc,t} \times E_s \quad (3.11)$$

$$\text{dimana } \varepsilon_{cc,t} = \phi_{cc}(t) \varepsilon_e \quad (3.12)$$

dengan:

$\varepsilon_{cc,t}$ = regangan pada rangkai beton.

ε_e = regangan *elastic shortening*.

$\phi_{cc}(t)$ = koefisien rangkai, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\left(t^{0,6} / (10 + t^{0,6}) \right) C_u, \text{ dimana nilai } C_u \text{ dapat dilihat pada Tabel 3.13.}$$

Tabel 3.13 Koefisien Rangkai Maksimum

Ketentuan Karakteristik, f_c' (MPa)	20	25	30	35	40-60
Koef. Rangkai Maksimum, C_u	2,8	2,5	2,3	2,15	2,0

Sumber: RSNI T12 Tahun 2004

Berdasarkan ACI-ASCE, kehilangan prategang akibat rangkai dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta f_{CR} = \phi_{cc}(t) \frac{E_s}{E_c} f_{cs} \quad (3.13)$$

$$\Delta f_{CR} = K_{CR} \frac{E_s}{E_c} (\overline{f_{cs}} - \overline{f_{csd}}) \quad (3.14)$$

$$\Delta f_{CR} = n K_{CR} (\overline{f_{cs}} - \overline{f_{csd}}) \quad (3.15)$$

dimana:

$K_{CR} = 2,0$ untuk komponen struktur pratarik.

$= 1,6$ untuk komponen struktur pasca tarik.

f_{csd} = tegangan beton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan yang bekerja setelah prategang diberikan.

c. Relaksasi Tendon

Relaksasi tendon ini terjadi akibat dari sifat alami baja yang apabila ditarik dalam tegangan tertentu, maka akan mengakibatkan kehilangan tegangan. Persamaan kehilangan prategang dapat dilihat sebagai berikut:

$$\Delta f_{pR} = f'_{pi} \frac{\log \log t}{10} \left(\frac{f'_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (3.16)$$

dengan:

f_{pR} = kehilangan prategang yang terjadi (MPa).

f'_{pi} = tegangan leleh tendon prategang (MPa).

t = durasi waktu kondisi terbebani (jam).

Untuk *stress-relieved wires*, besarnya relaksasi dapat dihitung dengan 10, sedangkan untuk *low-relaxation strands/bars*, besarnya relaksasi bernilai 45.

3.7 Kapasitas Lentur

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 pasal 20.3.2.3 untuk tegangan tarik prategang ialah:

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} \frac{f_y}{f'_c} (\rho - \rho') \right] \right\} \quad (3.17)$$

dengan:

f_{ps} = tegangan tarik prategang (MPa).

f_{pu} = kuat tarik stand (MPa).

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

f_y = kuat tekan baja non prategang (MPa).

γ_p = ketentuan dapat dilihat pada SNI.

β_1 = ketentuan:

Untuk $f'_c \leq 28$ MPa, $\beta_1 = 0,85$

Untuk $f'_c \geq 28$ MPa, $\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} \times 0,05 \right) \quad (3.18)$

d = kedalaman tulang non prategang (mm).

d_p = kedalaman tulang prategang (mm).

ρ = rasio tulangan tarik non prategang.

ρ' = rasio tulangan tekan non prategang.

sehingga gaya tarik pada tendon dengan persamaan:

$$T = A_p \times f_{ps} \quad (3.19)$$

dengan:

A_p = luas tendon strand (mm^2).

f_{ps} = tegangan tarik prategang (MPa).

Dari persamaan 3.1 dan 3.1 didapatkan persamaan untuk kapasitas momen yaitu:

$$\phi M_n = \phi \times A_p \times f_{ps} \times \left(h - \frac{a}{2} \right) \quad (3.20)$$

dengan:

a = kedalaman blok tekan (m).

3.8 Kapasitas Geser

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019, untuk komponen lentur dengan prategang dihitung dengan persamaan sesuai Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Nilai Pendekatan V_c

V_c		
Nilai terkecil dari persamaan 3.22, 3.33, dan 3.34:	$\left[0,05\lambda \sqrt{f_c'} + 4,8 \frac{V_u d_p}{M_u} \right] b_w d$	(3.21)
	$\left[0,05\lambda \sqrt{f_c'} + 4,8 \right] b_w d$	(3.22)
	$0,42\lambda \sqrt{f_c'} b_w d$	(3.23)

Sumber: SNI 2847 Tahun 2019

dengan:

f_c' = kuat tekan beton (MPa).

V_u = Gaya geser ultimit (kN/m).

d_p = letak tulangan baja prategang (mm).

M_u = Momen ultimit (kNm).

d = jarak serat tekan terjauh ke sentroid prategang dan tulangan longitudinal non prategang (mm).

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Kantor Kereta Cepat Indonesia China yang terletak di Jalan Tol Jakarta – Cikampek KM 0+800, Halim Perdanakusuma, Kecamatan Makasar, Jakarta Timur. Proyek ini merupakan salah satu Proyek Kereta Cepat pertama di Indonesia dengan konstruksi jembatan *Prestressed Box Girder Cast In Site*. Dikarenakan bentang jembatan yang panjang, maka penelitian hanya berfokus pada salah satu titik yaitu P76-P77 yang jembatan tersebut merupakan *simple beam*. Adapun perhitungan dan analisis kapasitas tampang pada titik P76-P77 akan dibahas pada bab berikutnya. Rute kereta cepat Jakarta-Bandung dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Lokasi Station Proyek Jakarta-Bandung High Speed Railway

Untuk lebih jelas sketsa peta stasiun dapat dilihat pada Lampiran 1. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa dalam pelaksanaan proyek ini terdapat 5 section lingkup kerja antara lain:

1. *Section 1* : Halim – Karawang (DK 0+000 – 42+000).
2. *Section 2* : Karawang – Padalarang (DK 42+000 – 85+000).
3. *Section 3* : Padalarang – Cimahi (DK 85+000 – 127+000).
4. *Section 4* : Cimahi – Tegal Luar (DK 127+000 – 142+000).
5. *Section Station* : Halim – Karawang – Padalarang – Tegal Luar.

4.2 Data Struktur

Data struktur Proyek Kereta Cepat didapatkan melalui pihak PT. KCIC HR, SSHE, dan ASSET DIRECTOR. Data tersebut ialah data teknis dan data material, selain data tersebut menggunakan data yang sesuai dengan peraturan yang berlaku. Berikut adalah data struktur untuk Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung.

4.2.1 Data Dimensi Penampang

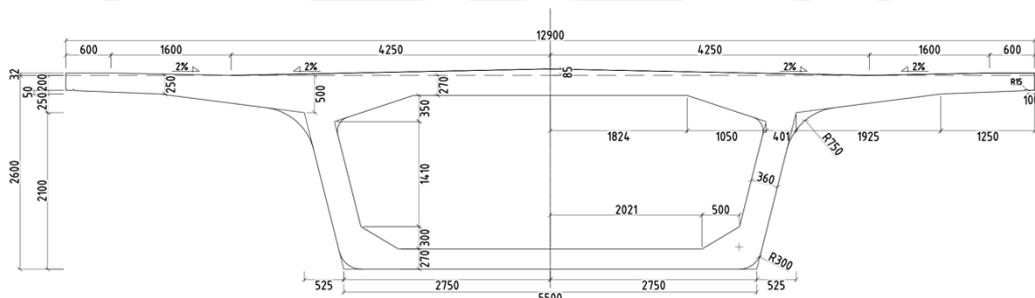
Berikut merupakan data teknis jembatan, yaitu:

Bentang *span*, $L = 32,6$ m.

Lebar balok, $B = 12,9$ m.

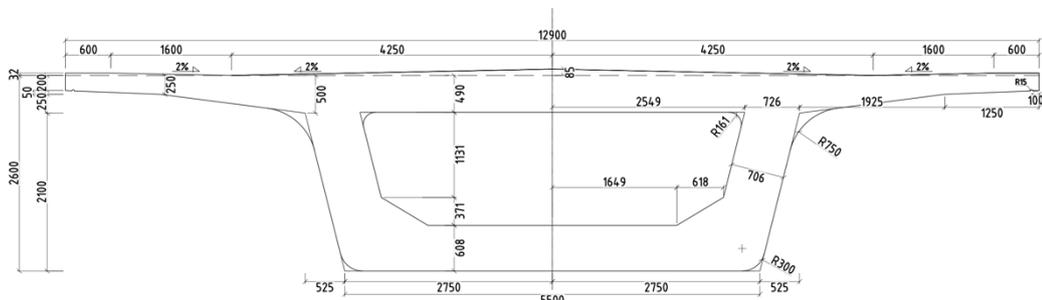
Tinggi balok, $h = 2,6$ m.

Data dimensi penampang dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4. Dimensi penampang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1.1 sampai dengan Gambar 1.3. Untuk sketsa posisi lokasi setiap tampang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



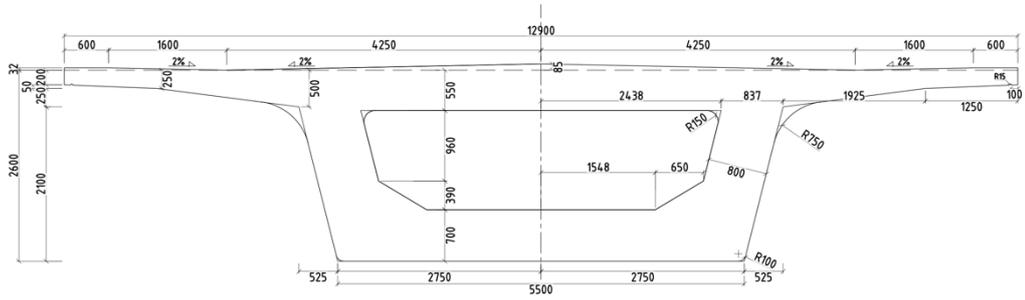
Gambar 4.2 Penampang Tipe 1

(Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



Gambar 4.3 Penampang Tipe 2

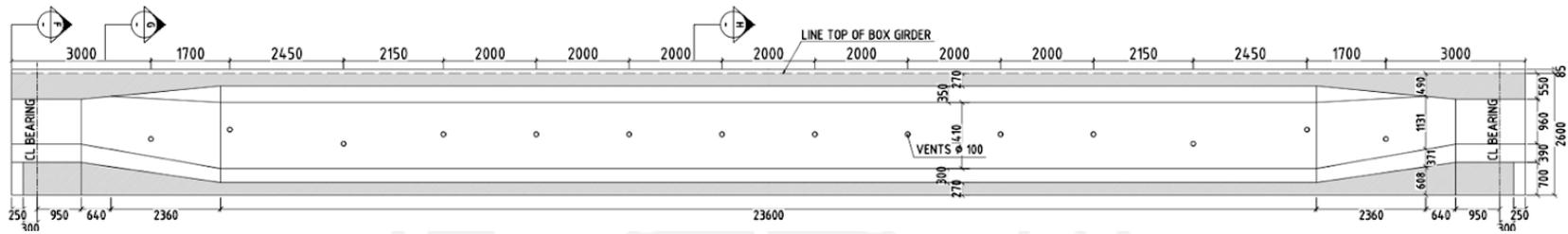
(Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



Gambar 4.4 Penampang 3

(Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)





Gambar 4.5 Sketsa Posisi Tampang
 (Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



4.2.2 Data Material

Data material yang digunakan pada proyek *Highspeed Railway Jakarta-Bandung* ini menggunakan persyaratan dari Cina yaitu:

1. *Code of Design of High-speed Railway* (TB10621-2014).
2. *Code for Design of Railway Bridges and Culverts* (TB10002-2017).
3. *Code for Design on Reinforced and Prestressed Concrete Structure of Railway Bridges and Culverts* (TB10092-2017).
4. *Code for Seismic Design of Railway Engineering* (GB50111-2006) (2009 Edition).
5. *Code for Durability Design on Concrete Structure of Railway* (TB10005-2010).

Tetapi dalam penelitian ini digunakan persyaratan dari Indonesia yaitu:

1. SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Untuk Jembatan.
2. RSNI T 12 2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.
3. SNI 2833 Tahun 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
4. PM No 7 Tahun 2022 Penyelenggaraan Kereta Api Kecepatan Tinggi.
5. SNI 2847 Tahun 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya.

4.2.3 Berat Isi

Berat isi yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan PM No 7 Tahun 2022 mengacu pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Berat Isi

No	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Besi tuang	71	7240
2	Kerikil dipadatkan	18,8-22,7	1920-2315
3	Beton prategang	25,0-26,0	2560-2640
4	Beton bertulang	22,0-25,0	2240-2550
5	Baja	76,9	7850
6	Kayu (Keras)	11	1125
7	<i>Ballast Gravel</i> atau Batu Pecah	19	1938

Sumber: PM No 7 Tahun 2022

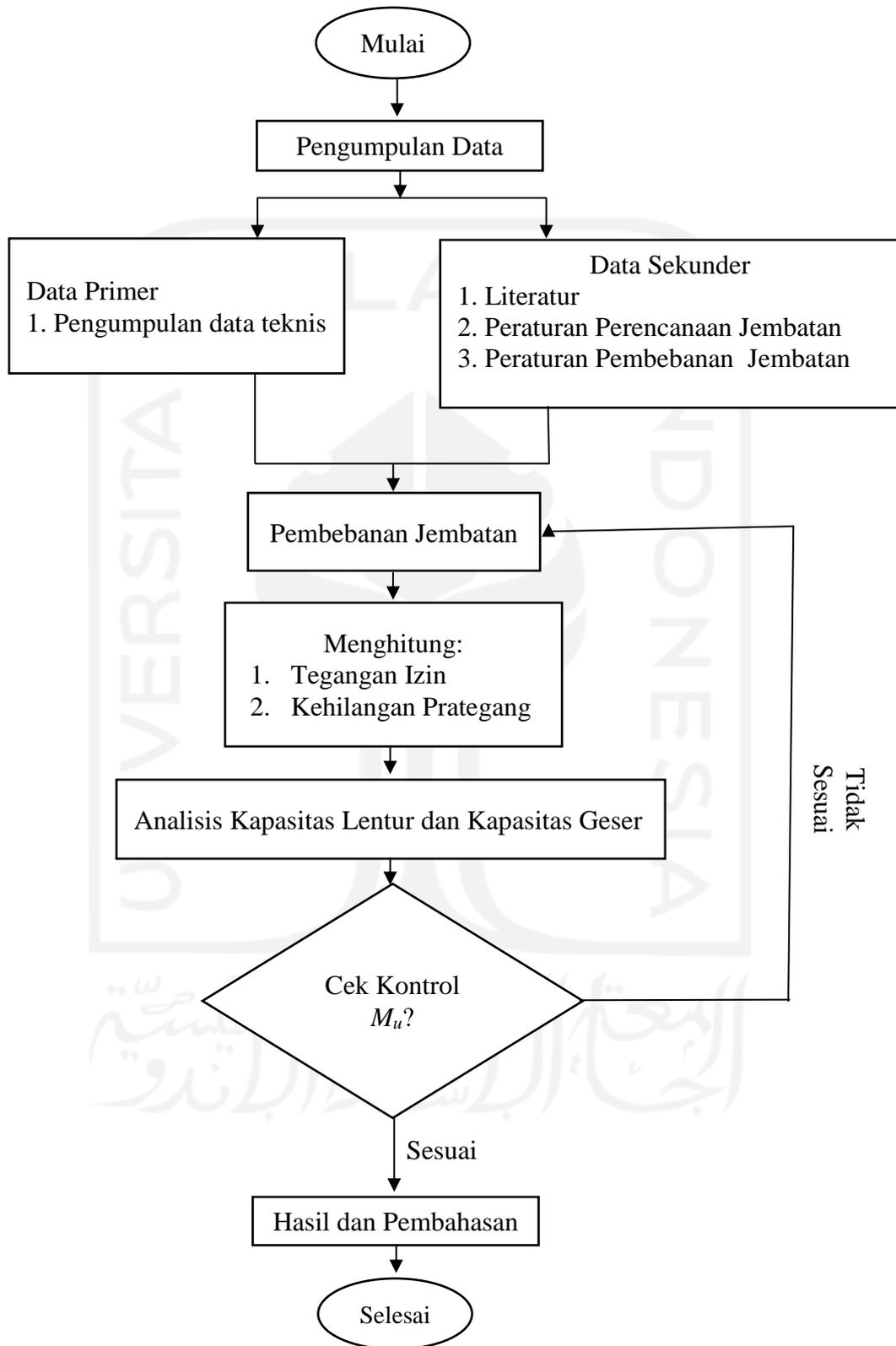
4.3 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam analisis kapasitas tampang *Prestressed Box Girder*, yaitu:

1. Melengkapi data-data yang diperlukan.
2. Mengidentifikasi data-data yang diberikan kedalam *Microsoft Excel*.
3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada jembatan sesuai dengan:
 - a. SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Pada Jembatan.
 - b. SNI 2833 Tahun 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
 - c. RSNI T 12 2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.
 - d. PM No 7 Tahun 2022 Penyelenggaraan Kereta Api Kecepatan Tinggi.
4. Selanjutnya, perhitungan untuk prategang, kapasitas lentur, dan kapasitas geser didasarkan oleh SNI 2847 Tahun 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya.
5. Melakukan pembahasan terkait hasil perhitungan analisis.
6. Kesimpulan dan saran.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung menggunakan tampang berupa *Prestressed Box Girder*. Penelitian ini hanya berfokus pada salah satu segmen Box Girder yaitu titik P76-P77, dan menganalisis kapasitas tampang pada titik tersebut. Adapun perhitungan analisis tersebut adalah sebagai berikut ini.

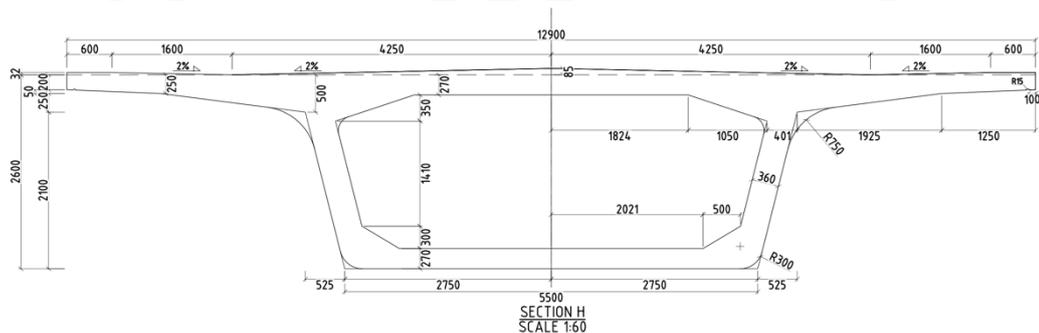
5.2 Data Teknis

Data teknis yang digunakan pada analisis ini merupakan data yang didapatkan dari kantor Kereta Cepat Indonesia China yang berlokasi di Jalan Tol Jakarta – Cikampek KM 0+800, Halim Perdanakusuma, Kecamatan Makasar, Jakarta Timur. Berikut merupakan data teknis Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung.

Panjang bentang, $L = 32,6$ m.

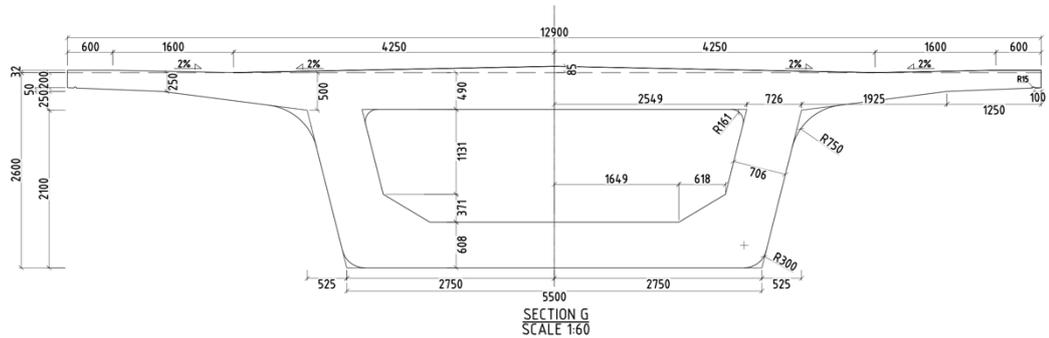
Tinggi balok, $h = 2,6$ m.

Lebar balok, $B = 12,9$ m.



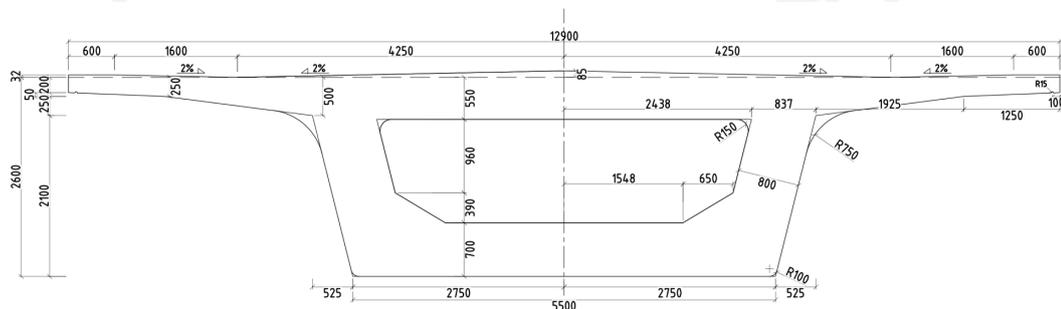
Gambar 5.1 Penampang Tipe 1

(Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



Gambar 5.2 Penampang Tipe 2

(Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)



Gambar 5.3 Penampang Tipe 3

(Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar)

5.3 Data Material

Mengacu pada data proyek KCIC Halim-Tegal Luar menggunakan standar Cina yaitu *Code for Design of Concrete Structure of Railway Bridge and Culvert (TB10092-2017)* dan *Standard for Constructional Quality Acceptance of Railway Concrete Engineering (TB10424-2010)* dari peraturan tersebut dikonversi dalam Standar Nasional Indonesia (SNI).

1. Beton

Mutu beton C50 setara dengan K-500.

Kuat tekan beton, $f'_c = 33,5$ MPa.

Modulus elastisitas beton, $E_c = 3,55 \times 10^4$ MPa.

Modulus geser, $G = 15265$ MPa.

Rasio poisson, $\alpha = 0,2$.

Kuat tarik beton, $f_{ct} = 3,10$ MPa.

2. Baja

Baja tulangan yang digunakan berdasarkan SNI 2052 Tahun 2017 ialah:

- Untuk tulangan polos menggunakan BjTP 280 dengan ukuran DØ12 mm, dan tegangan leleh $f_{py} = 295$ MPa.
- Untuk tulangan ulir menggunakan BjTS 420B dengan ukuran DØ12 mm, dan tegangan leleh $f_{py} = 390$ MPa.

Sedangkan untuk baja prategang berdasarkan 1x7-15,2-1860-GB/T 5224-2014 *Steel Strands for Prestressed Concrete* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data Strands

Jenis strands	<i>Uncoated Stress Relieved 7 Wire Strands for Prestressed Concrete.</i>	
Kuat tarik strand	f_{pu}	1860 MPa
Diameter nominal strand	D	15,2 mm
Modulus elastik strands	E_s	195000 MPa
Rasio relaksasi		0,24%
Slip pada ankur	Δ_A	0,006 m
Koefisien friksi	μ	0,55
Koefisien <i>wobble</i>	K	0,0015
Luas tampang nominal satu strands	A_{st}	140 mm ²
Beban putus minimal satu strands	P_{bs}	260 kN

Sumber: Data PT. KCIC Halim-Tegal Luar

2. Berat Isi

Berat isi yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan PM No 7 Tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Berat Isi

No	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Besi tuang	71	7240
2	Kerikil dipadatkan	18,8-22,7	1920-2315
3	Beton prategang	25,0-26,0	2560-2640
4	Beton bertulang	22,0-25,0	2240-2550

Lanjutan Tabel 5.2 Berat Isi

No	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
5	Baja	76,9	7850
6	Kayu (Keras)	11	1125
7	Ballast Gravel atau Batu Pecah	19	1938

Sumber: PM No. 7 Tahun 2022

5.4 Perhitungan Section Properties

Perhitungan untuk penampang pada tengah dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Section Properties Penampang Tipe 1

No	Dimensi		Shape Factor	Jumlah Penampang	Luas	Jarak Thd Alas	Statis Momen	Inersia Momen	Inersia Momen
	B (m)	H (m)			m ²		m ³	m ⁴	m ⁴
1	1,25	0,2	1	2	0,50	2,5	1,25	3,13	0,001
2	1,925	0,2	1	2	0,77	2,5	1,93	4,81	0,001
3	1,925	0,3	0,5	2	0,58	2,3	1,33	3,05	0,001
4	0,401	0,5	1	2	0,40	2,35	0,94	2,21	0,004
5	1,05	0,2	1	2	0,42	2,5	1,05	2,63	0,001
6	1,05	0,3	0,5	2	0,32	2,3	0,72	1,67	0,001
7	1,824	0,2	1	2	0,73	2,5	1,82	4,56	0,001
8	0,36	1,5	1	2	1,10	1,335	1,47	1,96	0,107
9	0,5	0,3	0,5	2	0,15	0,37	0,06	0,02	0,000
10	0,36	0,3	1	2	0,22	0,42	0,09	0,04	0,001
11	2,75	0,3	1	2	1,49	0,135	0,20	0,03	0,005
Total					6,67		10,86	24,11	0,009

Luas penampang balok, $A_c = 6,67 \text{ m}^2$.

Tinggi balok, $h = 2,6 \text{ m}$.

Letak titik berat,

$$\begin{aligned}
 y_b &= \frac{\text{statis momen}}{A} \\
 &= \frac{10,86}{6,67} \\
 &= 1,629 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_a &= h - y_b \\
 &= 2,6 - 1,629
 \end{aligned}$$

$$= 0,971 \text{ m}$$

Momen inersia terhadap alas balok,

$$\begin{aligned} I_b &= I + I_o \\ &= 24,11 + 0,009 \\ &= 24,117 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia terhadap titik berat balok,

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - A \times y^2 \\ &= 24,117 - 6,67 \times 1,629^2 \\ &= 6,418 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Modulus ratio,

$$\begin{aligned} S_b &= \frac{I_x}{y_b} \\ &= \frac{6,418}{1,629} \\ &= 3,939 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{I_x}{y_a} \\ &= \frac{6,418}{0,971} \\ &= 6,613 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Box girder yang digunakan memiliki balok yang berbeda, yaitu pada daerah tengah bentang dan ujung bentang. Perhitungan balok prategang pada tebal yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Luas Penampang

Penampang	Luas (m ²)
Tipe 1	6,67
Tipe 2	11,33
Tipe 3	11,71

Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil *Section Properties*

Tamp.	Luas	Titik Berat		Momen Inersia		Modulus Ratio		Radius Girasi
	A_c (m ²)	y_b (m)	y_a (m)	I_b (m ⁴)	I_x (m ⁴)	S_b (m ³)	S_a (m ³)	r^2 (m)
Tipe 1	6,67	1,629	0,971	24,117	6,418	3,939	6,613	0,963
Tipe 2	11,33	1,450	1,150	33,214	9,396	6,479	8,171	0,830
Tipe 3	11,71	1,404	1,196	32,953	9,865	7,025	8,249	0,842
Rata	9,90							

5.5 Pembebanan Pada Jembatan

Perhitungan pembebanan pada proyek kereta cepat ini berdasarkan pada SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Pada Jembatan, PM No. 7 Tahun 2022 Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, dan RSNI T 12 Tahun 2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Sedangkan untuk gaya gempa menggunakan SNI 2833 Tahun 2019 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Berikut ini merupakan perhitungan pada pembebanan balok.

5.5.1 Beban Mati

Perhitungan untuk pembebanan beban mati jembatan pada penampang tipe 1 dilakukan sebagai berikut.

1. Berat Sendiri (MS)

Berikut perhitungan berat sendiri (MS) pada tengah bentang.

Luas tampang beton, $A_c = 6,67 \text{ m}^2$.

Berat volume, $w_c = 25 \text{ kN/m}^3$.

Panjang bentang, $L = 23,6 \text{ m}$.

Berat sendiri,

$$\begin{aligned}
 Q_{bs} &= A_c \times w_c \\
 &= 6,67 \times 25 \\
 &= 166,75 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum,

$$\begin{aligned} M_{MS} &= \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 166,75 \times 23,6^2 \\ &= 11601,14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

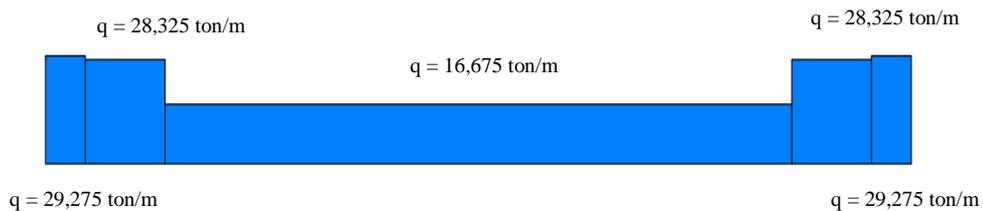
Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned} V_{MS} &= \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 166,75 \times 23,6 \\ &= 1967,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil berat sendiri pada ujung bentang dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan diagram pembebanan berat sendiri (MS) dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Berat Sendiri (MS)

Tampang	Luas (m ²)	Berat Volume (kN/m ³)	Berat	
			(kN/m)	(ton/m)
Tipe 1	6,67	25	166,75	16,675
Tipe 2	11,33	25	283,25	28,325
Tipe 3	11,71	25	292,75	29,275



Gambar 5.4 Diagram Berat Sendiri (MS)

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang digunakan dalam kereta cepat dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Beban Mati Tambahan

	Items	Values	Units
<i>Secondary Dead Load</i>	<i>Flashboard Noise Barrier</i>	7,9	kN/m
	<i>Protecting Wall</i>	5,85	kN/m
	<i>Cable Trench, Cable, Lined Sand</i>	2	kN/m
	<i>Waterproof Layer and Protecting Layer</i>	1,9	kN/m ²
	<i>Track with Reinforced Concrete Sleeper, Fastener and Guard Rail</i>	3,76	kN/m ²
	<i>Ballastless Track Slab</i>	12,5	kN/m ²

Sumber: Data PT. KCIC Halim-Tegal Luar

Sesuai dengan peraturan *Code for Design of Railway Bridges and Culverts* (TB10002-2017), untuk beban mati tambahan untuk perhitungan analisis digunakan sebesar 160 kN/m, sehingga:

Beban mati tambahan, $Q_{MA} = 160$ kN/m.

Momen maksimum,

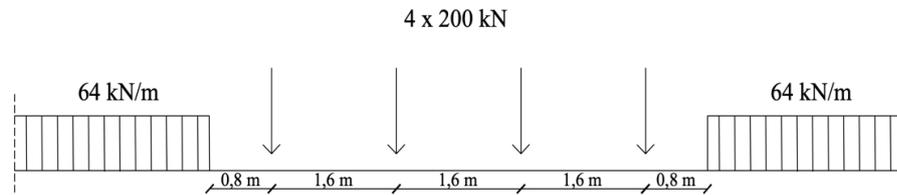
$$\begin{aligned}
 M_{MA} &= \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 160 \times 23,6^2 \\
 &= 11139,2 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum,

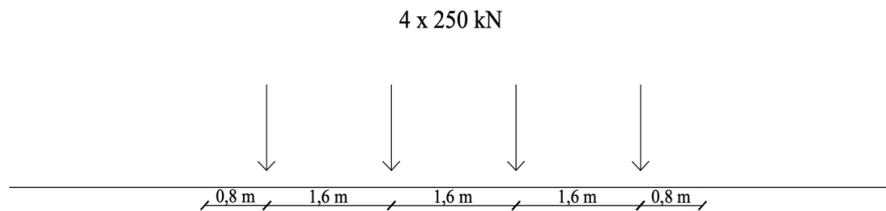
$$\begin{aligned}
 V_{MA} &= \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 160 \times 23,6 \\
 &= 1888 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.5.2 Beban Hidup

Kereta cepat ini didesain dengan kecepatan rencana sebesar 350 km/jam. Beban hidup dapat dilihat pada Gambar 5.5. Perhitungan beban hidup pada kereta cepat diperhitungkan sebagai berikut ini.



Beban Hidup Standar



Beban Hidup Khusus

Gambar 5.5 Beban Hidup

Sumber: PM No 7 Tahun 2022

1. Efek Beban Dinamis

Diadaptasi dari *Code for Design on Railway Bridge and Culvert* (TB10002.1-2005) dan *Code for Design on High-speed Railway* (TB10621-2014) kedalam PM No 7 Tahun 2022, efek beban dinamis dihitung dengan:

Panjang beban, $L_{\varphi} = 32,6$ m.

Faktor dinamis jembatan,

$$\begin{aligned} I + \mu &= 1 + \frac{1,44}{\sqrt{L_{\varphi} - 0,2}} - 0,18 \\ &= 1 + \frac{1,44}{\sqrt{32,6 - 0,2}} - 0,18 \\ &= 1,208 > 1 \end{aligned}$$

2. Beban “T” (TT)

Beban “T” ini terdiri dari beban terbagi merata (BTR) dan beban garis terpusat (BTG). Berdasarkan SNI 1725 Tahun 2016 untuk besaran intensitas q (kPa). Sedangkan beban garis terpusat (BTG) dengan intensitas p (kN/m). Berdasarkan Gambar 5.5 didapatkan besar intensitas p sebesar 64 kN/m. Sehingga perhitungan pada beban “T” adalah sebagai berikut ini.

a. Beban Terbagi Merata (BTR)

Beban merata, $Q_{TD} = 64$ kN/m.

Faktor beban dinamis,

$$1 + \mu = 1,208$$

$$\mu = 1,208 - 1$$

$$= 0,208$$

b. Beban Garis Terpusat (BGT)

Intensitas BGT,

$$p = 4 \times 200$$

$$= 800 \text{ kN}$$

Lebar lajur, $B = 9,7 \text{ m}$.

Beban garis terpusat,

$$P_{TT} = (1 + \mu) \times p \times B$$

$$= (1 + 0,208) \times 800 \times 9,7$$

$$= 9375,459 \text{ kN}$$

Momen maksimum,

$$M_{TT} = \frac{1}{8} \times Q_{TT} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{TT} \times L$$

$$= \frac{1}{8} \times 64 \times 23,6^2 + \frac{1}{4} \times 9375,459 \times 23,6$$

$$= 55692,809 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum,

$$V_{TT} = \frac{1}{2} \times Q_{TT} \times L + \frac{1}{2} \times P_{TT}$$

$$= \frac{1}{2} \times 64 \times 23,6 + \frac{1}{2} \times 9375,459$$

$$= 5442,930 \text{ kN}$$

3. Beban Pejalan Kaki (TP)

Intensitas beban untuk pejalan kaki digunakan 5 kPa, beban ini digunakan karena jalan tersebut tidak memungkinkan untuk dilalui kendaraan.

Intensitas beban pejalan kaki, $q = 5 \text{ kPa}$.

Lebar pejalan kaki, $b = 1,5 \text{ m}$.

Beban pejalan kaki,

$$Q_{TP} = q \times b$$

$$= 5 \times 1,5$$

$$= 7,5 \text{ kN/m}$$

Momen maksimum,

$$\begin{aligned} M_{TP} &= \frac{1}{8} \times Q_{TP} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 7,5 \times 23,6^2 \\ &= 522,15 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned} V_{TP} &= \frac{1}{2} \times Q_{TP} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 7,5 \times 23,6 \\ &= 88,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.5.3 Beban Tambahan

Perhitungan pada beban tambahan kereta cepat sebagai berikut.

1. Beban Gaya Rem (TB)

Berdasarkan PM No 7 Tahun 2022 untuk beban gaya rem pada jembatan diambil 10% dari beban kereta.

Beban kereta, $P_{TT} = 800 \text{ kN}$.

Beban gaya rem,

$$\begin{aligned} P_{TB} &= 10\% \times P_{TT} \\ &= 10\% \times 800 \\ &= 80 \text{ kN} \end{aligned}$$

Panjang bentang, $L = 23,6 \text{ m}$.

Momen maksimum,

$$\begin{aligned} M_{TB} &= \frac{1}{4} \times P_{TB} \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 80 \times 23,6 \\ &= 472 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned} V_{TB} &= \frac{1}{2} \times P_{TB} \\ &= \frac{1}{2} \times 80 \\ &= 40 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Beban Angin (EW)

Berdasarkan SNI 1725 Tahun 2016 untuk gaya angin pada kendaraan diasumsikan tekanan sebesar 1,46 N/mm. bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi kereta adalah 2,8 m di atas lantai jembatan, sedangkan jarak antar roda kereta adalah 1435 mm. sehingga perhitungan beban angin sebagai berikut.

Gaya angin, $T_{EW} = 1,46 \text{ kN/m}$.

Tinggi kereta, $h = 2,8 \text{ m}$.

Jarak roda kereta, $x = 1,435 \text{ m}$.

Transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$\begin{aligned} Q_{EW} &= h/x \times T_{EW} \\ &= 2,8/1,435 \times 1,46 \\ &= 2,849 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen maksimum,

$$\begin{aligned} M_{EW} &= \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 2,849 \times 23,6^2 \\ &= 198,332 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 2,849 \times 23,6 \\ &= 33,616 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.5.4 Beban Khusus

Menurut SNI 2833 Tahun 2016, gaya vertikal jembatan direncanakan sebesar 10% dari beban permanen. Beban permanen tersebut adalah berat sendiri box girder dan beban mati tambahan pada jembatan yang ditinjau. Perhitungan beban khusus pada kereta cepat adalah sebagai berikut ini.

1. Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal pada balok dihitung dengan:

Berat sendiri, $Q_{MS} = 166,75 \text{ kN/m}$.

Beban mati tambahan, $Q_{MA} = 160 \text{ kN/m}$.

Panjang bentang, $L = 23,6 \text{ m}$.

Berat total,

$$\begin{aligned}W_t &= (Q_{MS} + Q_{MA})L \\ &= (166,75 + 160)23,6 \\ &= 7711,3 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya gempa vertikal rencana,

$$\begin{aligned}T_{EQ} &= 10\% \times W_t \\ &= 10\% \times 7711,3 \\ &= 771,13 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya gempa,

$$\begin{aligned}Q_{EQ} &= \frac{T_{EQ}}{L} \\ &= \frac{771,13}{23,6} \\ &= 32,675 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Momen maksimum,

$$\begin{aligned}M_{EQ} &= \frac{1}{8} \times Q_{EQ} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 32,675 \times 23,6^2 \\ &= 2274,834 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned}V_{EQ} &= \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 32,675 \times 23,6 \\ &= 385,565 \text{ kN}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan pada penampang tipe 1, tipe 2, dan tipe 3 langkahnya sama dengan langkah perhitungan sebelumnya. Detail penampang pada tipe 1, tipe 2, dan tipe 3 dapat dilihat pada Tabel 5.8. Rekapitulasi hasil perhitungan pembebanan dan kombinasi pembebanan pada 3 (tiga) variasi ketebalan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan rekapitulasi hasil dapat dilihat pada Tabel 5.9 sampai 5.11 serta kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.12 sampai dengan Tabel 5.14.

Tabel 5.8 Detail Penampang

Penampang	Tebal Dinding (m)	Panjang (m)
Tipe 1	0,306	23,6
Tipe 2	0,706	3
Tipe 3	0,8	1,5

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pembebanan Penampang Tipe 1

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q	P	M	V	Keterangan
			(kN/m)	(kN)	(kNm)	(kN)	
1	Berat sendiri	MS	166,75		11609,1	1967,65	Beban merata
2	Beban mati tambahan	MA	160		11139,2	1888	Beban merata
3	Beban "T"	TT	64	9375,459	55692,8	5442,93	Beban merata dan terpusat
4	Beban pejalan kaki	TP	7,5		522,15	88,5	Beban merata
5	Beban gaya rem	TB			472	40,000	Beban merata
6	Beban angin	EW	2,84878		198,332	33,616	Beban merata
7	Beban gempa	EQ	32,675		2274,834	385,565	Beban merata

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pembebanan Penampang Tipe 2

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q	P	M	V	Keterangan
			(kN/m)	(kN)	(kNm)	(kN)	
1	Berat sendiri	MS	283,25		318,656	1274,625	Beban merata
2	Beban mati tambahan	MA	160		180	240	Beban merata
3	Beban "T"	TT	64	9375,459163	7103,5944	4783,72958	Beban merata dan terpusat
4	Beban pejalan kaki	TP	7,5		8,438	11,25	Beban merata
5	Beban gaya rem	TB			60	40,000	Beban merata
6	Beban angin	EW	2,8487805		3,205	4,273	Beban merata
7	Beban gempa	EQ	44,325		49,866	66,488	Beban merata

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pembebanan Penampang Tipe 3

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q	P	M	V	Keterangan
			(kN/m)	(kN)	(kNm)	(kN)	
1	Berat sendiri	MS	292,75		82,336	219,563	Beban merata
2	Beban mati tambahan	MA	160		45	120	Beban merata
3	Beban "T"	TT	64	9375,46	3533,8	4735,73	Beban merata dan terpusat
4	Beban pejalan kaki	TP	7,5		2,109	5,625	Beban merata
5	Beban gaya rem	TB			30	40,000	Beban merata
6	Beban angin	EW	2,84878		0,801	2,137	Beban merata
7	Beban gempa	EQ	45,275		12,734	33,956	Beban merata

Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Penampang Tipe 1

Kombinasi		M (kNm)	V (kN)
Kuat I	1,3MS + 2,0MA + 1,8(LL +TB)	116509	16203,22
Kuat II	1,3MS + 2,0MA + 1,4(LL +TB)	94042,6	14010,05
Kuat III	1,3MS + 2,0MA + 1,4EW	15689,5	6381,007
Kuat IV	1,3MS + 2,0MA	15411,9	6333,945
Kuat V	1,3MS + 2,0MA + 0,4EW	15491,2	6347,391
Ekstrem 1a	1,3MS + 2,0MA + 1,0EQ	17686,7	6367,561

Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Penampang Tipe 2

Kombinasi		M (kNm)	V (kN)
Kuat I	1,3MS + 2,0MA + 1,8(LL +TB)	13668,723	10819,72575
Kuat II	1,3MS + 2,0MA + 1,4(LL +TB)	10803,285	8890,233914
Kuat III	1,3MS + 2,0MA + 1,4EW	10719,285	8834,233914
Kuat IV	1,3MS + 2,0MA	774,25313	2137,0125
Kuat V	1,3MS + 2,0MA + 0,4EW	775,53508	2138,721768
Ekstrem 1a	1,3MS + 2,0MA + 1,0EQ	824,11875	2203,5

Tabel 5.14 Kombinasi Pembebanan Penampang Tipe 3

Kombinasi		M (kNm)	V (kN)
Kuat I	1,3MS + 2,0MA + 1,8(LL +TB)	6611,87	9121,74
Kuat II	1,3MS + 2,0MA + 1,4(LL +TB)	5186,35	7211,45
Kuat III	1,3MS + 2,0MA + 1,4EW	239,037	528,422
Kuat IV	1,3MS + 2,0MA	197,037	525,431
Kuat V	1,3MS + 2,0MA + 0,4EW	197,357	526,286
Ekstrem 1a	1,3MS + 2,0MA + 1,0EQ	209,77	559,388

5.6 Tegangan Izin dan Tendon

Kuat tekan beton, $f_c' = 33,5$ MPa.

Kuat tekan beton setelah umur 14 hari,

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 0,8 \times f_c' \\ &= 26,8 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Tegangan ijin beton,

1. Saat Transfer

$$\begin{aligned} f_{ti} &= 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'} = 1,294 \text{ MPa} = 1294,218 \text{ kN/m}^2 \\ f_{ci} &= 0,6 \times f_{ci}' = 19,92 \text{ MPa} = 16080 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Saat *Service*

$$\begin{aligned} f_t &= 0,5 \times \sqrt{f_c'} = 2,894 \text{ MPa} = 2893,959 \text{ kN/m}^2 \\ f_c &= 0,6 \times f_c' = 20,1 \text{ MPa} = 20100 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Jarak titik berat dari bawah, $y_b = 1,494$ m.

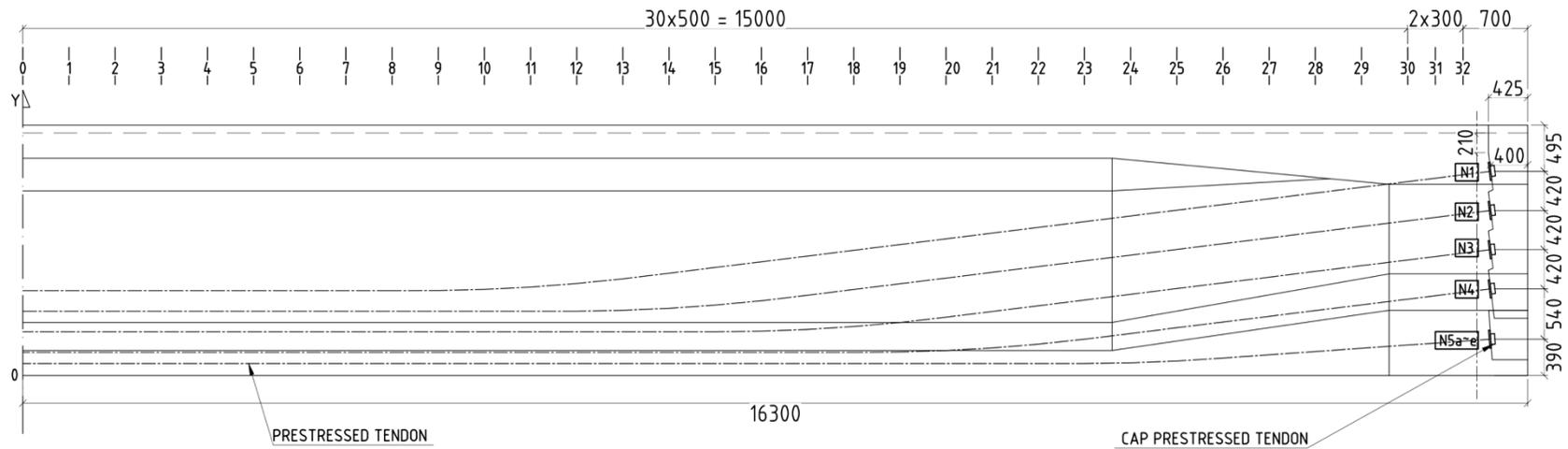
Eksentrisitas tendon,

$$\begin{aligned} e_s &= y_b - Z_o \\ &= 1494,333 - 390 \\ &= 1104,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter strand, $D = 15,2$ mm.

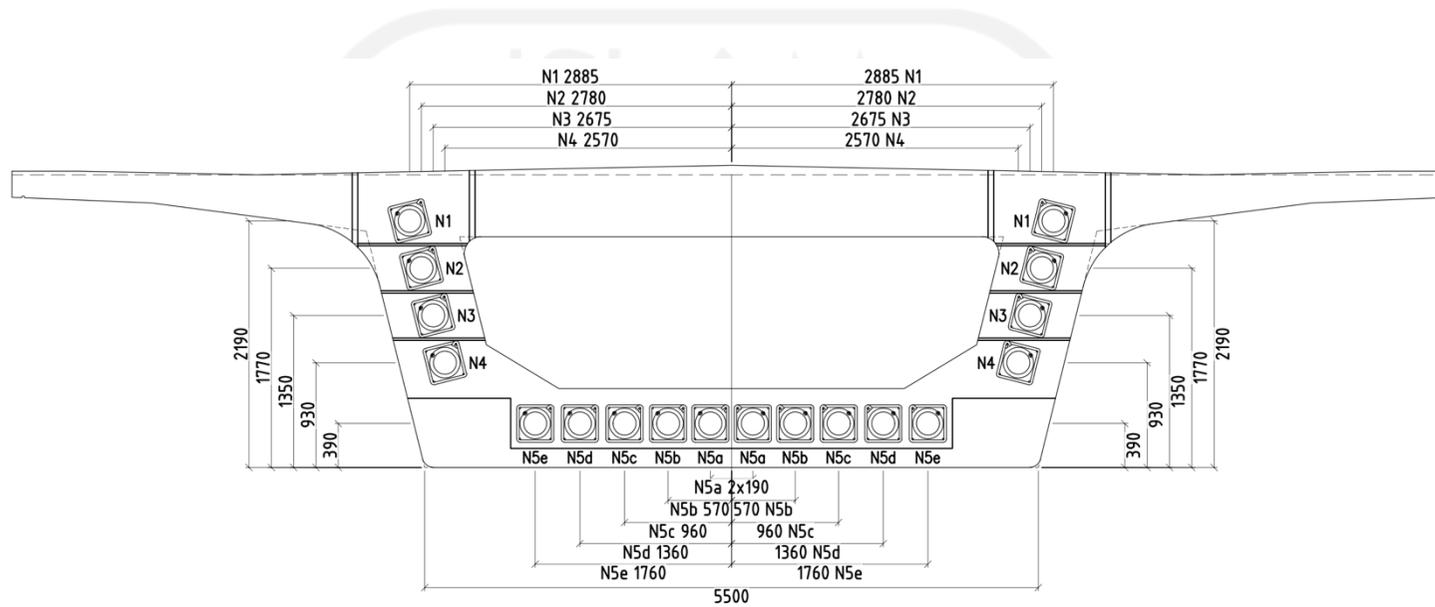
Luas satu tendon,

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,2^2 \\ &= 181,458 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 5.7 Lintasan Tendon

Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar



Gambar 5.8 Posisi Tendon

Sumber: DED Proyek KCIC Halim-Tegal Luar

Berdasarkan gambar diatas, didapatkan hasil eksentrisitas dan gaya prategang dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Tendon

No	Tendon		Jarak Dari Bawah		Tendon Properties	
	Type	#Tendon	$e_s \text{ end}$	$e_s \text{ mid}$	Strand	Luas (mm ²)
1	N1	2	2290	850	15	181,458
2	N2	2	1840	650	15	181,458
3	N3	2	1390	450	15	181,458
4	N4	2	940	250	15	181,458
5	N5a	1	390	125	10	181,458
6	N5b	2	390	125	10	181,458
7	N5c	2	390	125	11	181,458
8	N5d	2	390	125	11	181,458
9	N5e	2	390	125	11	181,458
10	N5f	2	390	125	11	181,458

Luas tampang beton, $A_c = 9,90 \text{ m}^2$.

Berat isi beton prategang, $w_c = 25 \text{ kN/m}^3$.

Beban balok sendiri, $Q_{balok} = 247,583 \text{ kN/m}$.

Panjang bentang, $L = 32,6 \text{ m}$.

Momen berat sendiri, $M_{bs} = 4137039792 \text{ Nmm}$.

Tahanan momen atas, $S_b = 5814333333 \text{ mm}^3$.

Tahanan momen atas, $S_a = 7677666667 \text{ mm}^3$.

Gaya prategang,

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{0,25\sqrt{f'_{ci}} + \frac{M_{bs}}{S_b}}{\frac{e_s}{S_b} + \frac{1}{A_c}} \\
 &= \frac{1,294 + \frac{247,583 \times 10^6}{5814333333}}{\frac{1104,333}{5814333333} + \frac{1}{9,90 \times 10^6}} \\
 &= 6893934,87 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{0,6f'_{ci} + \frac{M_{bs}}{S_a}}{\frac{e_s}{S_a} + \frac{1}{A_c}} \\
 &= \frac{16,08 + \frac{247,583 \times 10^6}{7677666667}}{\frac{1104,333}{7677666667} + \frac{1}{9,90 \times 10^6}}
 \end{aligned}$$

$$= 388045856 \text{ N}$$

Dari dua perhitungan diatas diambil nilai terkecil yaitu, $P = 6893934,87 \text{ N}$.

5.7 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang ada 2 jenis, yaitu kehilangan prategang jangka pendek dan kehilangan prategang jangka panjang. Perhitungan untuk kedua jenis kehilangan prategang dapat dilihat dibawah ini.

Luas area baja prategang, $A_{ps} = 60244,186 \text{ mm}^2$.

Kuat tarik *strand*, $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned} f_{pi} &= 0,7 \times f_{pu} \\ &= 0,7 \times 1860 \\ &= 1302 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang awal,

$$\begin{aligned} P_i &= A_{ps} \times f_{pi} \\ &= 60244,186 \times 1302 \\ &= 78437930,217 \text{ N} \\ &= 78437,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.7.1 Kehilangan Prategang Jangka Pendek

1. Pergeseran Angkur

Slip pada angkur (2-6 mm), $\Delta_A = 6 \text{ mm}$.

Panjang lintasan tendon, $L = 32600 \text{ mm}$.

Modulus elastis prategang, $E_s = 195000 \text{ MPa}$.

Regangan yang terjadi,

$$\begin{aligned} \epsilon_A &= \frac{\Delta_A}{L} \\ &= \frac{6}{32600} \\ &= 0,000184 \end{aligned}$$

Kehilangan prategang,

$$\begin{aligned} f_A &= \epsilon \Delta_A \times E_s \\ &= 0,000184 \times 195000 \\ &= 35,890 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Efek Kelengkungan dan *Wooble*

Koefisien *wooble*, $K = 0,0015$.

Koefisien friksi, $\mu = 0,55$.

Panjang lintasan tendon, $L = 32,6$ m.

Gaya prategang awal, $P_i = 84040,64$ kN.

Jumlah total perubahan sudut,

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{8 \times e_s}{L} \\ &= \frac{8 \times 1104,333}{32600} \\ &= 0,271 \text{ rad}\end{aligned}$$

Gaya prategang setelah kehilangan akibat friksi,

$$\begin{aligned}P_x &= P_i \times e^{-(KL + \mu\alpha)} \\ &= 84040,64 \times e^{-(0,0015 \times 32,6 + 0,55 \times 0,271)} \\ &= 76031,624 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan kabel,

$$\begin{aligned}f_F &= \frac{(P_i - P_x)}{A_{ps}} \\ &= \frac{(84040,64 - 76031,624) \times 10^3}{60233,186} \\ &= \text{MPa}\end{aligned}$$

3. Pemendekan Elastis

Momen akibat berat sendiri, $M_{MS} = 4137,04$ kNm.

Tegangan beton di pusat berat tendon,

$$\begin{aligned}f_{cs} &= -\frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{e_s^2}{r^2}\right) + \frac{M_{MS} \times e_s}{I_x} \\ &= -\frac{78437930,217}{9900000} \left(1 + \frac{1104,333^2}{878073}\right) + \frac{4137,04 \times 10^6 \times 1104,333}{8,626 \times 10^{12}} \\ &= -10,023 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Modulus elastis beton prategang, $E_c = 35500$ MPa.

Modulus elastis baja prategang, $E_s = 195000$ MPa.

Modulus ratio,

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{195000}{35500} \\
 &= 5,493
 \end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat pemendekan elastis,

$$\begin{aligned}
 f_{ES} &= n \times f_{cs} \\
 &= 5,493 \times -10,023 \\
 &= - 55,056 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

5.7.2 Kehilangan Prategang Jangka Panjang

1. Pengaruh Rangkak

Koefisien rangkak, $K_{cr} = 1,6$ (pasca tarik).

Modulus elastis baja prategang, $E_s = 195000$ MPa.

Modulus elastis beton, $E_c = 35500$ MPa.

Modulus rasion,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{195000}{35500} \\
 &= 5,493
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati tambahan, $M_{MA} = 3788,067$ kNm.

Tegangan beton saat transfer,

$$\begin{aligned}
 f_{csd} &= \frac{M_{MA} \times e_s}{I_x} \\
 &= \frac{3788,067 \times 10^6 \times 1104,333}{8,626 \times 10^{12}} \\
 &= 0,485 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh rangkak,

$$\begin{aligned}
 f_{CR} &= n \times K_{cr} \times (f_{cs} - f_{csd}) \\
 &= 5,493 \times 1,6 \times (-10,023 - 0,485) \\
 &= - 92,352 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Pengaruh Susut

Modulus elastis baja prategang, $E_s = 195000$ MPa.

Regangan susut ultimit, $\varepsilon_{SHu} = 820 \times 10^{-6}$ mm/mm.

Waktu dalam hari, $t = 30$ hari.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{SH} &= \frac{t}{t+35} \times ESH_u \\ &= \frac{30}{30+35} \times 0,00082 \\ &= 0,000378\end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh susut,

$$\begin{aligned}f_{pSH} &= \varepsilon_{SH} \times E_s \\ &= 0,000378 \times 195000 \\ &= 73,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kehilangan total akibat perpendekan elastis, rangkai, dan susut,

$$\begin{aligned}f_T &= \Delta f_{ES} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{SH} \\ &= -55,056 - 92,352 + 73,8 \\ &= -73,608 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Peningkatan tegangan di strand akibat adanya penambahan beban mati tambahan,

$$\begin{aligned}f_{SD} &= n \times \overline{f_{cds}} \\ &= 5,493 \times 0,485 \\ &= 2,664 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3. Relaksasi Tendon

Kuat tarik tendon, $f_{pu} = 1860$ MPa.

Tegangan leleh tendon, $f_{py} = 1581$ MPa.

Waktu,

$$t_1 = 1 \text{ hari}$$

$$t_2 = 720 \text{ jam}$$

Kehilangan prategang akibat relaksasi tendon,

$$\begin{aligned}f_{pR} &= f_{pi} \times \left(\frac{\log \log t_2 - \log \log t_1}{45} \right) \times \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \\ &= 1378,272 \times \left(\frac{\log \log 720 - \log \log 1}{45} \right) \times \frac{1378,272}{1581} - 0,55 \\ &= 126,72 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi hasil kehilangan prategang dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Kehilangan Prategang

No	Level Tegangan	Tegangan Baja (MPa)	Persentase (%)
1	Sesudah Penarikan	1302	100
2	Pergeseran Angkur	35,890	2,756
3	Pemendekan Elastik	55,056	4,229
4	Efek Kelengkungan dan <i>Wooble</i>	93	7,143
5	Pengaruh Rangkak	92,352	7,093
6	Pengaruh Susut	73,608	5,653
7	Relaksasi Tendon	126,720	9,733
Total		476,625	36,607

5.8 Kapasitas Lentur

Pada proyek ini menggunakan 1x7-15,2-1860-GB/T5224-2014. Sedangkan pada perhitungan ini digunakan jenis strand prategang yaitu *Uncoated Stress Relieved Seven Wire Strands for Prestressed Concrete*. Adapun kapasitas lentur pada tengah bentang dengan mengabaikan tulangan non prategang adalah sebagai berikut.

Diameter strand, $D = 15,2$ mm.

Luas tampang nominal satu strand,

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,2^2 \\
 &= 181,458 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah total strands, $n = 332$ strands.

Luas tampang tendon prategang,

$$\begin{aligned}
 A_{ps} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 332 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 15,2^2 \\
 &= 60244,186 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tampang beton, $A_c = 6,67 \text{ m}^2$.

Kuat tarik strand, $f_{pu} = 1860$ MPa.

Kuat tekan beton, $f_c' = 33,5$ MPa.

Distribusi tegangan,

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \times (f_c' - 28)}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \times (33,5 - 28)}{7} \right) \\ &= 0,811\end{aligned}$$

Rasio tulangan prategang,

$$\begin{aligned}\rho_p &= \frac{A_{ps}}{A_c} \\ &= \frac{60244,186}{6,67 \times 10^6} \\ &= 0,009\end{aligned}$$

Nilai γ_p didapatkan dari nilai:

$$\begin{aligned}\frac{f_{py}}{f_{pu}} &= \frac{1581}{1860} \\ &= 0,85\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tersebut nilai γ_p dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Nilai Dari γ_p

f_{py}/f_{pu}	γ_p
$\geq 0,80$	0,55
$\geq 0,85$	0,40
$\geq 0,90$	0,28

Sumber: SNI 2847 Tahun 2019

Nilai γ_p yang digunakan adalah 0,4.

Tegangan pada tendon,

$$\begin{aligned}f_{ps} &= f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} \right) \right] \\ &= 1860 \left[1 - \frac{0,4}{0,811} \left(0,0090 \frac{1860}{33,5} \right) \right] \\ &= 1399,783 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Gaya tarik pada tendon,

$$\begin{aligned}T &= A_{ps} \times f_{ps} \\ &= 60244,186 \times 1399,783 \\ &= 84328794,05 \text{ N} \\ &= 84328,794 \text{ kN}\end{aligned}$$

Regangan pada baja prategang,

$$\begin{aligned}\varepsilon_p &= \frac{f_{ps}}{E_s} \\ &= \frac{1399,783}{195000} \\ &= 0,0072\end{aligned}$$

Kedalaman tulangan prategang, $d_p = 2210$ mm.

$$\frac{c}{\varepsilon_{cu'}} = \frac{(d_p - c)}{\varepsilon_p}$$

$$\frac{c}{0,003} = \frac{(2210 - c)}{0,0072}$$

$$0,0072c = 6,63 - 0,003c$$

$$0,01021c = 6,63$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{6,63}{0,01021} \\ &= 649,363 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kedalaman blok tekan,

$$\begin{aligned}a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,811 \times 649,363 \\ &= 526,448 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned}M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \times \left(d_p - \frac{a}{2}\right) \\ &= 60244,1860 \times 1399,783 \times \left(2210 - \frac{526,448}{2}\right) \\ &= 1,642 \times 10^{11} \text{ Nmm} \\ &= 164169,27 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Faktor reduksi, $\phi = 0,8$.

Momen ultimit,

$$\begin{aligned}M_{uk} &= \phi \times M_n \\ &= 0,8 \times 164169,27 \\ &= 131335,412 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Pada penampang ujung bentang rekapitulasi hasil dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Kapasitas Lentur

Bagian	Kapasitas Lentur (kNm)
Penampang Tipe 1	131335,412
Penampang Tipe 2	149162,999
Penampang Tipe 3	149975,051

Untuk pengecekan kontrol pada kapasitas lentur dilakukan dengan kontrol kombinasi momen ultimit yang dilakukan sebagai berikut ini.

Gaya prategang efektif,

$$\begin{aligned}
 P_{eff} &= A_{ps} \times f_i \\
 &= 60244,186 \times 1302 \\
 &= 78437,9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Eksentrisitas tendon, $e_s = 1,1043$ m.

Momen akibat prategang,

$$\begin{aligned}
 M_{PR} &= P_{eff} \times e_s \\
 &= 78437,9 \times 1,1043 \\
 &= - 86621,621 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Resume momen balok dapat dilihat pada Tabel 5.19 sampai dengan Tabel 5.21.

Tabel 5.19 Resume Momen Balok Pada Penampang Tipe 1

Aksi/Beban	Faktor Beban Ultimit		Momen	
			M (kNm)	Mu (kNm)
Berat Sendiri	KMS	1,3	11609,135	15091,9
Beban Mati Tambahan	KMA	2	11139,2	22278,4
Prategang	KPR	1	-86621,621	-86622
Beban "T"	KTT	2	12083,2	24166,4
Beban Pejalan Kaki	KTP	2	522,15	1044,3
Beban Gaya Rem	KTB	2	110,84	221,68
Beban Angin	KEW	1,2	214,91694	257,9
Beban Gempa	KEQ	1	2274,8335	2274,83

Tabel 5.20 Resume Momen Balok Pada Penampang Tipe 2

Aksi/Beban	Faktor Beban Ultimit		Momen	
			M (kNm)	Mu (kNm)
Berat Sendiri	KMS	1,3	318,656	414,253
Beban Mati Tambahan	KMA	2	180	360
Prategang	KPR	1	-86621,621	-86622
Beban "T"	KTT	2	2004	4008
Beban Pejalan Kaki	KTP	2	8,438	16,875
Beban Gaya Rem	KTB	2	110,84	221,68
Beban Angin	KEW	1,2	3,473	4,167
Beban Gempa	KEQ	1	49,866	49,866

Tabel 5.21 Resume Momen Balok Pada Penampang Tipe 3

Aksi/Beban	Faktor Beban Ultimit		Momen	
			M (kNm)	Mu (kNm)
Berat Sendiri	KMS	1,3	82,336	107,037
Beban Mati Tambahan	KMA	2	45	90
Prategang	KPR	1	-86621,621	-86622
Beban "T"	KTT	2	651	1302
Beban Pejalan Kaki	KTP	2	2,109	4,219
Beban Gaya Rem	KTB	2	110,84	221,68
Beban Angin	KEW	1,2	0,868	1,042
Beban Gempa	KEQ	1	12,734	12,734

Sehingga untuk hasil kontrol kombinasi momen ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.22 sampai Tabel 5.24.

Tabel 5.22 Kontrol Kombinasi Momen Ultimit Pada Penampang Tipe 1

KOMBINASI 1										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	15091,9	22278,4	-86622	24166,4	1044,3	221,68			-23819	AMAN
KOMBINASI 2										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	15091,9	22278,4	-86622	24166,4	1044,3	221,68	257,9		-23561	AMAN
KOMBINASI 3										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	15091,9	22278,4	-86622					2274,83	-46977	AMAN

Tabel 5.23 Kontrol Kombinasi Momen Ultimit Pada Penampang Tipe 2

KOMBINASI 1										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	414,253	360	-86622	4008	16,875	221,68			-81601	AMAN
KOMBINASI 2										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	414,253	360	-86622	4008	16,875	221,68	4,16745		-81597	AMAN
KOMBINASI 3										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	414,253	360	-86622					49,8656	-85798	AMAN

Tabel 5.24 Kontrol Kombinasi Momen Ultimit Pada Penampang Tipe 3

KOMBINASI 1										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	107,037	90	-86622	1302	4,219	221,68			-84897	AMAN
KOMBINASI 2										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	107,037	90	-86622	1302	4,219	221,68	1,04186		-84896	AMAN
KOMBINASI 3										
Momen Ultimit	Beban								Total	Keterangan
	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Prategang	Beban "T"	Pejalan Kaki	Gaya Rem	Angin	Gempa		
Mu	107,037	90	-86622					12,7336	-86412	AMAN

5.9 Kapasitas Geser

Perhitungan kapasitas geser didapatkan dari hasil pembebanan, sehingga perhitungan kapasitas geser sebagai berikut ini. Perhitungan ini terjadi pada balok prategang ditengah bentang dengan panjang bentang sebesar $L = 23,6$ m. Kombinasi pembebanan gaya geser balok prategang dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan Rekapitulasi Gaya Geser Dan Kombinasi Gaya Geser dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.25 Kombinasi Pembebanan Gaya Geser Balok Prategang

No	Aksi Beban	Kode	Kombinasi			
			I	II	III	IV
1	Berat Sendiri	KMS	1,3	1,3	1,3	1,3
2	Beban Mati Tambahan	KMA	2	2	2	2
3	Beban Lajur "D"	KTD	1,8	1	1	
4	Gaya Rem	KTB	1,8	1	1	
5	Beban Pedestrian	KTP		1,8		
6	Beban Angin	KEW			1,2	
7	Beban Gempa	KEQ				1

Sumber: SNI 1725 Tahun 2016

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Gaya Geser dan Kombinasi Gaya Geser Pada Penampang Tipe 1

Jarak	Gaya Geser Pada Box Girder Akibat Beban							Kombinasi			
	MS	MA	TT	TP	TB	EW	EQ	I	II	III	IV
x	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0	1967,65	1888	5442,930	88,5	40,000	33,616	385,565	9668756,893	11937,375	11905,713	6719,51
1	1800,9	1728	5378,930	81	40,000	30,767	352,890	8100911,393	11329,100	11294,020	6150,06
1,45	1725,8625	1656	5350,130	77,625	40,000	29,485	338,186	7440643,538	11055,376	11018,758	5893,81
1,9	1650,825	1584	5321,330	74,25	40,000	28,203	323,483	6808469,723	10781,652	10743,496	5637,56
2,35	1575,7875	1512	5292,530	70,875	40,000	26,921	308,779	6204389,948	10507,928	10468,234	5381,3
2,8	1500,75	1440	5263,730	67,5	40,000	25,639	294,075	5628404,213	10234,205	10192,971	5125,05
3,25	1425,7125	1368	5234,930	64,125	40,000	24,357	279,371	5080512,518	9960,481	9917,709	4868,8
3,7	1350,675	1296	5206,130	60,75	40,000	23,075	264,668	4560714,863	9686,757	9642,447	4612,55
4,15	1275,6375	1224	5177,330	57,375	40,000	21,793	249,964	4069011,248	9413,033	9367,185	4356,29
4,6	1200,6	1152	5148,530	54	40,000	20,511	235,260	3605401,673	9139,310	9091,923	4100,04
5,05	1125,5625	1080	5119,730	50,625	40,000	19,229	220,556	3169886,138	8865,586	8816,661	3843,79
5,5	1050,525	1008	5090,930	47,25	40,000	17,947	205,853	2762464,643	8591,862	8541,399	3587,54
5,95	975,4875	936	5062,130	43,875	40,000	16,665	191,149	2383137,188	8318,138	8266,137	3331,28
6,4	900,45	864	5033,330	40,5	40,000	15,383	176,445	2031903,773	8044,415	7990,875	3075,03
6,85	825,4125	792	5004,530	37,125	40,000	14,101	161,741	1708764,398	7770,691	7715,613	2818,78
7,3	750,375	720	4975,730	33,75	40,000	12,820	147,038	1413719,063	7496,967	7440,350	2562,53
7,75	675,3375	648	4946,930	30,375	40,000	11,538	132,334	1146767,768	7223,243	7165,088	2306,27
8,2	600,3	576	4918,130	27	40,000	10,256	117,630	907910,513	6949,520	6889,826	2050,02
8,65	525,2625	504	4889,330	23,625	40,000	8,974	102,926	697147,298	6675,796	6614,564	1793,77
9,1	450,225	432	4860,530	20,25	40,000	7,692	88,223	514478,123	6402,072	6339,302	1537,52

Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Gaya Geser dan Kombinasi Gaya Geser Pada Penampang Tipe 1

Jarak	Gaya Geser Pada Box Girder Akibat Beban							Kombinasi			
	MS	MA	TT	TP	TB	EW	EQ	I	II	III	IV
x m	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
9,55	375,1875	360	4831,730	16,875	40,000	6,410	73,519	359902,988	6128,348	6064,040	1281,26
10	300,15	288	4802,930	13,5	40,000	5,128	58,815	233421,893	5854,625	5788,778	1025,01
10,45	225,1125	216	4774,130	10,125	40,000	3,846	44,111	135034,838	5580,901	5513,516	768,758
10,9	150,075	144	4745,330	6,75	40,000	2,564	29,408	64741,823	5307,177	5238,254	512,505
11,35	75,0375	72	4716,530	3,375	40,000	1,282	14,704	22542,848	5033,453	4962,992	256,253
11,8	0	0	4687,730	0	40,000	0,000	0,000	8437,913	4759,730	4687,730	0

Dari rekapitulasi gaya geser dan kombinasi gaya geser diatas, diketahui bahwa kombinasi I merupakan nilai gaya geser terbesar. Sehingga:

Gaya geser ultimit, $V_{ult} = 9668756,893$ kN/m.

Kuat tekan beton, $f_c' = 33,5$ MPa.

Momen ultimit, $M_u = 131335,412$ kNm.

Lebar badan, $b_w = 5500$ mm.

Luas tampang baja prategang, $A_{ps} = 60244,186$ mm².

Letak tulangan baja prategang, $d_p = 2210$ mm.

Letak tulangan baja non prategang, $d_s = 2539$ mm.

Jarak dari serat tekan ke tulangan tarik,

$$\begin{aligned} d &= \frac{A_{ps} \times d_p + A_c \times d_s}{A_{ps} + A_c} \\ &= \frac{60244,186 \times 2210 + 6,67 \times 10^6 \times 2539}{60244,186 + 6,67 \times 10^6} \\ &= 2536,01 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persamaan untuk pendekatan untuk nilai lentur ialah:

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left[0,05 \lambda \sqrt{f_c'} + 4,8 \frac{V_u d_p}{M_u} \right] b_w d \\ &= \left[0,05 \times 0,75 \sqrt{33,5} + 4,8 \frac{9668756,893 \times 2210}{131335,412} \right] 5500 \times 2536,01 \\ &= 3039473,513 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \left[0,05 \lambda \sqrt{f_c'} + 4,8 \right] b_w d \\ &= \left[0,05 \times 0,75 \sqrt{33,5} + 4,8 \right] 5500 \times 2536,053 \\ &= 70005641,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c3} &= 0,42 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,42 \times 0,75 \sqrt{33,5} \times 5500 \times 2536,053 \\ &= 25440042,66 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai terkecil yaitu $V_c = 3039,4735$ kN.

Kapasitas geser didaerah ujung menggunakan perhitungan yang sama, rekapitulasi hasil gaya geser dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Gaya Geser

Bagian	Kapasitas Geser (kN)
Penampang Tipe 1	3039473,513
Penampang Tipe 2	3029374,340
Penampang Tipe 3	3028652,541

5.10 Pembahasan

Proyek *Jakarta-Bandung High-speed Railway* merupakan salah satu bentuk kerjasama Indonesia di bidang konstruksi dengan Cina. Dikarenakan Indonesia belum memiliki pemahaman mengenai konstruksi kereta cepat, maka dalam proses perencanaannya diserahkan kepada pihak Cina. Sehingga dokumen perencanaan dan pelaksanaannya didasarkan oleh peraturan pihak Cina. Peraturan dari Cina disebut dengan istilah TB, sedangkan di Indonesia mempunyai peraturan yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI).

Oleh sebab itu, penelitian ini mengevaluasi desain perencanaan pihak Cina kedalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Peninjauan dilakukan pada titik P76-P77 yang menggunakan sistem *simple beam* atau bentang sederhana dengan tumpuan sendi dan *roll*. Pemilihan titik tersebut dikarenakan untuk mengevaluasi jembatan secara menyeluruh dibutuhkan kerja sama tim.

Penelitian kapasitas lentur dan geser yang dilakukan mengacu pada SNI 2847 Tahun 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. Pada pembebanan jembatan digunakan SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 2833 Tahun 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, PM No 7 Tahun 2022 Penyelenggaraan Kereta Api Kecepatan Tinggi, dan RSNI T 12 Tahun 2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Dilakukan peninjauan dengan SNI karena perencanaan desain aktual proyek kereta cepat ini dengan *Code of Design of High-speed Railway* (TB10621-2014), *Code for Design of Railway Bridges and Culverts* (TB10002-2017), dan *Code for Design on Reinforced and Prestressed Concrete Structure of Railway Bridges and Culverts* (TB1009-2017). Dikarenakan Indonesia belum memiliki pengalaman terkait kereta cepat, maka penelitian ini dianalisis dengan peraturan standar Indonesia (SNI).

Pada pembahasan ini hasil dari analisis sebelumnya tidak bisa dibandingkan dengan hasil review oleh Laboratorium Institut Bandung (ITB), dikarenakan hasil review dari Lab ITB tidak bisa dipublikasi dan diberikan oleh pihak luar. Hasil-hasil dari proyek kereta cepat ini, baik data dari pihak Cina maupun pihak Indonesia tidak dapat diberikan karena bersifat rahasia dan tidak boleh dipublikasikan secara legal. Maka dari itu, hasil dari analisis sebelumnya tidak bisa dibedakan atau dibandingkan dengan hasil Lab ITB. Pembahasan ini mencakup hasil pembebanan kereta cepat, kehilangan prategang, kapasitas lentur, dan kapasitas geser yang dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

5.10.1 Pembebanan

Pembebanan pada kereta cepat ini diadaptasi dari *Code for Design on Railway Bridge and Culvert* (TB10002-2005). Dalam penulisan tugas akhir ini, pembebanan kereta cepat mengacu pada SNI 1725 Tahun 2016 Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 2833 Tahun Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, dan PM No 7 Tahun 2022. Pada kereta cepat pembebanan dibagi menjadi 4 jenis sesuai dengan yang tercantum pada PM No 7 Tahun 2022.

Pada beban hidup terdapat beban merata dan beban terpusat yang khusus ada pada kereta cepat ini. Pada perhitungan beban "T" atau beban kereta sudah memenuhi syarat dikarenakan nilai beban tersebut sudah lebih besar dibandingkan dengan beban aktual. Pada pembebanan beban "T" didapatkan nilai sebesar 80 kN dan beban kereta aktual adalah sebesar 17 kN.

Hasil pembebanan pada berat sendiri (MS) balok prategang pada 3 (tiga) variasi girder dengan ketebalan yang berbeda yaitu pada bagian tengah jembatan menghasilkan nilai 16,675 ton/m, dan bagian dekat dinding tumpuan sebesar 28,325 ton/m dan 29,275 ton/m.

5.10.2 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang merupakan berkurangnya besaran gaya yang bekerja pada tendon dalam tahapan-tahapan pembebanan. Kehilangan prategang selalu terdapat pada suatu sistem struktur prategang. Kehilangan prategang dibedakan

menjadi 2 (dua) bagian tergantung dengan waktu terjadinya yaitu kehilangan prategang jangka pendek dan kehilangan prategang jangka panjang.

Pada jembatan ini menggunakan sistem *post-tensioning* yang berupa deformasi elastis pada beton ditegangkan (ditarik) secara berurutan, gesekan, dan slip ankur. Didalam perencanaan komponen beton prategang, kehilangan tegangan total diasumsikan sebagai presentase dari tegangan awal. Dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhinya, maka akan sulit untuk menyeragamkan nilai yang pasti.

Merujuk dalam buku Lin (1981), kehilangan tegangan total yang dapat digunakan dalam kondisi kerja normal dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Kehilangan Tegangan Total

No	Tipe Kehilangan	Persentase Kehilangan	
		<i>Pre-tensioning</i>	<i>Post-tensioning</i>
1	Perpendekan Elastis dan Lenturan Beton	1	1
2	Rangkak Beton	6	5
3	Susut Beton	7	6
4	Relaksasi Baja	8	8
Jumlah		25	20

Berdasarkan hasil analisis diperoleh kehilangan prategang sebesar 36,607% melebihi presentase batas kehilangan total prategang menurut Lin (1981) yaitu sebesar 20% dengan keterangan pergeseran ankur sebesar 2,756%, efek kelengkungan dan *wooble* sebesar 7,143%, perpendekan elastik beton sebesar 4,229%, rangkak beton sebesar 7,093%, susut beton sebesar 5,653%, dan relaksasi tendon sebesar 9,733%.

Nilai kehilangan prategang pada pergeseran ankur disebabkan oleh adanya blok-blok pada ankur pada saat gaya jacking ditansfer ke ankur. Besarnya kehilangan prategang akibat efek kelengkungan dan *wobble* disebabkan oleh adanya gesekan antara tendon dan beton di sekelilingnya. Pada saat ditarik, diujung pendongkrakan tendon tersebut mengalami gesekan sepanjang lintasan tendon akibat dari efek *wooble* (penyimpangan lintasan tak terencana). Pemendekan elastis

beton nilai kehilangan prategang disebabkan oleh adanya gaya prategang yang bekerja pada tendon. Ketika tendon dipotong dan dikunci ujungnya maka tendon mulai menekan penampang beton dan terjadilah perpendekan elastis beton. Jika beton memendek maka tendon juga akan ikut memendek. Kehilangan prategang akibat dari pengaruh rangkai dan susut dipengaruhi oleh faktor waktu durasi konstan. Pada relaksasi tendon, nilai kehilangan prategang disebabkan oleh perpanjangan yang konstan terhadap waktu. Besarnya pengurangan prategang bergantung pada durasi gaya prategang yang ditahan dan rasio dari kuat leleh baja prategang terhadap tegangan leleh tendon prategang. Dalam analisis ini hasil dari perhitungan nilainya melebihi dari batas kehilangan prategang untuk pasca tarik yaitu 20% menjadi 36,607%. Hal ini dikarenakan belum adanya komperasi standar China kedalam standar nasional Indonesia.

5.10.3 Kapasitas Lentur dan Kapasitas Geser

Kapasitas geser yang dianalisis pada jembatan kereta cepat dengan mengabaikan tulangan non prategang. *Capacity ratio (R)* adalah rasio antara gaya atau momen ultimit pada penampang yang terjadi terhadap kuat nominal penampang yang telah memasukkan nilai faktor reduksi. Suatu struktur dianggap telah memenuhi persyaratan kekuatan apabila nilai $R < 1$ atau paling tidak $R = 1$. Sedangkan jika nilai $R > 1$ dianggap bahwa suatu struktur tidak memenuhi persyaratan perencanaan. Kapasitas lentur yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5.29 Kapasitas Lentur

Penampan g	Momen Nominal (kNm)	Momen Ultimit (kNm)	<i>Capacity Ratio</i> (R)
Tipe 1	164169,27	131335,412	0,8
Tipe 2	186453,75	149162,999	0,8
Tipe 3	187468,81	149975,051	0,8

Dari hasil perhitungan *demand/capacity ratio* didapatkan hasil pada 3 (tiga) tipe penampang adalah 0,8. Nilai tersebut kurang dari 1, sehingga disimpulkan bahwa nilai untuk kapasitas lentur adalah aman karena nilai tersebut $R < 1$. Kapasitas geser yang didapatkan dari hasil analisis sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.30.

Tabel 5.30 Kapasitas Geser

Penampang	Kapasitas Geser (kN)
Type 1	3039473,513
Type 2	3029374,340
Type 3	3028652,541



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan dengan variasi 3 (tiga) tampang *Prestressed Box Girder* memiliki dimensi yang sama tetapi ketebalan yang berbeda yaitu:

1. Pada pembebanan jembatan dan kehilangan prategang yang terjadi didapatkan hasil:
 - a. Pada pembebanan khususnya berat sendiri balok didapatkan hasil pada penampang tipe 1 dengan luas $6,67 \text{ m}^2$ dan panjang $23,6 \text{ m}$ didapatkan berat sendiri balok sebesar $166,75 \text{ kN/m}$. Pada penampang tipe 2 dengan luas $11,33 \text{ m}^2$ dan Panjang 3 m menghasilkan berat sendiri balok sebesar $283,25 \text{ kN/m}$. Serta pada penampang tipe 3 dengan luas $11,71 \text{ m}^2$ dan Panjang $1,5 \text{ m}$ didapatkan sebesar $292,75 \text{ kN/m}$.
 - b. Kehilangan prategang yang didapatkan sebesar $36,607\%$.
2. Hasil perhitungan untuk kapasitas lentur dan kapasitas geser didapatkan:
 - a. Kapasitas lentur yang didapatkan dari penampang tipe 1 sebesar $131335,412 \text{ kNm}$, penampang tipe 2 sebesar $149162,999 \text{ kNm}$, dan penampang tipe 3 sebesar $149975,051 \text{ kNm}$.
 - b. Kapasitas geser yang dihasilkan untuk analisis penampang tipe 1 ialah $3039493,158 \text{ kN}$, penampang tipe 2 ialah $3029369,854 \text{ kN}$, dan penampang tipe 3 ialah $3028646,501 \text{ kN}$.

6.1 Saran

Berdasarkan penelitian diatas, saran yang diberikan adalah:

1. Analisis pada jembatan kereta cepat dapat ditinjau dengan menggunakan bentang menerus (*continuous beam*)/dan sistem portal.
2. Melakukan peninjauan lebih dalam mengenai peraturan Cina dan komparasi peraturan Cina kedalam peraturan Indonesia yang digunakan pada perencanaan proyek ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, A. H. Tanpa Tahun. *An Introduction To Prestressed Concrete*. Cement and Concrete Association.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton*. SNI 2052:2017. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan*. SNI 1725:2016. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. SNI 2833:2016. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta.
- China Railway Design Corpotation. 2019. *Jakarta to Bandung High-Speed Railway, Indonesia Halim-Tegal Luar Section Construction Drawing Post Tensioned Prestressed Concrete Simply Supported Box-Girder for Ballasted Tracks*. Tianjin.
- Gumilar, E. Cahya dan Walujodjati, E. 2022. Analisis Kapasitas Box Girder Pada Jembatan. *Jurnal Konstruksi*. Vol.20 No.1:126-138. Garut.
- Ilham, M. Noer. 2010. *Bridge Engineer and Building Structure Engineer*, (<http://mnoerilham.blogspot.com>, Diakses 10 Desember 2021).
- Lin, T. Y and Burns, Ned H. 1981. *Prestressed Concrete Construction*. John Wiley and Sons. New York.
- Nawy, Edward G. Tanpa Tahun. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar*. Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono. 2001. Erlangga. Jakarta.
- Rahmawati, A. W. Suci. 2019. Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 m Menggunakan Prestressed TGirder dan Prestressed Box Girder. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rezki, Muhammad. 2018. Analisa Jembatan Box Girder Prestressed. *Tugas Akhir*.

(Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Sumatera Utara.

Peraturan Menteri Perhubungan. 2022. *Penyelenggaraan Kereta Api Kecepatan Tinggi*. PM 7 Tahun 2022. Jakarta.

Peraturan Menteri Perhubungan. 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. PM 60 Tahun 2012. Jakarta

Presiden Republik Indonesia. 2007. *Perkeretaapian*. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007. Jakarta.

Presiden Republik Indonesia. 2004. *Jalan*. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004. Jakarta.

PT. Kereta Cepat Indonesia China. 2016. *Detailed Engineering Design Halim Tegal Luar Section*. Jakarta.

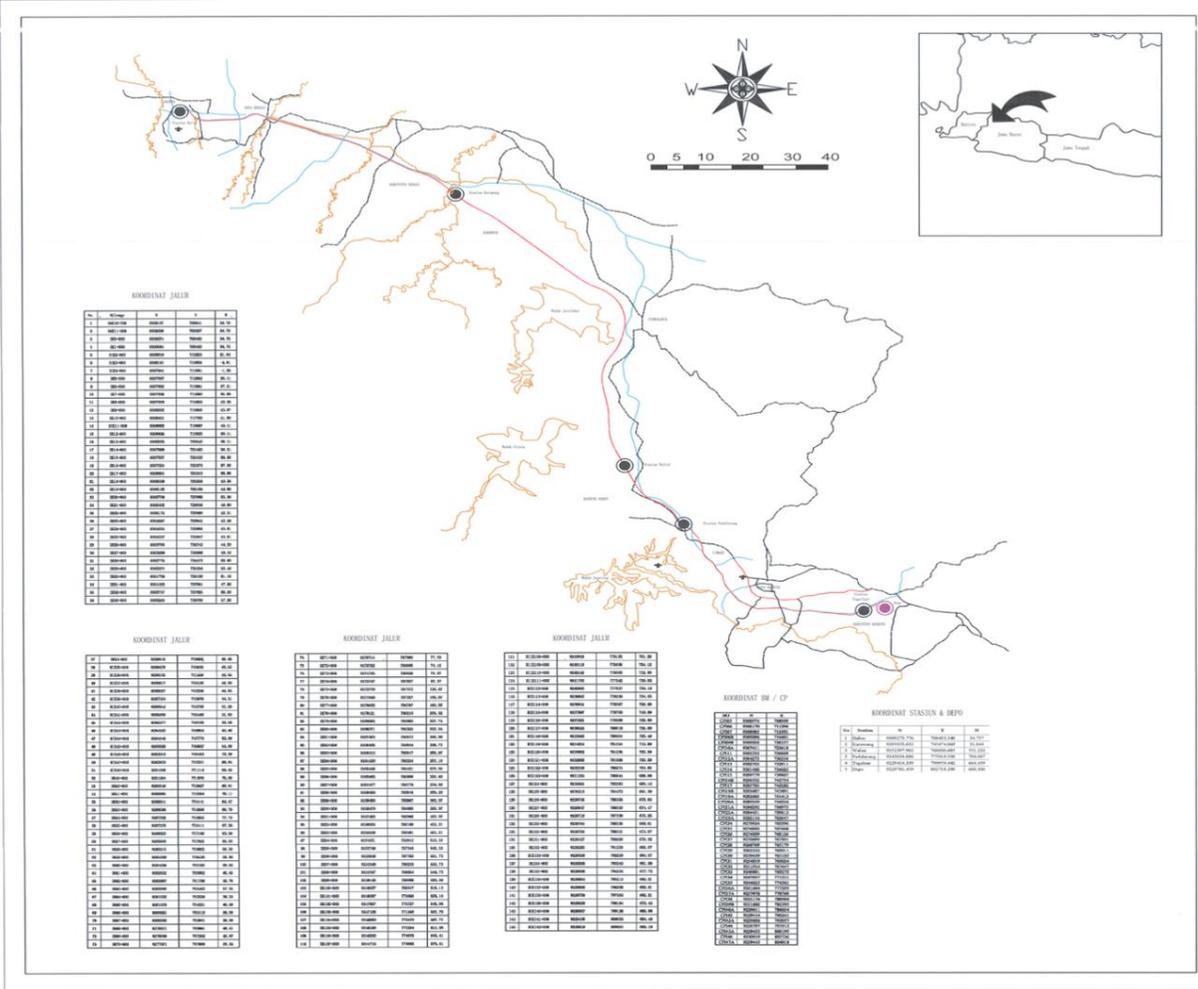
Supriyadi, Bambang dan Muntohar, Agus Setyo. 2007. *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta.



LAMPIRAN

الجمهورية الإسلامية الإندونيسية

Lampiran 1 – Gambar Teknis





KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN
 DIREKTORAT LALU LINTAS DAN ANGKUTAN KERETA API

PEKERJAAN : PROYEK KERETA API CEPAT ANTARA JAKARTA DAN BANDUNG LINTAS HALIM-TEGALLUAR

LAMPIRAN KEPUTUSAN MENTERI PERHUBUNGAN
 NOMOR : KM 29 TAHUN 2022
 TANGGAL : 16 FEBRUARI 2022
 TENTANG : TRASE KERETA API CEPAT ANTARA JAKARTA DAN BANDUNG LINTAS HALIM-TEGALLUAR

MENTERI PERHUBUNGAN
 REPUBLIK INDONESIA

TTD

BUDI KARYA SUMADI

Salinan sesuai dengan aslinya
 Kepala Biro Hukum



HARY KRISWANTO, SH., DESS
 Pembina Utama Madya (IV/d)
 NIP. 19631115 199203 1 001

Nama Gambar :
 TRASE PROYEK KERETA API CEPAT ANTARA JAKARTA DAN BANDUNG LINTAS HALIM-TEGALLUAR

Pemilik Proyek :

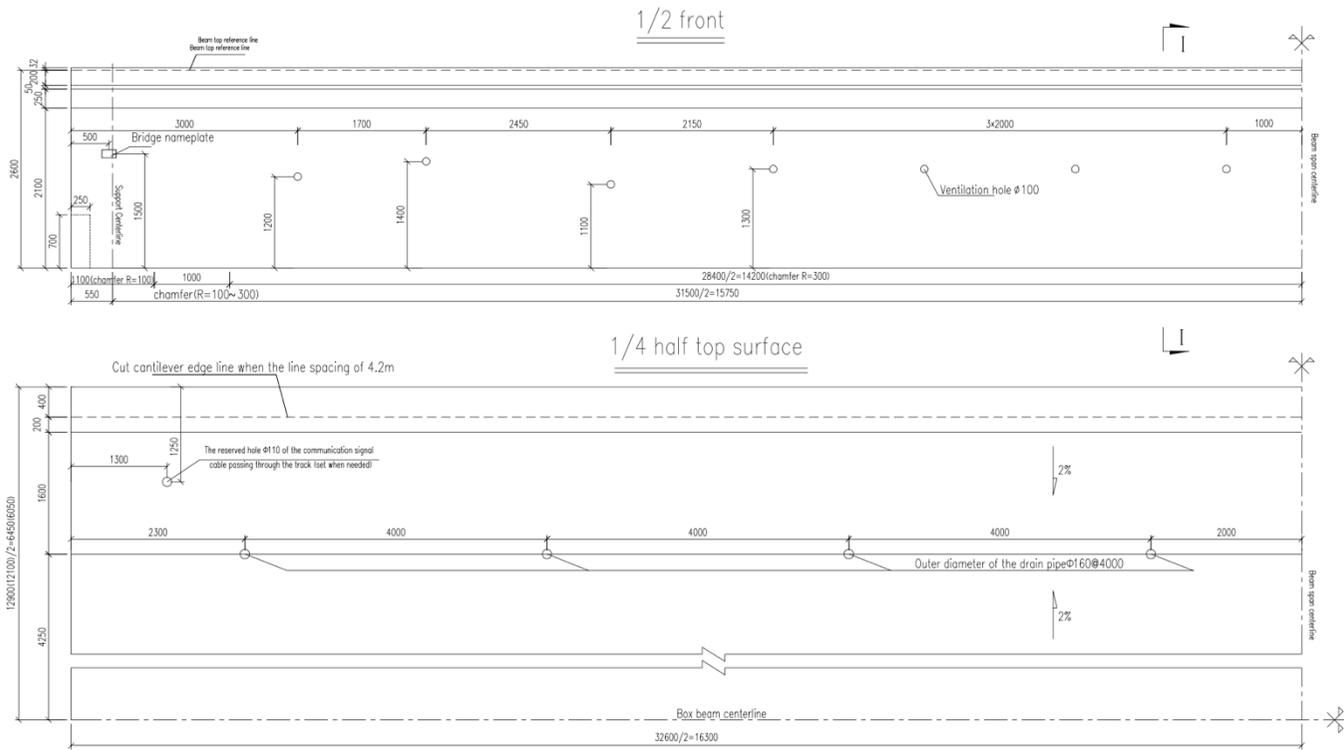
PT. KERETA CEPAT INDONESIA CHINA
 Jalan Tol Jakarta - Cikampek KM 0+800 Halim Perdana Kusumah
 Kec. Makasar, RT.13/RW.15, Jakarta Timur, Jakarta

Konsultan Perencana : CRDC (China Railway Design Corporation)

LEGENDA :
 Panjang Trase : 142 Km
 Kebutuhan Lahan : 634,24 Ha

-  Stasiun Penumpang
-  Depo
-  Trase Kereta Cepat
-  Jalan Nasional
-  Sungai
-  Jalan Provinsi

SKALA: 1:450.000

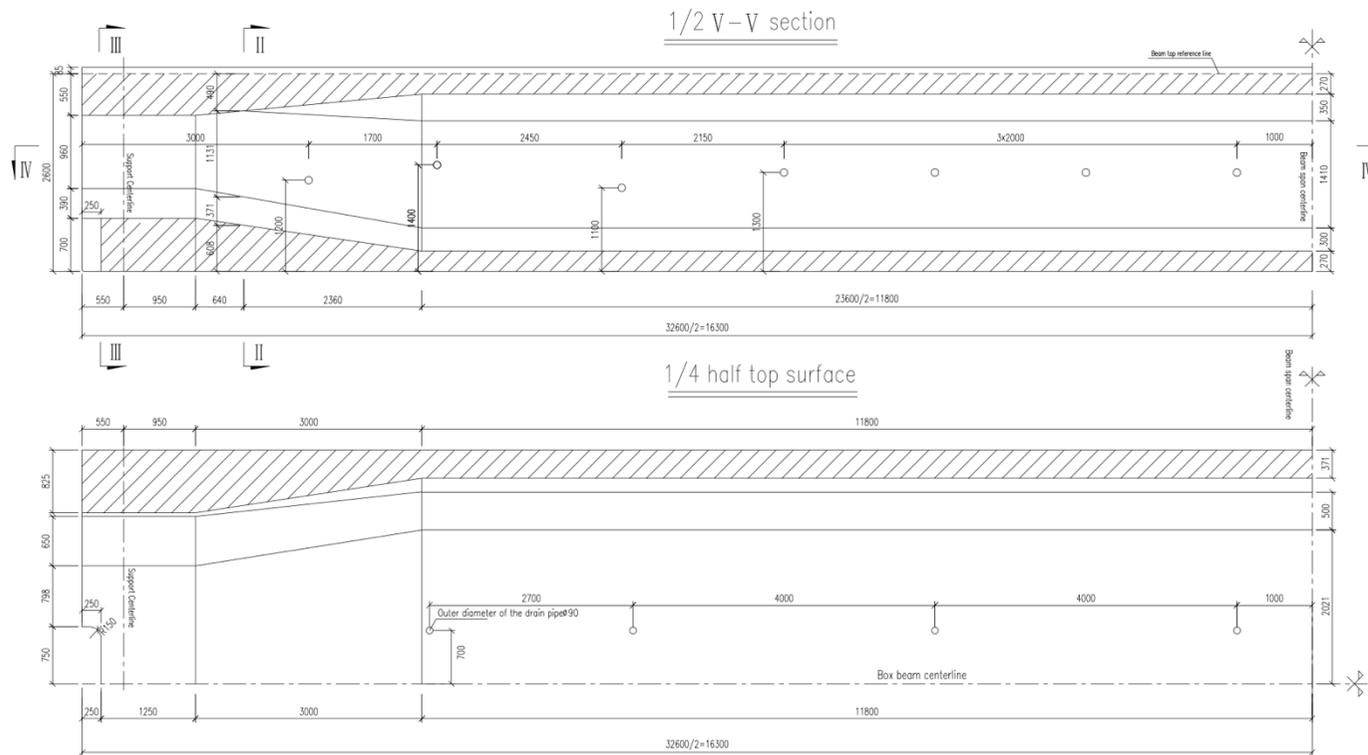


Note:

1. The dimensions of this drawing shall be in millimeters.
2. The distance between the vents is arranged at a spacing of 2m. If it is in contact with the prestressed steel, the position of the vents can be moved appropriately.
3. 20x20mm chamfer should be set at the end plate of the box girder to prevent the concrete from splitting due to compression of the beam body when the box girder is stretched.
4. A bridge nameplate shall be set at each box girder on the large mileage side of the left line, as shown in the drawing.
5. This drawing is applicable to the case of line spacing of 4.2~5.0 m. The data outside the parentheses is applicable to the line spacing of 4.2 m, and the data in the parentheses is applicable to the line spacing more than 4.2 m when the line spacing of 4.2m. Cut the cantilever according to the dotted line in the figure.
6. When the bridge deck width is adjusted due to the change of line spacing, the reserved hole position of communication signal cable rail crossing remain unchanged with the cantilever edge, ensuring that the hole is located in the cable groove.

 FOR CONSTRUCTION ORIGINAL		NAME	POSITION	SIGN	MARK	PROJECT CLIENT : Gedung Wika Lt.5 JLD.I.Panjiatan Kav.9,Jakarta 13340
	ENDORSED BY	Erwin Lim	Engineer		COJO	
	APPROVED BY	Wang Xiaobing	Engineer			
		Kris Adiwibowo	Manager		HSRCC	
		Wang Chun	Engineer			

China Railway Design Group Corporation		Jakarta-Bandung High Speed Railway	
DESIGNED BY	马存忠	Post-tensioned Prestressed Concrete Simply Supported	DRAWING NO.
CHECKED BY	傅忠民	Box-Girder for Ballasted Tracks (double-track, Cast-in-place)	JBHSR-1-RB-C-DR-I-14
REVIEWED BY	张上知	Span: 31.5m (straight line, curve)	DRAWING TYPE
APPROVED BY	施威	Sketch drawing (1)	CONSTRUCTION DRAWING
			SCALE
			1:50
			REVISION
			C1
			PAGE
			10 OF 115
			PAPER SIZE
			A3

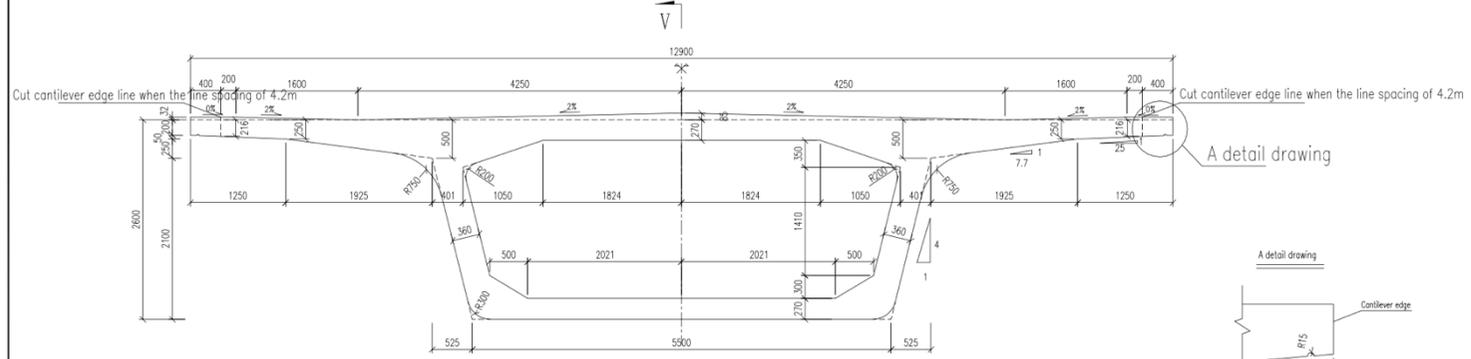


Note:

1. The dimensions of this drawing shall be in millimeters.
2. The distance between the vents is arranged at a spacing of 2m. If it is in contact with the prestressed steel, the position of the vents can be moved appropriately.
3. 20x20mm chamfer should be set at the end plate of the box girder to prevent the concrete from splitting due to compression of the beam body when the box girder is stretched.
4. A bridge nameplate shall be set at each box girder on the large mileage side of the left line, as shown in the drawing.

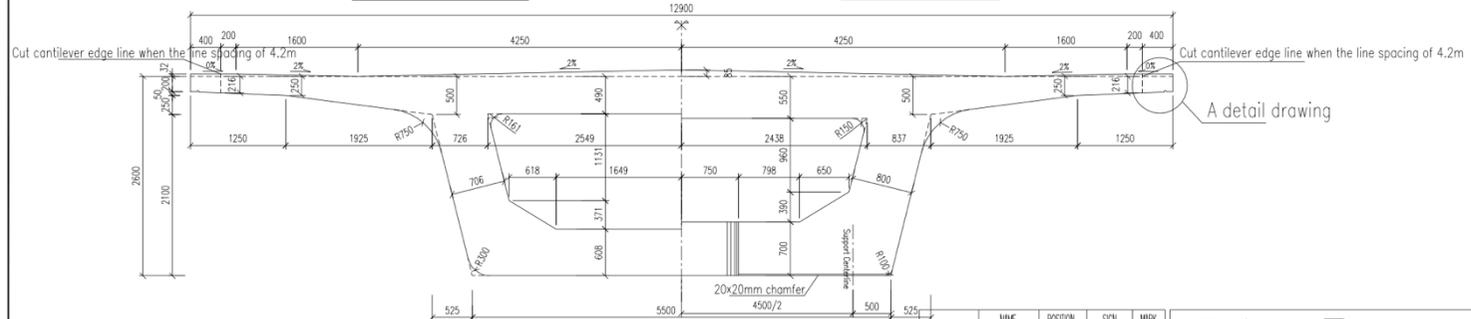
 FOR CONSTRUCTION ORIGINAL	ENDORSED BY	NAME	POSITION	SIGN	MARK	PROJECT CLIENT :  Gedung Wika Lt.5 JLD.I.Panjiatan Kav.9,Jakarta 13340	
		Erwin Lim	Engineer	[Signature]	CD0		
		Wang Xiaobing	Engineer	[Signature]			
	APPROVED BY	Kris Adiwidjawa	Manager	[Signature]	HSRCC		
		Wang Chun	Engineer	[Signature]			
China Railway Design Group Corporation						Jakarta-Bandung High Speed Railway	
DESIGNED BY	马存忠	Post-tensioned Prestressed Concrete Simply Supported				DRAWING NO.	JBHSR-1-RB-C-DR- I -14
CHECKED BY	傅忠民	Box-Girder for Ballasted Tracks (double-track, Cast-in-place)				DRAWING TYPE	CONSTRUCTION DRAWING
REVIEWED BY	张上知	Span: 31.5m (straight line, curve)				SCALE	1:50 REVISION C1
APPROVED BY	杨威	Sketch drawing (2)				PAGE	11 OF 115 PAPER SIZE A3

I - I section



1/2 II - II section

1/2 III - III section



Note:

1. The dimensions of this drawing shall be in millimeters.
2. The distance between the vents is arranged at a spacing of 2m. If it is in contact with the prestressed steel, the position of the vents can be moved appropriately.
3. 20x20mm chamfer should be set at the end plate of the box girder to prevent the concrete from splitting due to compression of the beam body when the box girder is stretched.
4. A bridge nameplate shall be set at each box girder on the large mileage side of the left line, as shown in the drawing.
5. This drawing is applicable to the case of line spacing of 4.2~5.0 m. The data outside the parentheses is applicable to the line spacing of 4.2 m, and the data in the parentheses is applicable to the line spacing more than 4.2 m when the line spacing of 4.2 m. Cut the cantilever according to the dotted line in the figure.

 FOR CONSTRUCTION ORIGINAL	ENDORSED BY	Erwin Lim Engineer	SIGN	MARK	PROJECT CLIENT : PT. Kerinci Gedung Wika Lt.5 J.D.I.Panjiatan Kav.9,Jakarta 13340
	APPROVED BY	Kris Adinibawa Manager			
China Railway Design Group Corporation		Post-tensioned Prestressed Concrete Simply Supported Box-Girder for Ballasted Tracks (double-track, Cast-in-place) Span: 31.5m (straight line, curve)			DRAWING NO. JBHSR-1-RB-C-DR-I-14 DRAWING TYPE CONSTRUCTION DRAWING
DESIGNED BY	马厚福	Post-tensioned Prestressed Concrete Simply Supported Box-Girder for Ballasted Tracks (double-track, Cast-in-place) Span: 31.5m (straight line, curve)			SCALE 1:50
CHECKED BY	傅忠民				REVISION C1
REVIEWED BY	张上知				PAGE 12 OF 115
APPROVED BY	施威	Sketch drawing (3)			PAPER SIZE A3

Lampiran 2 – Gambar Proyek



