

TUGAS AKHIR

**ANALISA PERBANDINGAN KEKUATAN STRUKTUR
JEMBATAN MENGGUNAKAN GELAGAR I TERHADAP
SISTEM BAJA PRATEGANG SEBAGAI FUNGSI
JEMBATAN JALAN RAYA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Sarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MAIMUNA ZEBUA
1507210061



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp. (061) 6623301

Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Maimuna Zebua

Npm : 1507210061

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Perbandingan Kekuatan Struktur Jembatan Menggunakan

Gelagar I Terhadap Sistem Baja Prategang Sebagai Fungsi

Jembatan Jalan Raya

Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 25 September 2019

Pembimbing I

Tondi Amirsyah Putera P, S.T.,M.T

Pembimbing II

Dr. Fahrizal Zulkarnain

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Maimuna Zebua

NPM : 1507210061

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Perbandingan Kekuatan Struktur Jembatan Menggunakan Gelagar I Terhadap Sistem Baja Prategang Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya.

Bidang ilmu : Struktur.

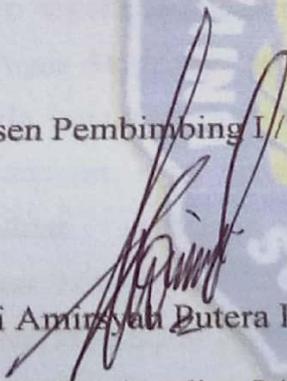
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

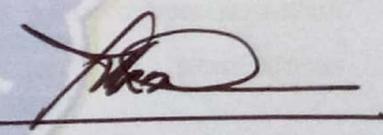
Medan, September 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

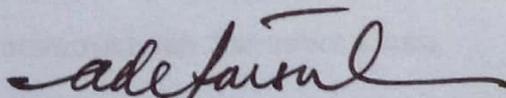
Dosen Pembimbing II / Penguji

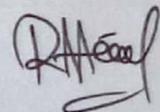

Tondi Amiryan Dutera P, S.T,M.T


Dr. Fahrizal Zulkarnain

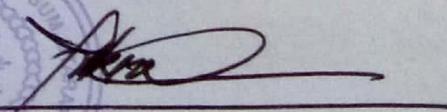
Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji


Dr. Ade Faisal


Rizki Efrida, S.T,M.T

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,


Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Maimuna Zebua
Tempat/Tanggal Lahir : Singkil, 06 Maret 1997
NPM : 1507210061
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Perbandingan Kekuatan Struktur Jembatan Menggunakan Gelagar I Terhadap Sistem Baja Prategang Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan, kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2019
Saya yang menyatakan,



Maimuna Zebua

ABSTRAK

ANALISA PERBANDINGAN KEKUATAN STRUKTUR JEMBATAN MENGUNAKAN GELAGAR I TERHADAP SISTEM BAJA PRATEGANG SEBAGAI FUNGSI JEMBATAN JALAN RAYA

Maimuna Zebua

1507210061

Tondi Amirsyah P Pulungan, S.T, M.T

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Jembatan merupakan bagian dari prasarana transportasi yang berfungsi sebagai penghubung jalan yang terputus baik karena kondisi alam maupun karena sebab lainnya seperti (sungai, darat, laut, lembah, prasarana transportasi lainnya). Gelagar baja prategang adalah gelagar baja yang dipasang kabel prestress (tendon) seperti halnya pada beton prategang. Pemasangan tendon pada gelagar baja dilakukan diluar penampang profil sehingga disebut *external prestressing*. Struktur jembatan ini direncanakan sebagai fungsi jembatan jalan raya. Struktur jembatan menggunakan gelagar baja profil *I* dengan bentang 40 m dan lebar 9 m. Perencanaan jembatan mengacu pada AASHTO 2012, peraturan tentang pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725-2016 dan peraturan tentang beban gempa berdasarkan SNI 2833-2016. Analisa ini bertujuan untuk membandingkan kekuatan *I girder* baja sebelum dan sesudah diberi gaya prategang terhadap lendutan dan kekuatan. Analisa ini dimodelkan dengan menggunakan bantuan *software* Analisa Struktur. Hasil analisa didapat nilai terbesar dari lendutan sebesar 0,001524 m, momen sebesar 17715,916 kN.m, dan gaya geser sebesar 788,9459 kN. Sehingga jembatan *I girder* menggunakan tendon lebih efisien dibanding tanpa tendon.

Kata kunci: jembatan jalan raya, *I girder* baja, prategang, kekuatan, lendutan.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF BRIDGE STRUCTURE USING GIRDER I TO PRESTRESSED STEEL SYSTEM AS A FUNCTION OF HIGHWAY CONSTRUCTION

Maimuna Zebua

1507210061

Tondi Amirsyah P Pulungan, S.T, M.T

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Bridge is part of the transportation infrastructure that functions as a connecting road that is cut off either due to natural conditions or due to other causes such as (rivers, land, sea, valleys, other transportation infrastructure). Pre-stressed steel girder is a steel girder with prestress (tendon) cables as in prestressed concrete. The installation of tendons in steel girder is done outside the profile section so it is called external prestressing. This bridge structure is planned as a function of the highway bridge. The bridge structure uses a steel girder profile I with a span of 40 m and a width of 9 m. Bridge planning refers to AASHTO 2012, regulations on bridge loading based on SNI 1725-2016 and regulations on earthquake loads based on SNI 2833-2016. This analysis aims to compare the strength of girder I steel before and after being given a bias force against deflection and strength. This analysis is modeled using the help of software Structure Analysis. The analysis results obtained the greatest value of deflection of 0.001524 m, moments of 17715.916 kN.m, and shear forces of 788.9459 kN. So bridge I girder uses tendons more efficiently than without tendons.

Keywords: highway bridge, I girders steel, prestressing, strength, deflection.

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga atas barokah dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai mana yang diharapkan.

Adapun judul dari tugas akhir ini adalah “Analisa Perbandingan Kekuatan Struktur Jembatan Menggunakan Gelagar I Terhadap Sistem Baja Prategang Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya”. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat menyelesaikan jenjang keserjanaan Strata 1 pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah P pulungan, S.T,M.T. selaku Dosen Pembimbing - I dalam penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembimbing - II dalam penulisan Tugas Akhir ini dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen pembanding - I dalam penulisan Tugas Akhir ini dan Wakil Dekan - I Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Rizki Efrida, S.T,M.T. selaku Dosen Pembanding - II dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak dan Ibu staf pengajar dan Pegawai Biro Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teristimewa penulis ucapkan kepada ayahanda tercinta M. Dalman Zebua dan ibunda tercinta Jasmainar yang juga yang telah sabar mendidik, membimbing, mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi

sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah SWT memberikan keberkahannya kepada kita semua dan masuk kedalam surga - Nya. Amin.

8. Buat saudari saya tercinta Aminah Zebua, S.Pd, Delsi jusmiati, S.Pd, Rika Puspaliani Zebua, dan Asma Rahmadhani Zebua, dan abang ipar saya Rudi Syahputra, S.Sos terima kasih telah ikut peran mensupport saya dengan semangat dan doanya dalam penyusunan skripsi ini.
9. Buat Dian Ramadhan, S.T yang telah meluangkan waktu serta memberi do'a dan motivasi selama penyelesaian skripsi ini.
10. Kepada sahabat-sahabat saya Alprida ginting, Azura, Desy liansa, Riska diana yang telah mensuport, memberi motivasi, kerjasama dan kebersamaan serta bantuan yang berarti dalam proses penyusunan skripsi dan semoga kita kelak menjadi orang sukses kedepannya dan selalu ingat pertemanan kita kapan pun itu dalam keadaan suka maupun duka.
11. Buat teman saya Asma Wati Bancin, Rizki Juanda, Fadhillah Khairul Rizal, kelas Teknik Sipil A1 pagi dan seluruh teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu terimakasih atas dukungan dan kerjasamanya selama ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dikarenakan keterbatasan waktu serta kemampuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Amin....

Wassalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, September 2019
Penulis,

Maimuna Zebua
1507210061

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Jembatan	5
2.1.1. Umum	5
2.1.2. Jembatan komposit	6
2.2. Gelagar/ <i>I girder</i> baja (<i>Steel Girder</i>)	7
2.2.1. perencanaan <i>I girder</i> baja	8
2.3. Prategang	21
2.3.1. Definisi prategang	21
2.3.2. Gelagar baja prategang (<i>prestressed steel girder</i>)	21
2.3.3. Prinsip mekanika dan konsep dasar	21
2.3.4. Kondisi tegangan	25
2.3.4.1. Batas-batas tegangan serat atas dan serat bawah	25
2.3.5. Perencanaan kabel prategang	26

2.3.6.	Lendutan balok prategang	27
2.3.7.	Prategang external (PE)	27
2.3.8.	Kehilangan gaya prategang	29
2.3.9.	Gelagar jembatan prategang	31
2.4.	Material	31
2.4.1.	Baja	31
2.5.	Syarat Perencanaan Jembatan	34
2.5.1.	Ketentuan Umum	34
2.6.	Pembebanan Pada Jembatan	38
2.6.1.	Beban Permanen	39
2.6.2.	Beban lalu lintas	41
2.6.2.1.	Lajur lalu lintas rencana	41
2.6.2.2.	Beban truk “T” (<i>TT</i>)	45
2.6.3.	Klasifikasi Pembebanan Lalu Lintas	47
2.6.4.	Faktor beban dinamis	47
2.6.5.	Gaya Rem (TB)	48
2.6.6.	Pengaruh tetap pelaksanaan	48
2.6.7.	Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)	49
2.6.8.	Pengaruh prategang (PR)	49
2.6.9.	Beban Lingkungan	51
2.6.9.1.	Beban angin	51
2.6.9.2.	Beban gempa	54
2.6.10.	Temperatur merata (EUn)	63
2.6.11.	Pengaruh getaran	65
BAB 3	METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN	67
3.1.	Metodologi penelitian	67
3.2.	Metode analisis	68
3.3.	Uraian metode	68
3.3.1.	Pengumpulan data	68
3.3.2.	Data material struktur jembatan	68
3.4.	Konfigurasi struktur jembatan	69
3.5.	Desain <i>I girder</i> baja	69

3.5.1. Penentuan dimensi <i>I girder</i> baja	69
3.6. Kabel prategang (Tendon)	72
3.7. Kolom (<i>Pier</i>)	72
3.8. Perletakan (<i>bearing</i>)	73
3.9. Pemodelan struktur	73
3.10. Analisis pembebanan pada jembatan	74
3.10.1. Berat sendiri (MS)	74
3.10.2. Beban mati tambahan (MA)	77
3.10.3. Beban hidup	78
3.10.4. Gaya rem (TB)	80
3.10.5. Beban untuk pejalan kaki (TP)	81
3.10.6. Beban lingkungan	82
3.10.6.1. Beban angin	82
3.10.6.2. Pengaruh temperatur (ET)	84
3.10.6.3. Beban Gempa	85
3.11. Kombinasi pembebanan	89
3.12. Perencanaan prategang	89
3.12.1. Kondisi awal saat transfer	90
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	93
4.1. Tinjauan umum	93
4.2. Hasil analisa	93
4.2.1. Hasil analisis lendutan	93
4.2.2. Hasil analisis periode getar	95
4.2.3. Pemeriksaan konstruksi kondisi batas ultimit	97
4.2.3.1. Perhitungang kekuatan gelagar terhadap momen	98
4.2.3.2. Perhitungan kekuatan gelagar terhadap gaya geser	101
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1. Kesimpulan	104
5.2. Saran	104

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Tipikal baja prategang	33
Tabel 2.2	: Kombinasi beban dan faktor beban (SNI 1725:2016)	36
Tabel 2.3	: Beban Rencana Jembatan	37
Tabel 2.4	: Berat isi untuk beban mati	38
Tabel 2.5	: Faktor beban untuk berat sendiri	39
Tabel 2.6	: Faktor beban untuk beban mati tambahan	40
Tabel 2.7	: Jumlah lajur lalu lintas rencana	41
Tabel 2.8	: Faktor beban untuk lajur “D”	42
Tabel 2.9	: Faktor beban untuk beban “T”	44
Tabel 2.10	: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan	49
Tabel 2.11	: Faktor beban akibat pengaruh prategang	49
Tabel 2.12	: Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi permukaan hulu	51
Tabel 2.13	: Tekanan angin dasar	51
Tabel 2.14	: Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang	52
Tabel 2.15	: Komponen beban angin yang beerja pada kendaraan	53
Tabel 2.16	: Penjelasan peta gempa	56
Tabel 2.17	: Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a) (SNI 2833: 2016)	58
Tabel 2.18	: Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)	58
Tabel 2.19	: Zona gempa	60
Tabel 2.20	: Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah	61
Tabel 2.21	: Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur	61
Tabel 2.22	: Temperatur jembatan rata-rata nominal	62
Tabel 2.23	: Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	62
Tabel 2.24	: Parameter $T1$ dan $T2$	63
Tabel 3.1	: Spesifikasi <i>elastomeric bearing pad</i>	72
Tabel 3.2	: Berat isi untuk beban mati	73
Tabel 3.3	: Pemakaian jumlah <i>strands</i> Tendon	90
Tabel 4.1	: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan I girder baja	92

Tabel 4.2	: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan baja prategang dengan bentuk parabola	93
Tabel 4.3	: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan baja prategang dengan bentuk <i>poligon double king pose</i>	93
Tabel 4.4	: Nilai periode getar (T) pada jembatan <i>I girder</i> baja	94
Tabel 4.5	: Tabel perioda getar (T) pada jembatan baja prategang bentuk parabola	95
Tabel 4.6	: Tabel perioda getar (T) pada jembatan baja prategang bentuk <i>poligon double king pose</i>	95
Tabel 4.7	: Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum	98
Tabel 4.8	: Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum	99
Tabel 4.9	: Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Balok komposit baja-beton	6
Gambar 2.2	: Komponen Jembatan komposit I girder	7
Gambar 2.3	: I girder baja	8
Gambar 2.4	: Tendon konsentris, gaya prategang P dan beban merata	23
Gambar 2.5	: Gelagar baja prategang	24
Gambar 2.6	: Prinsip kerja prategang	24
Gambar 2.7	: Tendon parabola	24
Gambar 2.8	: Tegangan akibat prategang, beban mati dan beban terpasang	26
Gambar 2.9	: Beberapa pola penempatan tendon	28
Gambar 2.10	: Gelagar beton prategang	31
Gambar 2.11	: Jenis-jenis baja yang digunakan untuk prategang	33
Gambar 2.12	: Beban Lajur “D”	43
Gambar 2.13	: Alternatif Penempatan Beban “D” Dalam Arah Memanjang	44
Gambar 2.14	: Pembebanan truk T (500 kN)	45
Gambar 2.15	: Penempatan Beban Truk Untuk Kondisi Momen Negatif Maksimum	46
Gambar 2.16	: Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Untuk Pembebanan Lajur D”. (Sumber: SNI 1725-2016)	49
Gambar 2.17	: Percepatan puncak di buatuan dassar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	55
Gambar 2.18	: Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	56
Gambar 2.19	: Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	56
Gambar 2.20	: Bentuk tipikal respons spektra di permukaan tanah	60
Gambar 2.21	: Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja (Nasional, 2016)	65
Gambar 2.22	: Lendutan akibat getaran jembatan	66
Gambar 3.1	: Diagram alir perencanaan	67

Gambar 3.2	: Dimensi balok girder	69
Gambar 3.3	: Pier	72
Gambar 3.4	: Tampak 3D struktur jembatan model 1 pada software	73
Gambar 3.5	: Tampak 3D struktur jembatan model 2 pada software	74
Gambar 3.6	: Beban trotoar pada software	75
Gambar 3.7	: Tiang sandaran/pembatas	75
Gambar 3.8	: Beban tiang sandaran pada software	76
Gambar 3.9	: Beban aspal pada software	77
Gambar 3.10	: Genangan air pada software	78
Gambar 3.11	: Input beban garis terpusat pada software	79
Gambar 3.12	: Pembebanan truk “T”(Nasional, 2005)	80
Gambar 3.13	: Input beban rem (TB) pada software	81
Gambar 3.14	: Beban pejalan kaki (TP) pada software	82
Gambar 3.15	: Beban angin struktur atas pada software	83
Gambar 3.16	: Beban angin kendaraan pada software	84
Gambar 3.17	: Input temperatur gradien pada software	85
Gambar 3.18	: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk kota Medan	86
Gambar 3.19	: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk kota Medan	86
Gambar 3.20	: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk kota Medan	87
Gambar 3.21	: Grafik respon spectrum	88
Gambar 3.22	: Pemodelan respon spectrum pada software	89
Gambar 3.23	: Tabel jenis dan karakteristik tendon	90
Gambar 3.24	: Posisi tendon pada girder	92
Gambar 3.25	: Lintasan tendon	92
Gambar 4.1	: Grafik perbandingan nilai lendutan pada jembatan baja prategang dan tanpa prategang	95
Gambar 4.2	: Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada jembatan baja prategang dan jembatan tanpa prategang	97
Gambar 4.3	: Perbandingan nilai momen ultimit (Mu) pada jembatan baja prategang dan tanpa prategang	101
Gambar 4.4	: Perbandingan nilai gaya geser ultimit (Vu) yang terjadi pada jembatan baja prategang dan tanpa prategang	103

DAFTAR NOTASI

D	= tinggi <i>web</i>
L	= panjang bentang terpanjang
E	= modulus elastisitas baja (MPa)
F_y	= tegangan leleh baja (MPa)
F_u	= tegangan putus baja (MPa)
n	= nilai rasio modular
E_s	= modulus elastis baja (MPa)
E_c	= modulus elastis beton (MPa)
M_y	= momen leleh (kN.m)
M_{D1}	= momen gelagar baja (kN.m)
M_{D2}	= momen komposit jangka panjang (kN.m)
M_{D3}	= momen komposit jangka pendek (kN.m)
M_{AD}	= momen komposit jangka pendek (kN.m)
f_{bu}	= tegangan total (MPa)
f	= tegangan lentur (MPa)
$(f_{bu})_{CLL}$	= tegangan akibat beban konstruksi (MPa)
M_{CLL}	= momen akibat beban konstruksi (kN.m)
S_{NC}	= modulus penampang gelagar baja (m ³)
S_{LT}	= modulus penampang komposit untuk beban jangka panjang (m ³)
S_{ST}	= modulus penampang komposit untuk beban jangka pendek (m ³)
γ	= faktor beban
ΔV_u	= gaya geser vertikal (kN/m)
V_u	= gaya geser ultimit (kN)
ΔV_H	= gaya geser horizontal (kN/m)
M_{LAT}	= momen lentur lateral (kN/m)
s	= jarak pengikat (m)
S_f	= modulus penampang pelat saap atas (m ³)
t_{tf}	= tebal pelat sayap atas (m)
b_{tf}	= lebar pelat sayap atas (m)

t_w	= lebar pelat badan (m)
f_{LAT}	= tegangan lentur lateral (MPa)
D_c	= tinggi elastis pelat badan (m)
Y_t	= tinggi dari penampang atas ke sumbu netral (m)
S	= kemiringan pelat badan
r_t	= jari-jari girasi(m)
L_p	= batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral (m)
L_r	= batas panjang minimal tanpa pengikat lateral (m)
L_b	= panjang antara pengikat lateral (m)
C_b	= faktor momen gradient
R_b	= faktor beban pelat badan
F_{cr}	= tegangan tekuk torsi lateral elastis (MPa)
AF	= faktor amplifikasi
T_w	= tebal pelat badan (m)
λ_f	= rasio kelangsingan pelat sayap atas
λ_{pf}	= rasio kelangsingan sayap kompak
λ_{rf}	= rasio kelangsingan sayap tidak kompak
k	= koefisien tekuk
φ_f	= faktor reduksi kekuatan lentur
R_h	= faktor hybrid
f_t	= tegangan lentur lateral akibat beban kantilever (MPa)
F_{nc}	= tekanan lentur nominal daerah tekan (MPa)
F_{crw}	= tegangan tekuk pada pelat badan (MPa)
Δ	= faktor St. Venant
D_{CP}	= tinggi garis netral plastis (m)
M_p	= momen plastis
M_n	= momen lentur
M_u	= momen ultimite
V_u	= gaya geser ultimit
V_n	= gaya geser nominal
ϕ_v	= faktor resistance untuk gaya geser

V_p	= gaya geser plastis
V_{cr}	= gaya geser resistensi
d_o	= jarak pengaku melintang
C	= rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi
f	= tegangan
A	= luas penampang
y	= titik berat penampang
I	= momen inersia bruto penampang
e	= jarak eksentrisitas dari centroid ke pusat gaya prategang
P	= gaya tekan konsentris
Wb	= beban merata kearah atas, akibat gaya prategang F
H	= tinggi parabola lintasan kabel prategang
P	= gaya prategang
μ	= koefisien geser tendon
ANC	= kehilangan gaya prategang akibat slip di pengangkuran
d	= penyetelan angkur
K_{RE}	= koefisien relaksasi
J	= faktor waktu (0.05-0.15)
C	= faktor relaksasi
PGA	= Percepatan puncak batuan dasar
Ss	= Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek (T=0.2 detik)
SS	= Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik
S1	= Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik
MS	= Beban mati komponen <i>structural</i> dan <i>non structural</i> jembatan
MA	= Beban mati perkerasan dan utilitas
PL	= Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan
PR	= Prategang
TB	= Gaya akibat rem
TC	= Gaya akibat tumbukan kendaraan

EQ	= Gaya gempa
BF	= Gaya friksi
TD	= Beban lajur “D”
TT	= Beban truk “T”
TP	= Beban pejalan kaki
SE	= Beban akibat penurunan
ET	= Gaya akibat temperatur gradien
EU _n	= Gaya akibat temperatur seragam
EW _s	= Beban angin pada struktur
EW _L	= Beban angin pada kendaraan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang transportasi semakin maju dan pesat, sehingga saat ini pembangunan infrastruktur transportasi menjadi prioritas penting bagi pemerintah untuk memajukan daerah atau negara. Salah satu infrastruktur yang berkembang saat ini adalah jembatan. Jembatan adalah bagian yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah dan laut. Jembatan sangat berfungsi terhadap kehidupan manusia yang mempunyai arti penting bagi setiap manusia. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi setiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik (Witriyatna, dkk.2018)

Pada awalnya jembatan dibangun dengan sangat sederhana menggunakan material kayu. Namun, seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, jembatan mulai dibangun dengan menggunakan material beton, beton yang dikompositkan dengan baja, dan material baja. Teknologi baja juga terus dikembangkan sehingga orang-orang mulai membangun jembatan menggunakan profil baja dan pelat baja. Baja merupakan material yang sangat kuat menahan gaya tarik tetapi tidak kuat menahan gaya tekan.

Penggunaan gelagar baja untuk jembatan sampai saat ini masih digunakan untuk bangunan jembatan bentang menengah. Pada dasarnya jembatan baja dirancang sesuai dengan kebutuhan arus lalu lintas yang dilayaninya. Seiring dengan perkembangan jaman, jumlah penduduk semakin meningkat, yang diiringi dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan arus lalu lintas yang cukup pesat, ditambah lagi dengan diciptakannya kendaraan dengan bobot yang makin besar, Sehingga ada kalanya sebuah jembatan lama yang dirancang dengan lalu lintas rendah dan daya dukung rendah tidak sanggup melayani kapasitas arus lalu lintas, sehingga perlu diperkuat untuk menambah daya dukungnya. Berbagai macam cara digunakan untuk memperbesar daya dukung gelagar baja pada jembatan, salah satunya adalah dengan penggunaan kabel prategang (*external prestressing*) pada

profil baja, yang disebut juga gelagar baja prategang (*prestressed steel girder*). Gelagar baja prategang adalah gelagar baja yang dipasang kabel prestress (tendon) sepertihalnya pada beton pratekan. Pemasangan tendon pada gelagar baja dilakukan diluar penampang profil sehingga disebut *External Prestressing*. Dengan cara ini, akan menghasilkan momen negatif yang akan mengurangi momen positif, sehingga dapat menambah daya dukung gelagar baja (Simamora dan Handana, n.d.)

Untuk itu perlu dikembangkan dan dilakukan penyelidikan untuk menentukan desain gelagar baja prategang yang ekonomis dan mampu menahan beban yang besar. Sistem gelagar baja prategang, dapat diaplikasikan pada jembatan baru maupun perkuatan terhadap jembatan baja yang sudah terpasang. Prinsip kerja dari baja prategang sama halnya dengan beton prategang yaitu dengan memberikan tegangan awal pada bagian bawah penampang balok, yaitu dengan memberikan tegangan lawan dari tegangan akibat berat sendiri dan beban hidup dengan memberikan penarikan kabel pada gelagar baja, dimana sebelum dibebani tegangan pada bagian bawah balok adalah negatif, dan setelah dibebani menjadi positif (Troitsky.,1990).

Pada penelitian ini, akan diperlihatkan analisis perhitungan jembatan gelagar baja profil I dengan ukuran panjang bentang 40 m. Beban-beban yang diperhitungkan adalah mengacu pada SNI T-02-2005 “Standar Pembebanan Untuk Jembatan“, jembatan ditinjau merupakan jembatan untuk jalan raya, “Pembebanan Untuk Jembatan “SNI 1725:2016”. Pada penelitian ini juga akan dilakukan perbandingan kekuatan struktur jembatan dengan sistem baja prategang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun yang menjadi rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana menganalisa gelagar baja (profil I) yang diperkuat dengan gaya prategang?
2. Bagaimana perbandingan kekuatan *I girder* baja sebelum dan sesudah diberi gaya prategang?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis gelagar baja prategang yang kuat dengan cara prekuatan kabel prategang.
2. Menganalisis perbandingan jembatan *I girder* baja sebelum dan sesudah diberi gaya prategang terhadap lendutan dan kekuatan.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Analisis ditinjau pada struktur adalah keseluruhan struktur kecuali pondasi dan abutment.
2. Perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016.
3. Analisis jembatan jalan raya yang direncanakan adalah bentang 40 m.
4. Perencanaan tidak menghitung struktur bawah.
5. Tidak melakukan analisa dari segi biaya dan waktu.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengaplikasikan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil dan Lingkungan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan atau alternatif pemilihan metode pengerjaan yang lebih efektif dalam teknik perencanaan struktur jembatan jalan raya, terkhusus yang menggunakan gelagar *I* dengan sistem baja prategang.

1.6. Sistematika Penulisan

Proposal penelitian atau skripsi ini terdiri dari lima bab yang direncanakan dan diharapkan dapat menjelaskan perihal topik bahasan, yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang permasalahan, identifikasi dan rumusan permasalahan, ruang lingkup pembahasan, tujuan dilakukannya penelitian dan manfaat penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori tentang *gelagar baja (profil I)*, metode analisa yang akan digunakan serta ketentuan dalam desain yang harus dipenuhi sesuai syarat.

BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan sesuai dengan analisis terhadap studi literatur dan berisi saran untuk pengembangan lebih lanjut yang baik di masa yang akan datang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jembatan

2.1.1. Umum

Jembatan merupakan bagian dari prasarana transportasi yang berfungsi sebagai penghubung jalan yang terputus karena rintangan seperti sungai, danau, lembah, laut, jalur rel kereta api, yang melintas tidak sebidang. Dan jembatan merupakan bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai jalur lalu lintas yang harus dilengkapi dengan sistem drainase dan ruang untuk menempatkan utilitas (Witriyatna, dkk. 2018).

Secara umum konstruksi suatu jembatan terdiri dari bangunan atas, bangunan bawah dan fondasi. Bagian struktur atas terdiri dari balok utama (*girder*), diafragma, pelat lantai kendaraan, dan trotoar. Bagian dari bawah jembatan pada umumnya meliputi pangkal jembatan (*abutment*), pilar jembatan (*pier*), dan fondasi. Struktur atas jembatan merupakan bagian yang berfungsi menerima beban secara langsung, meliputi berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, beban pejalan kaki dan sebagainya. Sedangkan struktur bawah jembatan berfungsi untuk memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air, gesekan pada tumpuan, dan sebagainya (Suryanita, dkk. 2017).

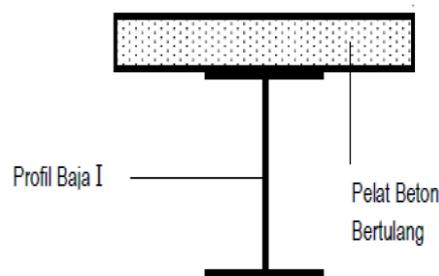
Jembatan jalan raya sebagai elemen yang penting dalam sistem transportasi darat harus dapat menanggung volume lalu-lintas yang akan datang sesuai dengan umur rencana dan beban yang terjadi. Pada perancangan jembatan harus diperhitungkan semua parameter sehingga kapasitas struktur dan biaya pembangunan menjadi seimbang. Selain itu juga harus dipertimbangkan masalah keselamatan baik pada saat pelaksanaan maupun pada saat penggunaan jembatan tersebut sesuai dengan umur rencana.

2.1.2. Jembatan komposit

Unsur komposit dalam lentur terdiri dari gelagar baja dan lantai beton, tahapan geser antara permukaan lantai dan gelagar diadakan dengan hubungan mekanikal. Kekuatan lentur gelagar komposit ditentukan dengan rencana keadaan batas ultimit (Supriyadi, B dan Muntohar, 2007).

Jembatan komposit merupakan perpaduan antara dua bahan yang sama atau berbeda dengan memanfaatkan sifat menguntungkan dari masing-masing bahan tersebut, sehingga kombinasinya akan menghasilkan elemen struktur yang lebih efisien. Penampang komposit adalah penampang yang terdiri dari profil baja dan beton digabung bersama untuk memikul beban tekan dan lentur. Batang yang memikul lentur umumnya disebut dengan balok komposit sedangkan batang yang memikul beban tekan, tekan dan lentur umumnya disebut dengan kolom komposit. Penampang komposit mempunyai kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan penampang lempeng beton dan gelagar baja yang bekerja sendiri-sendiri dan dengan demikian dapat menahan beban yang lebih besar atau beban yang sama dengan lenturan yang lebih kecil pada bentang yang lebih panjang (Cahyaka, dkk. 2018).

Yang dimaksud dengan sistem komposit (gabungan) adalah sistem konstruksi yang terdiri lebih dari dua bahan/material dan mempunyai kerjasama diantara material tersebut dalam memikul beban yang bekerja. Sistem komposit yang dipelajari: sistem komposit bahan (profil) baja dengan plat beton bertulang, sebagai contoh: pada bangunan gedung dan jembatan. Sistem lantai beton dengan permikul yang berupa balok (profil) baja banyak sekali dijumpai sehingga diperlukan desain yang efisien untuk mendapatkan sistem struktur yang ekonomis.



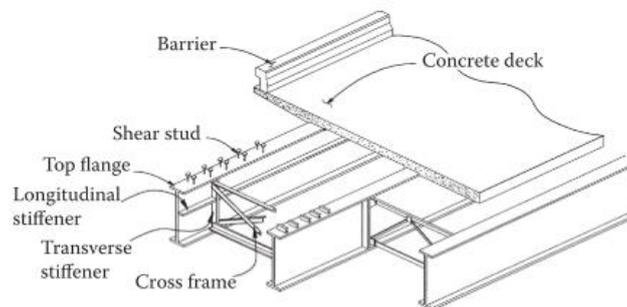
Gambar 2.1: Balok komposit baja-beton.

Keuntungan konstruksi jembatan komposit:

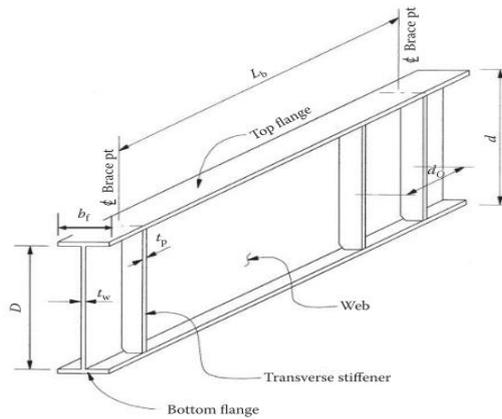
- a. Profil baja dapat dihemat menjadi 20-30% dibanding dengan sistem balok *non*- komposit.
- b. Penampang/tinggi profil lebih rendah.
- c. Kekuatan lantai beton semakin tinggi karena komposit menyatu dengan gelagar baja memanjang sehingga pelendutan plat lantai/komposit semakin kecil.
- d. Panjang bentang untuk bentang tertentu semakin besar, artinya dengan sistem komposit baja dan beton untuk penampang yang sama dapat memberikan momen pikul yang lebih besar.
- e. Kapasitas daya pikul beban bertambah dibandingkan dengan plat beton yang bebas diatas gelagar baja.

2.2. Gelagar/*I girder* baja (*Steel Girder*)

I girder merupakan bentuk yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan balok jembatan. Profil *I girder* berbentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dari bagian tepinya. Profil *I girder* memiliki jenis penampang yang lebih kecil dibandingkan jenis *girder* lainnya, sehingga biasanya dari hasil analisa merupakan penampang yang ekonomis. Profil *I girder* juga memiliki berat sendiri yang relatif lebih ringan per unitnya (Chen, 2003). Gambar *I girder* baja dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2: Komponen Jembatan komposit *I girder*.



Gambar 2.3: *I girder* baja.

2.2.1. Perencanaan *I girder* baja

1. Penentuan tinggi *I girder*

Dalam penentuan *I girder* telah dilakukan banyak studi dan penelitian untuk menentukan syarat kinerja dalam menahan momen dan gaya yang terjadi. Tinggi *I girder* mempengaruhi berat keseluruhan. Penentuan tinggi *I girder* sangat menentukan untuk biaya desain. Dalam AASHTO dijelaskan untuk menentukan tinggi *I girder* yaitu sebesar:

$$D = 0,033L$$

Dimana L adalah bentang terpanjang dari jembatan.

2. Penentuan dimensi *I girder*

Penentuan dimensi *I girder* dalam AASHTO 6th EDITION 2012 terdapat dalam artikel 6.11.2 yang terpapar di bawah ini:

➤ Untuk *web* :

Ketebalan *web* minimal

$$\frac{D}{t_w} \leq 15 \tag{2.1}$$

Dimana: $D =$ tinggi *web*

$t_w =$ tebal *web*

➤ Untuk *flange* :

- Lebar *flange* yang digunakan

$$b_{tf} \geq \frac{D}{t_w} \tag{2.2}$$

atau digunakan rumus perbandingan yang lain

$$b_{tf} \geq \frac{D}{6} \quad (2.3)$$

Dimana:

L = panjang bentang terpanjang

- Lebar *flange* minimum yang digunakan

$$t_{tf} \geq 1,1 t_w \quad (2.4)$$

Dimana:

t_w = tebal *web*

Untuk pengecekan struktur gelagar digunakan rumus

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \leq 12 \quad (2.5)$$

Dimana:

b_f = lebar *flange*

t_f = tebal *flange*

3. Menentukan rasio modular

Slab pada penampang komposit ditransformasikan menjadi baja ekuivalennya. Proses transformasi ini dengan menggunakan suatu nilai rasio modular (n) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara modulus elastis baja (E_s) dengan modulus elastis beton (E_c) yang dapat dilihat dalam artikel 6.10.1.1.1b (OFICIALS., 2012).

Analisis penampang *I girder* baja dihitung dengan kondisi komposit untuk beban jangka pendek ($k=1$) dan komposit untuk beban jangka panjang ($k=3$). Aksi komposit dipengaruhi oleh nilai rasio modular yang diperoleh dari perbandingan antara modulus elastis baja dengan modulus elastis beton. Untuk kondisi komposit untuk beban jangka pendek, nilai rasio modular ditentukan sebagai berikut:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.6)$$

Dimana:

n = nilai rasio modular

E_s = modulus elastis baja (MPa)

E_c = modulus elastis beton (MPa)

Dalam perancangan jembatan diperlukan perhitungan analisis penampang untuk mendapatkan momen inersia dan modulus penampang. Perhitungan analisis penampang terdiri dari kondisi gelagar baja, komposit untuk beban jangka pendek dan komposit jangka panjang.

a. Analisis penampang gelagar baja

Penampang di analisis dalam kondisi *non*-komposit yaitu hanya penampang gelagar baja tanpa rasio modular.

b. Analisis penampang komposit untuk beban jangka pendek, $k = 1$

Penampang di analisis dalam kondisi komposit untuk beban jangka pendek dengan rasio modular sebesar (n)

c. Analisis penampang komposit untuk beban jangka panjang, $k = 3$

Penampang dianalisis dalam kondisi komposit untuk beban jangka panjang dengan rasio modular sebesar ($3n$)

4. Metode pelaksanaan

Dalam perancangan komposit ada dua macam metode pelaksanaan yang biasa digunakan, yaitu dengan penunjang (*shored construction*) dan tanpa penunjang (*unshored construction*). Perbedaan kedua metode pelaksanaan sangat pengaruh pada dukungan beban.

- Metode pelaksanaan dengan penunjang (*shored construction*)

Dalam metode ini dapat mengurangi tegangan beban daya layan, dengan menumpukkan balok-balok baja pada perancah (*shoring*), sehingga berat balok, bekisting, dan beton basah dipikul oleh perancah. Setelah beton mengeras dan perancah dilepas, penampang akan berperilaku secara komposit dalam mendukung beton.

- Metode pelaksanaan tanpa penunjang (*unshored construction*)

Dalam metode ini, gelagar baja ditempatkan terlebih dahulu dan akan mendukung berat sendiri, berat *slab* beton, dan berat bekisting selama beton belum mengeras. Setelah beton mengeras dan perancah dilepas, penampang akan berperilaku secara komposit dalam mendukung beban.

5. Momen plastis

Momen plastis merupakan besaran momen yang dihitung dari kekuatan yang dihasilkan oleh *web*, *flange*, dan tulangan beton. Gaya plastis yang terjadi pada penampang *slab* beton diasumsikan besarnya sama dengan $0,85 f'c$. Momen plastis pada bagian komposit lentur positif dapat ditentukan dengan:

- Menghitung kekuatan elemen pada jembatan untuk menentukan letak sumbu netral plastis.
- Menentukan lokasi sumbu netral plastis dalam elemen.
- Menghitung nilai momen plastis (M_p) untuk berbagai lokasi potensial sumbu netral plastis yang disajikan pada Pers. 2.7 dan 2.8 berikut:

$$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_r} + 1 \right] \quad (2.7)$$

$$\bar{Y} = \frac{P_c}{2t_c} [\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2] + [P_s d_s + P_w d_w + P_t d_t] \quad (2.8)$$

6. Momen leleh

Momen leleh adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mencapai kuat leleh yaitu diambil sama dengan kuat leleh dikalikan dengan modulus penampang. Momen leleh diperoleh dari Pers. 2.9 sebagai berikut:

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD} \quad (2.9)$$

Dimana:

F_y = kuat leleh baja (MPa)

M_y = momen leleh (kN.m)

M_{D1} = momen gelagar baja (kN.m)

M_{D2} = momen komposit jangka panjang (kN.m)

M_{AD} = momen komposit jangka pendek (kN.m)

7. Kondisi batas ultimit gelagar baja

Pemeriksaan struktur gelagar seperti pelat sayap atas, pelat badan dan pelat sayap bawah perlu diperiksa dalam kondisi batas ultimit untuk menghindari kegagalan masing-masing komponen tersebut dalam menahan

gaya ultimit yang terjadi. Pemeriksaan tersebut dilakukan dengan mencari tegangan total yang terjadi pada struktur gelagar.

Menurut pedoman AASHTO LRFD 2012, untuk mencari tegangan total pada masing-masing struktur gelagar ditentukan dengan Pers. 2.10 – 2.15 berikut ini:

a. Pelat sayap atas

$$f = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{D3}}{S_{ST}} \quad (2.10)$$

$$(f_{bu})_{CLL} = \frac{\gamma M_{CLL}}{S_{ST}} \quad (2.11)$$

$$f_{bu} = f + (f_{bu})_{CLL} \quad (2.12)$$

b. Pelat sayap bawah

$$f = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{D3}}{S_{ST}} \quad (2.13)$$

$$(f_{bu})_{CLL} = \frac{n\gamma M_{CLL}}{S_{ST}} \quad (2.14)$$

$$f_{bu} = f + (f_{bu})_{CLL} \quad (2.15)$$

Dimana:

f_{bu} = tegangan total (MPa)

f = tegangan lentur (MPa)

M_{D1} = momen *non*--komposit/gelagar baja (kN.m)

M_{D2} = momen komposit jangka panjang (kN.m)

M_{D3} = momen komposit jangka pendek (kN.m)

M_{CLL} = momen akibat beban konstruksi (kN.m)

S_{NC} = modulus penampang gelagar baja (m³)

S_{LT} = modulus penampang komposit untuk beban jangka panjang (m³)

S_{ST} = modulus penampang komposit untuk beban jangka pendek (m³)

γ = faktor beban

8. Lentur lateral pelat sayap atas

Untuk perhitungan tegangan lentur lateral pada sayap atas dilakukan dengan cara merubah gaya geser vertikal menjadi gaya lateral pada pelat sayap atas dengan menggunakan Pers. 2.16 – 2.20 sebagai berikut:

Gaya geser vertikal:

$$\Delta V_u = \frac{V_u}{\frac{1}{2}L} \quad (2.16)$$

Gaya geser horizontal seperti pelat badan:

$$\Delta V_H = \frac{1}{2} \Delta V_u \tan(\theta_{web}) \quad (2.17)$$

Momen lentur lateral:

$$M_{LAT} = \frac{\Delta V_H S^2}{12} \quad (2.18)$$

Modulus penampang pelat sayap atas:

$$S_f = \frac{t_{tf} b^2 t_f}{6} \quad (2.19)$$

Tegangan lentur lateral:

$$f_{LAT} = \frac{M_{LAT}}{S_f} \quad (2.20)$$

Dimana:

ΔV_u = gaya geser vertikal (kN/m)

V_u = gaya geser ultimit (kN)

L = panjang bentang (m)

ΔV_H = gaya geser horizontal (kN/m)

M_{LAT} = momen lentur lateral (kN/m)

s = jarak pengikat (m)

S_f = modulus penampang pelat saap atas (m³)

t_{tf} = tebal pelat sayap atas (m)

b_{tf} = lebar pelat sayap atas (m)

f_{LAT} = tegangan lentur lateral (MPa)

9. Faktor implifikasi lentur pelat sayap atas

Untuk menentukan faktor amplifikasi lentur lateral pelat sayap atas dijelaskan sebagai berikut. Tinggi elastis pelat badan diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.21 berikut:

$$D_c = (Y_t - Y_f) \sqrt{\frac{s^2 + 1}{s^2}} \quad (2.21)$$

Jari-jari gradasi tekuk torsi lateral diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.22 sebagai berikut:

$$\gamma_t = \frac{b_{tf}}{\sqrt{12(1 + \left(1 + \frac{1D_c t_w}{3b_{tf} t_f}\right))}} \quad (2.22)$$

Batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.23 sebagai berikut:

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.23)$$

Tegangan tekuk torsi lateral elastis pelat sayap atas ditentukan dengan Pers. 2.24 sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \quad (2.24)$$

Faktor amplikasi ditentukan dengan Pers. 2.25 sebagai berikut:

$$AF = \frac{0,85}{\left(1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}\right)} \geq 1,0 \quad (2.25)$$

Dimana:

- D_c = tinggi elastis pelat badan (m)
- Y_t = tinggi dari penampang atas ke sumbu netral (m)
- tf = tebal pelat sayap atas (m)
- S = kemiringan pelat badan
- r_t = jari-jari girasi(m)
- b_{tf} = lebar pelat sayap atas (m)
- t_w = lebar pelat badan (m)
- L_p = batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral (m)
- L_b = panjang antara pengikat lateral (m)
- E = modulus elastisitas baja (MPa)
- F_y = tegangan leleh baja (MPa)
- C_b = faktor momen gradient
- R_b = faktor beban pelat badan
- f_{bu} = tegangan total (MPa)
- F_{cr} = tegangan tekuk torsi lateral elastis (MPa)
- AF = faktor ampifikasi

10. Pelat sayap atas dalam menerima lentur

Pelat sayap dalam menahan lentur harus memenuhi persyaratan yang dijelaskan dalam Pers. 2.26 sebagai berikut:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.26)$$

Dimana:

D_c = tinggi elastis pelat badan (m)

T_w = tebal pelat badan (m)

E_s = modulus elastisitas baja (MPa)

f_y = tegangan leleh baja (MPa)

a. Ketahanan tekuk lokal sayap atas

Tekuk lokal dapat terjadi jika perbandingan lebar dengan ketebalan dari elemen yang mengalami tekan terlalu besar, sehingga diperlukan adanya pembatasan rasio antara lebar dengan ketebalan dari elemen yang mengalami tekan tersebut. Perbandingan antara lebar dengan ketebalan pada sayap atas dinyatakan dengan (λ_f), yang merupakan perbandingan antar lebar sayap atas dengan tebal sayap atas yang mengalami tekan. Untuk menentukan besarnya nilai (λ_f) digunakan Pers. 2.27 sebagai berikut:

$$\lambda_f = \frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \quad (2.27)$$

Rasio kelangsingan sayap kompak ditentukan dengan Pers. 2.28 sebagai berikut:

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.28)$$

Rasio kelangsingan sayap tidak kompak ditentukan dengan Pers. 2.29 sebagai berikut:

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.29)$$

Dimana:

λ_f = rasio kelangsingan pelat sayap atas

λ_{pf} = rasio kelangsingan sayap kompak

λ_{rf} = rasio kelangsingan sayap tidak kompak

E = modulus elastisitas baja (MPa)

F_y = tegangan leleh baja (MPa)

b_{tf} = lebar pelat sayap atas (m)

t_{tf} = tebal pelat sayap atas (m)

b. Tekuk torsi lateral sayap atas

Tekuk torsi lateral adalah kondisi batas yang menentukan kekuatan sebuah struktur. Sebuah struktur mampu memikul momen maksimum hingga mencapai momen plastis. Tercapai atau tidaknya momen plastis, keruntuhan dari sebuah struktur adalah salah satu dari tekuk lokal dari flens tekan, tekuk lokal dari web dalam tekan lentur dan tekuk torsi lateral. Persyaratan gelagar dalam menerima lentur harus juga memperhatikan tekuk torsi lateral yang ditentukan dengan Pers. 2.30 dan 2.31 sebagai berikut:

$$L_p = 1,0r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (2.30)$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (2.31)$$

Dimana:

L_p = batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral (m)

L_r = batas panjang minimal tanpa pengikat lateral (m)

r_t = jari-jari girasi (m)

F_y = tegangan leleh baja (MPa)

F_{yr} = tegangan tekan pelat sayap (MPa)

E = modulus elastisitas baja (MPa)

c. Ketahanan tekuk pada pelat badan

Selain pada bagian pelat sayap, nilai kelangsingan juga harus ditinjau pada pelat badan karena akibat lentur pelat badan akan mengalami tekan. Untuk menentukan besarnya nilai tegangan yang terjadi akibat tekuk pada bagian pelat badan, digunakan Pers. 2.32 dan 2.33 sebagai berikut:

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2} \quad (2.32)$$

$$F_{crw} = \frac{0,9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \quad (2.33)$$

Dimana:

k = koefisien tekuk

- D_c = tinggi elastis pelat badan (m)
- D = tinggi pelat badan (m)
- F_{crw} = tegangan tekuk pada pelat badan (MPa)
- tw = tebal pelat badan (m)
- E = modulus elastisitas baja (MPa)

d. Konstruksi pelat sayap atas

Konstruksi pelat sayap atas harus memenuhi Pers. 2.34, 2.35 dan 2.36 :

- Tegangan leleh

$$f_{bu} + f_{lat} \leq \varphi_f R_h F_{yc} \quad (2.34)$$

- Tahanan lentur

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{lat} \leq \varphi_f F_{nc} \quad (2.35)$$

- Tegangan tekuk lentur pada pelat badan

$$f_{bu} \leq \varphi_f F_{crw} \quad (2.36)$$

Dimana:

- f_{bu} = tegangan total sayap atas (MPa)
- f_t = tegangan lentur lateral akibat beban kantilever (MPa)
- φ_f = faktor reduksi kekuatan lentur
- R_h = faktor hybrid
- F_{yc} = tegangan leleh baja (MPa)
- F_{nc} = tekanan lentur nominal daerah tekan (MPa)
- F_{crw} = tegangan tekuk pada pelat badan (MPa)

e. Konstruksi pelat sayap bawah

Konstruksi pelat sayap bawah harus memenuhi persyaratan tentang leleh nominal pelat daerah tarik.

$$f_{bu} \leq \varphi_f R_h F_y \Delta \quad (2.37)$$

Dimana:

- f_{bu} = tegangan total sayap bawah (MPa)
- φ_f = faktor reduksi kekuatan lentur
- R_h = faktor hybrid
- Δ = faktor St. Venant
- f_v = tegangan geser St. Venant

11. Kapasitas momen gelagar

I girder baja dalam menerima lentur didefinisikan sebagai anggota struktural yang menyangga beban-beban transversal tegak lurus terhadap sumbu netral plastis dengan beban yang bekerja merupakan kombinasi dari momen dan gaya geser.

Setelah dilakukan perhitungan lentur pada elemen-elemen pada *girder* baja berupa pelat sayap atas dan pelat sayap bawah, maka perlu dilakukan pengecekan terhadap momen yang dihasilkan dari lentur. Syarat yang harus dipenuhi agar gelagar baja memenuhi lentur yaitu:

- a. Menentukan persyaratan kelangsingan pelat badan ditentukan dengan Pers. 2.38 sebagai berikut:

$$\frac{2D_{CP}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.38)$$

Dimana:

D_{CP} = tinggi garis netral plastis (m)

t_w = tebal pelat badan (m)

f_y = tegangan leleh baja (MPa)

E = modulus elastisitas baja (MPa)

- b. Mementukan monen lentur nominal ditentukan dengan Pers. 2.39 dan 2.40 berikut:

Jika $D_p \leq 0,1D_t$ maka,

$$M_n = M_p \quad (2.39)$$

Jika $D_p \leq 0,42D_t$ maka,

$$M_n = M_p \left(1,07 - 0,7 \frac{D_p}{D_t} \right) \quad (2.40)$$

Dimana:

D_t = tinggi bagian komposit

D_p = jarak dari bagian atas slab beton ke garis netral

M_p = momen plastis

M_n = momen lentur

Kemudian kita membandingkan antara nilai momen ultimite dan momen nominal yang dihasilkan dengan Pers. 2.41 berikut:

$$M_u \leq \phi f M_n \quad (2.41)$$

Dimana:

- M_u = momen ultimate
- M_n = momen nominal
- ϕ_f = faktor reduksi kekuatan lentur

12. Gaya geser (*shear*)

Gaya geser ultimate dalam struktur gelagar komposit didukung oleh pelat badan. Nilai kuat geser nominal pelat badan (*web*) dipengaruhi oleh adanya pengaku vertikal. Apakah pelat badan (*web*) diberikan pengaku dengan jarak antara pengaku a dan nilai a tersebut kecil maka kuat geser pelat badan yang diperoleh dari kuat geser murni dan kuat geser setelah mengalami tekuk. Namun apabila jarak antara pengaku cukup lebar atau tanpa pengaku vertikal maka kuat geser hanya di peroleh dari kuat geser murni saja.

Kekuatan pelat badan dalam menahan gaya geser ditentukan oleh keadaan leleh pelat badan dan tekuk lokal pada badan. Tekuk pada pelat badan (*web*) harus memenuhi persyaratan seperti Pers. 2.42 berikut:

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (2.42)$$

Dimana:

- V_u = gaya geser ultimate
- V_n = gaya geser nominal
- ϕ_v = faktor resistance untuk gaya geser

Dalam menentukan gaya geser nominal yang terjadi pada badan dihitung menggunakan Pers. 2.43 dan 2.44 berikut:

$$V_n = V_{cr} = C V_p \quad (2.43)$$

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (2.44)$$

Dimana:

- C = rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi
- V_p = gaya geser plastis
- V_{cr} = gaya geser resistensi

Nilai C terdiri dari 3 kondisi yaitu:

$$\blacktriangleright \text{ Jika, } \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}} \quad (2.45)$$

- maka, $C = 1,00$
- Jika, $1,12 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}}$ (2.46)

$$\text{maka, } C = \frac{1,12}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}}$$

- Jika, $\frac{D}{t_w} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}}$ (2.47)

$$\text{Maka, } C = \frac{1,57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{E_k}{F_{yw}}\right)$$

Dimana:

$$K = \text{koefisien geser tekuk}$$

$$5 + \frac{5}{\left(\frac{d_o}{D}\right)^2} \quad (2.48)$$

Dengan persyaratan gelagar menerima gaya geser juga harus diperhatikan gaya geser yang terjadi pada panel interior dan ujung panel pada pelat badan (web). Untuk menghitung gaya geser yang terjadi pada panel interior dan ujung panel digunakan Pers. 2.49, 2.50 dan 2.51 berikut:

- Untuk panel interior web

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \quad (2.49)$$

Dimana:

d_o = jarak pengaku melintang

C = rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi

V_p = gaya geser elastis

V_n = gaya geser nominal

- Untuk ujung panel web

$$V_n = V_{cr} = CV_p \quad (2.50)$$

$$V_p = 0,58F_{yw}Dt_w \quad (2.51)$$

Dimana:

C = rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi

V_p = gaya geser plastis

V_{cr} = gaya geser resistensi

2.3. Prategang

2.3.1. Definisi prategang

Prategang pada dasarnya merupakan suatu beban yang menimbulkan tegangan dalam awal sebulum pembebanan luar dengan besar dan distribusi tertentu bekerja sehingga tegangan yang dihasilkan dari beban luar dilawan sampai tingkat yang diinginkan. Gaya prategang dihasilkan dengan menarik kabel tendon yang ditempatkan pada baja atau beton dengan alat penarik. Setelah penarikan tendon mencapai gaya/tekanan yang direncanakan, tendon ditahan dengan ankur, agar gaya tarik yang tadi dikerjakan tidak hilang.

2.3.2. Gelagar baja prategang (*prestressed steel girder*)

Gelagar baja prategang adalah gelagar baja yang dipasang kabel prestress (tendon) seperti pada beton prategang. Pemasangan tendon pada gelagar baja dilakukan diluar penampang profil sehingga disebut *External prestressing* dengan cara ini, akan menghasilkan momen negatif yang akan mengurangi momen positif, sehingga dapat menambah daya dukung gelagar baja. Untuk itu perlu dikembangkan dan dilakukan penyelidikan untuk menentukan desain gelagar baja prategang yang ekonomis dan mampu menahan beban yang besar (Simamora dan Handana, n.d.).

Sistem gelagar baja prategang, dapat diaplikasikan pada jembatan baru maupun perkuatan terhadap jembatan baja yang sudah terpasang.

2.3.3. Prinsip mekanika dan konsep dasar

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon dengan kadar tertentu sesuai dengan *grade*-nya. Bila dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya, baja lebih banyak memiliki keunggulan-keunggulan yang tidak terdapat pada bahan-bahan konstruksi lain. Disamping kekuatannya yang besar untuk menahan kekuatan tarik dan kekuatan tekan tanpa menguntungkan sehingga menjadikannya sebagai salah satu material yang umum dipakai.

Ada banyak jenis penampang balok prategang di dalam dunia konstruksi antara lain:

1. Penampang balok persegi (*Box*)
2. Penampang balok I/PCI
3. Penampang balok T
4. Penampang T dengan sayap bawah
5. Penampang T ganda

Gaya prategang P ditentukan berdasarkan prinsip-prinsip mekanik dan hubungan tegangan-regangan sebagai berikut:

1. Balok persegi panjang dengan tumpuan sederhana, diberi gaya prategang konsentris P, sehingga balok tersebut mengalami tegangan tekan sebesar:

$$f = -\frac{P}{A} \quad (2.52)$$

Dimana:

f = tegangan

P = gaya tekan konsentris

A = luas penampang

2. Balok persegi panjang dengan tumpuan sederhana, diberi gaya prategang konsentris P dan beban merata, sehingga timbul momen di tengah bentang, tegangannya menjadi :

$$f_t = -\frac{P}{A} - \frac{My}{I} \quad (2.53)$$

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{My}{I} \quad (2.54)$$

Dimana:

f_t = tegangan di serat atas

f_b = tegangan di serat bawah

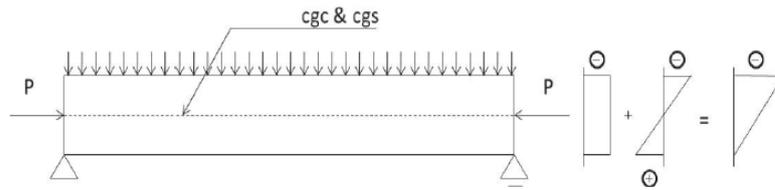
P = gaya tekan konsentris

A = luas penampang

y = titik berat penampang

I = momen inersia bruto penampang

M = momen lentur



Gambar 2.4: Tendon konsentris, gaya prategang P dan beban merata.

3. Balok prategang dengan tumpuan sederhana, diberikan gaya prategang eksentris P, sehingga balok tersebut mengalami tegangan tekan sebesar:

$$f_t = -\frac{P}{A} - \frac{Pe y}{I} \quad (2.55)$$

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{Pe y}{I} \quad (2.56)$$

4. Balok prategang dengan tumpuan sederhana, diberikan gaya prategang eksentris P dan beban merata, sehingga balok tersebut mengalami tegangan sebesar:

$$f_t = -\frac{P}{A} - \frac{Pe y}{I} - \frac{Mya}{I} \quad (2.57)$$

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{Pe y}{I} - \frac{Myb}{I} \quad (2.58)$$

Dimana:

f_t = tegangan di serat atas

f_b = tegangan di serat bawah

P = gaya tekan konsentris

A = luas penampang

y = titik berat penampang

I = momen inersia bruto penampang

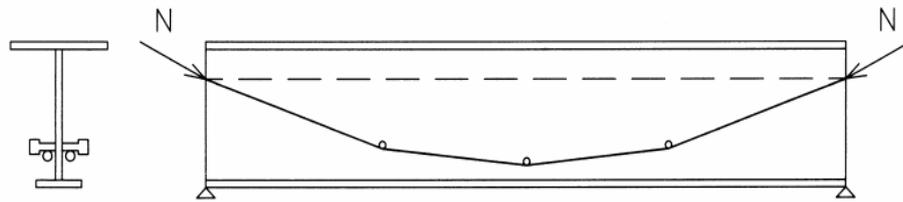
M = momen lentur

e = jarak eksentrisitas dari centroid ke pusat gaya prategang

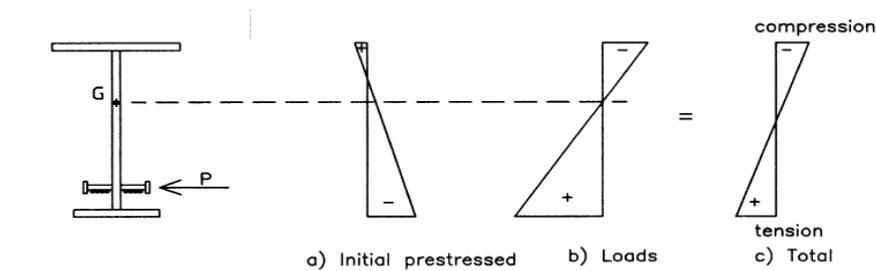
➤ Prinsip kerja baja prategang

Prinsip kerja dari baja prategang sama halnya dengan beton prategang yaitu dengan memberikan tegangan awal pada bagian bawah penampang balok, yaitu dengan memberikan tegangan lawan dari tegangan akibat berat sendiri dan beban hidup dengan memberikan penarikan kabel pada gelagar baja, dimana sebelum dibebani tegangan pada bagian bawah balok adalah negatif, dan setelah dibebani menjadi positif (Simamora dan Handana, n.d.).

Prinsip kerja gelagar baja prategang digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5: Gelagar baja prategang.

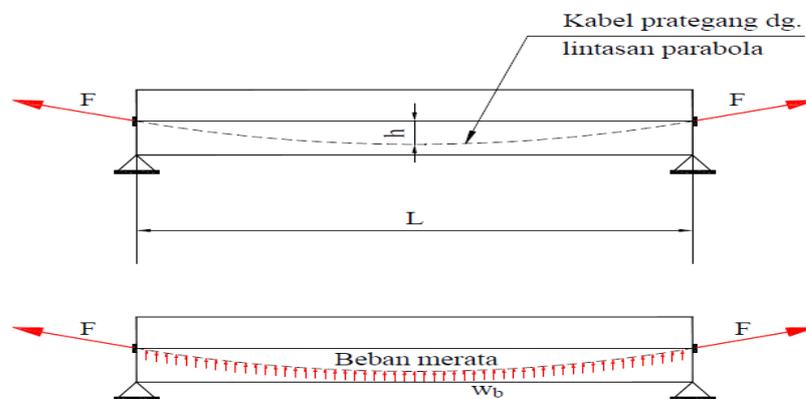


Gambar 2.6: Prinsip kerja prategang.

konsep yang dapat dipergunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari prategang yaitu:

1. Konsep. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

Disini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada suatu balok. Pada desain struktur balok prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi (Supriyadi, B dan Muntohar, 2007). Penjelasan dapat dilihat dalam gambar berikut:



Gambar 2.7: Tendon parabola.

Suatu balok baja diatas dua perletakan (*simple beam*) diberi gaya prategang P melalui suatu kabel prategang dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan:

$$W_b = \frac{8Ph}{L^2} \quad (2.59)$$

Dimana :

W_b = beban merata kearah atas, akibat gaya prategang F

H = tinggi parabola lintasan kabel prategang

L = bentang balok

P = gaya prategang

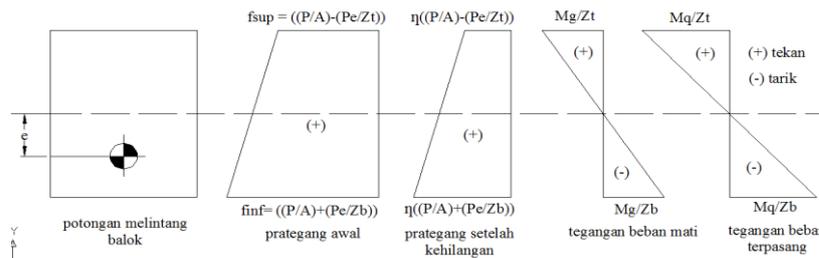
Jadi beban merata akibat beban (mengarah kebawah) diimbangi oleh gaya merata adalah akibat beban W_b yang mengarah ke atas.

2.3.4. Kondisi tegangan

2.3.4.1. Batas-batas tegangan serat atas dan serat bawah

Penampang prategang yang menerima aksi lentur harus memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk tegangan-tegangan yang diperbolehkan (*permissible stress*) pada tahap transfer prategang dan pada beban-beban kerja. (Putra dan Surbakti, 2018) Persamaan-persamaan untuk momen tahan yang diperlukan, gaya prategang dan eksentrisitas yang bersesuaian dikembangkan dengan memakai hubungan empat tegangan yang dibuat untuk kedua serat paling luar dari penampang yang bersangkutan dan mempertimbangkan kedua kombinasi prategang dan momen kritis, kombinasi-kombinasi kritis umum yang dipertimbangkan adalah :

1. Gaya prategang maksimum pada saat transfer bersama-sama dengan momen-momen minimum yang ditahan oleh penampang.
2. Gaya prategang minimum setelah semua kehilangan yang dikombinasikan dengan momen rencana maksimum untuk keadaan batas kemampuan (*serviceability*).



Gambar 2.8: tegangan akibat prategang, beban mati dan beban terpasang.

Dengan memperhatikan gambar diatas, keempat kondisi dasar untuk tegangan-tegangan pada saat transfer dan beban kerja adalah sebagai berikut :

➤ Pada saat transfer

- Serat paling atas

$$\left(f_{sup} + \frac{Mg}{Z_t}\right) \geq f_{tt} \quad (2.60)$$

- Serat paling bawah

$$\left(f_{inf} - \frac{Mg}{Z_b}\right) \leq f_{ct} \quad (2.61)$$

➤ Pada saat beban kerja

- Serat paling atas

$$\left(nf_{inf} + \frac{Mg}{Z_t} + \frac{Mq}{Z_t}\right) \leq f_{cw} \quad (2.62)$$

- Serat paling bawah

$$\left(nf_{inf} - \frac{Mg}{Z_b} - \frac{Mq}{Z_b}\right) \geq f_{tw} \quad (2.63)$$

- Dari persamaan, kita dapatkan

$$\left(\frac{Mq+(1-n)Mg}{Z_t}\right) \leq (f_{cw} - nf_{tt}) \leq f_{tr} \quad (2.64)$$

- Begitu pula dengan persamaan, kita dapatkan

$$\left(\frac{Mq+(1-n)Mg}{Z_b}\right) (nf_{ct} - f_{tw}) \leq f_{br} \quad (2.65)$$

Dimana f_{tr} dan f_{br} adalah batas-batas tegangan pada serat-serat paling atas dan paling bawah.

2.3.5. Perencanaan kabel prategang

Dalam perhitungan jumlah kabel prategang, rumus yang digunakan adalah perbandingan gaya prategang (P), dengan *ultimate tensile strength* (UTS) atau bisa juga dibagi dengan perkalian luas strand dengan mutu strand.

$$n_{kabel} = \frac{gaya\ prategang(P)}{UTS} = \frac{gaya\ prategang\ (P)}{A_{strand} \times \sigma_{strand}} \quad (2.66)$$

Dengan mengacu pada peraturan ACI tentang syarat tegangan ijin, dimana kondisi pada saat :

Tegangan transfer $0.8\sigma_{strand}$

Tegangan service $0.7\sigma_{strand}$

Maka besarnya jumlah kabel prategang ditentukan dengan persamaan berikut :

$$n_{kabel} = \frac{gaya\ prategang(P)}{UTS} = \frac{gaya\ prategang\ (P)}{A_{strand} \times 0.7\sigma_{strand}} \quad (2.67)$$

2.3.6. Lendutan balok prategang

Balok prategang akan mengalami lendutan akibat pengaruh profil gaya prategang, beban mati dan beban hidup (terpasang), seperti pada perhitungan dibawah ini:

1. Lendutan jengka pendek

- Akibat pengaruh profil kabel prategang

$$\delta = \frac{Pe l^2}{12EI} \quad (2.68)$$

- Akibat berat sendiri prategang

$$\delta = \frac{5g L^4}{384EI} \quad (2.69)$$

- Akibat beban terpasang (mati tambahan dan hidup merata)

$$\delta = \frac{5(t+q)L^4}{384EI} \quad (2.70)$$

- Akibat beban terpasang (hidup terpusat)

$$\delta = \frac{PL^2}{48EI} \quad (2.71)$$

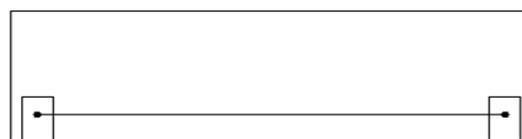
2.3.7. Prategang external (PE)

Prinsip perkuatan dengan prategang external adalah menyederhanakan penerapan beban aksial yang dikombinasikan dengan gaya angkat untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser dari struktur balok atau komponen. Peningkatan kekakuan yang diberikan dengan prategang external dapat mereduksi defleksi dan vibrasi sehingga dapat meningkatkan kinerja ketahanan terhadap fatik, dan dengan kehadiran deformasi atau lendutan kebawah akibat beban yang diterapkan pada jembatan dapat direduksi (Putra dan Surbakti, 2018).

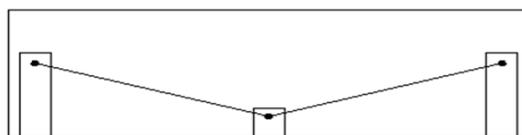
Sama seperti pada sistem prategang yang biasa dilakukan khususnya jembatan beton prategang, prategang external menerapkan suatu gaya tekan yang dikombinasikan dengan momen eksentrisitas guna menambah kapasitas lentur serta memperbaiki kondisi rentang dari suatu gelagar. Penerapan sistem prategang ini dilakukan dengan pemasangan angker, tendon dan deviator pada struktur jembatan. Perkuatan ini merupakan perkuatan yang universal karena dilakukan untuk berbagai macam tipe struktur, selain struktur beton dapat pula untuk struktur baja (Mitra et al., 2018)

Keuntungan penggunaan sistem prategang eksternal:

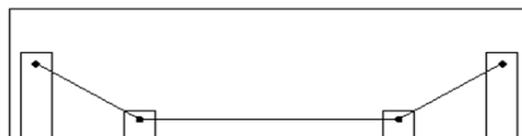
- a. pelaksanaan pemasangan peralatan yang relatif mudah.
- b. Mudah untuk memeriksa kabel dan angkur karena letaknya berada di luar struktur.
- c. Kabel prategang dapat disetel ulang maupun diganti bila terdapat kerusakan.



Tendon Eksentris



Tendon Poligon King Pose



Tendon Poligon Double King Pose

Gambar 2.9: Beberapa pola penempatan tendon.

Kerugian penggunaan sistem prategang eksternal:

- a. Harus diperiksa terlebih dahulu apakah struktur mampu memikul penambahan gaya prategang.

- b. Lebih rentan terhadap korosi maupun kerusakan lainnya akibat vandalisme karena berada di luar struktur.

2.3.8. Kehilangan gaya prategang

Dalam menganalisis kehilangan, harus mempertimbangkan bahan-bahan yang sebenarnya dan kondisi lingkungan masing-masing bahan (waktu, kondisi pemaparan, dimensi dan ukuran komponen struktur, dan sebagainya) yang mempengaruhi jumlah dari kehilangan prategang. Dalam perencanaan baja pratekan, analisis gaya-gaya efektif tendon penting sekali untuk diketahui.

Dalam buku karangan T.Y LIN dan Ned H Burns tahun 1988 disebutkan bahwa kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi. Tahap pertama, pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang baja, tegangan dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku elemen struktur.

Pada tahap ini kehilangan gaya prategang meliputi:

1. Kehilangan akibat deformasi elastis (ES)

Pada struktur yang menggunakan kabel tunggal, tidak ada kehilangan gaya prategang akibat perpendekan baja, karena gaya pada kabel diukur setelah perpendekan terjadi. Pada penampang yang menggunakan lebih dari satu kabel, kehilangan gaya prategang ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harta setengahnya untuk mendapatkan rata-rata semua kabel. Kehilangan gaya prategang pada struktur pasca tarik dapat ditentukan seperti berikut :

$$ES = n f_{cs} \quad (2.72)$$

Dimana:

f_{cs} = tegangan pada penampang

N = modulus ratio awal

2. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE)

Akibat perpendekan elastis (kehilangan gaya prategang seketika setelah peralihan) dan gaya prategang yang tergantung waktu, CR, dan SH ada pengurangan berkelanjutan pada tegangan balok, jadi kehilangan gaya prategang

akibat relaksasi berkurang. Sebenarnya balok prategang mengalami perubahan regangan baja yang konstan didalam tendon bila terjadi rangkai yang tergantung pada nilai waktu oleh karena itu, ACI memberikan perumusan untuk menghitung kehilangan gaya prategang dimana nilai dari K_{RE} , J, dan C tergantung dari jenis dan tipe tendon. Adapun perumusan tersebut yaitu:

$$RE = C(K_{RE} - J(SH + CR + ES)) \quad (2.73)$$

Dimana:

K_{RE} = koefisien relaksasi

J = faktor waktu (0.05-0.15)

C = faktor relaksasi

ES = kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

3. Kehilangan akibat slip ankur (ANC)

Hal ini terjadi saat kabel prategang dilepas dari mesin penarik (dongkrak), kemudian kabel ditahan oleh baja dipengangkuran dan gaya prategang ditransfer dari mesin penarik ke ankur. Besarnya slip pengangkuran ini tergantung pada tipe baja dan tegangan pada kabel prategang (tendon). Slip di pengangkuran rata-rata mencapai 2,5 mm.

$$ANC = 2E_s \frac{d}{x} \quad (2.74)$$

Dimana:

ANC = kehilangan gaya prategang akibat slip di pengangkuran

E_s = modulus elastisitas baja prategang

d = penyetelan ankur

x = $\sqrt{\frac{E_s d}{\lambda F_{ps}}}$

λ = $\frac{2\mu e}{L^2} + k$

μ = koefisien geser tendon

L = panjang bentang

K = koefisien wabble

2.3.9. Gelagar jembatan prategang

Gelagar jembatan prategang dilapangan paling banyak digunakan *girder* beton prategang, dimana satu bentang *girder* beton terbagi atas beberapa segmen. Gaya prategang yang diberikan berfungsi untuk menyambung bagian segmen-segmen sehingga menjadi satu bentang yang utuh. Selain itu gaya prategang juga berfungsi untuk membentuk elefasi dengan bentuk cembung pada gelagar jembatan prategang.

Jembatan gelagar prategang merupakan struktur jembatan yang memadukan kuat tekan dari beton bertulang dan kapasitas tarik dari baja mutu tinggi yang telah diregangkan sebelumnya, sehingga terbentuklah beton yang dapat menahan gaya tarik. Dan beton prategang juga dapat di defenisikan sebagai beton dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman dengan pemberian gaya tekan permanen, dan tendon yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pasca tarik). Gelagar beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.10:



Gambar 2.10: Gelagar beton prategang.

2.4. Material

2.4.1. Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon dengan kadar tertentu sesuai dengan *grade*-nya. Bila dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya, baja lebih banyak memiliki

keunggulan-keunggulan yang tidak terdapat pada bahan-bahan konstruksi lain. Disamping kekuatannya yang besar untuk menahan kekuatan tarik dan kekuatan tekan tanpa menguntungkan sehingga menjadikannya sebagai salah satu material yang umum dipakai.

Sifat-sifat baja antara lain:

a. Kekuatan tinggi

Kekuatan baja bisa dinyatakan dengan kekuatan tegangan leleh f_y atau kekuatan tarik f_u mengingat baja mempunyai kekuatan volume lebih tinggi dibanding dengan bahan lain, hal ini memungkinkan perencanaan sebuah konstruksi baja bisa mempunyai beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga struktur lebih ringan dan efektif.

b. Kemudahan pemasangan

Komponen-komponen baja biasanya mempunyai bentuk standar serta mudah diperoleh dimana saja, sehingga satu-satunya kegiatan yang dilakukan dilapangan adalah pemasangan bagian-bagian yang telah disiapkan.

c. Keseragaman

Baja dibuat dalam kondisi yang diatur (fabrikasi) sehingga mutunya seragam.

d. Daktilitas

Daktilitas adalah sifat dari baja yang dapat mengalami deformasi yang besar dibawah pengaruh tegangan tarik tanpa hancur atau putus. Daktilitas mampu mencegah robohnya bangunan secara tiba-tiba.

e. Modulus elastisitas besar

Dengan modulus yang besar, struktur akan cukup kaku sehingga dapat memberikan kenyamanan bagi pemakai. Jika dibandingkan dengan bahan yang lain, untuk regangan yang sama baja akan mengalami tegangan yang lebih besar sehingga kekuatannya lebih optimal.

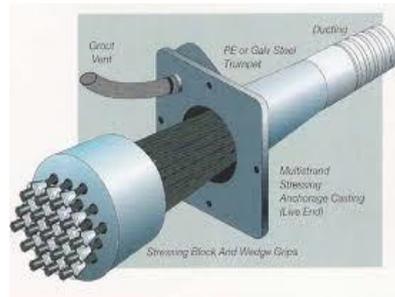
Untuk balok prategang ada beberapa jenis baja berkekuatan tinggi yang dipakai pada umumnya seperti:

1. Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik (*pre-tension*)

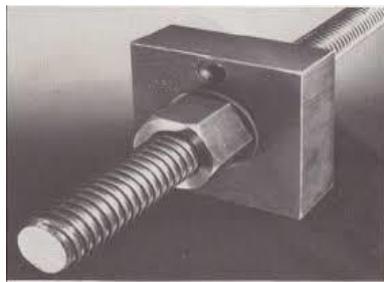
2. Kawat untai (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang untuk beton prategang dengan sistem pascatarik (*post-tension*)
3. Kawat batangan (*bars*), sering digunakan untuk baja prategang untuk beton prategang, dengan sistem pratarik (*pre-tension*)
4. Tulangan biasa, sering digunakan untuk tulangan *non--prategang* (tidak ditarik), seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengangkuran dan lain-lain.



(a) Wires



(b) Strand



(c) Bars



(d) Tulangan non- prategang

Gambar 2.11: Jenis-jenis baja yang digunakan untuk prategang.

Jenis-jenis lain tendon yang sering digunakan untuk balok prategang pada sistem pratarik adalah *seven wire strand* dan *single wire*. Untuk *seven wire* ini, untuk satu ikat kawat terdiri dari 7 buah kawat, sedangkan *single wire* terdiri dari kawat tunggal. Sedangkan untuk balok prategang sistem pascatarik sering digunakan tondon *monostrand*, batang tunggal, *multiwire*, dan *multi strand*. Untuk jenis pascatarik ini tendon dapat bersifat *bonded* (saluran kecil diisi dengan material grouting) dan *unbonded* (saluran kabel diisi dengan minyak gemuk dan grease). Tujuan utama dari grouting ini adalah untuk melindungi tendon dari korosi dan mengembangkan lekatan antara baja prategang dan beton sekitarnya.

Material grouting ini biasanya terdiri dari campuran semen dan air dengan w/c ratio 0.5 dan bahan tambahan (*admixture*).

Tabel 2.1: Tipikal baja prategang

Jenis baja prategang	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban putus (kN)	Tegangan tarik (MPa)
Kawat tunggal (<i>wire</i>)	3	7,1	13,5	1900
	4	12,6	22,1	1750
	5	19,6	31,4	1600
	7	38,5	57,8	1500
	8	50,3	70,4	1400
Untaian Kawat (<i>strand</i>)	9,3	54,7	102	1860
	12,7	100	184	1840
	15,2	143	250	1750
Kawat batangan (<i>bar</i>)	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

2.5. Syarat Perencanaan Jembatan

2.5.1. Ketentuan Umum

Berdasarkan SNI 1725-2016 jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika. Peraturan ini berisi ketentuan teknis untuk menghitung aksi nominal, defenisi tipe aksi, serta faktor beban yang digunakan untuk menghitung besarnya aksi rencana.

Faktor beban untuk setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.2. perencana harus menyelidiki bagian parsial dari kombinasi pembebanan yang dapat terjadi harus diinvestigasi dimana setiap beban yang diindikasikan untuk diperhitungkan dalam kombinasi pembebanan harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai dengan keadaan sebagai berikut:

Kuat I : kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa

memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

- Kuat II : kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- Kuat III : kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenal beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- Kuat IV : kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan hidup yang besar.
- Kuat V : kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam.
- Esktrem I : kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup Y_{EQ} yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
- Ekstrem II : kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- Layan I : kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang, dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

Layan II : kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelepasan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

Layan III : kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pretekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.

Layan IV : kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pretekan dengan tujuan–tujuan mengontrol besarnya retak.

Fatik : kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi ekstrem akibat beban yang bekerja. Untuk setiap kombinasi pembebanan harus diselidiki kondisi ekstrem maksimum dan minimum. Dalam kombinasi pembebanan dimana efek salah satu gaya mengurangi gaya lain, maka harus digunakan faktor beban berkurang untuk gaya yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Jika terpengaruh beban permanen adalah meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan, maka perencana harus memperhitungkan pengaruh faktor beban berkurang (minimum) (Nasional, 2016). Kombinasi beban dan faktor beban dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Kombinasi beban dan faktor beban (SNI 1725:2016)

Keadaan Batas	MS M A TA PR SL SH	TT TD TB TR TP	EU	E_{ws}	E_{wL}	BF	EUn	TG	ES	GUNAKAN SALAH SATU		
										EQ	TC	TV
KUAT I	γ_P	1,8	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
KUAT II	γ_P	1,4	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-

Tabel 2.2: Lanjutan.

KUAT III	γ_P	-	1,0	1,4	-	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
KUAT IV	γ_P	-	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	-	-	-	-	-
KUAT V	γ_P	-	1,0	0,4	1,0	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
EKSTRI M I	γ_P	γ_{EG}	1,0	-	-	1,0	-	-	-	1,0	-	-
EKSTRI M II	γ_P	0,5	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-	1,0	1,0
DAYA LAYAN I	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0/1,2	-	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-
DAYA LAYAN II	1,0	1,3	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	-	-	-	-	-
DAYA LAYAN III	1,0	0,8	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	γ_{TG}	YES	-	-	-
DAYA LAYAN IV	1,0	-	1,0	0,7	-	1,0	1,0/1,2	-	1,0	-	-	-
FATIK (TD DAN TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan : γ_P dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} Tergantung beban yang ditinjau.

γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa.

1. Evaluasi pada keadaan batas kekuatan

Perencana harus menyelidiki semua kombinasi pembebanan pada keadaan batas kekuatan yang diatur pada Tabel 2.2 yang dimodifikasi pada ini. Faktor beban untuk berat sendiri struktur dan kelengkapannya *MS* dan *MA*, tidak boleh diambil kurang dari 1,25 pada waktu melakukan pemeriksaan keadaan batas kekuatan kombinasi I,III, dan V selama konstruksi. Kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan, faktor beban untuk beban pelaksanaan dan setiap

efek dinamis yang terkait harus diambil kurang dari 1,5 untuk keadaan batas kekuatan kombinasi III tidak boleh kurang dari 1,25.

2. Evaluasi lendutan pada keadaan batas layan

Jika di dalam kontrak disebutkan bahwa harus dilakukan evaluasi lendutan selama masa pembangunan, maka harus digunakan keadaan batas daya layan kombinasi I untuk menghitung besarnya lendutan yang terjadi, kecuali ada ketentuan khusus yang merubah ketentuan ini. Beban mati akibat peralatan konstruksi harus dianggap sebagai bagian dari beban permanen dan beban hidup yang terjadi selama pelaksanaan harus dianggap bagian dari beban hidup. Besarnya lendutan yang diizinkan selama masa pembangunan harus dicantumkan di dalam dokumen kontrak.

2.6. Pembebanan Pada Jembatan

Dalam merencanakan sebuah jembatan, terdapat tiga macam beban yang biasa digunakan dalam perhitungan. Dari beban inilah yang pada akhirnya akan menimbulkan gaya-gaya yang akan didistribusikan pada struktur bawah jembatan. Beban-beban tersebut diantaranya, dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Beban Rencana Jembatan

Grup Beban	<i>Loading Case</i>
Beban Permanen	Berat sendiri atau DL
	Beban mati tambahan atau SDL
Beban Lalu Lintas	Beban lajur terbagi rata atau BTR
	Beban lajur garis atau BGT
	Beban rem atau Ttb
	Beban pejalan kaki atau Ttp
Beban Lingkungan	Beban angin
	Beban gempa

Pembebanan yang digunakan pada perencanaan jembatan ini yaitu peraturan pembebanan pada jembatan jalan raya. Standar pembebanan yang digunakan berdasarkan pada (SNI 1725-2016) Tentang pembebanan untuk jembatan dan (SNI 2833-2016) Tentang gaya pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan teknis jalan raya.

2.6.1. Beban Permanen

Beban permanen merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan, diantaranya yaitu:

1. Beban Mati

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban berkurang. Perencanaan jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen-komponen tersebut.

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/s}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Berat isi untuk beban mati.

No.	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminouse wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35 \text{ Mpa}$	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105 \text{ Mpa}$	$22+0,022 f_c$	$2240-2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

2. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen *non*-struktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5: 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
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	kayu	1,00	1,40	0,70

3. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen *non*-struktural dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.6 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.6: Faktor beban untuk beban mati tambahan.

Tipe beban	Faktor beban			
	Keadaan batas layan ($\gamma^{u}ms$)		Keadaan batas ultimate ($\gamma^{u}ms$)	
	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				

4. Ketebalan yang diizinkan untuk pelapisan kembali permukaan

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana.

5. Saran lain di jembatan

Pengaruh dari alat pelengkap dan saran umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat di perhitungkan.

2.6.2. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana. Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan (Nasional, 2016).

2.6.2.1. Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencanaan harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas

yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.7. lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.7: Jumlah lajur lalu lintas rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, Tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, Dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus di tentukan oleh instansi yang berwenang.		
Catatan (2): Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

a. Beban lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri atas beban rata (BTR) yang digabung beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar. Adapun faktor yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.8 dan Gambar 2.11.

Tabel 2.8: Faktor beban untuk lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^s)	Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^u)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks <i>Girder</i> Baja	1,00	2,00

1. Intensitas beban D

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q Kpa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang di bebani L yaitu pada Pers. 2.75 dan 2.76.

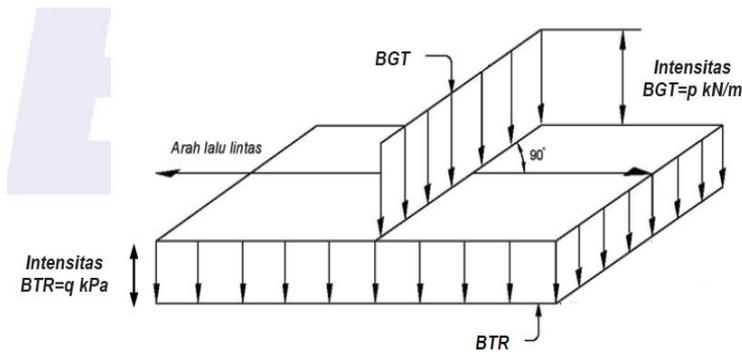
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ M} : q = 9,0 \text{ kpa} \quad (2.75)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kpa} \quad (2.76)$$

Dimana:

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter).



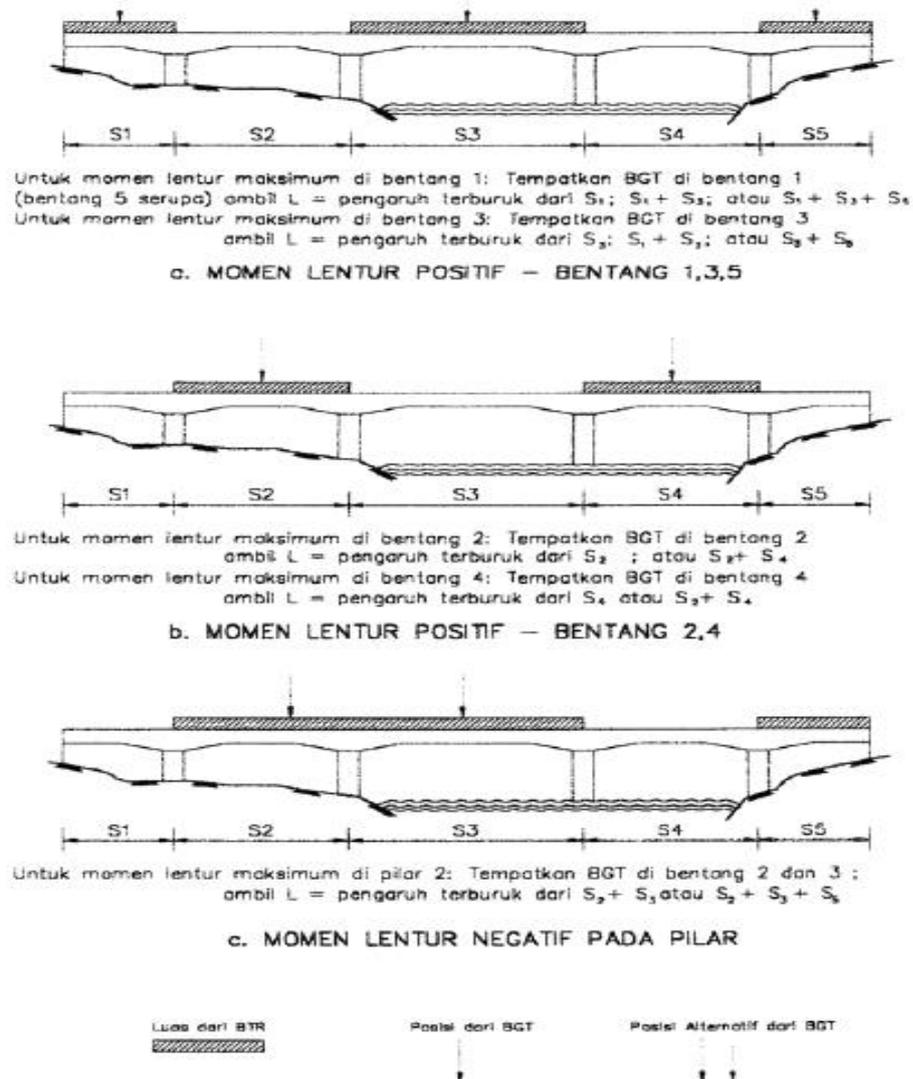
Gambar 2.12: Beban Lajur “D”
(Sumber : SNI 1725-2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

2. Distribusi beban “D”

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sederhana rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.12.

kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13: Alternatif Penempatan Beban “D” Dalam Arah Memanjang.
 (Sumber: SNI 1725-2016)

3. Respons terhadap beban lajur “D”

Diatribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai (Nasional, 2016).

2.6.2.2. Beban truk “T” (TT)

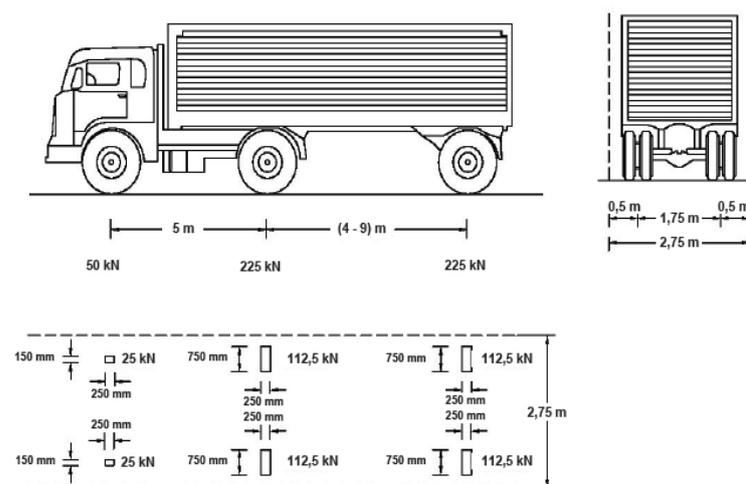
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9: Faktor beban untuk beban “T”.

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan batas layan (γ^S_π)	Keadaan batas ultimit (γ^V_π)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks girder baja	1,00	2,00

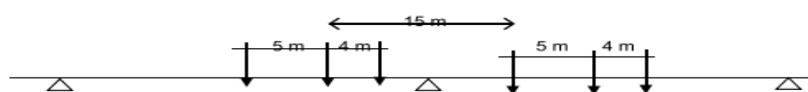
a. Besarnya pembebanan truk T

Pembebanan truk T terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.14. berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan laantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2.14: Pembebanan truk T (500 kN)
(sumber: SNI 1725-2016)

- b. Posisi dan penyebaran pembebanan truk “T” dalam arah melintang
Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu jalur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana.
- c. Kondisi faktor kepadatan lajur
Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fitik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencanaan menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika perencanaan menggunakan *iliver rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.
- d. Bidang kontak roda kendaraan.
Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dengan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.
- e. Penerapan beban hidup kendaraan.
Pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari:
- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
 - Pengaruh beban terdistribusi “D” dan beban garis KEL dikalikan FBD.
- Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m terlihat pada Gambar 2.15, dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



Gambar 2.15: Adalah Beban Truk Untuk Kondisi Momen Negatif Maksimum.
(Sumber: SNI 1725-2016)

Gandar yang tidak memberikan kontribusi pada gaya total harus diabaikan dalam perencanaan. Beban kendaraan dimuat pada masing-masing jalur dan harus diposisikan untuk mendapatkan pengaruh yang terbesar dalam perencanaan. Beban truk harus diposisikan pada lebar jembatan sehingga sumbu roda mempunyai jarak sebagai berikut:

1. Untuk perencanaan pelat kantilever: 250 mm dari tepi parapet atau railing
2. Untuk perencanaan komponen lainnya: 1000 mm dari masing-masing sumbu terluar roda truk. Kecuali ditentukan lain, panjang lajur rencanan atau sebagian dari panjang lajur rencana harus dibebani dengan beban terdistribusi “D”.

f. Beban hidup untuk elevsi lendutan

Jika pemilik pekerjaan menginginkan agar jembatan memenuhi kriteria lendutan akibat beban hidup, maka lendutan harus diambil sebagai nilai yang terbesar dari:

- Lendutan akibat beban satu truk, atau
- Lendutan akibat BTR.

2.6.3. Klasifikasi Pembebanan Lalu Lintas

a. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi menjadi 70% bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semipermanen.

b. Pembebanan lalu lintas yang berlebihan (*overload*)

Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” dapat diperbesar di atas 100% untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat.

2.6.4. Faktor beban dinamis

Beban statik truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 2.16. gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban

dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk:

- Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan, dan
- Komponen fondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspense kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari pembebanan truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D". FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.16. untuk bentang tunggal panjang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E dengan formulasi Pers. 2.77.

$$L_E = \sqrt{L_{av} L_{max}} \quad (2.77)$$

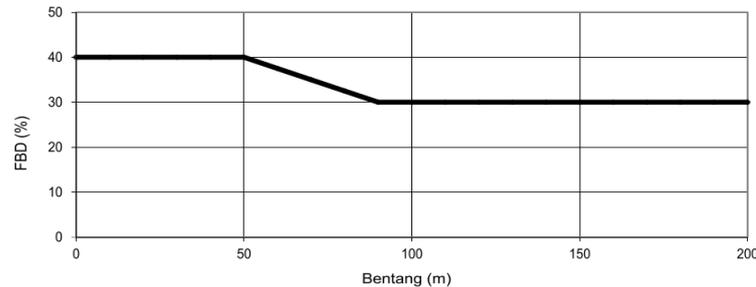
Dimana:

L_{av} : panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} : panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang di sambungkan secara menerus.

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kendaraan 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk

kedalaman 2 m. Untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya (Nasional, 2016).



Gambar 2.16: Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Untuk Pembebanan Lajur “D”. (Sumber: SNI 1725-2016)

2.6.5. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rancana dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan berubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem (Nasional, 2016).

2.6.6. Pengaruh tetap pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerja jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai. Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.10.

Tabel 2.10: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PL})		
	Keadaan batas layan (γ^s_{PL})	Keadaan batas layan (γ^u_{PL})	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

2.6.7. Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kpa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan.

2.6.8. Pengaruh prategang (PR)

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit. Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 2.11: Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PR})	
	Keadaan batas layan (γ^S_{PR})	Keadaan batas ultimit (γ^U_{PR})
Tetap	1,0	1,0

Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut:

- a. Pada keadaan batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja sebagai suatu sistem beban pada unsur. Nilai rencana dari beban prategang tersebut harus dihitung menggunakan faktor beban daya layan sebesar 1,0.
- b. Pada keadaan batas ultimit, pengaruh sekunder akibat gaya prategang harus dianggap sebagai beban yang bekerja.

2.6.9. Beban Lingkungan

2.6.9.1. Beban angin

a. Tekanan angin horizontal

Tekanan angin yang ditentukan pada SNI 1725-2016 diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk system lantai dan railing yang diamabil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jemaan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} harus dihitung dengan Pers. 2.78 sebagai berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \frac{V_{10}}{V_B} \ln \frac{Z}{Z_o} \quad (2.78)$$

Dimana:

V_{DZ} = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

V_B = kecepatan anggi rencana 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan.

Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)

V_o = kecepatan gesekan angin yang merupakan karakteristik metodologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.12, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_o = panjang gesekan di hulu jembatan yang merupakan karakteristik metodologi yang ditentukan pada Tabel 2.12 (mm).

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang

- Survei angin pada lokasi jembatan
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencanaan dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 2.12: Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi permukaan hulu.

Kondisi	Lahan terbuka	Sub urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

b. beban angin pada struktur (EW_s)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeban untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam SNI 1725-2016. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin dasar dapat dilihat pada Tabel 2.13. tekanan angin rencana dalam Mpa dapat ditetapkan dengan menggunakan Pers. 2.79:

$$P_D = P_B \left(\frac{VDZ}{VB} \right)^2 \quad (2.79)$$

Dimana:

P_B : tekanan angin dasar.

Tabel 2.13: 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

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.

c. Beban dari struktur atas

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar P_B untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.14 dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah logitudinal. Arah angin untuk perencanaan jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 2.14: Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang.

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral	Beban longitudinal	Beban leteral	Beban longitudinal
Derajat	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

d. Gaya angin yang langsung bekerja pada struktur bawah

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersebut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

e. Gaya angin pada kendaraan (EW_I)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus

diasumsikan sebagai tekana menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupaun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.15, dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.15: Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan.

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
Derajat	N/mm	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

f. Tekanan angin vertikal

Kecuali yang telah ditentukan dalam salah satu pasal di SNI 1725-2016, jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar 9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk kendaraan batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal (Nasional, 2016).

2.6.9.2. Beban gempa

Berdasarkan peraturan SNI-2833-2016 Perancangan Gempa Terhadap Beban Jembatan. Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa

kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan formulasi Pers. 2.80.

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times Wt \quad (2.80)$$

Dimana:

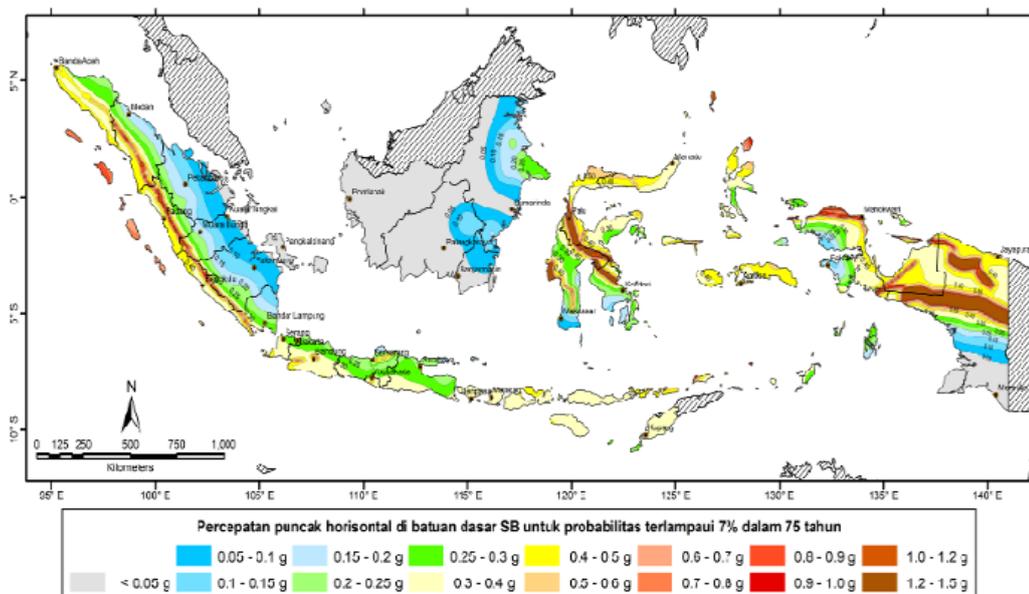
EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN).

C_{sm} = Koefisien respons gempa elastic.

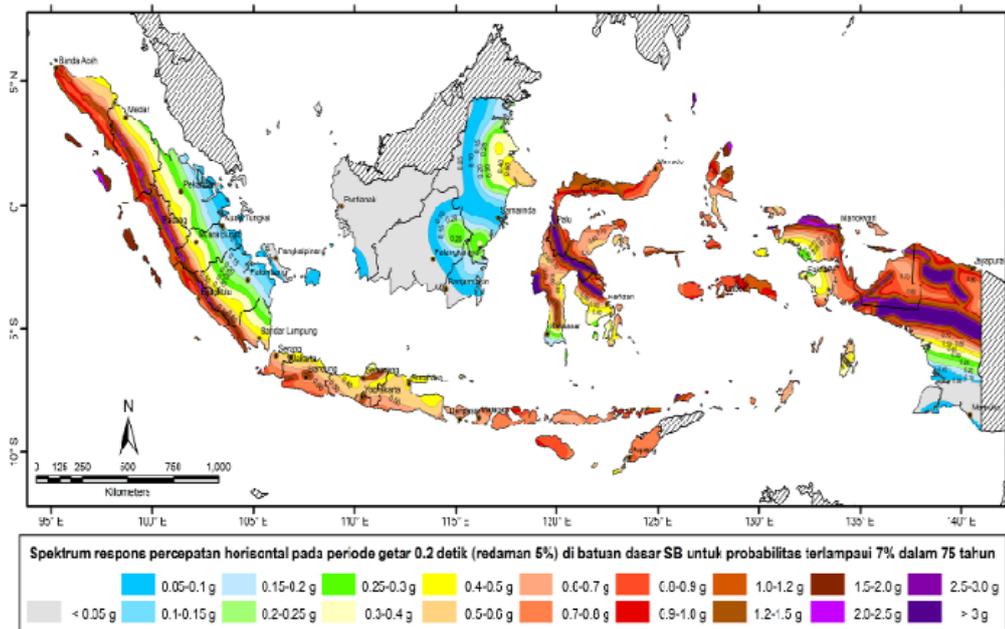
R_d = Faktor modifikasi respons.

Wt = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

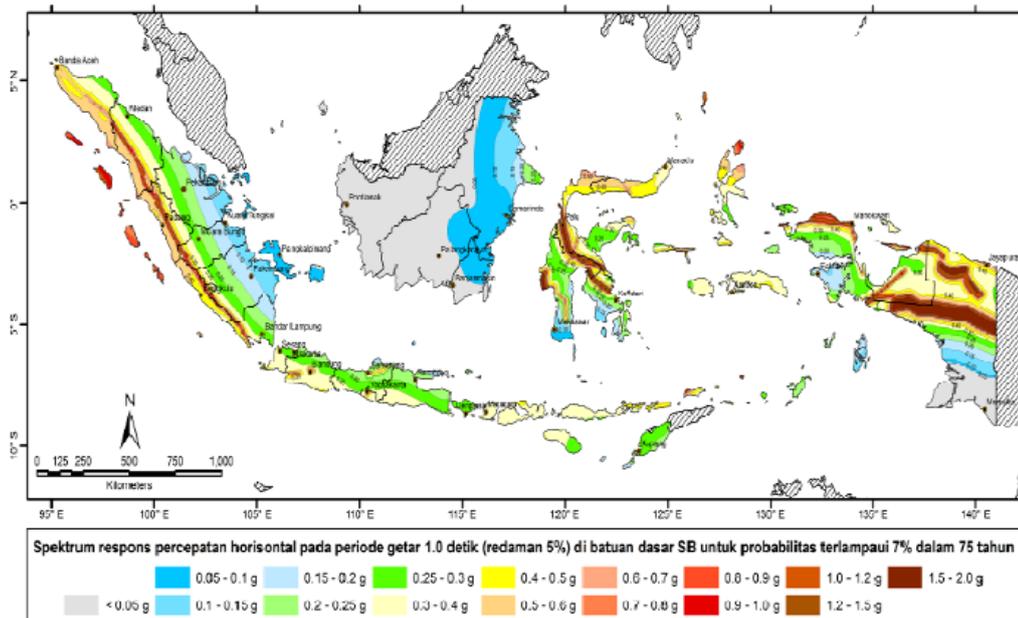
Koefisien respon elastic C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan yang terlihat pada Gambar 2.17, Gambar 2.18 dan Gambar 2.19 sesuai daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi dengan kondisi tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional.



Gambar 2.17: Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.18: Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.19: Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).

Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan pada peta gempa

dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan *non*-konvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan. Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan kondisi tanah (misalnya: likuifaksi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan (BSN, 2016).

a. Bahaya gempa

Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakterisasi dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai. Respon spektra percepatan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum atau berdasarkan prosedur spesifik-situs. Prosedur spesifik-situs dilakukan jika terdapat kondisi sebagai berikut:

- Jembatan berada dalam jarak 10 km dari patahan aktif.
- Situs termasuk dalam kategori situs kelas F sesuai Tabel 2.

b. Prosedur umum

Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak bantuan dasar (PGA) dan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili *level hazard* (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16: Penjelasan peta gempa

No	No Gambar	Level Gempa	Keterangan
1	Gambar 1	7% dalam 75 tahun (gempa = 1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 2		Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_s)
3	Gambar 3		Peta respons spektra percepatan 1,0 detik di batuan dasar (S_1)

c. Prosedur spesifik situs

Prosedur spesifik-situs dapat dilakukan untuk pembuatan respon spektra rencana dan dapat dilakukan di lokasi mampu sesuai dengan persetujuan pemilik pekerjaan. Tujuan dari analisis probabilitas gerak tanah situs spesifik adalah untuk menghasilkan respon spektra percepatan yang memperhitungkan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun pada nilai spektra dalam rentang periode yang ditentukan. Pada analisis ini harus ditetapkan hal-hal sebagai berikut:

- Sumber gempa yang berkontribusi di sekitar situs yang ditinjau,
- Batas atas magnitudo gempa untuk tiap sumber gempa,
- Median dari hubungan atenuasi untuk nilai spektra respon percepatan dan deviasi standar yang terkait,
- Hubungan magnitudo dan pengulangan yang terjadi untuk tiap sumber gempa, dan
- Hubungan panjang runtuh patahan untuk tiap patahan yang berkontribusi.

Untuk situs yang terletak dalam jarak 10 km dari patahan aktif atau patahan dangkal, maka pengaruh dari patahan terhadap gerak tanah harus diperhitungkan karena dapat berpengaruh signifikan terhadap jembatan.

d. Faktor situs

Untuk penentuan respons spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ($T = 0,2$ detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v).

Nilai F_{PGA} , F_a dan F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.17 dan 2.18.

Tabel 2.17: Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a) (SNI 2833:2016).

Kelas situs	PGA \leq 0,1 $S_s \leq 0,25$	PGA= 0,2 $S_s = 0,5$	PGA = 0,3 $S_s = 0,75$	PGA = 0,4 $S_s = 1,0$	PGA > 0,5 $S_s \geq 1,25$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier.

Keterangan:

PGA : Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.16)

S_s : Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T=0,2$ detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 (Gambar 2.17)

SS : Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Tabel 2.18: Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

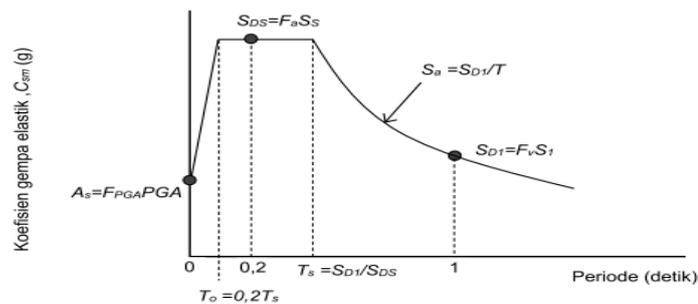
Keterangan:

S_1 : Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.18).

SS : Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

1. Respons spektrum rencana

Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Bentuk tipikal respons spektra dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.20: Bentuk tipikal respons spektra di permukaan tanah. (SNI 2833:2016).

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA , S_s dan S_1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v . Perumusan respons spektra dapat dilihat pada Pers. 2.81, 2.82 dan 2.83.

$$AS = F_{PGA} \times PGA \quad (2.81)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2.82)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (2.83)$$

2. Koefisien respon gempa elastik

Untuk periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari Pers. 2.84.

$$C_{sm} = (S_{DS} - AS) \frac{T}{T_0} + AS \quad (2.84)$$

Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_S , respons spektra percepatan, C_{sm} adalah dengan SDS . Dan untuk periode lebih besar dari T_S , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari Pers. 2.85, 2.86 dan 2.87.

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \quad (2.85)$$

$$T_0 = 0,2T \quad (2.86)$$

$$T_S = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.87)$$

Dimana:

S_{DS} = nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T = 0,2$ detik).

S_{D1} = nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

3. Kategori kerja seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{D1}) sesuai Tabel 2.18. kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan zona gempa, dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19: Zona gempa.

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

Keterangan: $S_{D1} = F_v \times S_I$

S_{D1} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

F_v adalah nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

S_I adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.18).

4. Faktor modifikasi respon

Untuk penggunaan faktor modifikasi respons pada pasal ini maka detailing struktur harus sesuai dengan ketentuan pada pasal 7 dan pasal 7.5 SNI

2833:2016. Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respons (R) sesuai dengan Tabel 2.20 dan Tabel 2.21. sebagai alternatif penggunaan faktor R pada Tabel 2.21 untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke fondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan. Apabila digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respons (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 2.20: Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah.

Bangunan bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton			
Bertulang	1,5	2,0	3,0
Tiang vertikal	1,5	1,5	2,0
Tiang miring			
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 2.21: Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur.

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan mulai dilatasi pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

2.6.10. Temperatur merata (EUn)

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.22. perbedaan antara temperatur minimum dan temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.22 harus digunakan sebagai $T_{mindesign}$ dan $T_{maxdesign}$ pada pers 2.88.

$$\Delta_T = \alpha L (T_{maxdesign} - T_{mindesign}) \quad (2.88)$$

Dimana:

L = panjang komponen jembatan (mm)

α = koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Tabel 2.22: Temperatur jembatan rata-rata nominal.

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C

Tabel 2.23: Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur.

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per°C	200.000
Beton:		
Kuat tekan <30 MPa	10×10^{-6} per°C	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat tekan >30 MPa	11×10^{-6} per°C	$4700\sqrt{f_c'}$

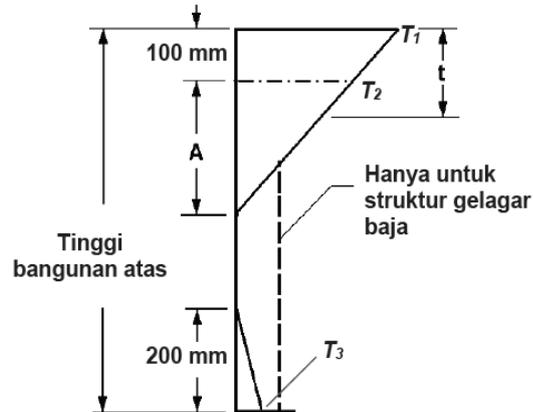
Pengaruh temperatur dibagi menjadi:

1. Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan pada temperatur dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut (EUn); Variasi temperatur rata-rata berbagai tipe bangunan jembatan diberikan dalam Error! Reference source not found. 2.22. besarnya nilai koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi diberikan dalam Tabel 2.23. Perencanaan harus menentukan besarnya temperatur jembatan rata-rata yang diperlukan untuk memasang sambungan siar muai, perletakan dan lain sebagainya, dan harus memastikan bahwa temperatur tersebut tercantum dalam gambar rencana.
2. Variasi temperatur (EG) di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk bangunan atas beton dan baja diberikan dalam Gambar 2.20. parameter yang digunakan mencakup T_1 , T_2 , dan T_3 dengan nilai sesuai pada Tabel 2.24. Untuk tipe jembatan yang lebar diperlukan perhitungan untuk meninjau gradien perbedaan temperatur dalam arah melintang. Nilai A dapat diambil sebagai berikut:
 - Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar sebesar 400 mm atau lebih nilai A sama dengan 200 mm
 - Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar lebih rendah dari 400 mm A diambil lebih kecil 100 mm dari tinggi aktual
 - Untuk bangunan atas terbuat dari baja, nilai A diambil sebesar 200 mm dan jarak t diambil sebagai ketebalan peka lantai.

Tabel 2. 24: Parameter T_1 dan T_2 .

Lokasi jembatan	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)
<500 m di atas permukaan laut	12	8	$0 \leq T_3 < 5$
>500 m di atas permukaan laut	17	11	

Nilai T_3 dapat diambil sebesar 0 kecuali bila dilakukan kajian spesifik situs, tetapi nilai T_3 diambil tidak melebihi 5°C.



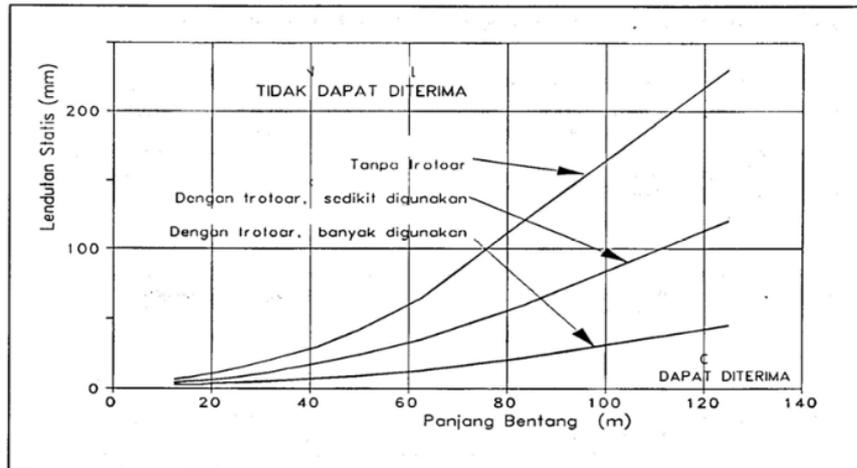
Gambar 2.21: Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja. (SNI 1725-2016)

2.6.11. Pengaruh getaran

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyeberangan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan seperti halnya keamanan bangunan.

a. Jembatan standar tanpa trotoar

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada jembatan. Lendutan ini tidak boleh melampaui apa yang terlihat pada gambar 2.21 untuk mendapatkan tingkat kegunaan pada pjalan kaki. Walaupun pasal ini mengijinkan terjadinya lendutan statis yang relatif besar akibat beban hidup, peencanaan harus menjamin bahwa syarat-syarat untuk kelelahan bahan dipenuhi.



Gambar 2.22: Lendutan akibat getaran jembatan.
(SNI 1725-2016)

b. Jembatan standar dengan trotoar dan jembatan penyeberangan orang

Getaran pada bangunan atas untuk jembatan penyeberangan harus diselidiki pada keadaan batas daya layan. Perilaku dinamis dari jembatan penyeberangan harus diselidiki secara khusus. Penyelidikan yang khusus ini tidak diperlukan untuk jembatan penyeberangan apabila memenuhi batasan-batasan sebagai berikut:

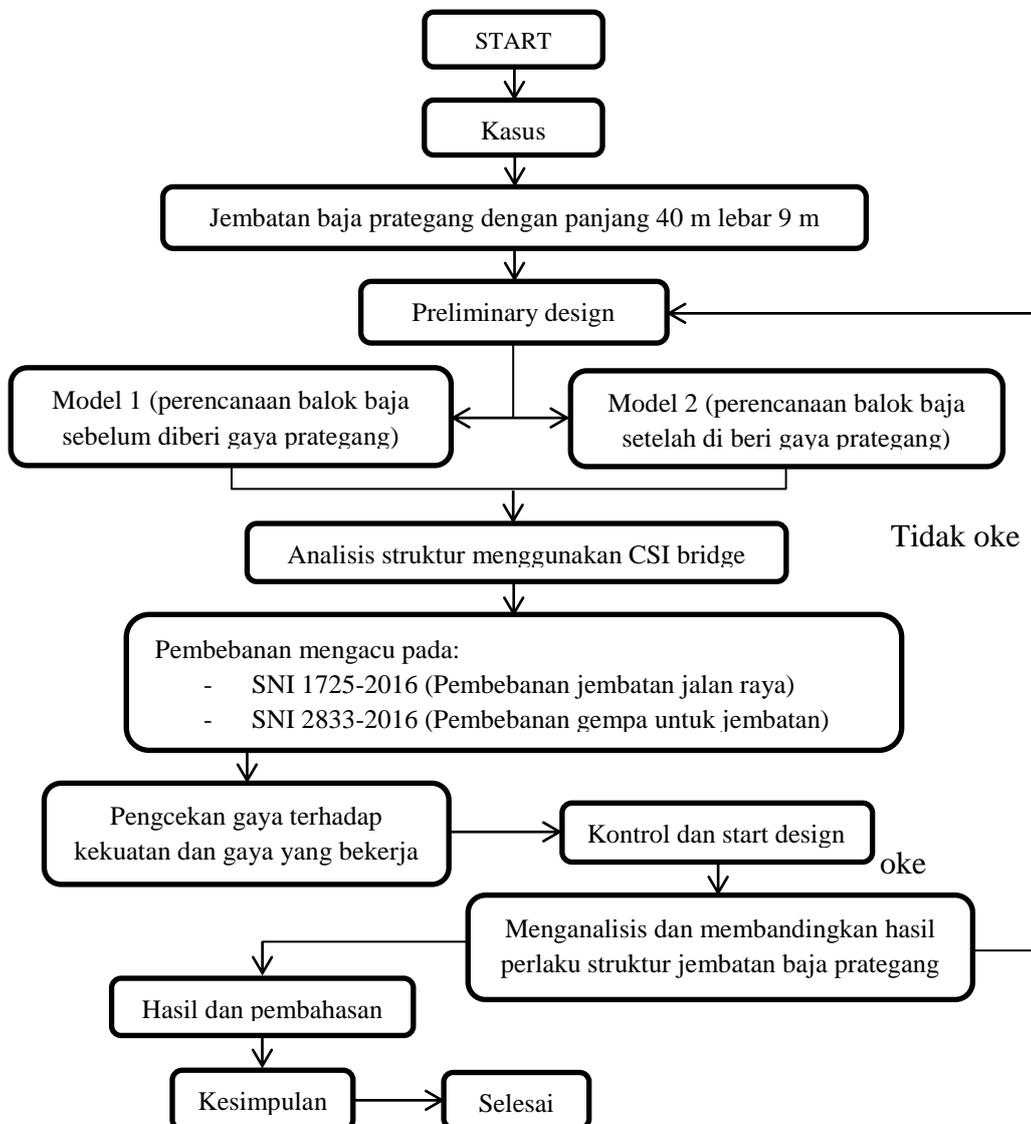
- Perbandingan antara bentang dengan ketebalan dari bangunan atas kurang dari 30. Untuk jembatan menerus, bentang harus diukur sebagai jarak antara titik-titik lawan lendut untuk beban mati.
- Frekuensi dasar yang dihitung untuk getaran pada bangunan atas jembatan yang terlentur harus lebih besar dari 3 Hz. Apabila frekuensi yang lebih rendah tidak bias dihindari, ketentuan dari poin 3 berikut bisa digunakan.
- Apabila getaran jembatan terlentur mempunyai frekuensi dasar yang dihitung kurang dari 3 Hz, lendutan statis maksimum jembatan dengan beban 1,0 kN harus kurang dari 2 mm.

BAB 3

METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN

3.1. Metodologi penelitian

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisis struktur jembatan pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan, seperti tujuan perencanaan struktur jembatan hingga pemodelan atau pendesainan struktur jembatan. Langkah-langkah perencanaan struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1: Diagram alir perencanaan.

3.2. Metode analisis

- a. Pengumpulan data
- b. *Preliminary design*
- c. Pemodelan struktur
- d. Analisis pembebanan
- e. Analisis gaya dan perhitungan struktur
- f. Cek desain

3.3. Uraian metode

3.3.1. Pengumpulan data

Data struktur jembatan yang digunakan dalam analisis ini antara lain :

- Panjang bentang : 40 m
- Lebar jembatan : 9 m
- Lebar jalur lalu lintas : 7 m
- Lebar trotoar : 1 m x 2
- Tebal trotoar : 0,2 m
- Tinggi girder : 1,7 m
- Jarak girder : 1,75 m
- Jumlah girder : 5
- Tebal slab : 0,2 m
- Tebal lapisan finishing (aspal) : 0,1 m
- Kondisi tanah : sedang
- Letak geografis : kota medan

3.3.2. Data material struktur jembatan

Data material yang digunakan dalam struktur jembatan ini antara lain:

- Berat jenis baja : 78,5 kN/m³
- Berat jenis beton : 24 kN/m³
- Berat jenis aspal : 22 kN/m³
- Mutu baja : BJ 50
- Kuat tekan beton ($f'c$) : 40 Mpa

- Modulus elastis (E) : 200000 Mpa
- Modulus elastis (Ec) : $4700\sqrt{f'_c}$
: 29725,41 Mpa

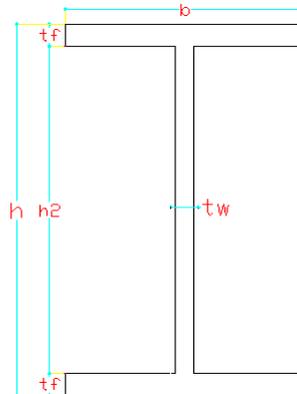
3.4. Konfigurasi struktur jembatan

Pada tugas akhir ini, struktur yang direncanakan adalah struktur jembatan dengan sistem prategang. Adapun model yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Balok baja yang sebelum dipasang tendon.
2. Balok baja yang setelah dipasang tendon.

3.5. Desain I girder baja

Jembatan yang direncanakan adalah jembatan gelagar baja dengan bentang 40 m, adapun dimensi yang digunakan pada gelagar ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2: Dimensi balok girder.

Dalam perhitungan kekuatan gelagar *I girder* baja di lakukan dalam berbagai tahap yang dilihat dalam uraian berikut ini.

3.5.1. Penentuan dimensi *I girder* baja

Dalam kajian ini, untuk menentukan dimensi yang optimal dengan menggunakan pedoman AASHTO 2012 yang ditentukan sebagai berikut.

a. Ketinggian *girder*

Sesuai dengan pedoman AASHTO 2012 dalam artikel 2.5.2.6.3 yang menjelaskan bahwa untuk menentukan ketinggian *girder* minimum ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.5.2.6.3.1 panjang bentang yang digunakan adalah 40 m.

$$D_w = 0,33 L$$

$$D_w = 0,33 \times 40 = 1,3 \text{ m (minimum kedalaman } \textit{girder} \text{ yang digunakan)}$$

Dengan :

D = ketebalan girder

L = panjang bentang jembatan

Ketinggian girder yang digunakan, $D_w = 1,7$

Untuk menentuakn ketebalan minimal pelat badan (t_w) digunakan persamaan

$$\frac{D}{t_w} \leq 150$$

Ketinggian pelat badan yang digunakan adalah $D = 1,648$

Ketebalan minimal pelat badan:

$$t_w = \frac{D}{150} = 0,011 \text{ mm}$$

Menurut *AASHTO/NSBA Steel Bridge Collaboration Guidelines For Design And Construcblility* menyarankan minimal ketebalan pelat badan sebesar 1/16 inch atau 1,6 mm, namun ketebalan pelat yang digunakan $t_w = 17 \text{ mm}$.

Cek syarat:

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1,648}{0,017} = 96,941 \leq 150$$

b. Pelat sayap

Untuk menentukan dimensi lebar pelat sayap digunakan persamaan:

1. Lebar sayap

Sesuai dengan pedoman AASHTO dalam artikel 6.10.2.2 digunakan persamaan:

$$b_{tf} \geq \frac{D}{6}$$

$$b_{tf} = \frac{1,648}{6} = 0,275$$

Digunakan persamaan yang lain:

$$b_{tf} \geq \frac{L}{85}$$

$$b_{tf} = \frac{40}{85} = 0,471$$

Dengan L adalah panjang bentang jembatan, dalam kajian ini digunakan lebar sayap, $b_{tf} = 0,34$ m.

2. Tebal pelat sayap

Ketebalan minimal pelat sayap digunakan persamaan:

$$t_{tf} \geq 1,1 t_w$$

$$t_{tf} = 1,1 t_w = 1,1 \times 17 = 18,7 \text{ mm}$$

menurut *AASHTO/NSBA Steel Bridge Collaboration Guideines For Design And Constructibility* menyarankan minimal ketebalan pelat sayap sebesar 1 inch atau 25 mm namun tebal pelat sayap yang digunakan $t_{tf} = 26$ mm.

Cek syarat:

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \leq 12$$

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} = \frac{0,34}{2 \times 0,026} = 6,538 \leq 12$$

Data dimensi *I girder*.

Kedalaman web,	$D_w = 1,7$ m
Kedalaman web inklasi,	$D = 1,648$ m
Ketebalan pelat web,	$t_w = 0,017$ m
Luas pelat web,	$A_w = 0,02802$ m ²
Ketebalan sayap,	$t_{tf} = 0,026$ m
Lebar sayap,	$b_{tf} = 0,34$ m
Luas sayap,	$A_{tf} = 0,01768$ m ²
Tinggi total <i>girder</i> ,	$H_G = 1,7$ m
Lebar pelat,	$b_{ts} = 9$ m

Ketebalan pelat,	$t_{tf} = 0,2 \text{ m}$
Luas total girder baja,	$A_s = 0,0457 \text{ m}^2$

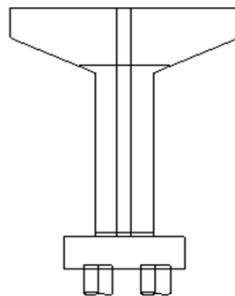
3.6. Kabel prategang (Tendon)

Kabel prategang yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Dimensi nominal : ½"
- Tegangan ultimit minimum (fpu) : 190 kg/mm²
- Tegangan leleh minimum (fpy) : 160 kg/mm²
- Nominal *section* A_p : 98,71 kg/mm²
- Kabel tendon yang digunakan : *seven wire strand*

3.7. Kolom (Pier)

Pada tugas akhir ini akan digunakan pier yang sama untuk kedua geometri jembatan yang akan dibandingkan. Kedua pemodelan ini menggunakan *pier* berbentuk persegi dan *pier head* berbentuk trapesium, terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Pier.

➤ Data dimensi *pier*:

- H1 = 9 m
- H2 = 6,3 m
- Tebal = 2,7 m
- Lebar = 3,5 m

➤ Data dimensi *pier head*:

- H1 = 9 m
- H3 = 2,7 m
- Tebal = 2,7 m

- Lebar bawah = 3,5 m
- Lebar atas = 9 m

3.8. Perletakan (*bearing*)

Pada perencanaan ini digunakan spesifikasi perletakan yang mengacu pada *bridge bearing* bs 5400, seperti pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1: Spesifikasi *elastomeric bearing pad*.

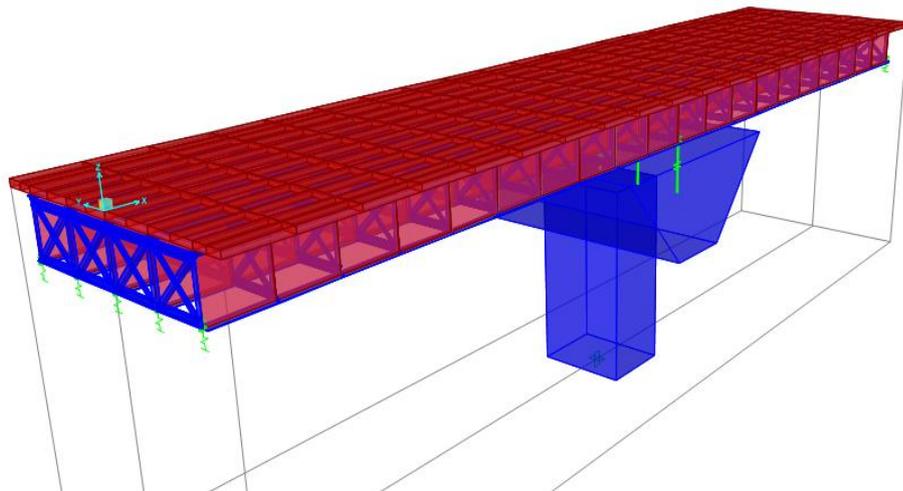
Dimensi	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Kc (kN/mm)	Ks (kN/mm)	SLS Vertical loads (kN)
450 x 350	24	12,27	3691	8,86	3155

3.9. Pemodelan struktur

Pemodelan struktur menggunakan bantuan program komputer *CSI Bridge*.

1. Pemodelan I

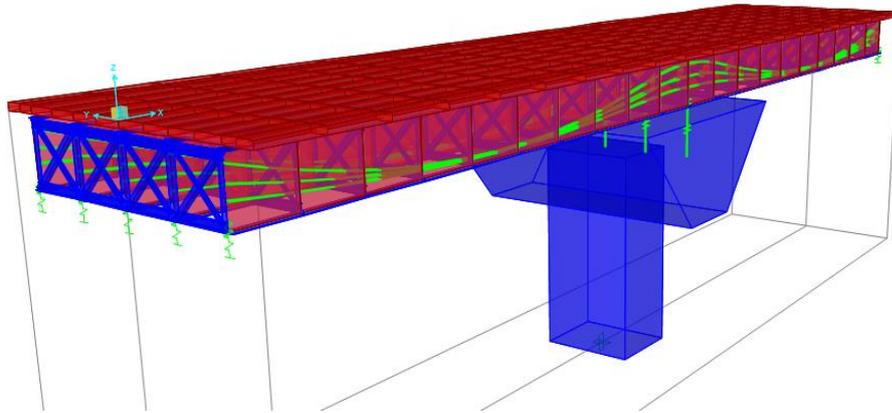
Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan menggunakan *I girder* sebagai struktur atas dengan bentang 40 m, memakai profil baja yang dimensinya sudah dijelaskan pada pasal 3.5.



Gambar 3.4: Tampak 3D struktur jembatan model 1 pada *software*.

2. Pemodelan II

Pemodelan ke dua yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah jembatan dengan tendon perkuatan baja prategang terhadap jembatan.



Gambar 3.5: Tampak 3D struktur jembatan model 2 pada *software*.

3.10. Analisis pembebanan pada jembatan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur jembatan adalah beban mati dan beban hidup. Beban mati adalah beban yang berhubungan dengan komponen material jembatan yang diambil dari SNI 1725-2016. Adapun nilai beban mati komponen jembatan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2: Berat isi untuk beban mati.

Beban mati	Besarnya beban
Beton bertulang	24 kN/m ³
Baja	78,5 kN/m ³
Aspal	22 kN/m ³

3.10.1. Berat sendiri (MS)

a. Berat sendiri *I girder*

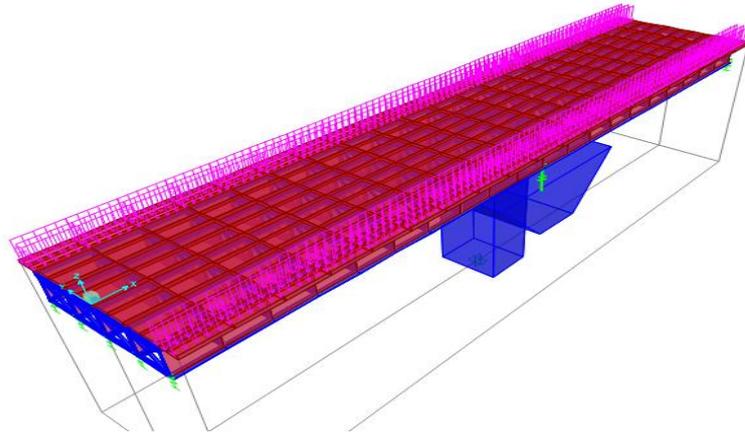
Berat beban baja struktural *I girder* baja:

$$\begin{aligned}w_s &= 5 A_{sec} \gamma_s \\ &= 5 \times 0,0457 \times 78,5 \\ &= 17,937 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

b. Berat sendiri trotoar

- Lebar = 1 m
- Tebal = 0,20 m

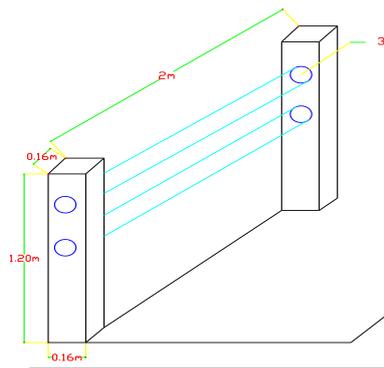
$$\begin{aligned}\text{Rumus berat sendiri trotoar} &= \text{lebar} \times \text{tebal} \times \text{berat jenis} \\ &= 1 \times 0,20 \times 24 \\ &= 4,8 \text{ kN/m}\end{aligned}$$



Gambar 3.6: Beban trotoar pada *software*.

c. Berat tiang sandaran/pembatas

Berikut ini adalah dimensi tiang sandaran/pembatas pada *I* girder yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7: Tiang sandaran/pembatas.

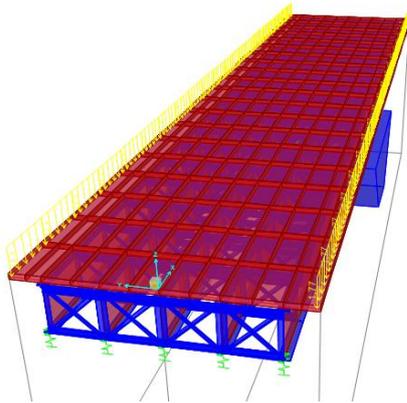
Perhitungan berat tiang sandaran:

a. Berat tiang

- Tinggi = 1,20 m

- Lebar = 0,16 m
- Panjang = 0,16 m

Berat sendiri tiang = lebar x panjang x tinggi x berat jenis
= 0,16 x 0,16 x 1,20 x 24
= 0,73728 kN/m



Gambar 3.8: Beban tiang sandaran pada *software*.

b. Berat pipa

- Berat pipa = 5,08 kg/m
- Panjang = 2 m
- Diameter = 76,3 m

Berat pipa sandaran = berat pipa x jarak antar tiang
= 5,08 x 2
= 10,16 kg = 0,0996

Berat total tiang sandaran (kiri kanan) = $(0,73728 \times 40) + (0,0996 \times 2 \times 41) / 40$
= 29,695 kN/m

Dari perhitungan diatas maka didapat total berat akibat beban sendiri yaitu:

Total berat sendiri = berat trotoar + berat sendiri *girder* + berat pembatas
= 4,8 + 17,937 + 29,695
= 52,432 kN/m

Momen maksimum berat sendiri:

Mms = $1/8 \times Q \times L^2$
= $1/8 \times 52,432 \times 40^2$
= 10486,4 kN.m

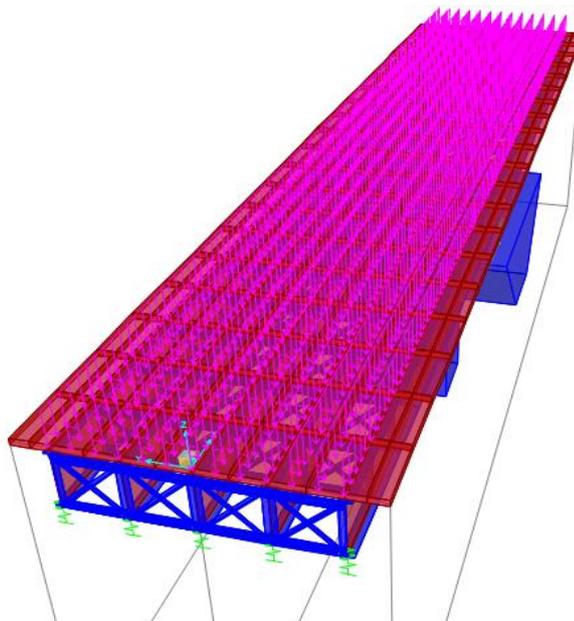
Gaya geser maksimum di tumpuan:

$$\begin{aligned}V_{ms} &= \frac{1}{2} \times Q \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 52,432 \times 40 \\ &= 1048,64 \text{ kN}\end{aligned}$$

3.10.2. Beban mati tambahan (MA)

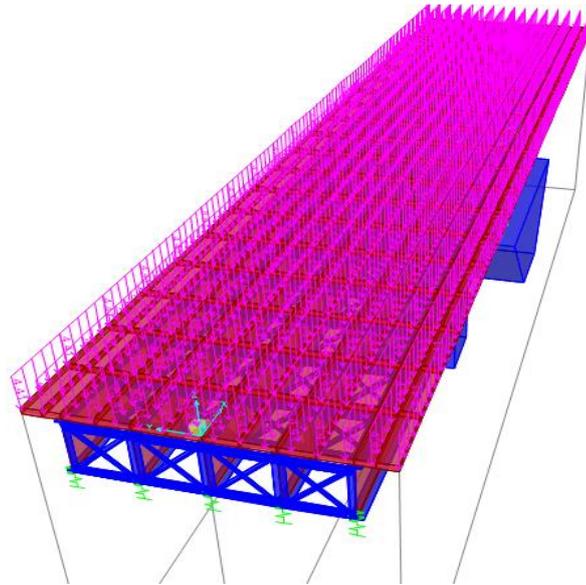
Beban mati tambahan yang ada pada lantai jembatan yaitu:

- a. Lapisan aspal dengan tebal 0,1 m + overlay = $0,1 \times 22$
= 2,2 kN/m



Gambar 3.9: Beban aspal pada *software*.

- b. Lapisan genangan air tebal 0,05 = $0,05 \times 9,8$
= 0,49 kN/m



Gambar 3.10: Genangan air pada *software*.

$$\begin{aligned}
 \text{Total beban mati tambahan} &= \text{berat lapisan aspal} + \text{berat genangan air} \\
 &= 2,2 + 0,49 \\
 &= 2,69 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum beban mati tambahan:

$$\begin{aligned}
 M_{ma} &= 1/8 \times Q \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 2,69 \times 40^2 \\
 &= 538 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum beban mati tambahan:

$$\begin{aligned}
 V_{ma} &= 1/2 \times Q \times L \\
 &= 1/2 \times 2,69 \times 40 \\
 &= 53,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3.10.3. Beban hidup

Beban hidup merupakan beban sementara yang selalu berubah-ubah dan tidak selalu membebani jembatan. Beban sementara ini biasa mempengaruhi kondisi jembatan dalam jangka waktu tertentu. Beban hidup terdiri dari:

a. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas terdiri dari:

1. Beban lajur (TD)

Beban lajur terdiri atas “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) dinyatakan dengan pers. Sebagai berikut:

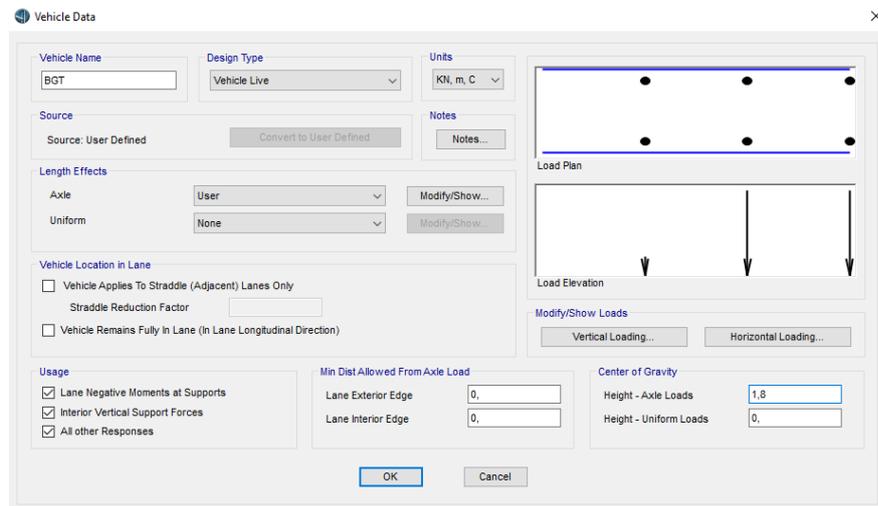
- $q = 9.0 * (0,5 + 15 / L)$ kPa untuk $L > 30$ m
 $= 9.0 * (0,5 + 15 / 40)$
 $= 7,875$ kPa $\approx 7,875$ kN/m²
- $p = 49,0$ kN/m
- faktor beban dinamis untuk BGT = 40% = 0,4

a. Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= [(5,5 q (100\%) + (b1 - 5,5) q (50\%)] / b1 \\ &= [(5,5 \times 7,875 \times 1) + (7 - 5,5) 7,875 \times 0,5] / 7 \\ &= 7,031 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= [(5,5 p (100\%) + (b1 - 5,5) p (50\%)] / b1 \\ &= [(5,5 \times 49,0 \times 1) + (7 - 5,5) 49,0 \times 0,5] / 7 \\ &= 43,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

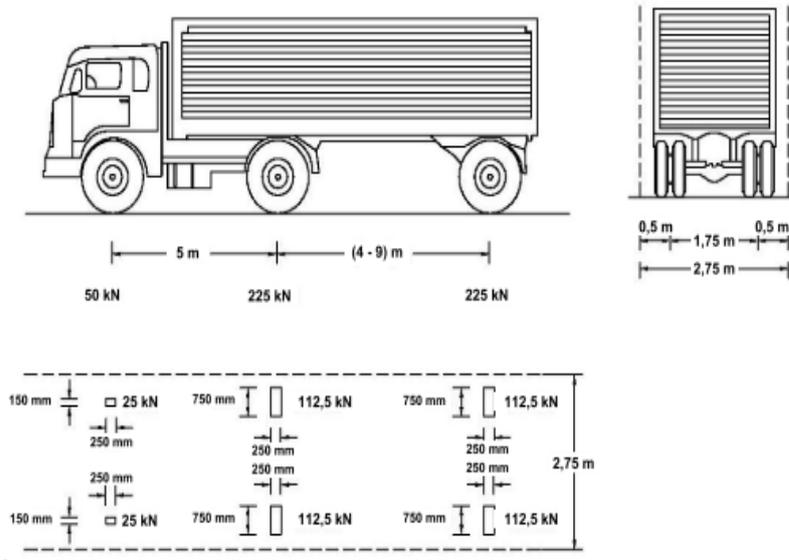


Gambar 3.11: *Input* beban garis terpusat pada *software*.

2. Beban truk (TT)

Pembebanan truk terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3. Berat dari tiap-

tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4-9 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



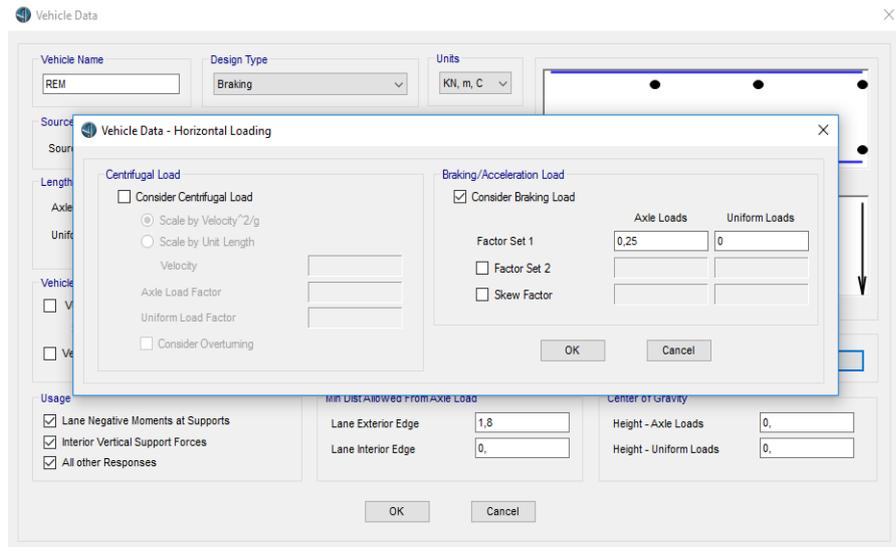
Gambar 3.12: Pembebanan truk “T”(Nasional, 2005).

3.10.4. Gaya rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu lintas ini diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan di anggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan sebagai berikut:

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25 % dari berat gandar truk desain = $0,25 \times 450$
= 112,5 kN
- 5% dari berat truk rencana + BTR = $0,05 \times 500 + (BTR)$
= $0,05 \times 500 + (7,031 \times 40)$
= 306,24 kN



Gambar 3.13: *Input beban rem (TB) pada software.*

Hingga digunakan hasil terbesar diantara keduanya adalah 1009,34 kN

Momen maksimum gaya rem:

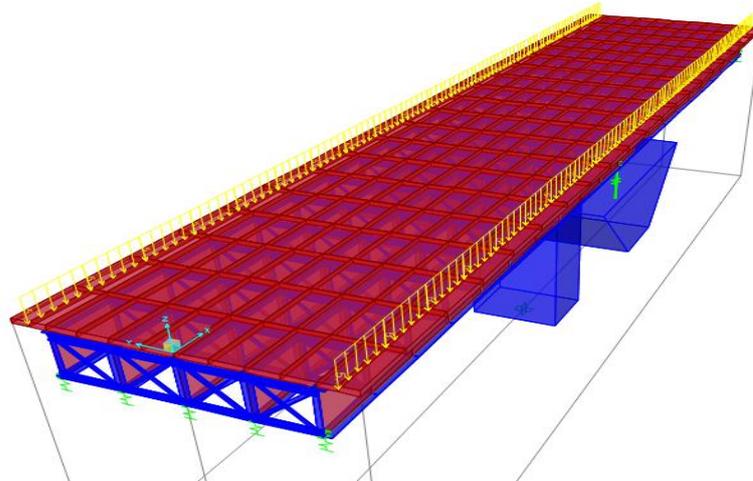
$$\begin{aligned}
 M_{tb} &= 1/8 \times Q \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 306,24 \times 40^2 \\
 &= 61248 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum gaya rem:

$$\begin{aligned}
 V_{tb} &= 1/2 \times Q \times L \\
 &= 1/2 \times 306,24 \times 40 \\
 &= 6124,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3.10.5. Beban untuk pejalan kaki (TP)

Berdasarkan SNI 1725-2016, semua komponen trotoar yang lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan diasumsikan diletakan pada girder yang berada di ujung seperti terlihat pada Gambar 3.14 :



Gambar 3.14: Beban pejalan kaki (TP) pada *software*.

3.10.6. Beban lingkungan

Beban lingkungan merupakan beban pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan pengaruh dari alam lainnya. Dalam uraian ini yang termasuk beban lingkungan adalah:

3.10.6.1. Beban angin

Beban angin terbagi atas beban angin struktur (EWs) dan beban angin kendaraan (EW_L). Untuk perhitungan beban angin dapat dilihat sebagai berikut :

- Tekanan angin horizontal

Kecepatan angin rencana berdasarkan lokasi jembatan diasumsikan berada pada daerah kota, untuk menentukan nilai V_0 dan Z_0 dapat dilihat pada tabel 2.12 yang tertera pada bab 2. data angin pada perencanaan dapat dilihat pada gambar 3.15 dan 3.16 berikut ini.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 \times 19,3 \left(\frac{100}{100} \right) \ln \left(\frac{10}{2,5} \right) \\ &= 66,889 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

- Tekanan angin horizontal di atas struktur ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_D &= P_B \frac{V_{DZ}^2}{1000} \\ &= 0,0024 \frac{66,889^2}{1000} = 10,738 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan

P_D = tekanan angin horizontal

P_B = tekanan angin dasar

Tinggi total struktur atas diperoleh, $h = 3,15$ m

Beban angin horizontal:

$$W_s = P_D \times 1\text{m}$$

$$= 10,738 \times 1$$

$$= 10,738 \text{ kN/m}$$

Beban angin horizontal yang diubah menjadi beban angin arah vertikal:

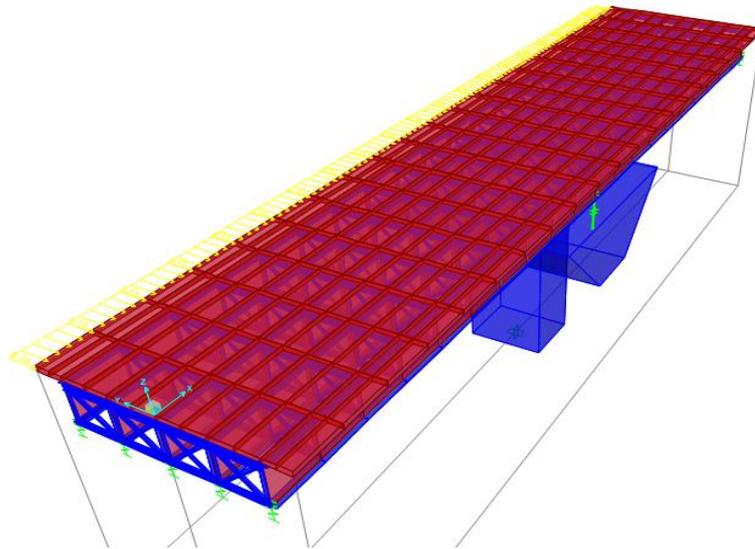
$$W_{s1} = 1,8 \frac{h}{b_{\text{eff}}}$$

$$= 1,8 \times \frac{3,15}{4,5} = 1,26 \text{ kN/m}$$

Beban vertikal di atas struktur menurut AASHTO 2012 adalah:

$$W_{s2} = 0,966 \frac{w}{2}$$

$$= 6,48 \text{ kN/m}$$

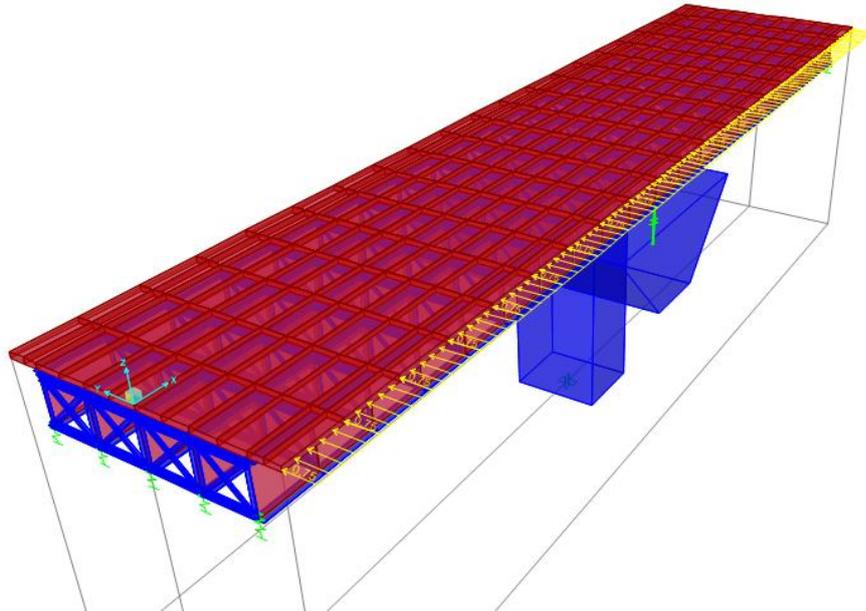


Gambar 3.15: Beban angin struktur atas pada *software*.

- Beban angin kendaraan (EW_L)

Beban angin yang bekerja pada kendaraan ditentukan sebesar 1,46 kN/m dan bekerja pada ketinggian 1,8 m dari permukaan jalan di atas jembatan.

$$\begin{aligned}
 Q_{w1} &= \frac{0,5 h}{x} \times T_{wl} \\
 &= (0,5 \times 1,8) / 1,75 \times 1,46 \\
 &= 0,751 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.16: Beban angin kendaraan pada *software*.

3.10.6.2. Pengaruh temperatur (ET)

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (ΔT) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

- Temperatur maksimum : 40°C
- Temperatur minimum : 15°C

$$\begin{aligned}
 \Delta_T (\text{baja}) &= \alpha L (T_{\max \text{ desain}} - T_{\min \text{ desain}}) \\
 &= 12 \times 10^{-6} \times 40000 (40 - 15) = 12^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_T (\text{beton}) &= \alpha L (T_{\max \text{ desain}} - T_{\min \text{ desain}}) \\
 &= 11 \times 10^{-6} \times 40000 (40 - 15) = 11^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

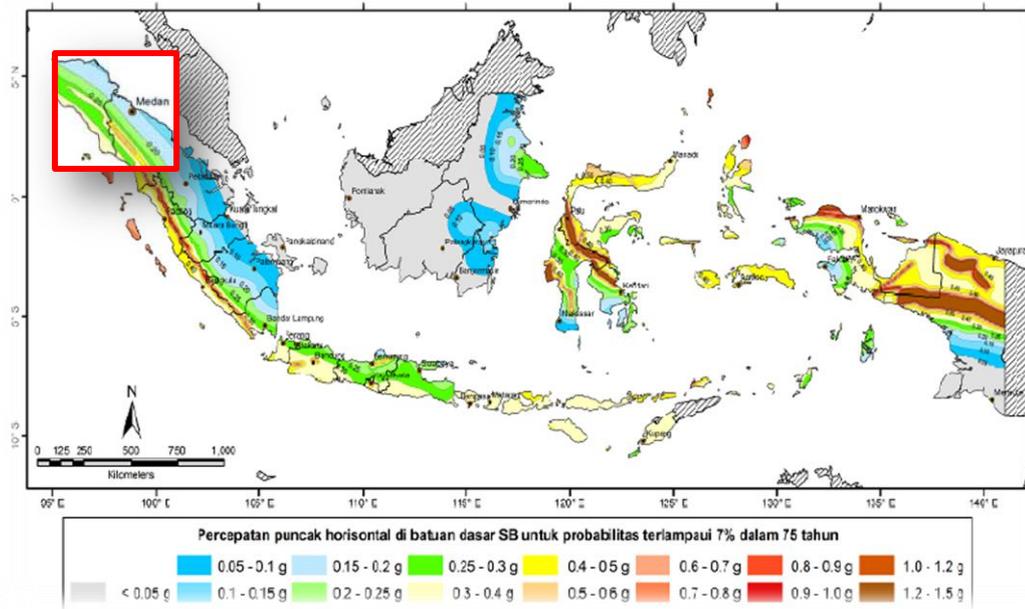
Gambar 3.17: *input* temperatur gradien pada *software*.

3.10.6.3. Beban Gempa

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini yaitu metode analisis respon spektrum. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan SNI 2833-2016 perencanaan gempa terhadap beban jembatan, perencanaan beban rencana akibat beban minimum ditentukan beberapa hal:

- a. Lokasi desain : medan
- b. Penentuan kelas situ : diasumsikan struktur berada diatas tanah sedang
- c. Penentuan beban gempa
 - Nilai PGA

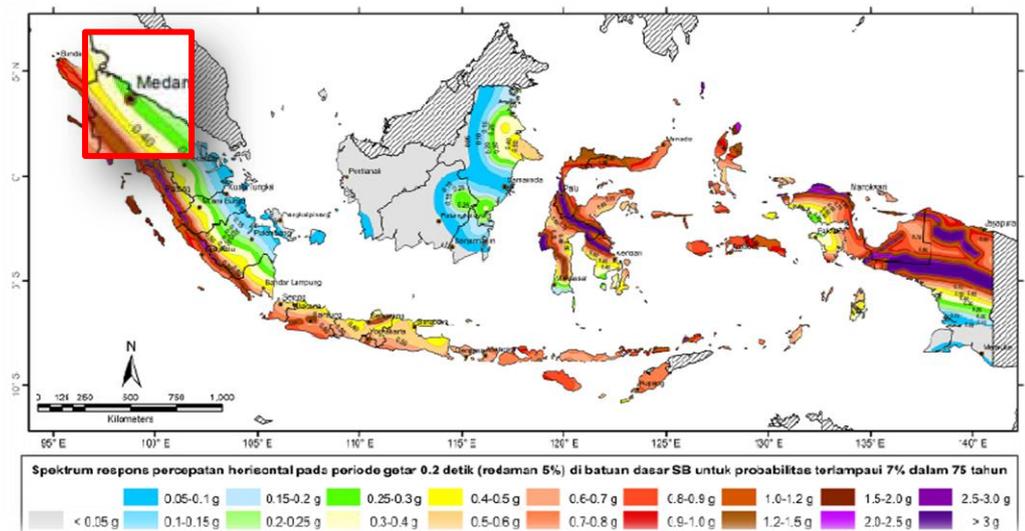
Berdasarkan Gambar 3.8 percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai PGA adalah 0,15-0,2 : 0,17g.



Gambar 3.18: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk kota Medan.

- Nilai S_s (respon spektra 0,2 detik)

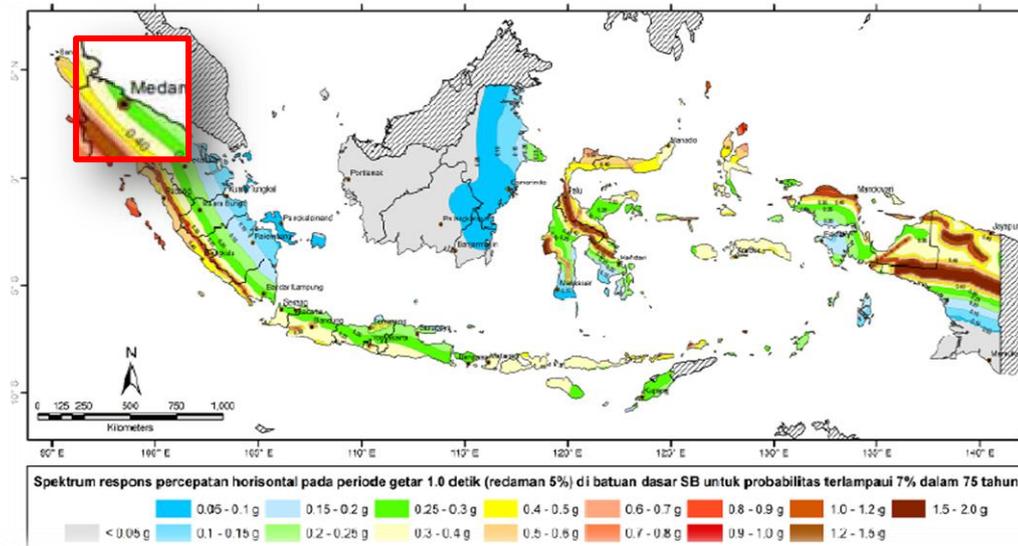
Berdasarkan Gambar 3.9 peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai S_s adalah 0,3-0,4 : 0,35g.



Gambar 3.19: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk kota Medan.

- Nilai S1 (respon spektra 1 detik)

Berdasarkan Gambar 3.10 peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun di tentukan nilai S1 adalah 0,25-0,3 : 0,27g.



Gambar 3.20: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk kota Medan.

- d. Menentukan koefisien situs FPGA, Fa, dan Fv.

Berdasarkan nilai PGA, Ss, dan S1 yang telah diperoleh dibaca pada Tabel 2.15 faktor amplifikasi periode 1 detik dan 0,2 detik (FPGA/Fa) dan Tabel 2.16 nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv) untuk situs tanah lunak (SE) diperoleh hasil sebagai berikut:

- Nilai FPGA adalah 1,52
- Nilai Fa adalah 1,5
- Nilai Fv adalah 2,24

- e. Menentukan parameter spektra As, SDs dan SD1

$$\begin{aligned} SD1 &= Fv \times S1 \\ &= 2,24 \times 0,27 \\ &= 0,6048 \end{aligned}$$

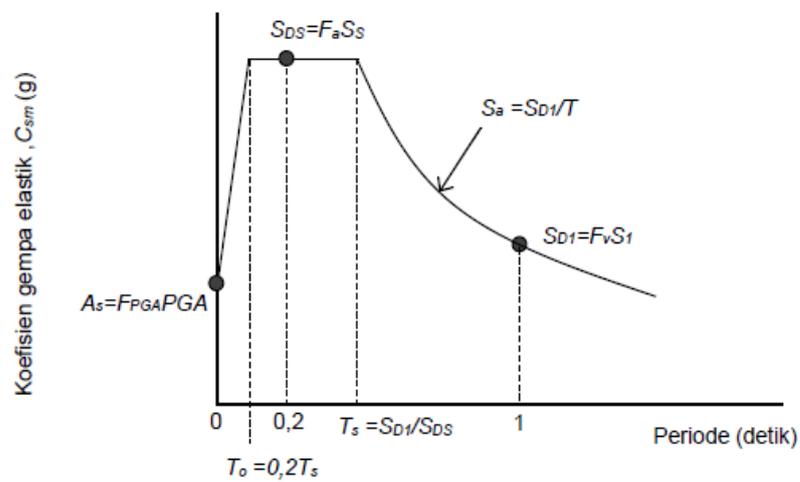
$$\begin{aligned} SDs &= Fa \times Ss \\ &= 1,5 \times 0,35 \\ &= 0,525 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= F_{PGA} \times PGA \\
 &= 1,52 \times 0,17 \\
 &= 0,2584
 \end{aligned}$$

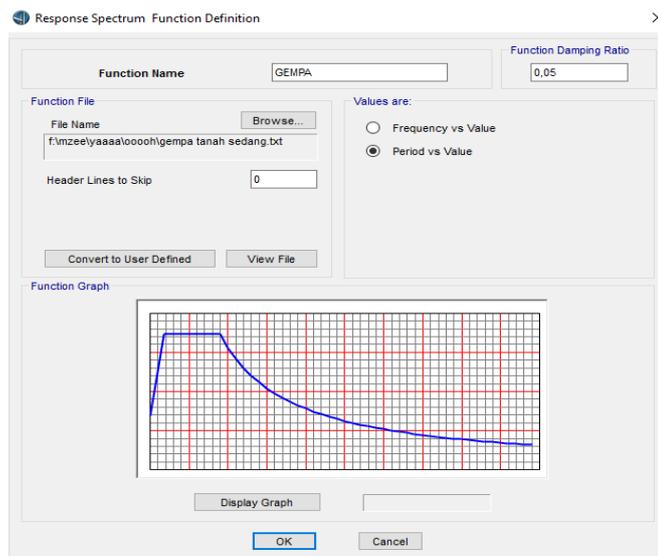
$$\begin{aligned}
 T_s &= S_{D1}/S_{D_s} \\
 &= 0,6048/0,525 \\
 &= 1,152
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2T_s \\
 &= 0,2 \times 1,152 \\
 &= 0,2304
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan parameter spektra dapat digunakan dalam sebuah grafik respon spektra seperti dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.21: Grafik respon spektrum.



Gambar 3.22: Pemodelan respon spektrum pada *software*.

3.11. Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan pada perencanaan jembatan jalan raya yaitu:

Kuat I	= 1,25 MS + 2 MA + 1,8 TB + 1,8 TT + 1 PL + 1 PR
Kuat II	= 1,25 MS + 2 MA + 1,4 TB + 1,4 TT + 1 PL + 1 PR
Kuat III	= 1,25 MS + 2 MA + 1,4 EWs + 1 PL + 1 PR
Kuat IV	= 1,25 MS + 2 MA + 1 PL + 1 PR
Kuat V	= 1,25 MS + 2 MA + 0,4 EWs + 1 EW _L + 1 PL + 1 PR
Ekstrem I X	= 1,1 MS + 1,1 MA + 0,5 TT + 1 EQ _x + 0,3 EQ _y + 1 PL + 1 PR
Ekstrem I Y	= 1,1 MS + 1,1 MA + 0,5 TT + 0,3 EQ _x + 1 EQ _y + 1 PL + 1 PR
Ekstrem II	= 1 MS + 1 MA + 1 TC + 1 PL + 1 PR
Layan I	= 1 MS + 1, MA + 1 TB + TT + 0,3 EWs + 1 EQ _L + 1 PL + 1 PR
Layan II	= 1 MS + 1 MA + 1,3 TB + 1,3 TT + 1 PL + 1 PR
Layan III	= 1 MS + 1 MA + 0,8 TB + 0,8 TT + 1 PL + 1 PR
Layan IV	= 1 MS + 1 MA + 0,7 EWs + 1 PL + 1 PR
Fatik	= 0,75 TT + 0,75 TB

3.12. Perencanaan prategang

Dalam tugas akhir ini perletakan tendon dibuat sesuai data yang direncanakan dengan detail dapat dilihat pada Gambar lampiran 1.

Prategang direncanakan menggunakan tendon/kabel jenis strand *seven wire stress relieved* (7 kawat untaian) dengan mengacu pada tabel seperti terlihat dibawah ini.

Main Data											
Type	13mm (0.5")				15mm (0.6")				18mm	22mm	28mm
Designation	prEN 10138-3 (2006) Y1860S7	ASTM416-06 Grade 270	GB/T 5224-2003	prEN 10138-3 (2006) Y1860S7	ASTM416-06 Grade 270	GB/T 5224-2003	JIS G3536 -2008	JIS G3536 -2008	JIS G3536 -2008		
Nom. Dia. (mm)	12.5	12.9	12.7	12.7	15.3	15.7	15.24	15.2	17.8	21.8	28.6
Nom. Cross Section (mm ²)	93	100	98.7	98.7	140	150	140	140	208.4	312.9	532.4
Nom. Mass (Kg/m)	0.726	0.781	0.775	0.775	1.093	1.172	1.102	1.101	1.652	2.482	4.229
Nom. Yield Strength (MPa)	1634	1640	1675		1636	1640	1676				
Nom. Tensile Strength (MPa)	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860			
Min. Breaking Load (kN)	173	186	183.7	184	260	279	260.7	260	387	573	949
Young's Modulus (Gpa)	Approx. 195										
Relaxation after 1,000h at 20° C at 70% breaking load	Max. 2.5										

Gambar 3.23: Tabel jenis dan karakteristik tendon.

3.12.1. Kondisi awal saat transfer

Untuk girder dengan mutu baja BJ 50 yang memiliki spesifikasi yang telah dijelaskan sebelumnya maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan leleh (f}_y) &= 290 \text{ MPa} \\
 \text{Section properties (W}_a) &= 12,135 \text{ m}^3 \\
 \text{W}_b &= 12,164 \text{ m}^3 \\
 \text{Luasan (A)} &= 39,579 \text{ m}^2 \\
 \text{Letak titik berat girder (Y}_b) &= 0,849 \text{ m} \\
 \text{Jarak pusat tendon ke sisi bawah (z}_o) &= 0,45 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas tendon (E}_s = y_b - z_o) &= 0,399 \text{ m} \\
 \text{Momen akibat berat sendiri (output csi)} &= 6254,80 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada serat atas:

$$- 0.25 \times \sqrt{f_y} = -pt/A + Pt \times E_s / W_a - M_{bs} / W_a \quad (3.1)$$

Tegangan pada serat bawah:

$$- 0.6 \times f_y = -pt/A - Pt \times E_s / W_b - M_{bs} / W_b \quad (3.2)$$

Besarnya gaya prategang awal ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan serat atas} = Pt &= (0.25 \times \sqrt{f_y} + M_{bs} / W_a) / (E_s / W_a - 1/A) \\
 &= 68253,2299 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan serat awah} = P_t &= (0.6 \times f_y + M_{bs}/W_b)/(E_s/W_b + 1/A) \\ &= 11851,7978 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil gaya prategang awal} = 11851,7978 \text{ kN}$$

Berdasarkan tabel OVM dengan untuk jenis kabel 0.5" maka digunakan jenis *strand uncoated 7 wire strands ASTM A-416 grade 270*.

$$\text{Diameter} = 12,7 \text{ mm}$$

$$\text{Luas nominal (Aps)} = 98,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Minimum breaking load} = 183,7 \text{ kN}$$

$$\text{Modulus elastisitas (E}_s) = 200.000 \text{ MPa}$$

Untuk jumlah kawat untai 22 kawat untaian tendon:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{strands} \text{ minimum yang digunakan (n}_s) &= p_t/0,8 \times p_{bs} \\ &= 162,52 \textit{ strands} \end{aligned}$$

Tabel 3.3: Pemakaian jumlah *strands* Tendon

n _{s1}	6	Tendon	12	Strands/tendon =	72	Strand dg. Selubung tendon	85	mm
n _{s2}	6	Tendon	12	Strands/tendon =	72	Strand dg. Selubung tendon	85	mm
n _{s3}	6	Tendon	12	Strands/tendon =	72	Strand dg. Selubung tendon	85	mm
n _{s4}	6	Tendon	12	Strands/tendon =	72	Strand dg. Selubung tendon	85	mm
n _{s5}	6	Tendon	12	Strands/tendon =	72	Strand dg. Selubung tendon	85	mm

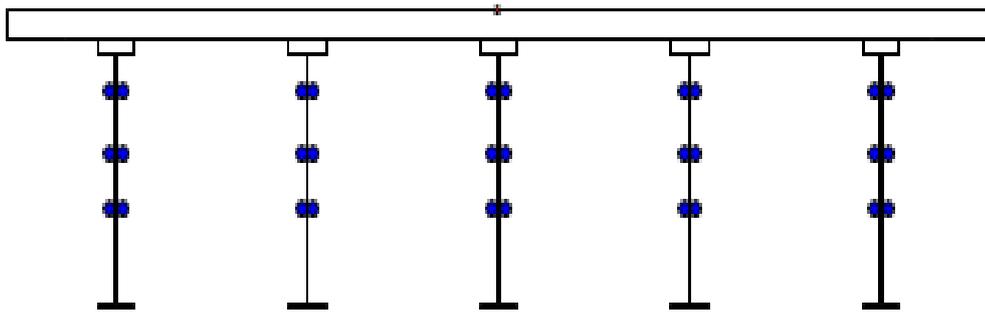
$$N_t = 30 \text{ tendon}$$

$$N_s = 360 \textit{ strands}$$

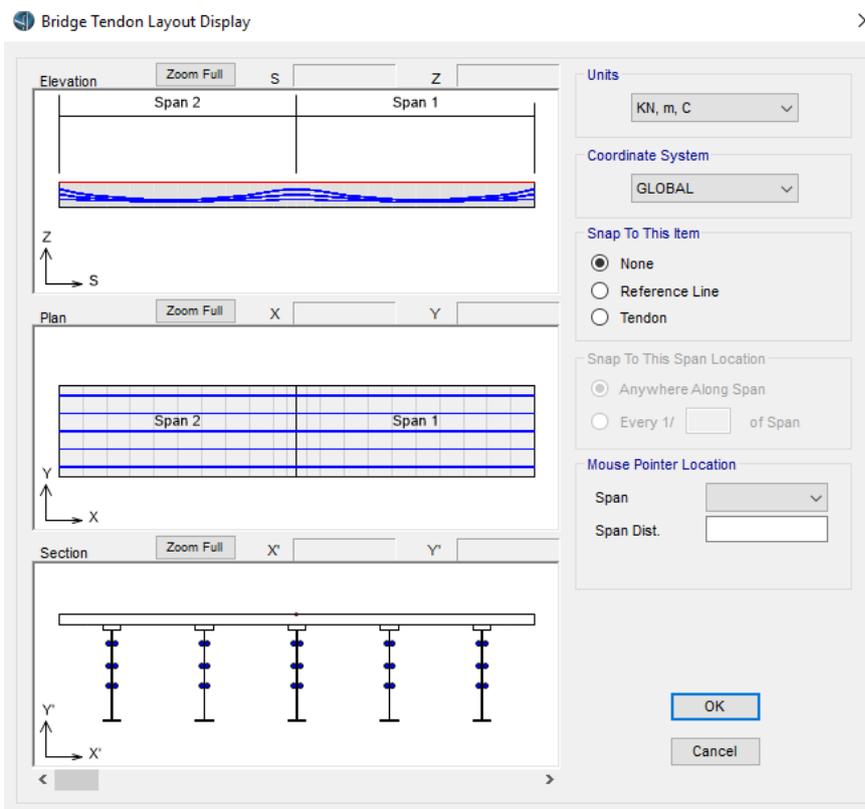
$$\begin{aligned} \text{Beban satu } \textit{strands} \text{ (P}_{bs}) &= P_t / n_s \\ &= 32,9217 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (p}_o) &= P_t / (n_s \times p_{bs}) \\ &= 36,9\% < 80\% \text{ (oke)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya prestress yang terjadi akibat } \textit{jacking} \text{ (p}_j) &= P_o \times n_s \times p_{bs} \\ &= 4373,319 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 3.24: Posisi tendon pada girder.



Gambar 3.25: Lintasan tendon.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan umum

Pada bab ini akan membahas tentang hasil studi dan membandingkan hasil analisis dari program *software* berdasarkan dua jenis struktur jembatan yaitu, jembatan *I girder* baja (pemodelan 1) dan jembatan *I girder* baja yang diperkuat dengan baja prategang (pemodelan 2). Dalam analisis ini didapat hasil dari perbandingan kedua pemodelan.

4.2. Hasil analisa

Dari hasil analisa terhadap struktur jembatan komposit akibat pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016 dilakukan pengecekan kekuatan batas pada kekuatan, deformasi dan lendutan pada kondisi pembebanan dilakukan pada keadaan batas layan, selain itu juga didapat nilai perioda getar yang berbeda pada setiap perbandingan pemodelan pada jembatan *I girder* yang diperkuat dengan baja prategang.

4.2.1. Hasil analisis lendutan

Hasil analisis terhadap pemodelan struktur jembatan *I girder* baja menghasilkan nilai lendutan yang mana nilai lendutan tersebut tidak boleh melampaui lendutan yang di ijinakan. Berdasarkan AASHTO LRFD 2012 artikel 2.5.2.6.2 syarat ijin lendutan tidak boleh melampaui $L/800$.

$$L/800 = 40/800 = 0,05 \text{ m}$$

Tabel 4.1: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan *I girder* baja.

<i>Output case</i> (kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,001524

Dari hasil analisa dengan *software* untuk jembatan komposit didapat lendutan maksimum saat *service* yaitu sebesar 0,001524 m seperti terlihat pada Tabel 4.1 diatas.

$$\Delta \text{ terjadi} < \Delta \text{ ijin}$$

$$0,001524 \text{ m} < 0,05 \text{ m (memenuhi syarat).}$$

Tabel 4.2: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan baja prategang dengan bentuk parabola

<i>Output case</i> (kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,001260

Dari hasil analisa dengan *software* untuk jembatan baja prategang bentuk parabola didapat lendutan maksimum saat *service* yaitu sebesar 0,001260 m seperti terlihat pada Tabel 4.2 diatas.

$$\Delta \text{ terjadi} < \Delta \text{ ijin}$$

$$0,001260 \text{ m} < 0,05 \text{ m (memenuhi syarat)}$$

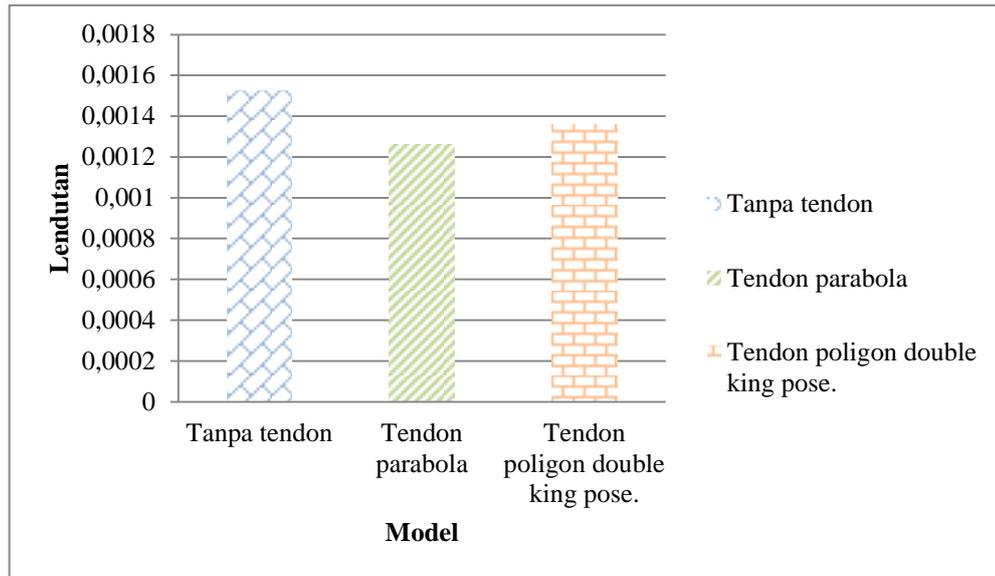
Tabel 4.3: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan baja prategang dengan bentuk *poligon double king pose*.

<i>Output case</i> (kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,001359

Dari hasil analisa dengan *software* untuk jembatan baja prategang bentuk *poligon double king pose*. didapat lendutan maksimum saat *service* yaitu sebesar 0,001359 m seperti terlihat pada Tabel 4.3 diatas.

$$\Delta \text{ terjadi} < \Delta \text{ ijin}$$

$$0,001359 \text{ m} < 0,05 \text{ m (memenuhi syarat)}$$



Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai lendutan pada jembatan baja prategang dan tanpa prategang.

Dari grafik diatas diperoleh perbandingan lendutan terhadap jembatan biasa dengan jembatan yang telah diberi baja prategang. Dari perbandingan tersebut nilai lendutan yang lebih besar adalah jembatan biasa tanpa tendon, penurunan lendutan dari jembatan biasa dengan jembatan yang menggunakan tendon bentuk parabola sebesar 0,000164, sedangkan yang menggunakan tendon bentuk *poligon double king pose* penurunan lendutannya sebesar 0,000165. Dan dari perbandingan jembatan yang menggunakan tendon lendutan yang lebih besar adalah jembatan yang menggunakan tendon bentuk *poligon double king pose*.

4.2.2. Hasil analisis periode getar

Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan komposit *I girder* baja dan satu *pier* kotak dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4: Nilai periode getar (T) pada jembatan *I girder* baja.

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,12973
Modal	Mode 2	0,10751
Modal	Mode 3	0,10401
Modal	Mode 4	0,0994
Modal	Mode 5	0,09649

Tabel 4.4: *Lanjutan*

Modal	Mode 6	0,08995
Modal	Mode 7	0,07394
Modal	Mode 8	0,06403
Modal	Mode 9	0,06139
Modal	Mode 10	0,05001
Modal	Mode 11	0,04787
Modal	Mode 12	0,04787

Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan baja prategang bentuk parabola dan dua *pier* kotak dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5: Tabel perioda getar (T) pada jembatan baja prategang bentuk parabola.

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,12876
Modal	Mode 2	0,10563
Modal	Mode 3	0,09929
Modal	Mode 4	0,0978
Modal	Mode 5	0,0905
Modal	Mode 6	0,08732
Modal	Mode 7	0,07398
Modal	Mode 8	0,06323
Modal	Mode 9	0,05952
Modal	Mode 10	0,04869
Modal	Mode 11	0,04869
Modal	Mode 12	0,04845

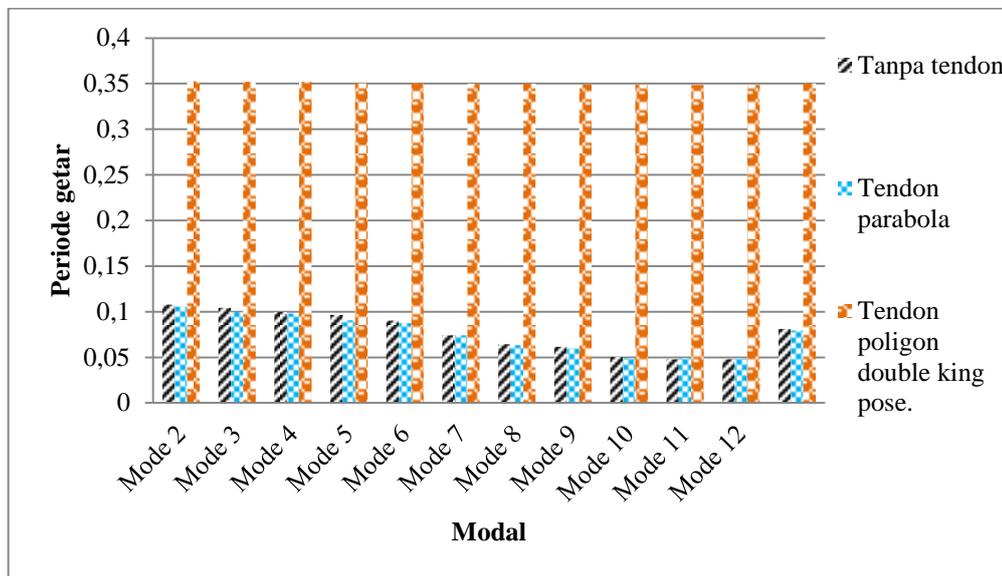
Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan baja prategang bentuk *poligon king pose* dan dua *pier* kotak dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6: Tabel perioda getar (T) pada jembatan baja prategang bentuk *poligon double king pose*.

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,35256
Modal	Mode 2	0,35256

Tabel 4.6: *Lanjutan*

Modal	Mode 3	0,35205
Modal	Mode 4	0,35205
Modal	Mode 5	0,35017
Modal	Mode 6	0,35008
Modal	Mode 7	0,34985
Modal	Mode 8	0,34975
Modal	Mode 9	0,34857
Modal	Mode 10	0,34856
Modal	Mode 11	0,34829
Modal	Mode 12	0,34829



Gambar 4.2: Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada jembatan baja prategang dan jembatan tanpa prategang.

Dari grafik di atas diperoleh perbandingan nilai perioda getar (T) jembatan yang menggunakan bentuk kabel prategang *poligon double king pose* lebih besar dibandingkan yang menggunakan kabel prategang parabola dan tanpa prategang.

4.2.3. Pemeriksaan konstruksi kondisi batas ultimit

Pemeriksaan konstruksi pada kondisi batas ultimit ditinjau dengan analisis struktur dalam menahan momen, gaya geser, dan lendutan yang terjadi.

4.2.3.1. Perhitungang kekuatan gelagar terhadap momen

Untuk menentukan kuat lentur maka jenis penampang perlu ditinjau terlebih dahulu. Persyaratan yang perlu dipenuhi untuk menentukan jenis penampang yaitu nilai kelangsingan sayap (*flange*) dan badan (*web*). Dengan mengetahui nilai tersebut maka dapat diketahui jenis penampangnya dan ditetapkan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai resistensi terhadap momen lentur yang bekerja.

- a. Syarat kelangsingan penampang sayap (*flange*) dan badan (*web*)

Pada struktur gelagar komposit bagian gelagar baja dapat ditentukan sebagai kategori kompak jika kelangsingan sayap dan badan memenuhi persyaratan $\lambda < \lambda_p$ dan ditentukan sebagai kategori tidak kompak jika $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$.

- Untuk sayap atas

Kelangsingan ditentukan dengan

$$\lambda_f = \frac{0,34}{2 \times 0,026} = 6,538$$

Nilai kelangsingan untuk penampang kompak dinyatakan

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{290}} = 9,979$$

Nilai kelangsingan untuk penampang tidak kompak dinyatakan

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{290}} = 14,706$$

$\lambda_f < \lambda_{rf}$, penampang masuk dalam kategori tidak kompak sehingga untuk menghitung tekuk lokal pada sayap atas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{nc} &= \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_y} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \\ &= 340,2508 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Untuk web

Sama seperti pada sayap, untuk kelangsingan pada pelat badan untuk masuk dalam kategori kompak harus memenuhi syarat.

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$69,5031 \leq 149,6893 \quad (\text{aman})$$

b. Momen nominal dan resistensi penampang

Kuat lentur nominal penampang (M_n) untuk struktur gelagar komposit *box girder* baja kompak adalah sebagai berikut:

Jika $D_p < 0,1 D_t$ digunakan persamaan

$$M_n = M_p$$

Jika tidak memenuhi maka digunakan persamaan

$$M_n = M_p \left(1,07 - 0,7 \frac{D_p}{D_t} \right)$$

$$D_p < 0,1 D_t$$

$$0,24 < (0,1 \times 1,76)$$

$0,24 > 0,176$ sehingga momen nominal sebesar

$$\begin{aligned} M_n &= 59383,29 \times (1,07 - 0,7(0,24/1,756)) \\ &= 57898,71 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Hasil analisis nilai momen maksimum menggunakan *software* pada jembatan komposit *I girder* dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.7: Hasil analisis nilai momen (M_3) maksimum.

Output Case (Kombinasi)	Momen (M_u) (kN.m)
Kombinasi kuat 1	17715,916
Kombinasi kuat 2	17109,882
Kombinasi kuat 3	15422,624
Kombinasi kuat 4	15422,389
Kombinasi kuat 5	15422,476

Hasil analisis diatas maka, didapat nilai momen (M_3) maksimum yaitu sebesar: 17715,916 kN.m.

Cek:

$$M_u = 17715,916 \text{ kN.m} = 1806520,67177 \text{ Kgf.m}$$

$$\text{Syarat: } \mu \leq \phi_f M_n$$

$$17715,916 \leq 57898,71$$

Oke!

Hasil analisis momen maksimum menggunakan *software* pada jembatan baja prategang parabola dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.8: Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Momen (μ) (kN.m)
Kombinasi kuat 1	14895,264
Kombinasi kuat 2	7950,0295
Kombinasi kuat 3	6500,4229
Kombinasi kuat 4	6499,8926
Kombinasi kuat 5	6500,088

Hasil analisis diatas maka, didapat nilai momen (M3) maksimum yaitu sebesar: 14895,264 kN.m.

Cek:

$$\mu = 14895,264 \text{ kN.m} = 1518894,21509 \text{ Kgf.m}$$

$$\text{Syarat: } \mu \leq \phi_f M_n$$

$$14895,264 \leq 57898,71$$

Oke!

Hasil analisis momen maksimum menggunakan *software* pada jembatan baja prategang bentuk *poligon double king pose* dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.9: Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Momen (μ) (kN.m)
Kombinasi kuat 1	9468,168
Kombinasi kuat 2	9031,8381
Kombinasi kuat 3	13890,852
Kombinasi kuat 4	7504,6836
Kombinasi kuat 5	7504,8026

Hasil analisis diatas maka, didapat nilai momen (M3) maksimum yaitu sebesar: 13890,852 kN.m.

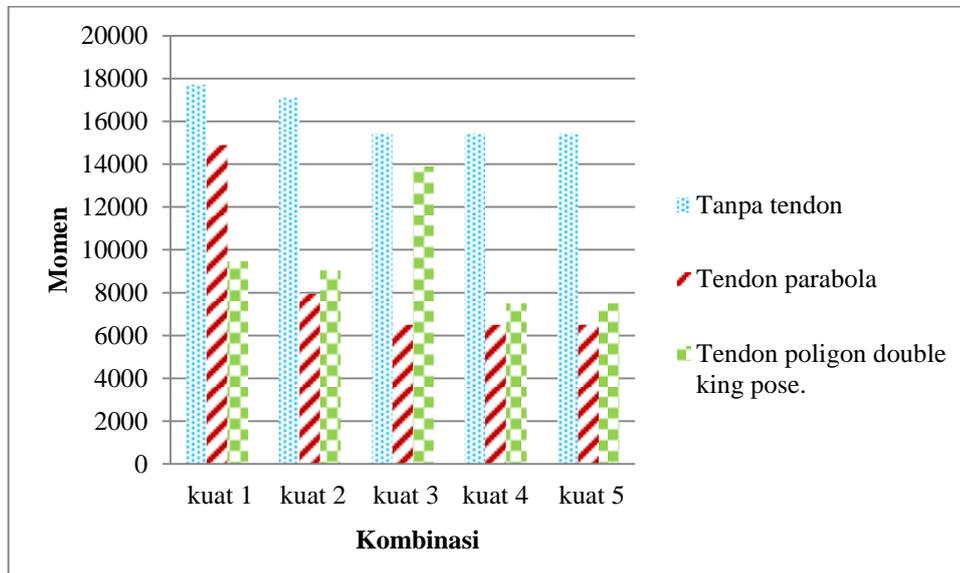
Cek:

$$\mu = 13890,852 \text{ kN.m} = 1416472,69531 \text{ Kgf.m}$$

Syarat: $M_u \leq \phi_f M_n$

$$13890,852 \leq 57898,71$$

Oke!



Gambar 4.3: Perbandingan nilai momen ultimit (M_u) pada jembatan baja prategang dan tanpa prategang.

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai momen ultimit (M_u) pada jembatan biasa lebih besar dibandingkan dengan momen ultimit (M_u) pada jembatan menggunakan baja prategang. Dan perbandingan momen ultimit (M_u) pada jembatan baja prategang di Kuat 1 yang menggunakan tendon parabola nilai momen ultimitnya lebih besar dibanding yang menggunakan tendon *poligon double king pose* dan di Kuat 3 jembatan yang menggunakan tendon *poligon double king pose* nilai momen ultimit lebih besar dibanding yang menggunakan tendon parabola.

4.2.3.2. Perhitungan kekuatan gelagar terhadap gaya geser

Gaya geser yang diterima oleh gelagar akan didukung oleh bagian pelat badan. Keadaan yang menentukan adalah pada saat kondisi leleh dan tekuk dan tekuk local. Pelat bada termasuk penampang kompak sehingga mampu mencapai kondisi leleh tanpa mengalami tekuk lokal. Persyaratan kelangsingan badan agar kondisi leleh tercapai harus memenuhi syarat.

$$\frac{D}{t_w} > 1,12 \sqrt{\frac{E_s k_{sh}}{f_y}}$$

Digunakan $k_{sh} = 5$

$$\frac{1,648}{0,024} > 1,12 \sqrt{\frac{200000 \times 5}{290}}$$

$$68,667 > 65,7687$$

(memenuhi)

Maka, nilai $C_w = 1$

$$\begin{aligned} V_p &= 0,58 \times F_y \times D \times t_w \\ &= 0,58 \times 290 \times 1,648 \times 0,024 \\ &= 6652,6464 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= C_w \times V_n \\ &= 1 \times 6652,6464 = 6652,6464 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hasil analisis nilai gaya geser ultimit dengan menggunakan *software* pada jembatan *I girder* baja yaitu 766,5491 kN.

Cek terhadap kuat geser:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} & : V_{ui} \leq \phi_v V_n \\ & 766,5491 < 6652,6464 \end{aligned} \quad \text{Oke!}$$

Hasil analisis nilai gaya geser ultimit dengan menggunakan *software* pada jembatan baja prategang bentuk parabola yaitu 788,9459 kN

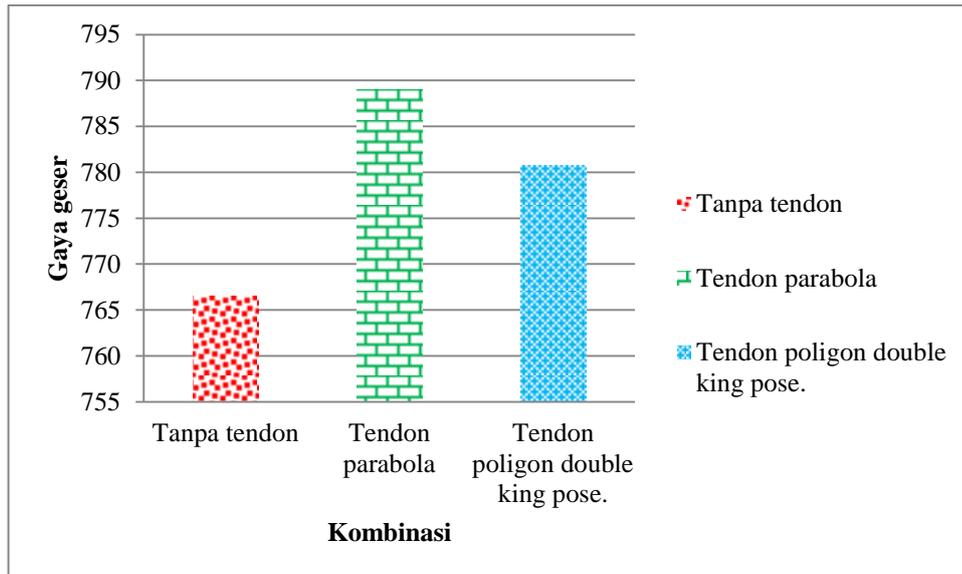
Cek terhadap kuat geser:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} & : V_{ui} \leq \phi_v V_n \\ & 788,9459 < 6652,6464 \end{aligned} \quad \text{Oke!}$$

Hasil analisis nilai gaya geser ultimit dengan menggunakan *software* pada jembatan baja prategang bentuk *poligon double king pose* yaitu 780,7574 kN

Cek terhadap kuat geser:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} & : V_{ui} \leq \phi_v V_n \\ & 780,7574 < 6652,6464 \end{aligned} \quad \text{Oke!}$$



Gambar 4.4: Perbandingan nilai gaya geser ultimit (V_u) yang terjadi pada jembatan baja pratengan dan tanpa prategang.

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan nilai gaya geser ultimit (V_u) pada jembatan I girder menunjukkan bahwa nilai yang paling besar adalah jembatan baja prategang menggunakan bentuk parabola.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Gelagar baja (profil I) yang diperkuat dengan gaya prategang dianalisa dengan *software* analisis struktur, dengan membandingkan 3 perbandingan yaitu I girder dengan tanpa tendon, dengan menggunakan tendon parabola, dan dengan tendon *poligon double king pose*.
2. Berdasarkan hasil analisa yang di dapat terdapat perbedaan kekuatan I girder baja saat sebelum dan sesudah diberi gaya prategang dimana struktur jembatan lebih baik menggunakan gaya prategang. Dengan perbandingan antara lain:
 - a. Lendutan I girder dengan tanpa tendon adalah 0,001524, I girder dengan tendon parabola adalah 0,001260, dan I girder dengan tendon *poligon double king pose* adalah 0,001359.
 - b. Momen ultimit I girder dengan tanpa tendon adalah 17715,916 I girder dengan tendon parabola adalah 14895,264, dan I girder dengan tendon *poligon double king pose* adalah 13890,852.
 - c. Gaya geser ultimit I girder dengan tanpa tendon adalah 766,5491, I girder dengan tendon parabola adalah 788,9459, dan I girder dengan tendon *poligon double king pose* adalah 780,7574.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang akurat perlu dilakukan analisa terhadap struktur bagian bawah jembatan.
2. Sistem prategang eksternal masih dapat dikembangkan dengan baik di indonesia, sehingga butuh lebih banyak studi tentang sistem ini agar bisa lebih efektif dalam penggunaannya di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Standar pembebanan untuk jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Standar pembebanan untuk jembatan Gempa (SNI 2833-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- OFICIALS., A.A.O.S.H.A.T. (2012). *Asshto Lrfd Bridge Design Specifications, 6th Edition* (p. 1661). p. 1661.
- Supriyadi,B dan Muntohar,A.S. (2007) *Jembatan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Chen, W. F. (2003). *Bridge Engineering Handbook 2nd- Superstructure Design. In Civ. Eng. (N.Y.)* (Vol. 73). London: Taylor dan Francis Group.
- T-03-, R. (2005). *Perencanaan stuktur baja untuk jembatan*.
- Cahyaka, H. W., Wibowo, A., Handayani, K. D., Wiyono, A., dan Santoso, E. H. (2018). *Analisis Desain Jembatan Komposit Gelagar Baja Menggunakan Struktur Non-Prismati. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, 1(1)*, 186–194.
- Mitra, J., Sipil, T., Hadi, N., Studi, P., Teknik, S., Tarumanagara, U., Belakang, L. (2018). *Analisis Perbandingan Perkuatan Jembatan Rangka Baja Dengan Metode Prategang Eksternal Ditinjau Dari Bentuk Trase Kabel Prategang. Jurnal Mitra Teknik Sipil, 1(1)*, 230–239.
- Putra, B. H., dan Surbakti, B. (2018). *Kajian Perkuatan Jembatan Menggunakan Sistem Prategang Eksternal*. 1–9.
- Simamora, N. S., dan Handana, M. A. P. (n.d.). *Jurnal Teknik Sipil Usu Analisa Kekuatan Balok Baja Prategang (Prestressed Steel Girder)*. (1), 1–2.
- Witriyatna, C., Purnomo, D. A., W, A. B., dan Marinda, M. (2018). *Analisis Perbandingan Modul Jembatan Gelagar I Dan Gelagar Box Baja Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya. Jurnal M.I.P.I, 12*, 115–126.
- Nawy, E.G. (2001), *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid I Edisi Ketiga*. Jakarta:Erlangga.
- Hidayat, I. (2013). *Analisis Perhitungan Jembatan Gelagar I pada Jembatan Jalan Raya dan Jembatan Kereta Api*.
- Manalip, H., dan Handono, B. D. (2018). *Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang*. 6(2), 67–74.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Maimuna Zebua
Panggilan : Muna
Tempat, Tanggal Lahir : Singkil, 06 Maret 1997
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jl. Bandes Ds. Pulo Sarok Kec. Singkil Kab. Aceh
Singkil
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : M. Dalman Zebua
Ibu : Jasmainar
No.HP : 085373021339
E-Mail : maimunazebua97@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507210061
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	Min Singkil	2009
2	SMP	MTsN Singkil	2012
3	SMA	MAN Singkil	2015
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015 sampai selesai.		

