

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA GIRDER PRATEGANG *FLY OVER* KERETA API  
*DOUBLE TRACK* DI KOTA MEDAN**

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

**Disusun Oleh:**

**NIZAR FUADI  
1407210054**



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2018

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nizar Fuadi

NPM : 1407210054

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Girder Prategang *Fly Over* Kereta Api *Double Track* di Kota Medan

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, 27 September 2018

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I/Penguji

Tondi Annisya P. ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji

Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Dosen Pembanding I/Penguji

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dosen Pembanding II/Penguji

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc.



Program Studi Teknik Sipil  
Ketua

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nizar Fuadi  
Tempat /Tanggal Lahir: Muara Tais III, 14 Mei 1996  
NPM : 1407210054  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Analisa Girder Prategang *Fly Over* Kereta Api *Double Track* di Kota Medan”.

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 hakikatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan 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, 27 September 2018

Saya yang menyatakan,



Nizar Fuadi

## ABSTRAK

# ANALISA GIRDER PRATEGANG *FLY OVER* KERETA API *DOUBLE TRACK* DI KOTA MEDAN

Nizar Fuadi  
1407210054

Tondi Amirsyah P. ST, MT  
Mizanuddin Sitompul, ST, MT

*Fly over* kereta api adalah kereta yang memiliki lintasan di jalan layang dibangun dengan bantuan tiang-tiang penyangga. Pembangunan jalan kereta api layang di Kota Medan sepanjang 28 Kilometer dari Medan menuju Kualanamu dan 4 Km Menuju arah Pulo Brayon. Dengan adanya pembangunan *fly over* ini akan mengurangi dampak kecelakaan lalu lintas. Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan perilaku struktur dengan penampang *box girder single cell* dan *multi cell*. Analisis yang digunakan mengacu pada SNI 1725:2016, PM No.60 2012, SNI T-12-2004, dan SNI 2833:2013. Jumlah tendon pada model 1 sebanyak 32 tendon dengan 544 *strand* dan pada model 2 sebanyak 30 Tendon dengan 520 *strand*. Struktur jembatan dimodelkan dengan bantuan *software CSI bridge* dimana diperoleh hasil nilai perioda getar untuk model 1 *single cell* sebesar 0,69055 detik, dan untuk model 2 *multi cell* sebesar 0,76333 detik. Hasil analisis lendutan yang terjadi pada model 1 sebesar 0,0287 m dan untuk model 2 sebesar 0,0318 m. Hasil analisis gaya geser yang maksimum pada arah X untuk model 1 sebesar 3452246 Mpa dan model 2 sebesar 3704451 Mpa. Kehilangan gaya prategang (*loss of prestress*) pada model 1 sebesar 18% sedangkan pada model 2 sebesar 15,45% dimana persentase (%) kehilangan gaya prategang kedua model tersebut sangat mendekati estimasi kehilangan gaya prategang awal yakni sebesar 20%. Dari analisis Model 1 lebih efisien dan lebih kuat untuk menahan daya lendutan.

Kata kunci: *Fly over Box girder*, Beton prategang, Perioda getar, Lendutan, *Loss of prestress*.

## **ABSTRACT**

### ***PRESTRESSED GIRDER ANALYSIS OF FLY OVER DOUBLE TRACK RAILS IN MEDAN CITY***

Nizar Fuadi  
1407210054

Tondi Amirsyah P. ST, MT  
Mizanuddin Sitompul, ST, MT

*Railway flyover is a track on the overpass built with the help of supporting poles. The construction of the flyover through 28 Kilometer from Medan City to Kualanamu and 4 Km to Pulo Brayan. The construction hopefully can reduce the impact of traffic accidents. This final project aims to analyze the comparison of structural behavior with a “box girder single cell and multi cell” section. Used analysis refers to SNI 1725:2016, PM No.60 2012, SNI T-12-2004 and SNI 2833:2013. The Total of tendons in model 1 was 32 tendons with 544 strands and in model 2 was 30 tendons with 520 strands. Bridge structure is modeled with the help of CSI bridge software, where the results of the vibrating period for model 1 “single cell” are 0.69055 seconds, and and for model 2 “multi cell” is 0.76333 seconds. The results of deflection analysis in model 1 is 0.0287 m and for model 2 is 0.0318 m. analysis results of the maximum shear force in the X direction for model 1 is 3452246 MPa and model 2 is 3704451 MPa. The loss of prestress in model 1 is 18% and model 2 is 15,45% where the percentage (%) of the loss of prestress in the two models is very predictable for the initial category of 20%. From the analysis, model 1 is more efficient and stronger to withstand the deflection power.*

*Keywords: Flyover Box Girder, Prestressed Concrete, Vibrating Period, Deflection, Loss of Prestress.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Girder Prategang *Fly Over* Kereta Api *Double Track* di Kota Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah P. ST, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mizanuddin Sitompul, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, MSc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Irma Dewi ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

8. Orang tua penulis: Ayahanda tercinta Anwar Nasution dan Ibunda tercinta Marni Hutasuhut, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Terima kepada abangda Muhammad Iqbal Y Saran ST, Effan Ferarri Gultom ST, Muhammad Luthfi Sofyan Lubis ST, Muhammad Prayudha ST, Muhammad Fuad Hanif ST, Muhammad Taruna ST, Abdi Gunawan ST, Syarbaini Lubis ST, Muhammad Dicky Pratama Putra ST dan yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu selama proses kuliah hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Sahabat-sahabat penulis: Retno Friana Dewi, Sapto Prabowo, Jefri Rahmad Fadhil, Fahmi Idris, Rahmad Amin Pasaribu, Rahmad Hariyadi, Juni Indriani, abangda M. Hari setiawanserta keluarga besar Teknik sipil 2014, Keluarga A1 Pagi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dan seluruh teman-teman lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, September 2018

Nizar Fuadi

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Umum	5
2.2. Aspek Perkeretaapian	6
2.2.1. Struktur Jalan Rel	6
2.2.2. Rel	7
2.2.3. Bantalan	10
2.2.4. Balas Atas	12
2.3. <i>Box Girder</i>	12
2.4. Pembebanan Pada Jembatan	15
2.4.1. Beban Mati atau Berat Sendiri Struktur Atas	16
2.4.2. Beban Kendaraan Kereta Api	18
2.4.3. Beban Kejut	21
2.4.4. Beban Pengereman dan Traksi	21



2.4.5. Beban Angin	21
2.4.6. Beban Akibat Tumbukan Kendaraan	22
2.4.7. Gesekan Friksi	22
2.4.8. Beban Gempa	22
2.4.9. Temperatur	32
2.4.10. Pengaruh Susut dan Rangkak	34
2.4.11. Pengaruh Prategang	38
2.4.12. Kombinasi Pembebanan	38
2.5. Perencanaan <i>Spring</i>	42
2.6. <i>Lead Rubber Bearing</i>	42
2.7. Aspek Beton Prategang	43
2.7.1. Material Beton Prategang	44
2.7.2. Tahap Pembebanan	48
2.7.3. Konsep Beton Prategang	49
2.7.4. Tipe Beton Pratekan/Prategang	52
2.7.5. Kehilangan Gaya Prategang	54
2.8. Pilar	61
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	62
3.1. Bagan Alir Penelitian	62
3.2. Metode Pengumpulan Data	63
3.3. Kriteria <i>Fly Over</i>	63
3.4. Spesifikasi bahan	64
3.4.1. Struktur Atas	64
3.4.2. Struktur Bawah	66
3.5. Pemodelan Struktur	66
3.5.1. Tegangan Ijin Bahan	68
3.6. Perencanaan Model 1	69
3.6.1. <i>Preliminary Design</i>	69
3.6.2. Beban-Beban yang Bekerja	70
3.6.3. Perencanaan <i>Spring</i>	82
3.6.4. Perencanaan Bearing	83
3.7. Perencanaan Model 2	84

3.7.1. Struktur Atas	84
3.7.2. Struktur Bawah	85
3.8. <i>Preliminary design</i>	86
3.8.1. Beban-beban yang Bekerja	87
3.8.2. Perencanaan <i>spring</i>	100
3.8.3. Perencanaan Bearing	101
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	102
4.1. Tinjauan Umum	102
4.2. Hasil Analisa	102
4.2.1. Hasil Analisa Prategang dan Jumlah <i>strand</i>	102
4.2.2. Hasil Analisis Periode Getar Model 1	103
4.2.3. Hasil Analisis Periode Getar Model 2	103
4.2.4. Hasil Analisis Lendutan Model 1	104
4.2.5. Hasil Analisis Lendutan Model 2	105
4.2.6. Hasil Analisis Tegangan Model 1	106
4.2.7. Hasil Analisis Tegangan Model 2	107
4.2.8. Hasil Analisis Nilai Gaya Geser Arah Y Model 1 dan 2	109
4.2.9. Hasil Analisis Nilai Gaya Geser Arah X Model 1 dan 2	110
4.2.10. Hasil Analisis Nilai Gaya Aksial Model 1 dan 2	112
4.3. Kehilangan Gaya Prategang Model 1	113
4.3.1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton	113
4.3.2. Gesekan Kabel dan <i>Wobble Effect</i>	114
4.3.3. Akibat Slip Angkur	115
4.3.4. Akibat Rangkak Beton	115
4.3.5. Akibat Susut Beton	116
4.3.6. Akibat Relaksasi Baja	116
4.3.7. Kehilangan Gaya Prategang Total	117
4.4. Kehilangan Gaya Prategang Model 2	117
4.4.1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton	118
4.4.2. Gesekan Kabel dan <i>Wobble Effect</i>	118
4.4.3. Akibat Slip Angkur	119
4.4.4. Akibat Rangkak Beton	120

4.4.5. Akibat Susut Beton	120
4.4.6. Akibat Relaksasi Baja	121
4.4.7. Kehilangan Gaya Prategang Total	122
4.5. Hasil Analisa Kontrol <i>Pier</i>	122
4.5.1. Tinjauan Arah <i>Pier</i> Memanjang	122
4.5.2 Kontrol Stabilitas <i>Pier</i>	123
4.5.3. Pengaruh P-Delta	123
4.5.4. Diagram Interaksi <i>Pier</i>	124
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	126
5.1. Kesimpulan	126
5.2. Saran	127
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	128
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Lebar jalan rel 1067 mm	8
Tabel 2.2	Lebar jalan rel 1435 mm	9
Tabel 2.3	Karakteristik rel	9
Tabel 2.4	Dimensi bantalan kayu dan toleransi yang masih diijinkan Di Indonesia	10
Tabel 2.5	Faktor beban untuk beban sendiri	16
Tabel 2.6	Berat isi untuk beban mati	17
Tabel 2.7	Faktor beban untuk beban mati tambahan	18
Tabel 2.8	Skema pembebanan rencana muatan	19
Tabel 2.9	Faktor beban akibat gesekan pada perletakan	22
Tabel 2.10	Kelas Situs	27
Tabel 2.11	Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik ( $f_{pga}/f_a$ )	28
Tabel 2.12	Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $f_v$ )	28
Tabel 2.13	Zona Gempa	30
Tabel 2.14	Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah	31
Tabel 2.15	Faktor modifikasi respon (R) hubungan antar elemen struktur	31
Tabel 2.16	Temperatur jembatan rata-rata nominal	32
Tabel 2.17	Sifat dan bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	33
Tabel 2.18	Parameter T1 dan T2	34
Tabel 2.19	Faktor beban akibat susut dan rangkai	34
Tabel 2.20	Koefisien standar susut beton sebagai tambahan regangan Jangka panjang	36
Tabel 2.21	Koefisien standar rangkai beton sebagai tambahan regangan Jangka panjang	38
Tabel 2.22	Faktor beban akibat pengaruh prategang	38
Tabel 2.23	Kombinasi beban dan faktor beban	41
Tabel 2.24	Nilai daya dukung tanah Terzaghi	42
Tabel 2.25	Sifat-sifat <i>stress relieved</i> dengan tujuh kawat (ASTM 416)	47
Tabel 2.26	<i>Strands</i> standar tujuh kawat untuk beton prategang	48
Tabel 2.27	Koefisien <i>wobble</i> dan koefisien friksi	56

Tabel 2.28	Nilai $\lambda$ dan X untuk berbagai profil tendon	58
Tabel 2.29	Koefisien susut Ksh	60
Tabel 2.30	Nilai C	60
Tabel 3.1	Perhitungan <i>Section Properties</i> model 1	70
Tabel 3.2	Berat 1 <i>box girder</i> model 1	71
Tabel 3.3	Perhitungan <i>Section Properties</i> model 2	87
Tabel 3.4	Berat 1 <i>box girder</i> model 2	88
Tabel 4.1	Nilai perioda getar pada model 1	103
Tabel 4.2	Nilai perioda getar pada model 2	103
Tabel 4.3	Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi model 1	105
Tabel 4.	Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi model 2	105
Tabel 4.5	Tegangan akibat kombinasi layan pada model 1	106
Tabel 4.6	Tegangan akibat kombinasi layan pada model 2	107
Tabel 4.7	Nilai gaya geser (V3) maksimum kombinasi ekstrim 1C	109
Tabel 4.8	Nilai gaya geser (V3) maksimum kombinasi ekstrim 1D	110
Tabel 4.9	Nilai gaya geser (V2) maksimum kombinasi ekstrim 1C	111
Tabel 4.10	Nilai gaya geser (V2) maksimum kombinasi ekstrim 1D	111
Tabel 4.11	Nilai gaya aksial (P) maksimum kombinasi ekstrim 1C	112
Tabel 4.12	Nilai gaya geser (P) maksimum kombinasi ekstrim 1D	112
Tabel 4.13	<i>output</i> nilai Pu dan Mu dari <i>CSI bridge</i>	122
Tabel 4.14	<i>output</i> nilai diagram interaksi pier	124

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur jalan rel konvensional dua rel sejajar	7
Gambar 2.2	Gaya-gaya yang bekerja pada rel	7
Gambar 2.3	Macam-macam bentuk rel	8
Gambar 2.4	Penampang bantalan baja	10
Gambar 2.5	Tipikal penampang melintang jembatan gelagar kotak	13
Gambar 2.6	Jembatan dengan <i>box girder</i> dengan ketinggian konstan	14
Gambar 2.7	Jembatan dengan <i>box girder</i> dengan ketinggian bervariasi	14
Gambar 2.8	<i>longitudinal prestressing tendon</i>	15
Gambar 2.9	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun	24
Gambar 2.10	Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun	25
Gambar 2.11	Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun	26
Gambar 2.12	Bentuk tipikal respons spektra di permukaan tanah	30
Gambar 2.13	Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja	34
Gambar 2.14	Grafik penentuan faktor susut	35
Gambar 2.15	Grafik penentuan faktor rangkai	37
Gambar 2.16	Komponen LRB	43
Gambar 2.17	Gaya prategang konsentris	50
Gambar 2.18	Gaya prategang eksentris	51
Gambar 2.19	Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang	51
Gambar 2.20	Balok prategang dengan tendon parabola	52
Gambar 2.21	Konsep Pra Tarik	53
Gambar 2.22	Konsep pasca Tarik	54
Gambar 2.23	Diagram kehilangan tegangan akibat pemindahan gaya	57
Gambar 3.1	Diagram alir perencanaan	62
Gambar 3.2	<i>Layout</i> kereta api dari stasiun kereta api ke arah pulo Brayan	63

Gambar 3.3	Dimensi <i>box girder precast</i>	65
Gambar 3.4	Design penampang kolom/ <i>pier</i>	66
Gambar 3.5	Bentuk penampang rencana model 1	67
Gambar 3.6	Bentuk penampang rencana model 2	67
Gambar 3.7	Tampak 3D struktur jembatan Model 1 pada <i>CSI bridge</i>	67
Gambar 3.8	Tampak 3D struktur jembatan Model 2 pada <i>CSI bridge</i>	68
Gambar 3.9	<i>Section Properties Box girder prestress</i>	69
Gambar 3.10	Cara menganalisis berat <i>box girder</i>	70
Gambar 3.11	Pemodelan beban mati tambahan pada <i>CSI bridge</i>	71
Gambar 3.12	Pemodelan beban hidup pada <i>CSI bridge</i>	72
Gambar 3.13	Input beban kereta api pada <i>CSI bridge</i>	72
Gambar 3.14	Skema pembebanan angin pada struktur	73
Gambar 3.15	Pemodelan beban angin struktur pada <i>CSI bridge</i>	73
Gambar 3.16	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun	74
Gambar 3.17	Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun	74
Gambar 3.18	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun	75
Gambar 3.19	Grafik respon spektrum	76
Gambar 3.20	Pemodelan respon spektrum pada <i>CSI Bridge</i>	76
Gambar 3.21	Input beban pengereman pada <i>CSI bridge</i>	77
Gambar 3.22	Pemodelan beban tumbukan pada <i>CSI Bridge</i>	78
Gambar 3.23	Pemodelan temperatur pada <i>CSI Bridge</i>	79
Gambar 3.24	Posisi letak tendon	82
Gambar 3.25	Pemodelan tendon pada <i>CSI bridge</i>	82
Gambar 3.26	Pemodelan spring pada <i>CSI Bridge</i>	83
Gambar 3.27	Dimensi <i>box girder precast</i> model 2	84
Gambar 3.28	<i>Design</i> penampang kolom/ <i>pier</i> model 2	86
Gambar 3.29	<i>Section Properties Box girder prestress</i> model 2	87
Gambar 3.30	Cara menganalisis berat <i>box girder</i> model 2	88
Gambar 3.31	Pemodelan beban mati tambahan pada <i>CSI bridge</i> model 2	89

Gambar 3.32	Pemodelan beban hidup pada <i>CSI bridge</i> model 2	89
Gambar 3.33	Input beban kereta api pada <i>Csi bridge</i> model 2	90
Gambar 3.34	Skema pembebanan angin pada struktur model 2	90
Gambar 3.35	Pemodelan beban angin struktur pada <i>CSI bridge</i> model 2	91
Gambar 3.36	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun	92
Gambar 3.37	Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun	92
Gambar 3.38	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun	93
Gambar 3.39	Grafik respon spektrum model 2	94
Gambar 3.40	Pemodelan respon spektrum pada <i>CSI Bridge</i> model 2	94
Gambar 3.41	Pemodelan beban tumbukan pada <i>CSI Bridge</i> model 2	95
Gambar 3.42	Pemodelan temperatur pada <i>CSI Bridge</i> model 2	96
Gambar 3.43	Posisi letak tendon model 2	99
Gambar 3.44	Pemodelan tendon pada <i>CSI bridge</i> model 2	99
Gambar 3.45	Pemodelan spring pada <i>CSI Bridge</i> model 2	100
Gambar 4.1	Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada Model 1 dan Model 2	104
Gambar 4.2	Grafik perbandingan nilai lendutan pada Model 1	106
Gambar 4.3	Grafik perbandingan nilai tegangan yang terjadi akibat kombinasi dayan layan 1 pada model 1 dan model 2	108
Gambar 4.4	Grafik perbandingan nilai tegangan yang terjadi akibat kombinasi dayan layan 3 pada model 1 dan model 2	108
Gambar 4.5	Grafik perbandingan nilai tegangan yang terjadi akibat kombinasi dayan layan 4 pada model 1 dan model 2	109
Gambar 4.6	Grafik perbandingan nilai gaya geser (V3) arah Y kombinasi ekstrim 1c dan 1d pada Model 1 dan Model 2	110
Gambar 4.7	Grafik perbandingan nilai gaya geser (V2) arah X kombinasi ekstrim 1c dan 1d pada Model 1 dan Model 2	111
Gambar 4.8	Grafik perbandingan nilai gaya aksial (P) pada Model 1 dan Model 2	112





## DAFTAR NOTASI

L	= Panjang total jembatan yang dibebani (m)
S	= Jarak gelagar yang berdekatan yang ditinjau (m)
$\alpha$	= Faktor distribusi
$\alpha$	= 0,75 bila kekuatan gelagar melintang diperhitungkan
$\alpha$	= 1,00 bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan
$\alpha$	= Koefisien Beban Sentrifugal
MS	= Beban mati (Kg)
MA	= Beban mati tambahan (Kg)
TB	= Gaya akibat rem
SH	= Pengaruh susut beton
CR	= Pengaruh rangkai beton
EQ	= Gaya gempa horizontal static (kN)
Csm	= Koefisien respons gempa elastic pada moda getar ke-m
R	= Faktor modifikasi respons
Wt	= Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)
S1	= Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik
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.
SDS	= Nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek (T=0.2 detik)
SD1	= Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik
SD1	= Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik
Fv	= Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv)
S1	= Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1,0 detik
DL	= Beban mati yang bekerja (kN)
EQ	= Faktor beban hidup kondisi gempa
EQ	= 0,5 (jembatan sangat penting)

$\eta_{EQ}$	= 0,3 (jembatan penting)
$\eta_{EQ}$	= 0 (jembatan lainnya)
LL	= Beban hidup yang bekerja (kN)
EQx	= Beban gempa yang bekerja arah X
EQy	= Beban gempa yang bekerja arah Y
L	= Panjang komponen jembatan (mm)
A	= Koefisien muai temperatur (mm/mm/ <sup>0</sup> c)
$\sigma^t$	= Tegangan di serat atas
$\sigma^b$	= Tegangan di serat bawah
Y	= h/2 untuk penampang persegi panjang
I	= Momen inersia bruto penampang (1/12 bh <sup>3</sup> )
W <sub>b</sub>	= Beban merata akibat gaya prategang
F	= Gaya prategang
L	= Panjang bentang
h	= Tinggi parabola
f' <sub>ci</sub>	= Kuat tekan beton pada saat transfer atau saat penarikan kabel
F' <sub>c</sub>	= Kuat tekan beton
ES	= Besarnya kehilangan prategang (N/mm <sup>2</sup> )
n	= Perbandingan modulus pada saat peralihan dengan harga $n = \frac{Es}{Eci}$
W <sub>a</sub>	= Tahanan momen sisi atas (m <sup>3</sup> )
W <sub>b</sub>	= Tahanan momen sisi bawah (m <sup>3</sup> )
P <sub>t</sub>	= Gaya prategang awal (N)
P <sub>o</sub>	= Persentase tegangan leleh (%)
P <sub>bs</sub>	= Gaya prategang akibat <i>jackling</i> (N)
P <sub>bs</sub>	= Beban putus minimal satu strand (Kn)
e <sub>s</sub>	= Eksentritas tendon
n <sub>s</sub>	= Jumlah <i>strand</i>
A <sub>c</sub>	= Luas penampang beton (mm <sup>2</sup> )
A <sub>s</sub>	= Luas penampang baja (mm <sup>2</sup> )
f <sub>c</sub>	= Tegangan pada gaya penampang (N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>1</sub>	= Besarnya gaya prategang di titik 1

$P_2$	= Besarnya gaya prategang di titik 2
$L$	= Panjang segmen yang diperhitungkan
$\alpha$	= Sudut pada tendon
$e$	= 2,7183
$P_s$	= Gaya prategang pada ujung ankur
$P_x$	= Gaya prategang pada titik yang ditinjau
$\Delta$	= Deformasi pada ankur atau dapat dihitung dengan rasio $f_s$ dan $E_s$
$F_c$	= Tegangan pada penampang
$Z$	= Kehilangan tegangan sepanjang $L$ yaitu $P_x - P_s (L)$ .
$P_s$	= Gaya prategang pada ujung ankur dengan $P_s = P_x \cdot e^{-(\mu\alpha + KL_x)}$ .
$K$	= Koefisien wobble
$\mu$	= Koefisien gesek tendon
$\alpha$	= Perubahan sudut tendon
$L_x$	= Panjang tendon dari ankur sampai titik yang ditinjau
$D$	= Penyetelan ankur ( <i>anchorage set</i> )
$\Phi$	= Koefisien rangkak
$\epsilon_{cr}$	= Regangan akibat rangkak
$\epsilon_e$	= Regangan elastis
$E_s$	= Modulus elastisitas baja
$n$	= Perbandingan modulus pada saat peralihan
$f_c$	= Tegangan tekan beton pada level baja
$E_c$	= Modulus elastisitas beton
$K_{cr}$	= Koefisien rangkak, nilainya 2,0 untuk pratarik dan 1,6 untuk pascatarik
$f_{ci}$	= Tegangan pada beton pada level baja sesaat setelah transfer
$f_{cd}$	= Tegangan pada beton pada pusat berat tendon akibat beban mati
$f_{cp}$	= Tegangan tekan beton rata-rata pada pusat berat tendon
$\epsilon_{sh}$	= Susut efektif
$K_{sh}$	= Koefisien susut
$V$	= Volume beton dari suatu komponen struktur
$S$	= Luas permukaan dari suatu komponen struktur

RH	= Kelembaban udara relative
C	= Faktor relaksasi, nilainya tergantung pada jenis kawat baja prategang
Kpe	= Koefisien relaksasi nilainya bervariasi antara 41-138 N/mm <sup>2</sup>
J	= Faktor waktu nilainya berkisar antara 0,05 dan 0,15
SH	= Kehilangan tegangan akibat susut
CR	= Kehilangan tegangan akibat rangkai
ES	= Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis
R	= Relaksasi yang direncanakan dalam %
ECS	= Kehilangan tegangan pada tendon akibat rangkai CR ditambah susut
SH	(hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.48 ditambah hasil perhitungan dengan persamaan 2.51.
fpi	= Tegangan pada tendon sesaat setelah pemindahan gaya prategang
fpe	= Tegangan efektif pada tendon setelah semua kehilangan tegangan diperhitungkan
fpi	= Tegangan pada tendon pada saat pemindahan gaya prategang
$\epsilon_{cs,t}$	= Nilai regangan susut beton pada umur t hari, dan
$\epsilon_{cs,u}$	= Nilai susut maksimum beton
t	= Umur beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, terhitung sejak 7 hari setelah pengecoran [hari]
$K_h^s$	= Faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat [H (%)]
$K_d^s$	= Faktor pengaruh ketebalan komponen beton [d (cm)]
$K_s^s$	= Faktor pengaruh konsistensi ( <i>slump</i> ) adukan beton [s (cm)]
$K_f^s$	= Faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton [F (%)]
$K_b^s$	= Faktor pengaruh jumlah semen dalam beton [C (kg/m <sup>3</sup> )]
$K_{ac}^s$	= Faktor pengaruh kadar udara dalam beton [AC (%)].
t	= Waktu setelah pembebanan [hari]
$C_u$	= Koefisien rangkai maksimum
$K_{to}^c$	= Faktor pengaruh umur beton saat dibebani [ $t_o$ (hari)]
$K_s$	= Modulus reaksi tanah dasar
$\delta$	= Penurunan tanah
$q_{ult}$	= Daya dukung tanah (Kn/m <sup>2</sup> )

- $c$  = Kohesi tanah ( $\text{Kn/m}^2$ )
- $D_f$  = Kedalaman pondasi yang tertanam di dalam tanah (m)
- $\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{Kn/m}^3$ )
- $N_c$  = Faktor daya dukung tanah akibat kohesi tanah
- $N_q$  = Faktor daya dukung tanah akibat beban terbagi merata
- $N_{\gamma}$  = Faktor daya dukung tanah akibat berat tana

# BAB I

## PENDAHULUAN

### **I.I. Latar Belakang**

Kota Medan telah berkembang dengan pesat dalam pengertian intensitas sosial-ekonomi dan luas perkotaannya seiring dengan kemajuan ekonomi yang terjadi, kecenderungan saat ini memperlihatkan bahwa tahun-tahun yang akan datang perkembangan serupa akan terus terjadi. Pola aktivitas masyarakat berubah baik dalam jenis maupun kuantitasnya. Oleh karenanya kota Medan didukung dengan serangkaian kegiatan sosial ekonominya yang tinggi. Aktifitas ekonomi ini menjadikan berbagai sarana dan prasarana transportasi menjadi sangat penting sebagai penunjangnya. Sehingga untuk keamanan dan memperlancar lalu lintas di kota Medan diperlukan adanya peningkatan jalan. Salah satu peningkatan jalan tersebut adalah pembuatan *fly over* di perlintasan jalan di kota Medan dengan rel kereta api.

*Fly Over* kereta api adalah kereta yang memiliki lintasan di jalan layang yang dibangun dengan bantuan tiang-tiang penyangga. Pembangunan jalan kereta api layang di Kota Medan sepanjang 28 Kilometer dari Medan menuju Kualanamu dan 4 Km Menuju arah Pulo Brayan merupakan bagian dari program pembangunan *double track* atau jalur ganda kereta api Medan menuju Kualanamu dan Pulo Brayan.

Hal yang melatarbelakangi pembangunan *fly over* di perlintasan jalan kota Medan dengan rel kereta api, yaitu lalu lintas di kota Medan termasuk ruas jalan yang memiliki arus lalu lintas yang cukup padat. Kota Medan terdapat banyak perpotongan dengan jalan rel yang menghubungkan lalu lintas perkeretaapian sehingga memiliki jadwal perjalanan yang cukup padat. Akibat fungsi jalan yang vital ini serta padatnya jadwal kereta api yang lewat menyebabkan terjadi kemacetan. Banyaknya perlintasan sebidang antara jalan raya dan jalan rel menyebabkan panjangnya antrian kendaraan bila terjadi penutupan pintu perlintasan saat kereta api lewat. Sebagai gambaran seringkali terjadi antrian kendaraan di persimpangan lintasan Jalan Prof. HM. Yamin Sh Medan. Selain itu

Masalah yang sering terjadi di perlintasan kereta api adalah kecelakaan lalu lintas. Dengan adanya perlintasan kereta api diharapkan para pengguna jalan akan lebih berhati-hati akan tetapi para pengguna jalan kebanyakan kurang menyadari akan bahaya yang terjadi saat melewati perlintasan jalan ini. Kebiasaan yang sering mereka lakukan adalah kurangnya rasa toleransi dan ketidaksabaran diantara pengguna jalan, misalnya saja sikap tidak mau mengalah dan saling menyerobot pada pintu perlintasan kereta api. Selain itu di kota Medan masih banyak jalan setapak dan tidak menggunakan pintu perlintasan kereta api yang digunakan pengguna jalan untuk melewati jalan rel kereta api yang potensi besar terjadinya kecelakaan lalu lintas. Dengan adanya pembangunan *fly over* ini diharapkan akan mengurangi dampak kecelakaan lalu lintas.

Mengingat pembangunan *fly over* di kota Medan sudah mulai berlangsung sejak tahun 2016, maka dalam tugas akhir ini penulis akan melakukan *Re-design* struktur *fly over* kereta api *double track* dari Stasiun Kereta api Medan yaitu 0.00 Km sampai Km 4.340 ke arah Pulo Brayan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang ditinjau dalam *Re-desain* struktur *Fly Over* Kereta api *double track* di kota Medan adalah:

1. Bagaimana menganalisa pembebanan struktur jembatan dan perbandingan perilaku struktur atas jembatan berdasarkan jenis penampang *box girder* yang berbeda?
2. Bagaimana merencanakan tendon yang diperlukan pada *box girder*?
3. Bagaimana merencanakan *box girder* yang efisien dengan penampang yang berbeda?

## **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Struktur yang di *Re-Design* adalah keseluruhan struktur kecuali pondasi.
2. Tidak menganalisis *abutment*, I-girder, *four track*, jalur timbunan, dan perencanaan dilakukan sesuai gambar.



3. Dikarenakan *pier* yang direncanakan sama dan mempunyai ketinggian yang sama, jadi analisis hanya dilakukan untuk satu pier dengan bentang setengah penuh.
4. Perencanaan *fly over* kereta api *double track* dari stasiun medan sampai Km 4.340 Pulo Brayan.
5. Perencanaan jalur kereta api dilakukan dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api.
6. Analisis untuk pembebanan berdasarkan standar pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016).
7. Perencanaan struktur dilakukan dengan peraturan tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan(SNI T-12-2004).
8. Analisis perilaku struktur dilakukan berdasarkan Standar Perancangan jembatan terhadap beban gempa(SNI 2833:2013) Serta peta wilayah Gempa Indonesia.
9. Analisa Struktur *Fly over* kereta api yang ditinjau keseluruhannya menggunakan bantuan *CSI bridge*.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisa pembebanan struktur jembatan dan perbandingan perilaku struktur atas jembatan berdasarkan jenis penampang *box girder* yang berbeda?
2. Untuk merencanakan tendon yang diperlukan pada *box girder*?
3. Untuk merencanakan *box girder* yang efisien dengan penampang yang berbeda?

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui dan memahami proses perencanaan yang terjadi dalam suatu proyek *Fly Over Kereta Api Double Track*.

2. Dapat memberikan gambaran metode pelaksanaan tentang perencanaan struktur *Fly Over Kereta Api Double Track*.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

- BAB 1: Pendahuluan berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, sistematika penulisan.
- BAB 2: Tinjauan pustaka atau dasar teori yang mencakup tentang jembatan dan beton prategang.
- BAB 3: Metodologi penelitian akan membahas bagaimana tahapan dalam memodelkan struktur jembatan dengan *CSI bridge*, prosedur analisa dan variabel analisa yang akan digunakan.
- BAB 4: Berisikan tentang pembahasan dari inti penelitian yaitu hasil perencanaan dan perbandingan.
- BAB 5: Hasil yang berisikan kesimpulan dan saran.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Suatu jaringan jalan raya kadang kala mengalami hambatan terhadap kelancaran arus lalu lintas. Hambatan tersebut dapat berupa rintangan alam maupun arus lalu lintas itu sendiri seperti, sungai, jalan kereta api, dan jalan lalu lintas biasa. Untuk mengatasi rintangan tersebut dapat dengan membangun konstruksi misalnya, gorong-gorong jika rintangan tersebut jaraknya tidak terlalu besar. Jika hambatan terlalu besar seperti sungai atau danau maka alternatif yang dipilih adalah penggunaan transportasi air, tetapi hal ini sangat tidak menguntungkan karena tergantung dari cuaca. Dari alternatif tersebut maka alternatif lain yaitu menggunakan jembatan sebagai alat bantu penghubung dari jaringan jalan raya tersebut. Jembatan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang permukaannya lebih rendah. Rintangan ini dapat berupa jalan lain, rel kereta api, irigasi, sungai, laut, dan lain-lain. Jembatan merupakan investasi tertinggi dari semua elemen yang dapat dijumpai pada sistem jalan raya. Setiap kerusakan pada konstruksi jembatan dapat menyebabkan timbulnya gangguan-gangguan dalam kelancaran perputaran roda ekonomi dan dapat menimbulkan kecelakaan bagi manusia. Jembatan juga dapat dikatakan sebagai salah satu peralatan atau prasarana transportasi yang tertua didalam kehidupan manusia. Jika jembatan itu berada diatas jalan raya maka jembatan tersebut biasa disebut dengan *flyover*.

*Fly over* adalah jalan yang dibangun tidak sebidang melayang menghindari daerah/kawasan yang selalu menghadapi permasalahan kemacetan lalu lintas, melewati persilangan kereta api atau untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas dan efisiensi. *Fly over* merupakan suatu konstruksi yang berfungsi sebagai konstruksi untuk meneruskan jalan yang melalui rintangan, maka *Fly over* itu

dibuat. *Fly over* bukan hanya konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan suatu tempat ke tempat lain akibat terhalang suatu rintangan, namun *fly over* merupakan suatu sistem transportasi, jika *FlyOver* runtuh maka sistem akan lumpuh. Tipe *Fly over* mengalami perkembangan seiring dengan sejalannya dengan peradaban manusia itu sendiri, karena kebutuhan akan transportasi yang semakin besar namun lahan yang terbatas sehingga banyak menimbulkan masalah, untuk dapat memecahkan masalah tersebut *Fly Over* merupakan suatu alternatif yang dapat di pilih agar tidak menambahnya kemacetan pada suatu titik tertentu. *Fly Over* hingga saat ini memiliki berbagai tipe dari tipe sederhana hingga tipe yang lebih rumit. Dalam membangun sebuah *Fly Over* perencana harus dapat menentukan tipe jembatan yang tepat untuk di pasang pada lokasi, dan harus dapat memilih metoda kerja apa yang dapat di pakai dalam pembangunan jembatan yang di pilih tersebut. Dalam memilih metode kerja perencana harus dapat mencapai 3T yaitu tepat mutu atau kualitas, tepat biaya atau kuantitas dan tepat waktu dengan apa yang telah di tetapkan.

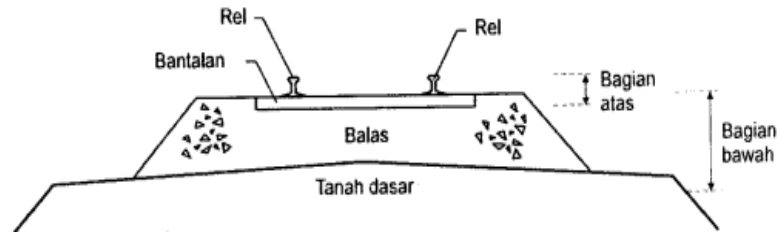
## **2.2. Aspek Perkeretaapian**

Dalam suatu konstruksi perkeretaapian, terdapat beberapa karakteristik struktur yang mencakup kedalam aspek perkeretaapian, yaitu:

### **2.2.1. Struktur Jalan Rel**

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya berjalan di atas jalan rel. Secara umum, pada teknologi konvensional berupa teknologi dua rel sejajar, jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja diletakkan di atas balok-balok melintang. Balok-balok melintang ini disebut bantalan. Untuk menjaga agar supaya rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan penambat rel. Dengan susunan dan tambatan yang demikian maka susunan dan struktur rel-bantalan-penambat rel menjadi suatu rangka yang kokoh. Rangka yang kokoh tersebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut dengan sepur (*track*). Sepur diletakkan di atas suatu alas yang disebut

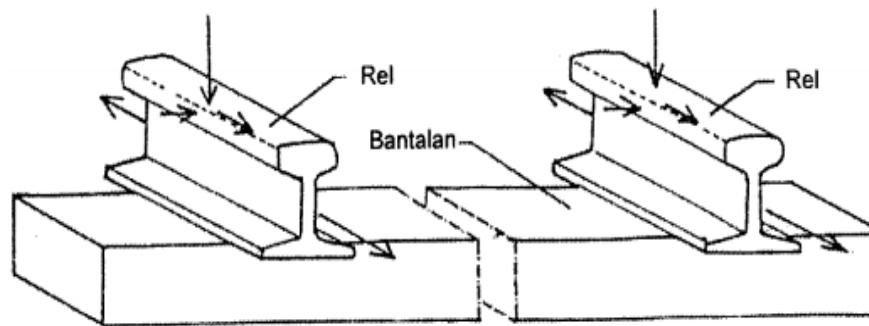
balas (*balast*), yang selanjutnya di bawah balas terdapat lapisan tanah dasar (*subgrade*) seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Struktur jalan rel konvensional dua rel sejajar.

### 2.2.2. Rel

Rel pada jalan rel mempunyai fungsi sebagai pijakan menggelindingnya roda kereta api dan untuk meneruskan beban dari roda kereta api kepada bantalan. Rel ditumpu oleh bantalan-bantalan, sehingga rel merupakan batang yang ditumpu oleh penumpu-penumpu. Pada sistem tumpuan yang demikian, tekanan tegak lurus dari roda menyebabkan momen lentur pada rel diantara bantalan-bantalan. Selain itu, gaya arah horizontal yang disebabkan oleh gaya angin, goyangan kereta api, dan gaya sentrifugal (pada rel sebelah luar) menyebabkan terjadinya momen lentur arah horizontal seperti pada Gambar 2.2.

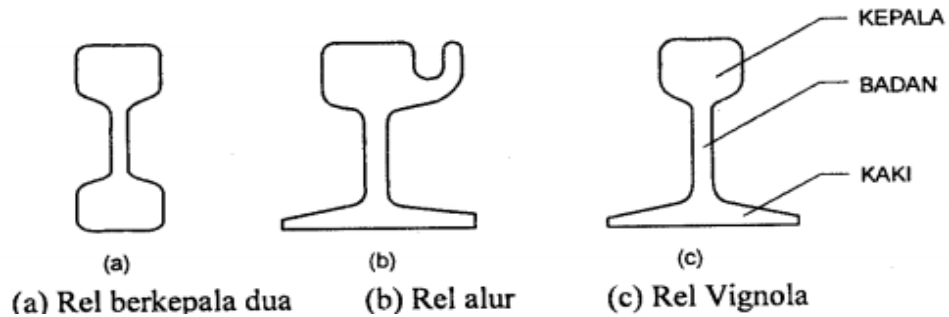


Gambar 2.2: Gaya-gaya yang bekerja pada rel.

Agar supaya rel dapat menahan momen-momen tersebut, maka rel dibuat sebagai batang dengan bentuk dasar profil I. Pengembangan dari bentuk dasar profil I tersebut terdapat tiga macam bentuk rel, yaitu pada Gambar 2.3:

- a. Rel berkepala dua

- b. Rel alur (*grooved rail*)
- c. Rel Vignola



Gambar 2.3: Macam-macam bentuk rel.

Tipe rel yang digunakan untuk jalan rel pada dasarnya adalah sesuai dengan kelas jalan relnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2. Karakteristik rel sesuai tipenya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.1: Lebar jalan rel 1067 mm.

KelasJ alan	Daya angkut lintas (ton/tahun)	V Maks (km/jam)	P Maks Gandar (ton)	Tiperel	Jenis bantalan	Jenis bantalan	Tebal balas Atas (cm)	Lebar bahu balas (cm)
					Jarak antar sumbu Bantalan (cm)			
I	$>20 \times 10^6$	120	18	R.60/R.54	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \times 10^6 - 20 \times 10^6$	110	18	R.54/R.50	$\frac{\text{Beton/kayu}}{60}$	Elastis Ganda	30	50
III	$5 \times 10^6 - 10 \times 10^6$	100	18	R.54/R.50/ R.42	$\frac{\text{Beton/kayu/baja}}{60}$	Elastis Ganda	30	40
IV	$2,5 \times 10^6 - 5 \times 10^6$	90	18	R54./5.50/ R.42	$\frac{\text{Beton/kayu/baja}}{60}$	Elastis Ganda/tunggal	25	40

V	$<2,5 \times 10^6$	80	18	R.42	$\frac{\text{kayu/baja}}{60}$	Elastis tunggal	25	35
---	--------------------	----	----	------	-------------------------------	-----------------	----	----

Tabel 2.2: Lebar jalan rel 1435 mm.

Kelas Jalan	Daya angkut lintas (ton/tahun)	V Maks (km/jam)	P Maks Gandar (ton)	Tipe rel	Jenis bantalan		Tebal balas Atas (cm)	Lebar bahu balas (cm)
					Jarak antar sumbu Bantalan (cm)	Jenis bantalan		
I	$>20 \times 10^6$	160	22.5	R.60	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \times 10^6 - 20 \times 10^6$	140	22.5	R.60	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	50
III	$5 \times 10^6 - 10 \times 10^6$	120	22.5	R.60/R.54	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	40
IV	$<5 \times 10^6$	100	22.5	R.60/R.54	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	25	40

Tabel 2.3: Karakteristik rel.

Karakteristik rel		Tipe rel			
Karakteristik	Notasi dan satuan	R.42	R.50	R.54	R.60
Tinggi rel	H (mm)	138	153	159	172
Lebar kaki	B (mm)	110	127	140	150
Lebar kepala	C (mm)	58,5	65	70	74,3
Tebal badan	D (mm)	13,5	15	16	16,5
Tinggi kepala	E (mm)	40,5	49	49,4	51
Tinggi kaki	F (mm)	23,5	30	30,2	31,5
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis horizontal dari pusat kelengkungan badan rel	G (mm)	72	76	74,97	80,95
Jari-jari kelengkungan badan rel	R (mm)	320	500	508	120
Berat rel	W (kg/m)	42,59	50,4	54,43	60,34

Momen inersia terhadap sumbu X	$I_x$ ( $\text{cm}^4$ )	1369	1960	2346	3055
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis netral	$Y_b$ (mm)	68,5	71,6	76,2	80,95

### 2.2.3. Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke balas, mempertahankan lebar jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel.

#### 2.2.3.1. Jenis Bantalan

Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja, atau beton, sehingga dikenal jenis-jenis bantalan sesuai dengan bahannya sebagai berikut:

##### a. Bantalan kayu

Bantalan kayu digunakan pada rel di Indonesia karena selain mudah dibentuk juga bahannya mudah didapat. Bentuk dan dimensi bantalan kayu untuk lebar sepur 1067 mm akan diuraikan pada Tabel 2.4:

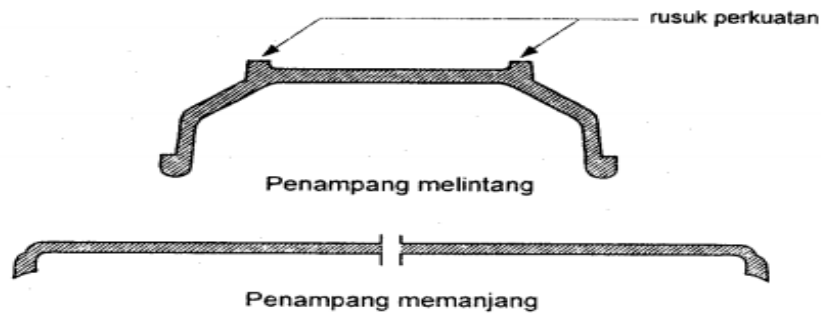
Tabel 2.4: Dimensi bantalan kayu dan toleransi yang masih diijinkan di Indonesia.

No	Letak bantalan	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
1	Pada jalan lurus	2000 (+40,-20)	220 (+20,-10)	130 (+10,-0)
2	Pada jembatan	1800 (+40,-20)	220 (+20,-10)	200 (+10,-0)

##### b. Bantalan Baja

Bentuk penampang melintang bantalan baja harus mempunyai bentuk kait ke luar pada ujung bawahnya. Bentuk penampang memanjang bantalan baja harus mempunyai kait ke dalam pada ujung bawahnya seperti pada Gambar 2.4:





Gambar 2.4: Penampang bantalan baja.

Bentuk penampang melintang dan memanjang seperti tersebut atas memberikan cengkeraman pada balas sehingga memberikan stabilitas terhadap geseran. Cengkeraman ini penting karena berat sendiri bantalan baja yang kecil yaitu sekitar 47,1 kg dan gesekan antara dasar bantalan dan balas juga kecil. Adanya rusak perkuatan di bagian atas dimaksudkan agar pelat landas tidak goyang. Dimensi bantalan baja pada jalur lurus untuk lebar sepur 1067 mm ialah: panjang 2000 mm, lebar atas 144 mm, lebar bawah 232 mm, tebal baja minimum 7 mm.

c. Bantalan beton

Bentuk penampang bantalan beton juga dikenal dengan beberapa kuat tekan karakteristik, yaitu

1. Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm, dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm<sup>2</sup> (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian dudukan rel dan -930 kgm pada bagian tengah bantalan.
2. Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan beton karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm, dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm<sup>2</sup> (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan.

### 2.2.3.2. Jarak Bantalan

Secara ideal jarak bantalan atau jumlah bantalan dalam satu satuan panjang rel tergantung pada hal-hal berikut:

- a. Tipe, potongan melintang, dan kekuatan rel.
- b. Jenis dan kekuatan bantalan.
- c. Balas tempat bantalan diletakkan.
- d. Beban gandar, volume dan kecepatan kereta api.

Secara praktis di Indonesia digunakan jarak bantalan sebagai berikut:

- a. Jarak bantalan pada lintas lurus ialah 60 cm, sehingga jumlah bantalan yang dipasang adalah 1667 buah untuk tiap Km panjang.
- b. Pada tikungan/lengkung, jarak bantalan ialah sebesar 60 cm (diukur pada rel luar).

#### **2.2.4. Balas Atas**

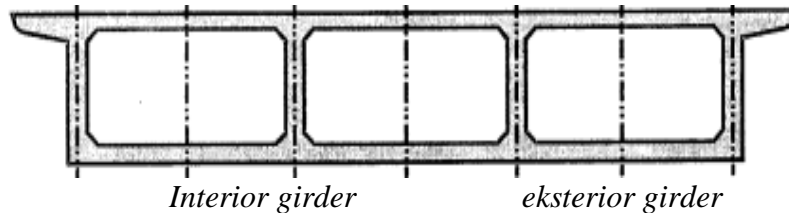
Akibat beban dinamis yang berat yang berasal dari kereta api yang berjalan di atasnya, lapisan balas atas akan mengalami tegangan yang sangat besar, oleh karena itu maka bahan pembentuknya harus baik. Persyaratan bahan lapisan balas atas adalah:

- a. Batu pecah yang keras, tidak mudah pecah oleh pembebanan.
- b. Tahan lama, tidak cepat aus oleh beban, dan tahan terhadap cuaca.
- c. Bersudut (*angular*).
- d. Mempunyai gradasi tertentu sehingga mempunyai sifat saling kunci dan saling gesek yang baik, dan mempunyai koefisien permeabilitas yang tinggi.
- e. Substansi yang merugikan tidak boleh terdapat dalam bahan balas melebihi persentase tertentu, yaitu:
  1. Bahan yang lunak dan mudah pecah <3%
  2. Bahan yang lolos saringan no.200 <1%
  3. Gumpalan lempung <0,5%
  4. Keausan pada uji Los Angeles <40%
  5. Partikel tipis/panjang <5%

### 2.3. Box Girder

Jalan *fly over* didesain menggunakan tipe struktur beton prategang *twin box girder* bentang menerus (*continues beam*). Salah satu tipe struktur jalan layang adalah bentuk *box girder*. Jembatan *box girder* adalah sebuah jembatan dimana struktur atas jembatan terdiri dari balok-balok penopang utama yang berbentuk kotak berongga. *Box girder* biasanya terdiri dari elemen beton pratekan, baja struktural, atau komposit baja dan beton bertulang. Pada pemilihan bentuk penampang, tipe *box girder* sangat cocok untuk jalan *fly over* bentang panjang. Selain karena bentuknya yang langsing, juga karena dinilai memiliki kekuatan menahan momen lentur yang lebih tinggi dan kekakuan torsional yang lebih baik dibandingkan bentuk lainnya.

Jembatan *box girder* tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Tipikal penampang melintang jembatan gelagar kotak (*box girder bridge*).

Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan bentang-bentang panjang. Bentang sederhana sepanjang 40 ft ( $\pm 12$  m) menggunakan tipe ini, tetapi biasanya bentang gelagar kotak beton bertulang lebih ekonomis antara 60-100 ft ( $\pm 18-30$  m) dan biasanya didesain sebagai struktur menerus di atas pilar. Gelagar kotak beton prategang dalam desain biasanya lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang  $\pm 300$  ft ( $\pm 100$  m). Keutamaan gelagar kotak adalah pada tahanan terhadap beban torsi.

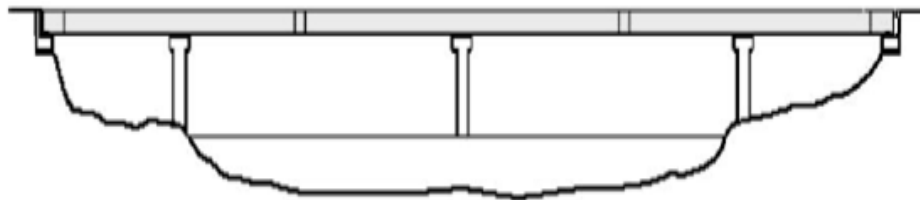
Pada kondisi lapangan dimana tinggi struktur tidak terlalu dibatasi, penggunaan gelagar kotak dan balok-T kurang lebih mempunyai nilai yang sama pada bentang 80 ft ( $\pm 25$  m). Untuk bentang yang lebih pendek, tipe balok-T

biasanya lebih murah, dan untuk bentang lebih panjang lebih sesuai menggunakan gelagar kotak.

Darisekitinggiangelagarnya profil *box girder* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

a. Profil *box girder* dengan ketinggian konstan (*constant depth*)

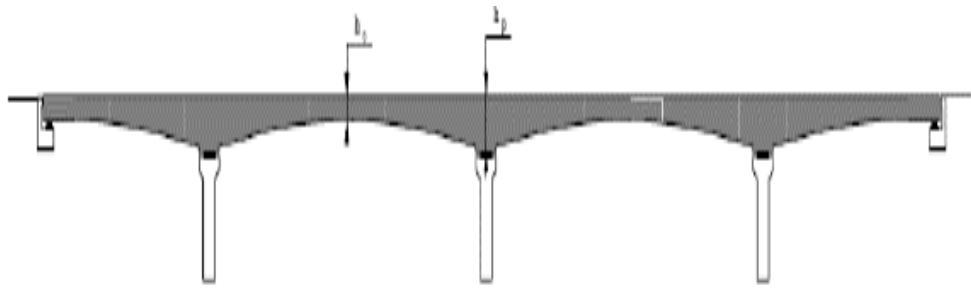
Untuk struktur dengan bentang utam dengan panjang 65/70m, gelagar dengan ketinggian konstan lebih umum digunakan karena lebih ekonomis seperti Gambar 2.6. Karena adanya penghematan dalam pembuatan bekisting untuk *deck*. Pada bentuk ini, ketinggian gelagar antara  $1/20$  dan  $1/25$  dari panjang bentang maksimum. Akan tetapi minimal 2,2m dibutuhkan untuk memudahkan pergerakan dalam *box girder* tersebut.



Gambar 2.6: Jembatan dengan *box girder* dengan ketinggian konstan.

b. Profil *box girder* dengan ketinggian bervariasi (*variable depth*)

Pada bentang utama lebih dari 65/70m akan terjadi beban yang sangat berat pada kantilever, dan akan membutuhkan ukuran *box girder* yang sangat besar pada bagian *piernya*, sedangkan ukuran ini sangatlah berlebihan jika digunakan pada bagian lain dari bentang seperti terlihat pada Gambar 2.7. Karena hal ini akan lebih ekonomis jika digunakan *box girder* dengan ketinggian bervariasi. Standar ketinggian *box girder* pada bagian *pier* ( $h_p$ ) antara  $1/16$  dan  $1/18$  dari panjang bentang maksimum. Dan pada bagian tengah ( $h_c$ ) biasanya berukuran  $1/30$  dan  $1/35$  dari panjang bentang maksimum.



Gambar 2.7: Jembatan dengan *box girder* dengan ketinggian bervariasi.

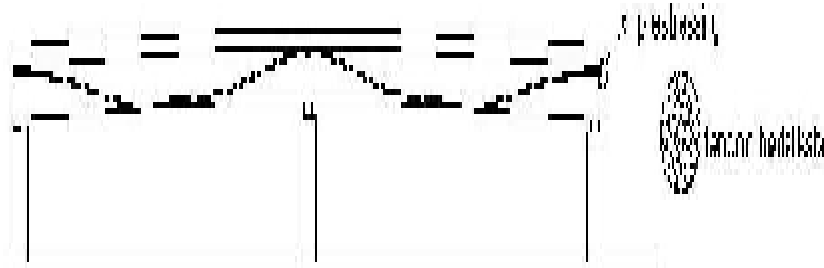
Bentang jembatan *box girder* dimulai dengan plat sederhana. Seiring meningkatnya panjang bentang, tinggi elemen penampang *box girder* juga meningkat. Diketahui bahwa pusat dekat bahan gravitasi memberikan kontribusi sangat sedikit untuk lentur dan karenanya dapat dihapus. Pelat bawah balok disediakan kapasitas kekuatan tarik dan pelat atas untuk menahan tekan. Sehingga pelat atas dan bawah membentuk kerja sama untuk menahan lentur.

Akibat lebar jembatan meningkat diperlukan lebih banyak jumlah gelagar memanjang yang sehingga mengurangi kekakuan balok dalam arah melintang dan lendutan melintang relatif tinggi. Jaring balok bisa dibuka menyebar secara radial dari plat atas. balok bagian bawah tidak akan lagi berada di posisi aslinya. Untuk tetap dalam posisi semula di bagian bawah harus diikat bersama-sama yang menyebabkan terbentuknya *box girder* pertama. Bentang yang panjang dengan *deck* yang lebih luas dan pembebanan eksentrik pada penampang akan menyebabkan lendutan arah longitudinal dan transversal yang menyebabkan distorsi berat penampang. Oleh karena itu jembatan harus memiliki kekakuan torsi yang tinggi untuk melawan distorsi penampang dek untuk minimum.

Dengan demikian *box girder* lebih cocok untuk bentang yang lebih besar dan lebar. *Box girder* elegan dan ramping. Ekonomis dan estetika menyebabkan evolusi kantilever pada sayap atas. Dimensi sel dapat dipengaruhi oleh kondisi pratekan.

Jembatan *box girder* beton umumnya dipadukan dengan sistem prategang. Konsep prategang adalah memberikan gaya tarik awal pada tendon yang dapat dilihat pada Gambar 2.8 sebagai tulangan tariknya serta memberikan momen perlawanan dari eksentrisitas yang ada sehingga selalu tercipta tegangan total

negatif baik serat atas maupun bawah yang besarnya selalu dibawah kapasitas tekan beton.



Gambar2.8:longitudinal prestressing tendon.

## 2.4. Pembebanan Pada Jembatan

Secara umum beban-beban yang dihitung dalam merencanakan jembatan dibagi atas dua yaitu beban primer dan beban sekunder. Beban primer adalah beban utama dalam perhitungan tegangan untuk setiap perencanaan jembatan, sedangkan beban sekunder adalah beban sementara yang mengakibatkan tegangan-tegangan yang relatif kecil daripada tegangan akibat beban primer dan biasanya tergantung dari bentang, bahan, sistem konstruksi, tipe jembatan dan keadaan setempat. Beban primer jembatan mencakup beban mati, beban hidup dan beban kejut. Sedangkan Beban Sekunder terdiri dari beban angin, gaya rem, dan gaya akibat perbedaan suhu.

Standar pembebanan berdasar pada (Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 60 tahun 2012), (SNI 1725-2016) dan perencanaan jembatan terhadap gempa di atur berdasar pada (SNI 2833:2013), standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan teknis jalur kereta api.

### 2.4.1. Beban Mati Atau Berat Sendiri Struktur Atas

#### 2.4.1.1. Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktur 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 beban sendiri.

tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{ms}$ )			
	Keadaan batas layan ( $\gamma_{ms}^s$ )		Keadaan batas ultimate ( $\gamma_{ms}^u$ )	
	bahan		biasa	Terkurangi
Kayu	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	beton di cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Berat isi untuk beban mati.

No	bahan	berat isi (KN/m)	kerapatan massa (Kg/m)
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous 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	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25-19,6	1250-2000

7	Beton $f_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ 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

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  $9,81 \text{ m/detik}^2$ .

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi.

#### **2.4.1.2. 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. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.7:

Tabel 2.7: Faktor beban untuk beban mati tambahan.



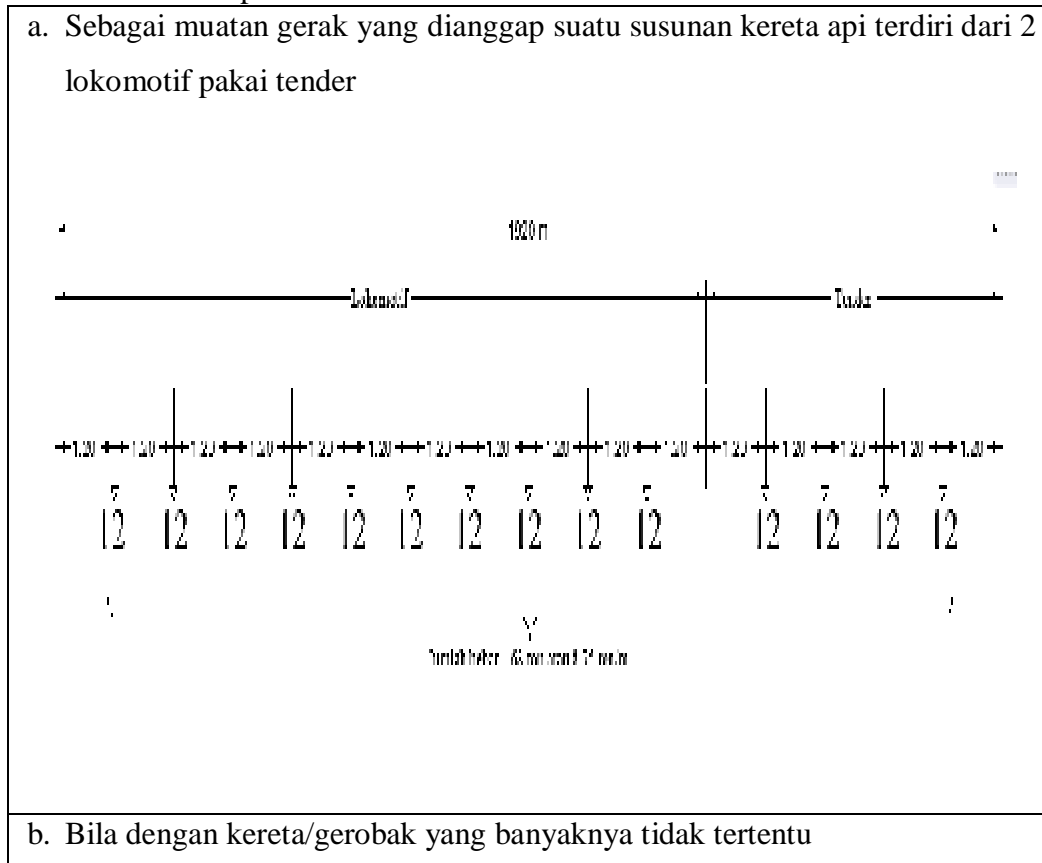
Tipe beban	Faktor beban ( $\square$ ms)			
	Keadaan batas layan ( $\square^s$ ms)		Keadaan batas ultimate ( $\square^u$ ms)	
	Keadaan		biasa	Terurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

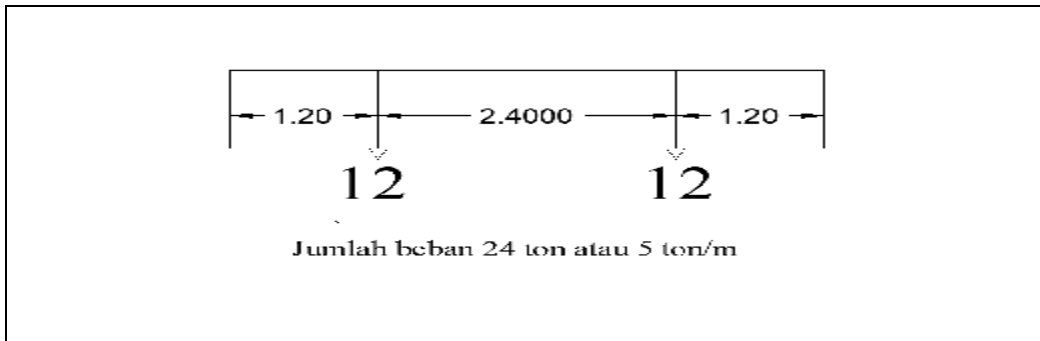
Catatan <sup>(1)</sup>: faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

#### 2.4.2. Beban Kendaraan Kereta Api

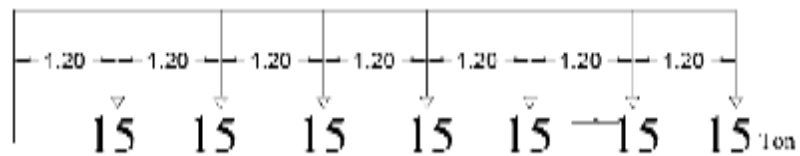
Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Untuk beban gandar sampai dengan 18 ton dapat digunakan skema rencana muatan 1921 (RM 21) sebagaimana dalam Tabel 2.8. Untuk beban gandar lebih besar dari 18 ton, rencana muatan disesuaikan dengan kebutuhan gandar.

Tabel 2.8: Skema pembebanan rencana muatan.



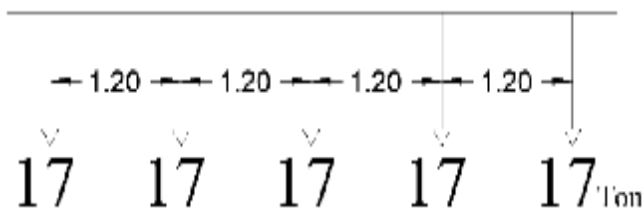


c. Susunan kereta itu selalu dibikin sehingga bagian yang harus dihitung kekuatannya paling berbahaya jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 15 ton

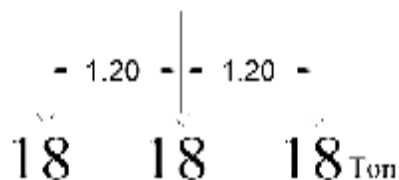


Tabel 2.8: *lanjutan.*

d. Jika ada hanya 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 17 ton.

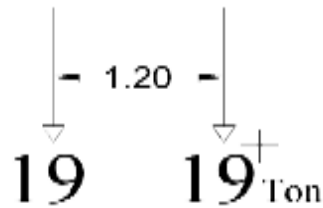


e. Jika hanya ada 3 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 18 ton.

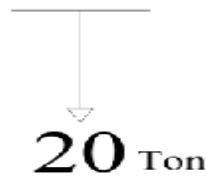


f. Jika hanya ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka

beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 19 ton.



- g. Jika hanya ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 20 ton.



#### 2.4.3. Beban Kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor  $i$  terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor  $i$  adalah dengan menggunakan persamaan 2.1 untuk rel pada alas balas, persamaan 2.2 untuk rel pada perletakan kayu dan persamaan 2.3 untuk rel secara langsung pada baja.

- a. Untuk rel pada alas balas

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L} \quad (2.1)$$

- b. Untuk rel pada perletakan kayu

$$i = 0,2 + \frac{25}{50+L} \quad (2.2)$$

- c. Untuk rel secara langsung pada baja

$$i = 0,3 + \frac{25}{50+L} \quad (2.3)$$

#### 2.4.4. Pengereman dan Traksi

Beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

#### **2.4.5. Beban Angin**

Beban angin bekerja tegak lurus rel secara horisontal, tipikal nilainya terbagi 2 yaitu:

- a.  $3,0 \text{ kN/m}^2$  pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian,  $2,0 \text{ kN/m}^2$  pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
- b.  $1,5 \text{ kN/m}^2$  pada areal kereta dan jembatan dengan kereta di atasnya, pengecualian  $1,2 \text{ kN/m}^2$  untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan  $0,8 \text{ kN/m}^2$  untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

#### **2.4.6. Beban Akibat Tumbukan Kendaraan**

Menurut buku perencanaan teknik jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan jalan layang ditentukan sebesar 1000 kN pada arah tegak lurus jembatan dan sebesar 500 kN pada arah memanjang jembatan. Keduanya bekerja pada tinggi 1,8 m dari permukaan jalan dibawah jembatan.

#### **2.4.7. Gesekan Pada Perletakan/Friksi**

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, dan harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer). Untuk faktor beban akibat gesekan pada perletakan bisa dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9: Faktor beban akibat gesekan pada perletakan.

Jangka waktu	Faktor beban		
	( $\square^s$ BF)	( $\square^u$ BF)	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,3	0.8

Catatan: gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.

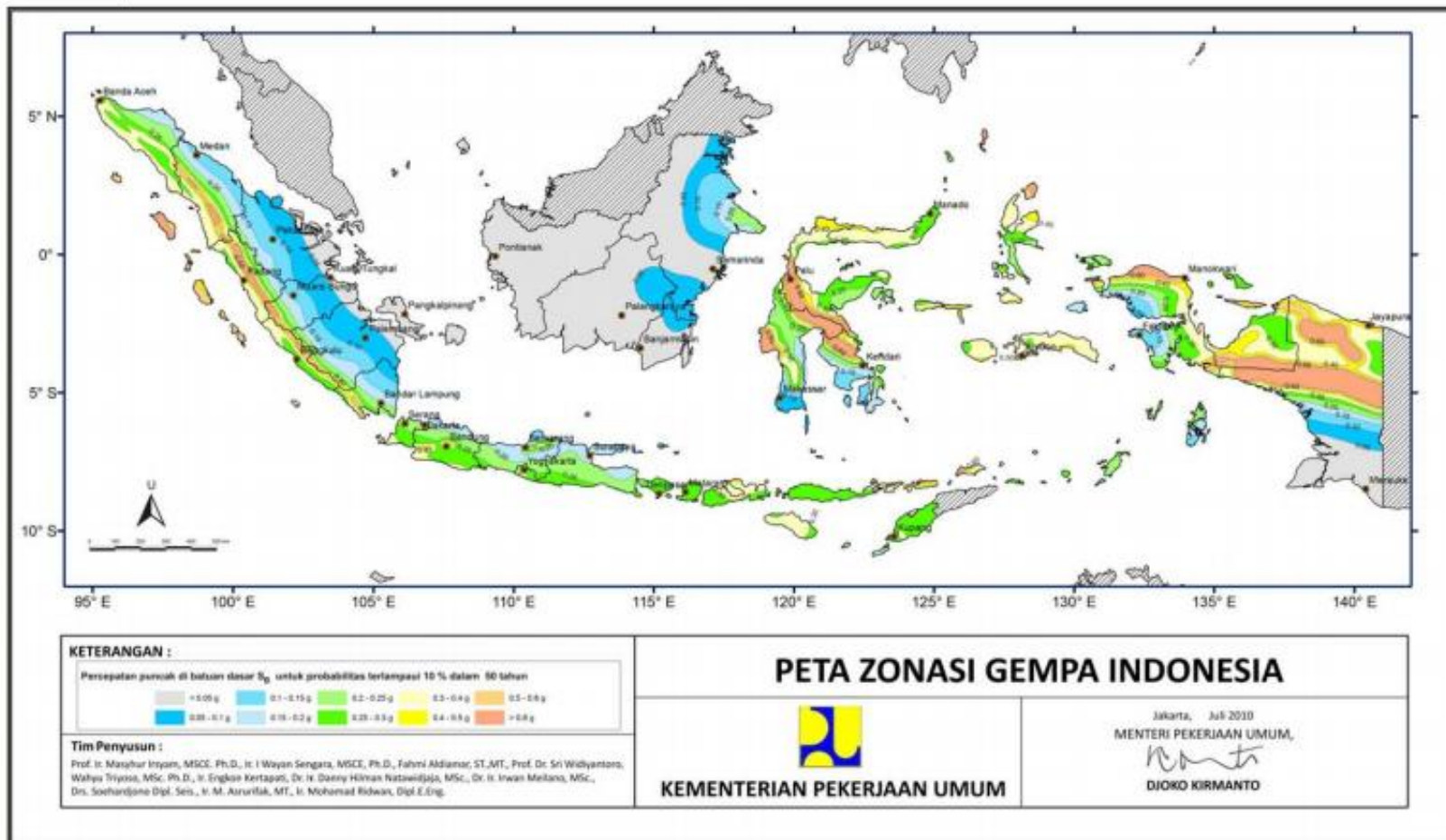
#### 2.4.8. Beban Gempa

Standar pembebanan berdasar pada (SNI-2833:2013), standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan perencanaan ketahanan gempa untuk 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 10% dalam 50 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 respon elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon ( $R$ ) dengan formulasi sebagai berikut:

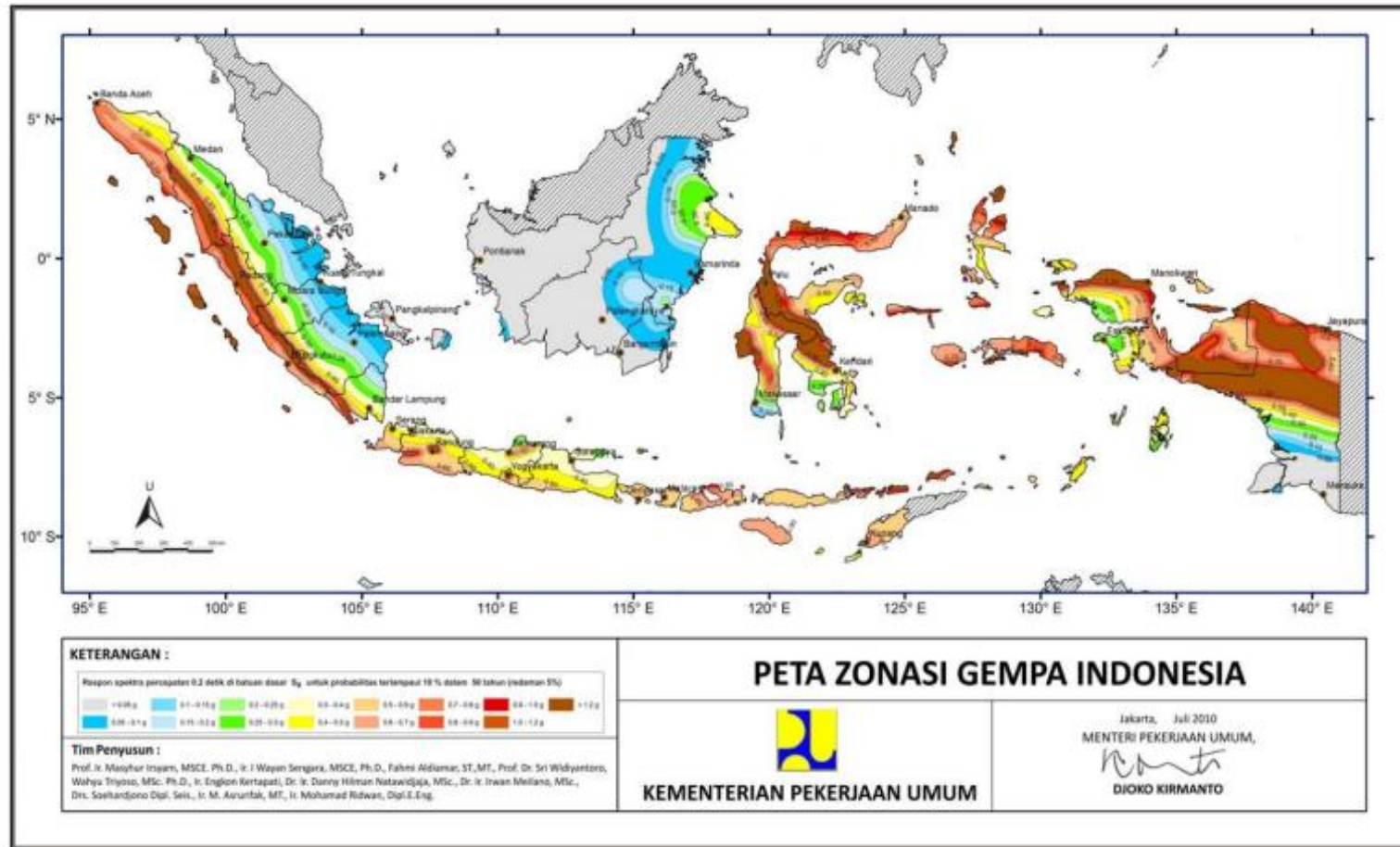
$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times Wt \quad (2.4)$$

Koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana (Gambar 2.9, 2.10, dan 2.11) . Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan kondisi tanah sampai kedalaman 30 m di bawah 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.

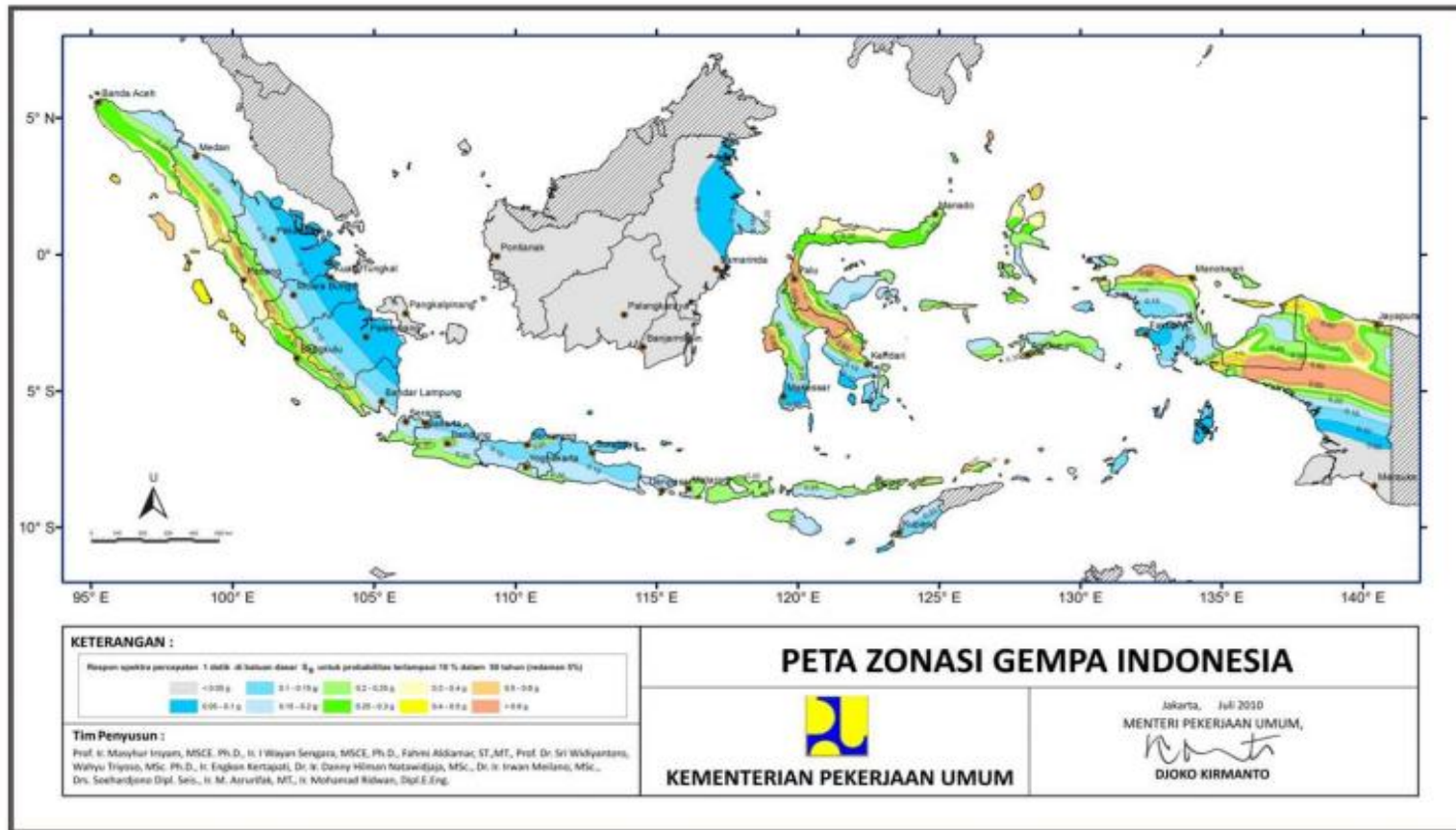


Gambar 2.9: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun.



Gambar 2.10: Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun.





Gambar 2.11: Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahu

### 2.4.8.1. Pengaruh Situs

#### a. Definisi kelas situs

Disarankan menggunakan sedikitnya 2 (dua) jenis penyelidikan tanah yang berbeda dalam pengklasifikasian jenis tanah ini. Pada Tabel 2.10  $\bar{v}_s$ ,  $\bar{v}$ , dan  $S_u$  adalah nilai rata-rata cepat rambat gelombang geser, hasil uji penetrasi standar, dan kuat geser tak terdrainase dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya dan harus dihitung menurut persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left( \frac{t_i}{v_{si}} \right)} \quad (2.5)$$

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left( \frac{t_i}{N} \right)} \quad (2.6)$$

$$S_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left( \frac{t_i}{S_{ui}} \right)} \quad (2.7)$$

Tabel 2.10: Kelas situs.

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{v}$	$S_u$ (kPA)
Batuan keras	$\bar{v}_s \geq 1500$	N/A	N/A
Batuan	$750 < \bar{v}_s \leq 1500$	N/A	N/A
Tanah sangat padat dan batuan lunak	$350 < \bar{v}_s \leq 750$	$\bar{v} > 50$	$S_u \geq 100$
Tanah sedang	$175 < \bar{v}_s \leq 350$	$15 < \bar{v} \leq 150$	$50 \leq S_u \leq 100$
Tanah lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{v} < 15$	$S_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air (<math>w</math>) <math>\geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser tak terdrainase <math>S_u &lt; 25</math> kPA</li> </ol>		
Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifasi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung organik tinggi/gambut (dengan ketebalan <math>&gt; 3</math>m)</li> <li>- Plastisitas tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math>m dengan <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m</li> </ul>		

Catatan: N/A = tidak dapat digunakan.

b. Faktor situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periodenol detik, periode pendek ( $T=0,2$  detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran nol detik ( $F_{pga}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Tabel 2.11 dan Tabel 2.12 memberikan nilai-nilai  $F_{pga}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 2.11: Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik ( $F_{pga}/F_a$ ).

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA > 0,5$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
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
Batuan 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.

Tabel 2.12: Besarnya 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
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Batuan keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak	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.

#### 2.4.8.2. Respon Spektrum Rencana

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan responmaksimum dari sistem berderajatkebebasantunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA, Ss, S1), serta nilai faktor amplifikasi Fpga, Fa, dan Fv. Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut:

$$A_s = F_{pga} \times PGA \quad (2.8)$$

$$S_{ds} = F_a \times S_s \quad (2.9)$$

$$S_{d1} = F_v \times S_1 \quad (2.10)$$

#### 2.4.8.3. Koefisien Respon Gempa Elastik

- a. Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , koefisien respon gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = (SDS - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad (2.11)$$

- b. Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , respon spektra percepatan,  $C_{sm}$  adalah sama dengan SDS.

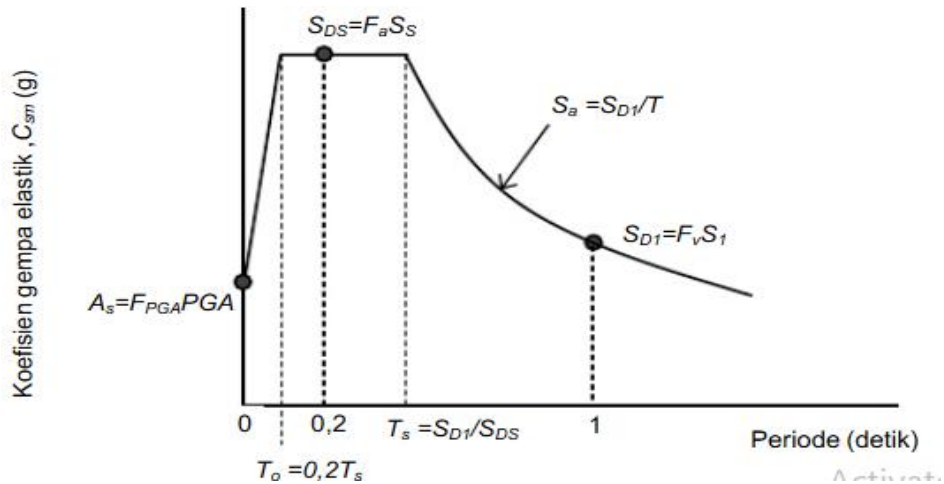
- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , koefisien respon gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \quad (2.12)$$

$$T_0 = 0,2 T_s \quad (2.13)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.14)$$

Penggunaan masing-masing persamaan dapat membentuk respon spektra di permukaan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12 .



Gambar 2.12: Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah.

#### 2.4.8.4. Kategori Kerja Seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (SD1) sesuai Tabel 2.13. Kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan metode analisis, panjang tumpuan minimum, detail perencanaan kolom, dan prosedur desain fondasi dan kepala jembatan.

Tabel 2.13: Zona gempa.

Koefisien percepatan (SD1)	Zona Gempa
$SD1 \leq 0,15$	1
$0,15 < SD1 \leq 0,30$	2
$0,30 < SD1 \leq 0,50$	3
$SD1 > 0,50$	4

Catatan:  $SD1 = F_v \times S_1$

#### 2.4.8.5. Faktor Modifikasi Respon

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R) sesuai dengan Tabel 2.14 dan Tabel 2.15. Sebagai alternatif penggunaan faktor R pada Tabel 2.15 untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur, seperti hubungan kolom ke pondasi telapak dapat

direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan.

Apabila digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respon (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 2.14: Faktor modifikasi respon (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			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
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

Catatan: pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar.

Tabel 2.15: Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur.

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan pondasi	1,0

Gaya gempa harus diasumsikan untuk dapat bekerja dari semua arah lateral. Faktor modifikasi respon (R) yang sesuai harus digunakan di kedua arah sumbu ortogonal bangunan bawah. Pilar tipe dinding dapat dianalisis sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah.

#### 2.4.8.6 Kombinasi Pengaruh Gaya Gempa

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan harus dikombinasi sehingga memiliki 2 tinjauan pembebanan sebagai berikut:

- a. 100% gaya gempa pada arah x dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah y
- b. 100% gaya gempa pada arah y dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah x

Sehingga apabila diaplikasikan dengan memperhitungkan variasi arah maka kombinasi gaya gempa menjadi sebagai berikut:

- a.  $DL + \square EQ_{LL} \pm EQ_x \pm 0,3 EQ_y$
- b.  $DL + \square EQ_{LL} \pm EQ_y \pm 0,3 EQ_x$

#### 2.4.9. Temperatur

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur yang dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.16. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur ( $\Delta T$ ) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam Persamaan 2.15:

$$\Delta T = \alpha \times L (T_{\max \text{design}} - T_{\min \text{design}}) \quad (2.15)$$

Tabel 2.16: 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 <sup>0</sup> C	40 <sup>0</sup> C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15 <sup>0</sup> C	40 <sup>0</sup> C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15 <sup>0</sup> C	45 <sup>0</sup> C
Catatan (1) = temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5 <sup>0</sup> C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut.		

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. Besarnya nilai koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17: Sifat dan bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur.

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu ( $\alpha$ )	Modulus elastisitas (MPa)
Baja	$12 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$	200000
Beton:		
Kuat tekan <30 MPa	$10 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$	$4700 \sqrt{f_c'}$
Kuat tekan >30 MPa	$11 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$	$4700 \sqrt{f_c'}$

Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang dan 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 2.13. Parameter yang digunakan mencakup T1, T2 dan T3 dengan nilai sesuai pada Tabel 2.18. Untuk tipe jembatan yang lebar diperlukan perhitungan untuk meninjau *gradient* perbedaan *temperature* dalam arah melintang. Nilai A dapat diambil sebagai berikut:

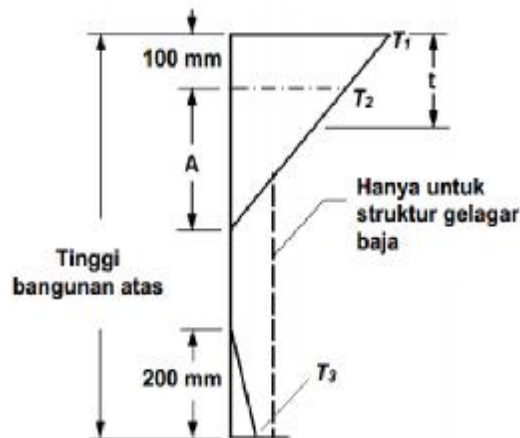
- Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar sebesar 400 mm atau lebih nilai A sama dengan 200 mm.
- Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar lebih rendah dari 400 mm dan nilai A diambil lebih kecil 100 mm dari tinggi aktual.
- Untuk bangunan atas terbuat dari baja, nilai A diambil sebesar 200 mm dan jarak t diambil sebagai ketebalan pelat lantai.



Tabel 2.18: Parameter T1 dan T2.

Lokasi jembatan	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)
<500 m di atas permukaan laut	12	8	0 ≤ T3 < 5
>500 m di atas permukaan laut	17	11	

Nilai T3 dapat diambil sebesar 0 kecuali dilakukan kajian spesifikasi situs, tetapi nilai T3 diambil tidak melebihi 5 °C.



Gambar 2.13: Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja.

#### 2.4.10. Pengaruh Susut dan Rangkak

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu *transfer* dari beton prategang. Faktor untuk beban akibat susut dan rangkak dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19: Faktor beban akibat susut dan rangkak.

Tipe beban	Faktor beban ( $\square_{SH}$ )	
	Keadaan batas layan ( $\square_{SH}^S$ )	Keadaan batas ultimit ( $\square_{SH}^U$ )
Tetap	1,0	0,5
Catatan: Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan.		

Menurut SNI T-12-2004 Perencanaan struktur beton untuk jembatan dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, nilai regangan susut rencana beton pada umur  $t$  (hari), untuk beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, bisa ditentukan berdasarkan rumusan di bawah ini:

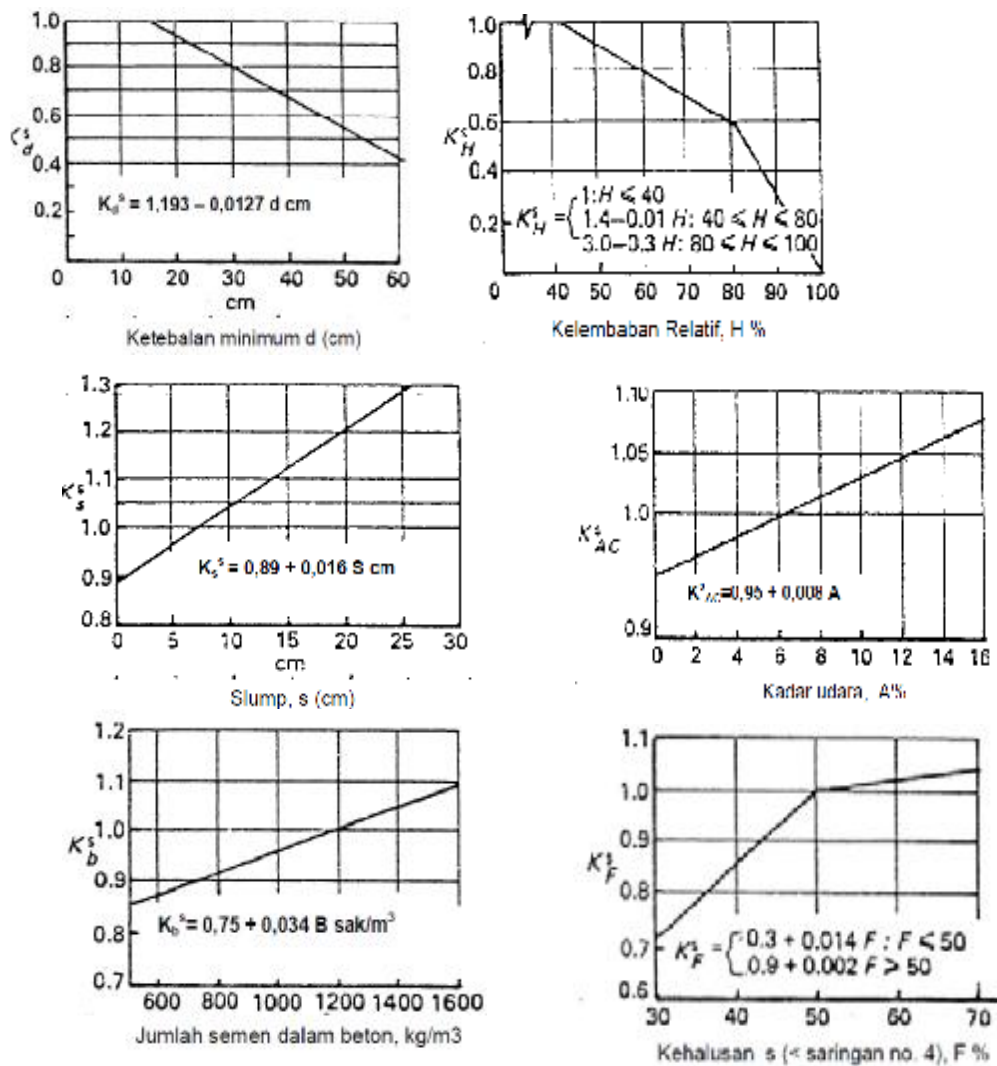
$$\epsilon_{cs,t} = (t / (35 + t)) \epsilon_{cs,u} \quad (2.16)$$

$$\epsilon_{cs,u} = 780 \times 10^{-6} \lambda_{cs} \quad (2.17)$$

Nilai  $\lambda_{cs}$  ditentukan oleh kondisi campuran beton dan lingkungan pekerjaan:

$$\lambda_{cs} = K_h^s \cdot K_d^s \cdot K_s^s \cdot K_f^s \cdot K_b^s \cdot K_{ac}^s \quad (2.18)$$

Besaran faktor-faktor  $K_h^s$ ,  $K_d^s$ ,  $K_s^s$ ,  $K_f^s$ ,  $K_b^s$ , dan  $K_{ac}^s$  dapat diambil dari Gambar 2.14.



Gambar 2.14: Grafik penentuan faktor susut.

Untuk komponen beton yang dirawat dengan cara penguapan (*steam cured*), maka nilai  $\epsilon_{cs,t}$  ditentukan oleh Persamaan (2.19) di bawah ini:

$$\epsilon_{cs,t} = (t / (55 + t)) \epsilon_{cs,u} \quad (2.19)$$

di mana  $t$  menyatakan umur beton yang dirawat dengan cara penguapan, terhitung sejak 1-3 hari setelah pengecoran, dalam satuan hari. Dan untuk koefisien standar susut beton bisa dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20: Koefisien standar susut beton sebagai tambahan regangan jangka panjang.

Kekuatan karakteristik $f_c'$ [MPa]	20	25	30	35	40-60
Koef. Susut maksimum $\epsilon_{cs,t}$	0,000174	0,000170	0,000163	0,000161	0,000153

Rangkak, yang merupakan regangan jangka panjang yang tergantung waktu pada suatu kondisi tegangan tetap, dan yang akan mengakibatkan suatu tambahan regangan terhadap regangan elastis beton, bisa dihitung dalam perbandingannya terhadap regangan elastis, melalui suatu koefisien rangkak  $\phi_{cc}(t)$ , di mana:

$$\epsilon_{cc,t} = \phi_{cc}(t) \cdot \epsilon_e \quad (2.20)$$

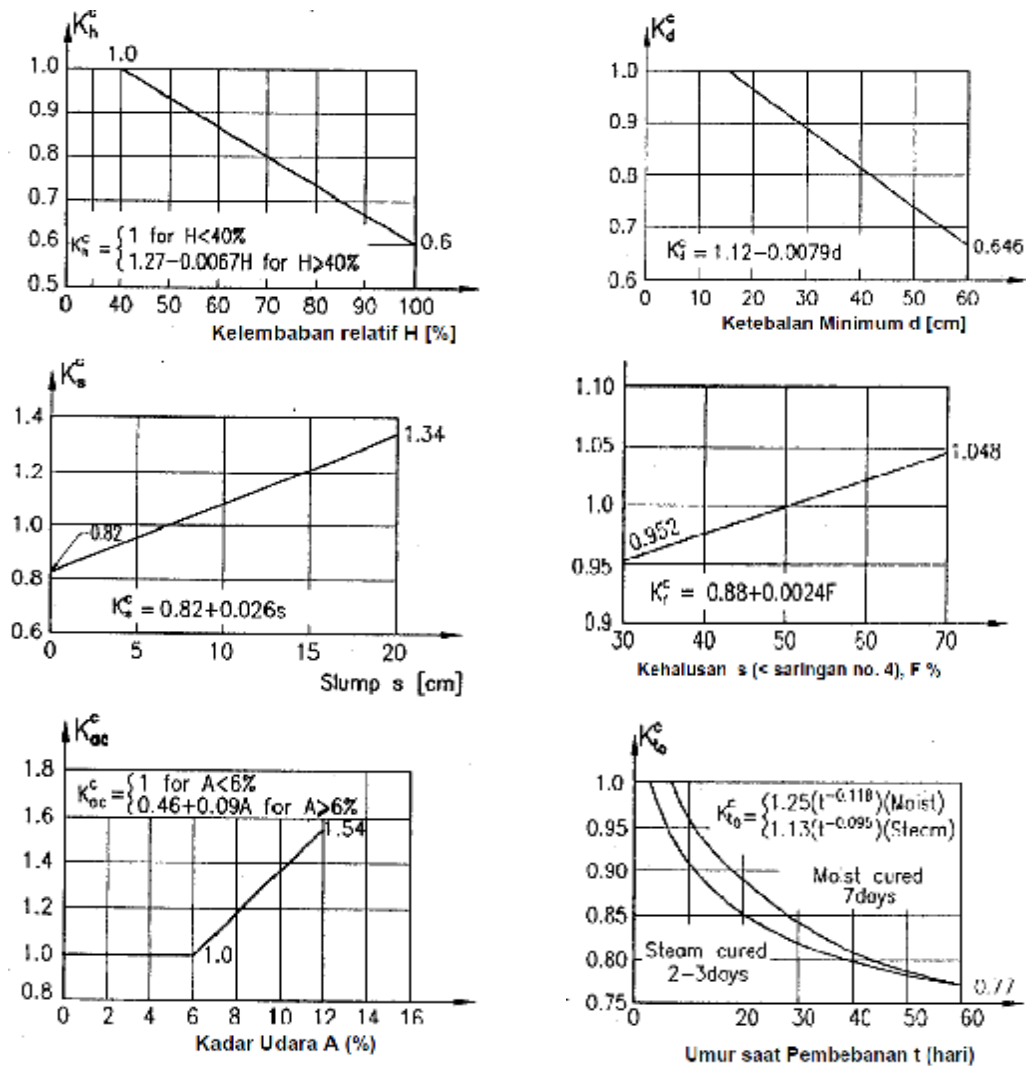
$\epsilon_e$  merupakan regangan elastis sesaat, yang diakibatkan oleh bekerjanya suatu tegangantetap. Dalam hal koefisien rangkak  $\phi_{cc}(t)$ , bila tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, bisa dihitung dari rumusan:

$$\phi_{cc}(t) = (t^{0,6} / (10 + t^{0,6})) C_u \quad (2.21)$$

$$C_u = 2,35 \gamma_{cc} \quad (2.22)$$

$$\gamma_{cc} = K_h^c \cdot K_d^c \cdot K_s^c \cdot K_f^c \cdot K_{ac}^c \cdot K_{to}^c \quad (2.23)$$

Besaran faktor-faktor  $K_h^c$ ,  $K_d^c$ ,  $K_s^c$ ,  $K_f^c$ ,  $K_{ac}^c$ , dan  $K_{to}^c$  dapat diambil dari Gambar 2.15.



Gambar 2.15: Grafik penentuan faktor rangkai.

Namun demikian bila tidak dilakukan suatu perhitungan rinci seperti yang dirumuskan dalam persamaan (2.26) sampai (2.28), atau bila dianggap memang tidak dibutuhkan suatu perhitungan rinci yang sebagaimana disebutkan di atas, maka dalam asumsi pada suatu kondisi yang standar, nilai koefisien rangkai maksimum  $C_u$  bisa diambil secara langsung dari Tabel 2.21 di bawah ini. Dalam hal ini, yang disebut sebagai suatu kondisi standar adalah:

- Kelembaban relatif udara setempat  $H = 70\%$
- Ketebalan minimum komponen beton  $d = 15$  cm
- Konsistensi (*slump*) adukan beton  $s = 7,5$  cm
- Kadar agregat halus dalam beton  $F = 50\%$
- Kadar udara dalam beton AC  $= 6\%$ .

Tabel 2.21: Koefisien standar rangkai beton sebagai tambahan regangan jangka panjang.

Kekuatan karakteristik $f_c'$ [MPa]	20	25	30	35	40-60
Koef. Rangkai maksimum $C_u$	2,8	2,5	2,3	2,15	2,0

#### 2.4.11. Pengaruh Prategang

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang tertekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.22). Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 2.22: Faktor beban akibat pengaruh prategang.

Tipe beban	Faktor beban	
	Keadaan batas layan ( $\square_{SH}^S$ )	Keadaan batas ultimit ( $\square_{SH}^U$ )
Tetap	1,0	1,0

Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut:

- 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.
- Pada keadaan batas ultimit, pengaruh sekunder akibat gaya prategang harus dianggap sebagai beban yang bekerja.

#### 2.4.12. Kombinasi Pembebanan

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.

Dalam perencanaan, persamaan 2.24 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya. Tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan setiap komponen dan sambungan harus memenuhi persamaan 2.24 untuk setiap keadaan batas, untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2,3, dan 4 yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2, 3 dan 4 yang ditentukan dalam perencanaan jembatan beton. seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar.

$$\sum_i \alpha_i Q_i \leq R_n = R_r \quad (2.24)$$

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi persamaan 2.24 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

- a. Kuat I yaitu 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.
- b. Kuat II yaitu kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- c. Kuat III yaitu kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenal beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- d. Kuat IV yaitu kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
- e. Kuat V yaitu kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- f. Ekstrem I yaitu kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\alpha_{EQ}$  yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

Faktor beban untuk setiap beban untuk setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.23. 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.

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 terkurangi untuk gaya yang mengurangi tersebut. Untuk beban permanen, harus dipilih faktor beban yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Jika terpengaruh beban permanen adalah meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan, maka perencana harus memperhitungkan pengaruh faktor beban terkurangi (minimum).

Untuk jembatan *box girder* baja yang memenuhi ketentuan pada peraturan perencanaan jembatan baja, faktor beban untuk beban kendaraan TT dan TD harus diambil sebesar 2,0.

Faktor beban untuk beban gradien temperatur ( $\square$ TG) ditentukan berdasarkan kondisi pekerjaan. Jika tidak ada hal yang bisa menyebabkan perubahan nilai, maka ( $\square$ TG) dapat diambil sebagai berikut:

- 0,00 : untuk keadaan batas kekuatan dan keadaan batas ekstrim.
- 1,00 : untuk keadaan batas daya layan dimana beban hidup tidak ada.
- 0,50 : untuk keadaan batas daya layan dimana beban hidup bekerja.

Tabel 2.23: Kombinasi beban dan faktor beban.

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>S</sub>	EW <sub>L</sub>	BF	EU <sub>n</sub>	TG	ES	Gunakan Salah Satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\rho$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$TG$	$ES$	-	-	-
Kuat II	$\rho$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$TG$	$ES$	-	-	-
Kuat III	$\rho$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$TG$	$ES$	-	-	-
Kuat IV	$\rho$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\rho$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$TG$	$ES$	-	-	-
Ekstrem I	$\rho$	$EQ$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	$\rho$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$TG$	$ES$	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$TG$	$ES$	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-



## 2.5. Perencanaan *Spring*

Pada model ini, daya dukung tanah lateral dimodel sebagai elemen *spring*. Menurut bowles, untuk menentukan besarnya modulus reaksi tanah dasar didasarkan pada daya dukung tanah dengan penurunan tanah ( $\delta$ ) 1 inci = 0,0254 m.

$$K_s = \frac{q_{ult}}{\delta} \quad (2.25)$$

$$q_{ult} = cN_c + Df'N_q + 0,5 \gamma BN' \quad (2.26)$$

Nilai faktor daya dukung tanah ini merupakan fungsi dari sudut geser dalam tanah  $\Phi$  dari Terzaghi lihat pada Tabel 2.24.

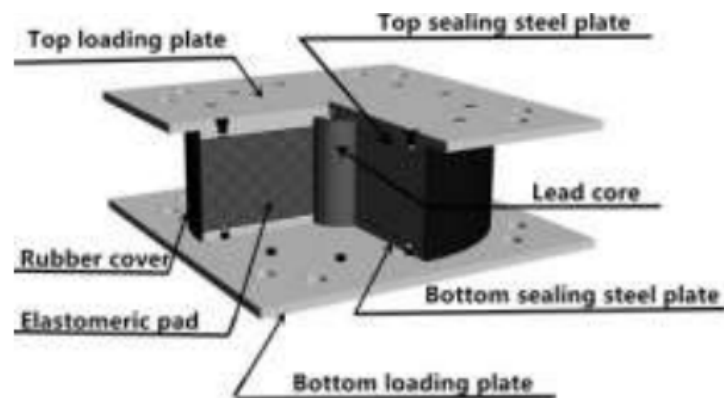
Tabel 2.24: Nilai daya dukung tanah Terzaghi.

$\Phi$	$N_c$	$N_q$	$N'$	$N_c'$	$N_q'$	$N'_{\gamma}$
0	5,7	1,0	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

## 2.6. *Lead Rubber Bearing (LRB)*

Perletakan (*bearing*) digunakan pada struktur sebagai landasan. Fungsinya adalah untuk mentransfer tegangan dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah yang dapat memberikan pergerakan pada bagian atas struktur jembatan.

*Bearing* juga berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan rotasi dan translasi longitudinal. *Lead rubber bearing* adalah modifikasi dari bantalan elastomer berlapis dengan menambahkan inti didalamnya untuk menyerap energi seismik yang ditimbulkan dari getaran gempa (Gambar 2.16). Terdiri atas pelat baja yang terikat secara kimiawi pada karet secara berlapis. Jumlah inti didalamnya dapat disesuaikan dengan desain rencana. Bagian atas dan bawah dari pelat baja dilengkapi dengan pelat dowel untuk memudahkan pemasangan. Lapisan baja dan karet memberikan kekakuan, kekuatan dan fleksibilitas ke arah vertikal untuk mendukung berat struktur dan dikombinasi dengan inti didalamnya untuk menghasilkan fleksibilitas, penyebaran energi dan redaman pada arah horizontal. LRB dapat berbentuk persegi panjang atau lingkaran.



Gambar 2.16: Komponen LRB.

## 2.7. Aspek Beton Prategang

Beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (Manual Perencanaan Beton Prategang Untuk Jembatan Dirjen Bina Marga, 2011).

Jembatan beton prategang atau yang dikenal dengan *PSC Bridge* merupakan salah satu jenis jembatan dengan material konstruksi beton prategang atau beton yang berisi kabel baja dengan tujuan untuk memberikan tegangan awal berupa tegangan tarik terhadap beton akibat sifat beton yang tidak mampu menahan gaya tarik. Dalam hal ini, beton prategang sebagai solusi untuk mengatasi besarnya

tegangan tarik yang timbul pada struktur beton khususnya pada struktur dengan bentang yang besar. Material yang digunakan untuk sistem ini adalah material beton dan sistem kabel. Sistem kabel terdiri dari kabel (*wire, strand, bar*), selongsong dan angkur (ankur hidup, angkur mati).

Cara kerja beton pratekan/prategang adalah dengan dalam struktur beton dipasang kabel kemudian kabel ditarik dan ditahan oleh angkur. Setelah angkur terpasang maka kabel akan berusaha memendek sehingga menjadi gaya tekan pada beton.

Keuntungan dari penggunaan beton pratekan/prategang adalah dimensi penampang lebih kecil sehingga beton menjadi lebih ringan, semua penampang beton dapat bekerja menahan momen, karena semua menahan tekan, maka tidak akan terjadi keretakan pada beton sehingga baik untuk mencegah korosi pada tulangan, sistem pratekan juga membantu menahan gaya geser, sehingga tulangan geser dapat berkurang. Sedangkan kekurangan dari beton pratekan/prategang adalah biaya pembuatan beton yang lebih tinggi, terjadi kehilangan gaya pratekan, dan diperlukannya komponen pratekan.

## **2.7.1. Material Beton Prategang**

### **2.7.1.1. Beton**

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik. Kuat tariknya bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya (Bambang Suryoatmono, 2001).

Standar perencanaan struktur beton untuk jembatan diatur Sni T-12-2-2004 yang mengatur lebih lanjut peraturan beton pada jembatan.

#### **a. Kuat tekan**

Kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam

jangka waktu pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 MPa.

b. Kuat tarik

Kuat tarik langsung dari beton,  $f_{ct}$ , bisa diambil dari ketentuan:

- 1)  $0,33 \sqrt{f_c'}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- 2) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

c. Kuat tarik lentur

Kuat tarik lentur beton,  $f_{ct}$ , bisa diambil sebesar:

- 1)  $0,6 \sqrt{f_c'}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- 2) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

d. Tekanan izin tekan pada kondisi batas layan

Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur atau aksial tekan, tidak boleh melampaui nilai  $0,45 f_c'$ , di mana  $f_c'$  adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

e. Tegangan ijin tekan pada kondisi beban sementara atau kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang

Untuk kondisi beban sementara, atau untuk komponen beton prategang pada saat transfer gaya prategang, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai  $0,60 f_{ci}'$ . Di mana  $f_{ci}'$  adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dibebani atau dilakukan transfer gaya prategang, dinyatakan dalam satuan MPa.

f. Tekanan izin Tarik pada kondisi batas layan

Tegangan tarik yang diijinkan terjadi pada penampang beton, boleh diambil untuk:

- 1) beton tanpa tulangan:  $0,15 \sqrt{f_c'}$
- 2) beton prategang penuh:  $0,5 \sqrt{f_c'}$

Tegangan ijin tarik dinyatakan dalam satuan MPa.

g. Tegangan ijin tarik pada kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang

Tegangan tarik yang diijinkan terjadi pada penampang beton untuk kondisi transfer gaya prategang, diambil dari nilai-nilai:

- 1) Serat terluar mengalami tegangan tarik, tidak boleh melebihi nilai  $0,25 \sqrt{f_{c'}}$ , kecuali untuk kondisi di bawah ini.
- 2) Serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana dan mengalami tegangan tarik, tidak boleh melebihi nilai  $0,5 \sqrt{f_{c'}}$ .

h. Massa jenis

Massa jenis beton ( $w_c$ ) ditentukan dari nilai-nilai:

- 1) Untuk beton dengan berat normal, diambil tidak kurang dari 2400 kg/m<sup>3</sup>.
- 2) Ditentukan dari hasil pengujian.

i. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton  $E_c$ , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai  $E_c$  bisa diambil sebagai:

$$E_c = w_c^{1,5} \times (0,043 \times \sqrt{f_{c'}}) \quad (2.27)$$

Dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini bisa bervariasi  $\pm 20\%$ .

$w_c$  menyatakan berat jenis beton dalam satuan kg/m<sup>3</sup>,  $f_{c'}$  menyatakan kuat tekan beton dalam satuan MPa, dan  $E_c$  dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m<sup>3</sup>,  $E_c$  boleh diambil sebesar  $4700\sqrt{f_{c'}}$ , dinyatakan dalam MPa.

j. Angka Poisson

Angka Poisson untuk beton bisa diambil sebesar:

- 1) 0,2 atau;
- 2) Ditentukan dari hasil pengujian.

### 2.7.1.2. Kabel/Tendon

Kabel/*tendon* merupakan bahan yang umum dipakai pada struktur beton prategang. Kabel baja untuk beton prategang terdiri dari kawat baja kawat baja disediakan dalam bentuk gulungan, kawat dipotong dengan panjang tertentu dan

dipasang di pabrik atau lapangan. Untaian kawat (*strand*) banyak digunakan untuk beton prategang dengan sistem pascatarik. Untaian kawat yang dipakai harus memenuhi syarat seperti yang terdapat pada ASTM A 416 (Tabel 2.25). Untaian kawat yang banyak digunakan adalah untaian tujuh kawat pada Tabel 2.26(*seven wire strand*) dengan dua kualitas: *Grade 250* dan *Grade 270* (seperti di Amerika Serikat). Diameter untaian kawat bervariasi antara 7,9 – 15,2 mm. Tegangan tarik ( $f_p$ ) untaian kawat adalah antara 1750 – 1860 MPa. Nilai modulus elastisitasnya,  $E_p = 195 \times 10^3$  MPa.

Tabel 2.25: Sifat-sifat *stress-relieved* dengan tujuh kawat tanpa pelapisan (ASTM 416).

Diameter nominal (mm)	Kekuatan putus (kN)	Luas nominal strand (mm <sup>2</sup> )	Beban minimum pada pemuaian 1% (Kn)
Derajat 1720 MPa			
6,35	40,0	23,22	34,0
7,94	64,5	37,42	54,7
9,53	89,0	51,61	75,6
11,11	120,1	69,68	102,3
12,70	160,1	92,90	136,2
15,24	240,2	139,35	204,2
Derajat 1860 MPa			
9,53	102,3	54,84	87,0
11,11	137,9	74,19	117,2
12,70	183,7	98,71	156,1

15,24	260,7	140,00	221,5
-------	-------	--------	-------

Tabel 2.26: *Strands* Standar Tujuh Kawat Untuk Beton Prategang.

Diameter nominal <i>strand</i> (in)	Kuat patah <i>strand</i> (min.lb)	luas baja nominal <i>strand</i> (in <sup>2</sup> )	Berat nominal <i>strand</i> (lb/1000 ft)*	Beban minimum pada ekstensi 1% (lb)
Mutu 250				
¼ (0,25)	9.000	0,038	122	7.650
5/16 (0,313)	14.500	0,058	197	12.000
3/8 (0,375)	20.000	0,080	272	17.000
7/16 (0,438)	27.000	0,108	367	23.000
½ (0,500)	36.000	0,144	490	30.600
3/5 (0,600)	54.000	0,216	7373	45.900
Mutu 270				
3/8 (0,375)	23.000	0,065	290	19.550
7/16 (0,438)	31.000	0,115	390	26.350
½ (0,500)	41.300	0,153	520	35.100
3/5 (0,600)	58.600	0,217	740	49.800

\*100.000 psi = 689.5 MPa

0,1 in = 2,54 mm. 1 in<sup>2</sup> = 645 mm<sup>2</sup>

Berat : kalikan dengan 1.49 untuk mendapatkan berat dalam kg per 1000 in  
1000 lb = 4448 N

Sumber: *Post-Tensioning Institute*

### 2.7.2. Tahap Pembebanan

Tidak seperti beton bertulang, beton prategang mengalami beberapa tahap pembebanan. Pada setiap tahap pembebanan harus dilakukan pengecekan atas kondisi serat tertekan dan serat tertarik dari setiap penampang. Pada tahap tersebut berlaku tegangan ijin yang berbeda-beda sesuai kondisi beton dan tendon. Ada dua tahap pembebanan pada beton prategang, yaitu *transfer* dan *service*.

#### a. *Transfer*

Tahap *transfer* adalah tahap pada saat beton sudah mulai mengering dan dilakukan penarikan kabel prategang. Pada saat ini biasanya yang bekerja hanya beban mati struktur, yaitu berat sendiri struktur ditambah beban pekerja dan alat. Pada saat ini beban hidup belum bekerja sehingga momen yang bekerja adalah minimum, sementara gaya yang bekerja adalah maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.

b. Servis

Kondisi *service* (servis) adalah kondisi pada saat beton prategang digunakan sebagai komponen struktur. Kondisi ini dicapai setelah semua kehilangan gaya prategang dipertimbangkan. Pada saat ini beban luar pada kondisi yang maksimum sedangkan gaya pratekan mendekati harga minimum.

### 2.7.3. Konsep Beton Prategang

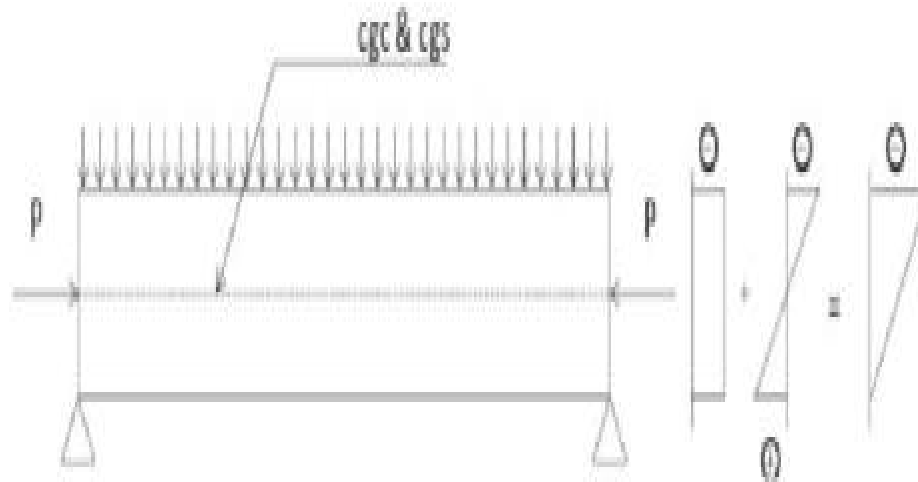
Dalam perkembangannya ada tiga (3) konsep beton prategang yang menjelaskan bagaimana suatu sistem prategang membantu menahan gaya luar berdasarkan buku desain struktur beton prategang TY Lin dan H Burns, yaitu:

a. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

Konsep ini menjadikan beton sebagai bahan elastis yang bisa menahan tegangan tarik akibat dari beban luar. Konsep ini diperkenalkan oleh Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik. Kondisi ini menunjukkan bahwa tegangan tarik pada beton tidak ada. Beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang.

1. Gaya prategang berada pada garis penampang atau dikenal dengan kondisi dimana c.g.c dan c.g.s saling berhimpit. Kondisi seperti ini disebut gaya prategang kosentris (Gambar 2.17).





Gambar 2.17: Gaya prategang kosentris.

Gaya prategang  $P$  ditentukan berdasarkan balok persegi panjang dengan tumpuan sederhana, diberi gaya sederhana, dan gaya prategang  $P$ , sehingga balok tersebut mengalami tegangan tekan sebesar:

$$\sigma = -\frac{P}{A} \quad (2.28)$$

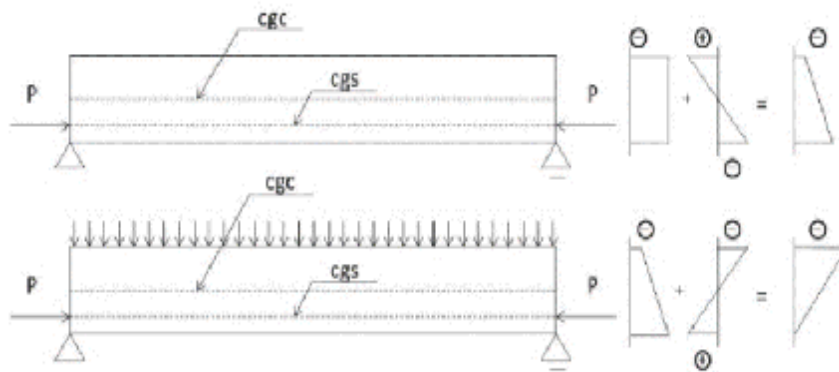
Balok persegi panjang dengan tumpuan sederhana, diberi gaya prategang  $P$  dan beban merata, sehingga timbul momen di tengah bentang, tegangannya menjadi:

$$\sigma^t = -\frac{P}{A} - \frac{MY}{I} \quad (2.29)$$

$$\sigma^b = -\frac{P}{A} + \frac{MY}{I} \quad (2.30)$$

Persamaan diatas membuktikan bahwa dengan diberi tekan prategang,  $P/A$  dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan tegangan tarik  $MY/I$  akibat beban merata.

2. Kondisi lainnya adalah gaya prategang tidak berada atau tidak bekerja pada garis penampang sehingga dapat disimpulkan bahwa c.g.c dan c.g.s tidak berhimpit. Kondisi ini dikenal dengan gaya prategang eksentris (Gambar 2.18).



Gambar 2.18: Gaya prategang eksentris.

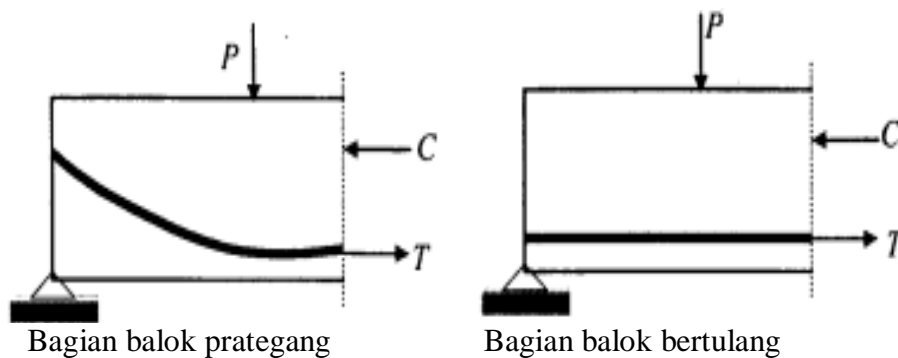
Tegangan tekan akibat penjumlahan gaya prategang dan beban merata mengakibatkan kapasitas tekan balok dalam memikul beban luar berkurang. Oleh karena itu, maka tendon prategang diletakkan di bawah sumbu netral di tengah bentang. Sedangkan di daerah tumpuan tendon diletakkan dengan jarak yang kecil terhadap sumbu netral yang berarti tendon prategang diletakkan di atas sumbu netral. Sehingga tegangannya menjadi:

$$\sigma^t = - \frac{P}{A} - \frac{Pe}{I} y \quad (2.31)$$

$$\sigma^b = - \frac{P}{A} + \frac{Pe}{I} y \quad (2.32)$$

b. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, baja menahan gaya tarikan dan beton menahan desakan. Dengan demikian kedua bahan membentuk tahanan untuk menahan momen eksternal. Konsep ini ditunjukkan pada Gambar 2.19.



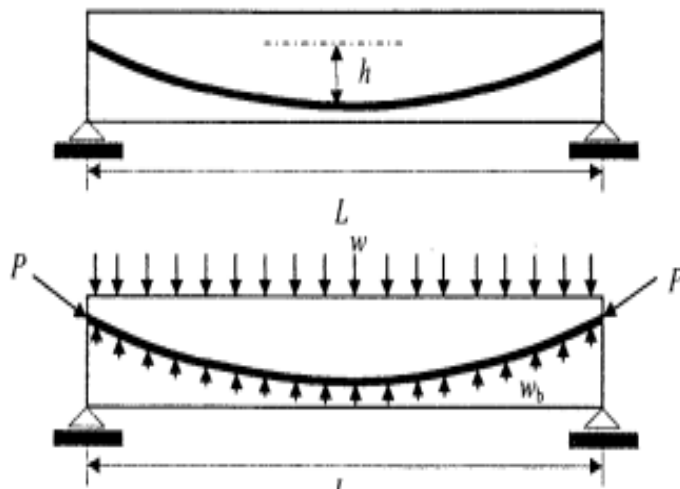
Gambar 2.19: Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton

bertulang.

- c. Sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban.

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Penerapan konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya pada beton sepanjang bentang.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit. Konsep ini ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20: Balok prategang dengan tendon parabola.

Dari gambar 2.20. beban yang bekerja yang terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan dalam Persamaan 2.33:

$$w_b = \frac{8 F h}{L^2} \quad (2.33)$$

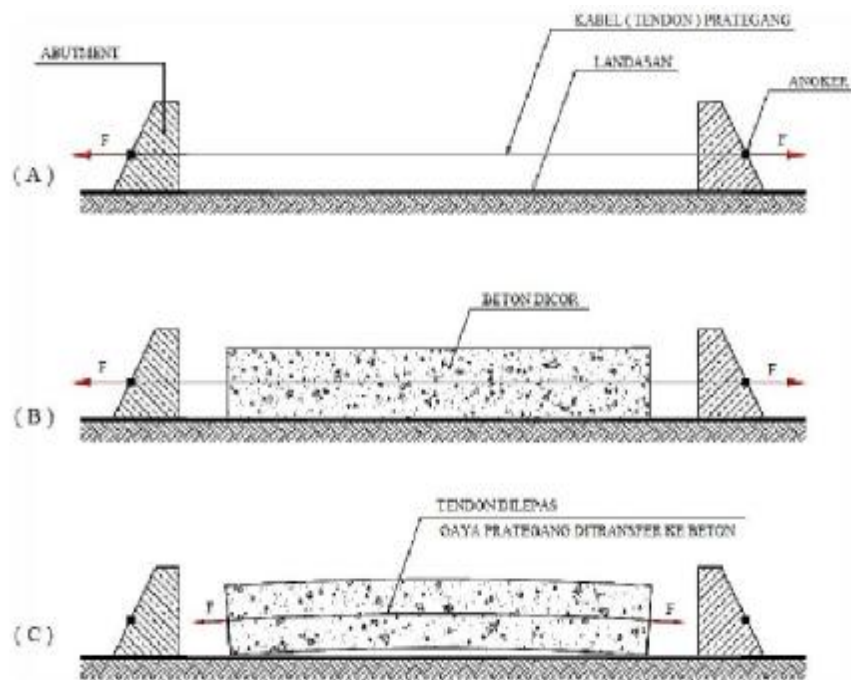
#### 2.7.4. Tipe Beton Pratekan/Prategang Berdasarkan Metode Penarikan Kabel

Berdasarkan konsepnya, beton diberikan gaya prategang berbentuk tendon

atau kabel baja. Pemberian gaya prategang pada beton terdiri dari dua (2) cara, yaitu:

a. Pra Tarik (*Pre-Tension*)

Prinsip kerja metode ini adalah kabel baja diregangkan terlebih dahulu sebelum beton dicetak. Awalnya tendon prategang ditarik kemudian dilakukan pengangkuran pada abutment. Setelah tendon terpasang, maka beton dapat dicetak. Setelah itu, tendon dapat dipotong sehingga gaya prategang dapat ditransfer ke beton. Pada kondisi ini, kuat tekan beton harus sesuai dengan yang disyaratkan. Konsep ini digambarkan (Gambar 2.21) sebagai berikut:

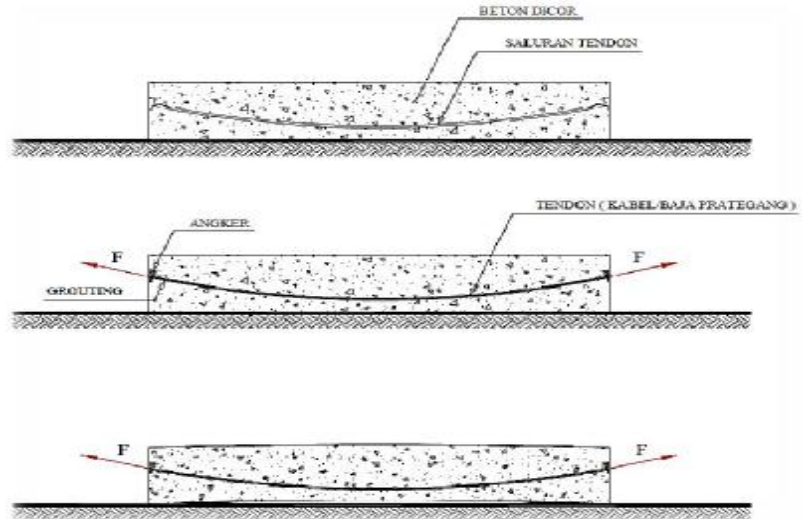


Gambar 2.21: Konsep Pra Tarik.

b. Pasca Tarik (*Post-Tension*)

Prinsip kerja metode ini adalah beton dicetak terlebih dahulu, kemudian setelah beton kering kabel ditarik. Awalnya beton dicetak mengelilingi selongsong atau selubung tendon dimana kabel prategang berada didalam selongsong selama pengecoran kemudian setelah beton mengeras diberi gaya prategang dengan cara mengangkur kabel prategang ke *abutment*. Pada saat

itu gaya prategang ditransfer ke beton sehingga beton akan tertekan. Konsep ini digambarkan sebagai berikut (Gambar 2.22):



Gambar 2.22: Konsep pasca Tarik.

Adapun batas-batas tegangan ijin sistem pratekan berdasarkan SNI-T-12 2004 tentang Perencanaan Struktur Jembatan Beton adalah sebagai berikut:

1. Pada kondisi transfer yaitu kondisi dimana belum terjadi kehilangan gaya pratekan, tegangan yang diijinkan adalah sebagai berikut :

$$\text{Teganganserat tekan terluar} = 0,6 f'_{ci} \quad (2.34)$$

$$\text{Tegangan serat tarik terluar} = \frac{1}{4} \sqrt{f'_{ci}} \quad (2.35)$$

$$\text{Tegangan tarik diujung elemen} = \frac{1}{2} \sqrt{f'_{ci}} \quad (2.36)$$

2. Pada kondisi beban layan yaitu kondisi dimana telah terjadi kehilangan gaya pratekan, tegangan yang diijinkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Teg. Tekan ijin akibat beban hidup tetap} = 0.45 f'_c \quad (2.37)$$

$$\text{Teg. tekan ijin beban hidup total} = 0.6 f'_c \quad (2.38)$$

$$\text{Tegangan tarik} = \frac{1}{2} \sqrt{f'_c} \quad (2.39)$$

### 2.7.5. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan tegangan adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan. Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Berdasarkan buku desain praktis beton prategang Andri Budiadi kehilangan tegangan langsung disebabkan oleh perpendekan elastis dari beton, gesekan sepanjang kelengkungan tendon pada struktur pascatarik, selip pada ankur, dan lain-lain. Kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu disebabkan oleh perpendekan dari beton pada level baja akibat rangkai dan penyusutan beton serta relaksasi dari baja.

### 2.7.5.1. Perpendekan Elastis

Mekanisme pengeringan beton yang mempengaruhi kehilangan tegangan adalah berbeda antara struktur dengan sistem pratarik dan pascatarik. Pada struktur pratarik perubahan regangan pada tulangan prategang yang diakibatkan oleh perpendekan elastis dari beton adalah sama dengan regangan beton di level baja.

#### a. Pratarik.

Secara umum, kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*) tergantung pada rasio modular dan tegangan beton pada level baja atau dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$ES = n \times f_c \quad (2.40)$$

Jika gaya prategang di transfer ke beton maka beton akan memendek dan baja prategang akan mengikuti perpendekan beton tersebut. Dengan terjadinya perpendekan baja prategang maka akan terjadi kehilangan tegangan yang ada pada baja prategang tersebut. Besarnya kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis dapat diestimasi sebesar:

$$ES = \frac{n \times P_i}{A_s + (n \times A_s)} \quad (2.41)$$

#### b. Pascatarik

Pada struktur yang menggunakan kabel tunggal, tidak ada kehilangan gaya prategang akibat perpendekan beton, 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 harga setengahnya untuk mendapatkan harga rata-rata semua kabel. Kehilangan tegangan pada struktur pascatarik dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$ES = \Delta f_c = \frac{nPi}{Ac} \quad (2.42)$$

Atau secara praktis, untuk struktur pascatarik dapat digunakan persamaan:

$$ES = 0,5 \frac{ES}{Ec} \times f_c \quad (2.43)$$

### 2.7.5.2. Gesekan Pada Tendon

Pada struktur beton prategang dengan tendon yang melengkung diketahui adanya gesekan pada sistem penarik (*jacking*) dan ankur sehingga tegangan yang ada pada tendon lebih kecil daripada yang terdapat pada alat baca tekanan (*pressure gauge*). Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (*wobble*). Untuk itu digunakan koefisien *wobble*, K, dan koefisien kelengkungan  $\mu$ . Harga K untuk tendon 7 *wire strand* pada selongsong yang fleksibel adalah antara 0,0016 dan 0,0066. Harga  $\mu$ -nya antara 0,15 dan 0,25. Nilai K dan  $\mu$  selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.27. Sedangkan kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1} = -KL - \mu\alpha \quad (2.44)$$

Tabel 2.27: Koefisien *wobble* dan koefisien friksi.

		Jenis baja prategang	Koefisien wobble K (1/m)	Koefisien friksi ( $\mu$ )
		Tendon kawat	0,0033-0,0049	0,15-0,25
		Batang kekuatan tinggi	00003-0,0020	0,08-0,30
		Strand 7 kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25
Tendon tanpa lekatan	Mastic coated	Tendon kawat	0,0033-0,0066	0,05-0,15
		Strand 7 kawat	0,0033-0,0066	0,05-0,15
	Pre-greassed	Tendon kawat	0,0010-0,0066	0,05-0,15
		Strand 7 kawat	0,0010-0,0066	0,05-0,15

Menurut SNI 2002 kehilangan tegangan akibat friksi pada tendon pascatarik harus dihitung dengan rumus:

$$P_s = P_x \cdot e^{(K \times L_x + \mu\alpha)} \quad (2.45)$$

Bila  $(K \times L_x + \mu\alpha)$  tidak lebih besar dari 0,3 maka kehilangan tegangan akibat friksi harus diperhitungkan dengan Persamaan 2.46:

$$P_s = P_x (1 + K \times L_x + \mu\alpha) \quad (2.46)$$

### 2.7.5.3. Slip Pada Angkur

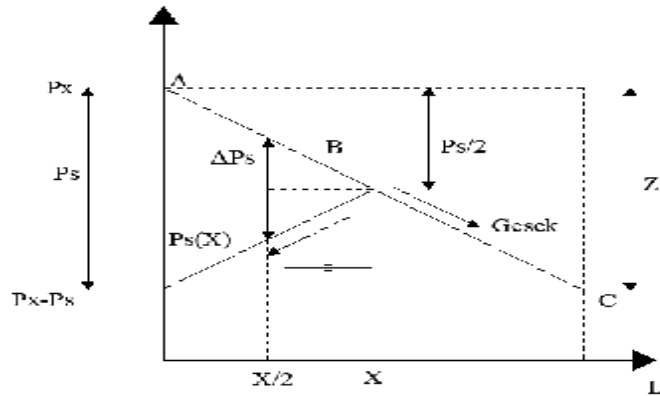
Slip pada angkur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan baji pada angkur. Panjang atau besarnya slip tergantung tipe baji dan tegangan pada kawat tendon. Harga rata-rata panjang slip adalah 2,5 millimeter. Untuk menentukan kehilangan tegangan akibat slip dapat digunakan persamaan berikut:

$$ANC = \Delta L = \frac{f_c}{E_s} \times L \quad (2.47)$$

Kehilangan tegangan akibat pemindahan gaya dilihat pada Gambar 2.23. Garis ABC adalah tegangan pada tendon sebelum pengangkuran. Garis DB adalah tegangan pada tendon setelah pengangkuran. Di sepanjang bentang L terjadi penurunan tegangan pada ujung pengangkuran dan gaya gesek berubah arah pada suatu tempat yang berjarak X dari ujung pengangkuran. Karena gaya gesek yang berbalik arah bergantung pada koefisien gesek yang sama dengan gaya gesek awal, kemiringan garis AB dan DB adalah sama tetapi berlawanan arah. Perpendekan total dari tendon sampai X adalah sama dengan panjang penyetelan angkur (*anchorage set*) sehingga kehilangan tegangan pada ujung penarikan kabel  $P_s$  dapat dituliskan dalam bentuk:

$$P_s = 2 E_p \frac{d}{X} \quad (2.48)$$





Gambar 2.23: Diagram kehilangan tegangan akibat pemindahan gaya.

Nilai X tergantung dari tegangan pada tendon akibat penarikan kabel  $P_x$  dan karakteristik gesekan dari tendon  $\lambda$ . Tabel 2.28 menunjukkan nilai  $\lambda$  untuk berbagai profil tendon.

Tabel 2.28: Nilai  $\lambda$  dan X untuk berbagai profil tendon (Naaman, 1982).

Profil tendon	Gambar	$\lambda = \frac{\mu\alpha + KX}{X}$	X jika kurang dari L
Linear		$\lambda = KX$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{K Px}}$
Parabolis		$\lambda = \frac{2\mu a}{b^2} + K$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{\left(\frac{2\mu a}{b^2} + K\right) Px}}$
Melingkar		$\lambda = \frac{\mu}{R} + K$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{\left(\frac{\mu}{R} + K\right) Px}}$
Bentuk lain		$\lambda = \left(\frac{Z}{L}\right) \frac{1}{Px}$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{\left(\frac{Z}{L}\right) Px}}$

#### 2.7.5.4. Rangkak Pada Beton

Kehilangan tegangan pada baja prategang akibat rangkakan dapat ditentukan dengan dua cara, yaitu cara regangan rangkakan batas dan cara koefisien rangkakan.

Dengan cara regangan rangkai batas, besarnya kehilangan tegangan pada baja prategang akibat rangkai dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$CR = \epsilon_c f_c E_s \quad (2.49)$$

Sedangkan dengan koefisien rangkai, besarnya kehilangan tegangan pada baja prategang akibat rangkai dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$\epsilon_{cr} = \frac{\epsilon_c r}{\epsilon_c e} \quad (2.50)$$

$$\epsilon_{cr} = \epsilon_c e = \epsilon_c \frac{f_c}{E_c} \quad (2.51)$$

$$CR = \epsilon_{cr} E_s = \epsilon_c \frac{f_c}{E_c} E_s = \epsilon_c f_c \frac{E_s}{E_c} = \epsilon_c f_c n \quad (2.52)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.53)$$

Rangkai pada beton terjadi karena deformasi akibat adanya tegangan pada beton sebagai suatu fungsi waktu. Pada struktur beton prategang, rangkai mengakibatkan berkurangnya tegangan pada penampang. Untuk struktur dengan lekatan yang baik antara tendon dan beton (*bonded members*), kehilangan tegangan akibat rangkai dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \quad (2.54)$$

Sedangkan untuk struktur dimana tidak terjadi lekatan yang baik antara tendon dan beton (*unbonded members*), besarnya kehilangan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} f_{cp} \quad (2.55)$$

#### 2.7.5.5. Susut Pada Beton

Hal-hal yang mempengaruhi susut pada beton adalah rasio volume terhadap luas permukaan, kelembaban relatif dan waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang. Kehilangan tegangan akibat susut dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$SH = \epsilon_{cs} E_s \quad (2.56)$$

$\epsilon_{cs} = 300 \times 10^{-6}$  untuk struktur pratarik

$$\epsilon_{cs} = \frac{200 \times 10^{-6}}{\log 10 (t+2)}$$

untuk struktur pascatarik dengan t adalah usia beton pada waktu transfer gaya prategang dalam hari.

Susut pada beton dapat juga ditentukan dengan persamaan:

$$SH = \epsilon_{sh} K_{sh} E_s \quad (2.57)$$

$$\epsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (2.58)$$

untuk menentukan nilai koefisien susut  $K_{sh}$  susut pada beton bisa dilihat pada Tabel 2.29.

Tabel 2.29: Koefisien susut  $K_{sh}$ .

Waktu antara (hari)	1	2	5	7	10	20	30	60
$K_{sh}$	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

### 2.7.5.6. Relaksasi Baja

Relaksasi baja terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio gaya prategang awal  $f_{pi}$  terhadap gaya prategang akhir  $f_{py}$ . Besarnya kehilangan tegangan akibat relaksasi baja adalah:

$$RE = C [K_{re} - J (SH + CR + ES)] \quad (2.59)$$

Dimana nilai C didapat dari tabel pembagian  $f_{pi}$  dengan  $f_{pu}$  pada tabel 2.30:

Tabel 2.30: Nilai C.

$f_{pi}/f_{pu}$	Strand stress-relieved atau kawat	Batang stress relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0,8		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85

0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

Kehilangan tegangan akibat relaksasi terhadap persentase nilai gaya prategang awal dapat juga ditentukan dengan persamaan berikut:

$$RE = R \left(1 - \frac{2 ECS}{fpi}\right) \quad (2.60)$$

#### 2.7.5.7. Kehilangan Total Dalam Desain

Nilai-nilai tipikal dari setiap kehilangan yang terjadi pada kondisi normal dapat digunakan untuk estimasi awal kehilangan tegangan total. Lin (1982) kehilangan untuk struktur pratarik terdiri dari 4% perpendekan elastis, 6% rangkakan pada beton, 7% susut pada beton, dan 8% relaksasi baja sehingga kehilangan tegangan total untuk struktur pratarik adalah 25%.

Untuk struktur pascatarik terdiri dari 1% perpendekan elastis, 5% rangkakan pada beton, 6% susut pada beton, dan 8% relaksasi baja. Dengan demikian kehilangan total untuk struktur pascatarik adalah 20%.

Rekomendasi tersebut didasarkan pada penegangan lebih sementara (*temporary overstressing*) yang dilakukan untuk mengurangi relaksasi dan untuk memberi kompensasi pada friksi dan kehilangan pada ankur sehingga angka kehilangan tegangan total di atas dapat dikurangi dengan faktor pengurangan kehilangan tegangan  $\eta$  sebesar:

$$\eta = \frac{fpe}{fpi} \quad (2.61)$$

Nilai  $\eta$  biasanya diambil 0,85 untuk struktur pratarik dan 0,8 untuk struktur pascatarik. Nilai  $\eta$  bisa digunakan untuk perkiraan awal harga total kehilangan seperti yang direkomendasikan di atas.

## 2.8. Pilar

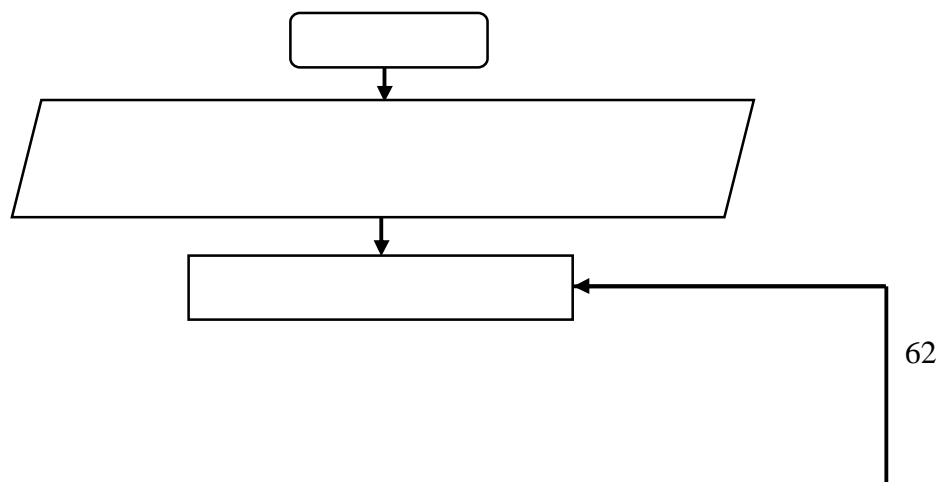
Pilar jembatan merupakan struktur yang memberikandukungan vertikal untuk rentang di antara dua poin. Pilar jembatan memiliki dua fungsi utama yaitu; mentransfer beban bangunan atas vertikal ke pondasi dan menahan kekuatan horisontal yang bekerja pada jembatan. Meskipun pilar secara umum dirancang untuk menahan beban vertikal dari struktur di atasnya, pilar juga didesain untuk menahan beban lateral tinggi disebabkan oleh peristiwa *seismic*.

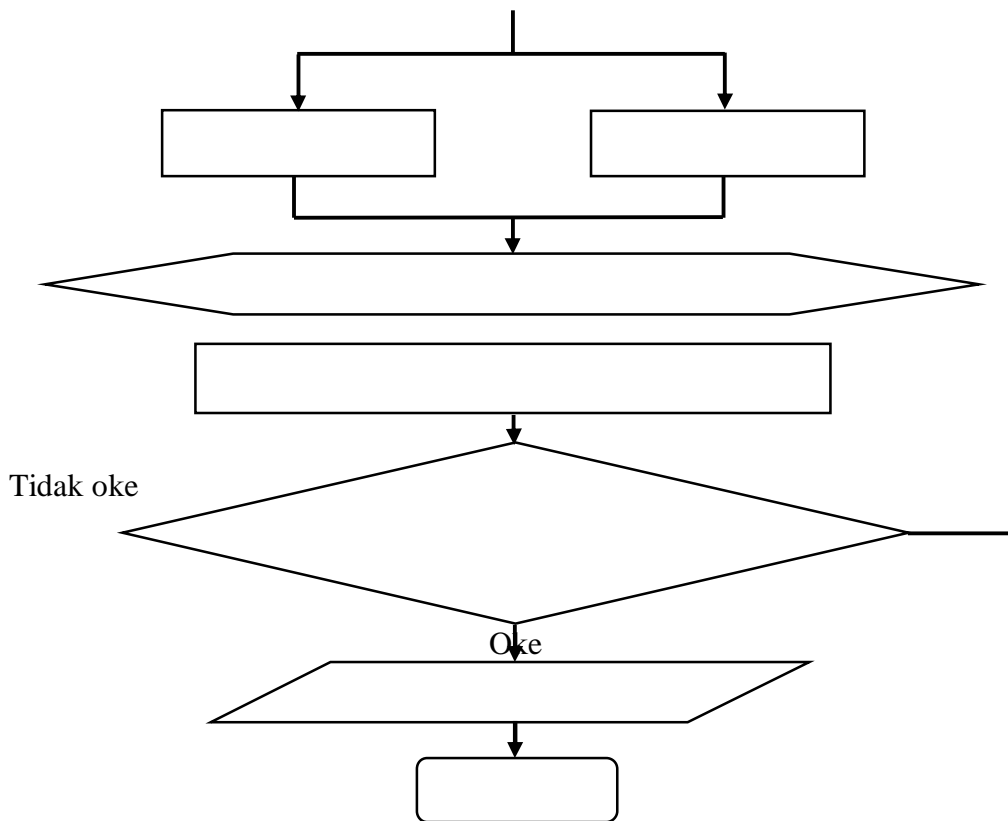
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Bagan Alir Penelitian

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

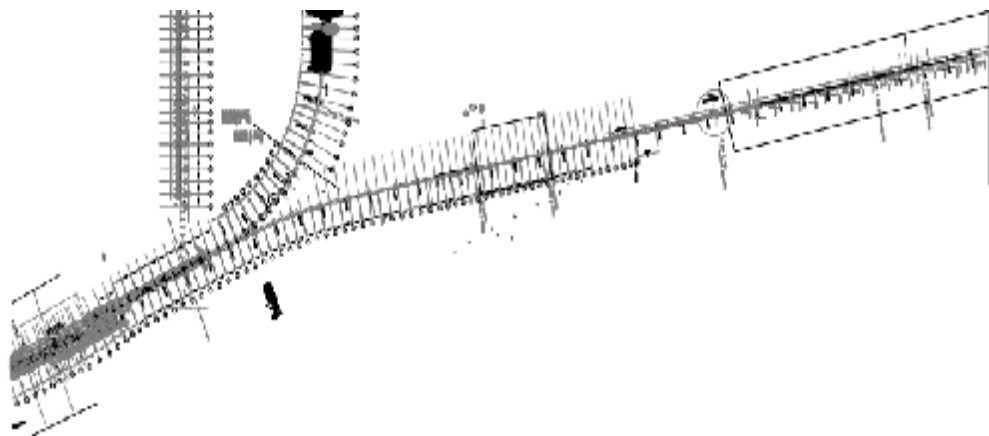




Gambar 3.1: Diagram alir perencanaan.

### 3.2. Metode pengumpulan data

Untuk menentukan spesifikasi *fly over*, berikut disajikan gambar 3.1 *layout* lokasi perencanaan *fly over* untuk memberikan gambaran kondisi di sekitar lokasi perencanaan *fly over*.



Gambar 3.2: *Layout* kereta api dari stasiun kereta api ke arah pulo Brayon.

Data-data struktur *fly over* yang digunakan dalam analisis ini antara lain:

- a. Panjang total jembatan
- b. Lebar total jembatan
- c. Lebar jalur lalu lintas
- d. Pelat lantai
- e. Tebal slab
- f. Kondisi tanah sedang
- g. Letak geografis berada di zona 3 perkotaan

### 3.3. Kriteria *fly over*

Konstruksi jembatan yang direncanakan adalah konstruksi jembatan dengan menggunakan *box girder prestressed* dengan data-data sebagai berikut:

- a. Panjang total: 1000 meter, terdiri dari 31 bentang dengan panjang 40 meter
- b. Lebar total :10.3 meter
- c. Jumlah lajur: 2

### 3.4. Spesifikasi Bahan

Spesifikasi bahan untuk beton maupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* dipengaruhi oleh dimensi elemen struktur, dan bahan yang diterima oleh struktur tersebut. Oleh karena itu spesifikasi bahan beton ataupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan dan yang dapat mempermudah proses perencanaan.

#### 3.4.1. Struktur Atas

- a. Box girder

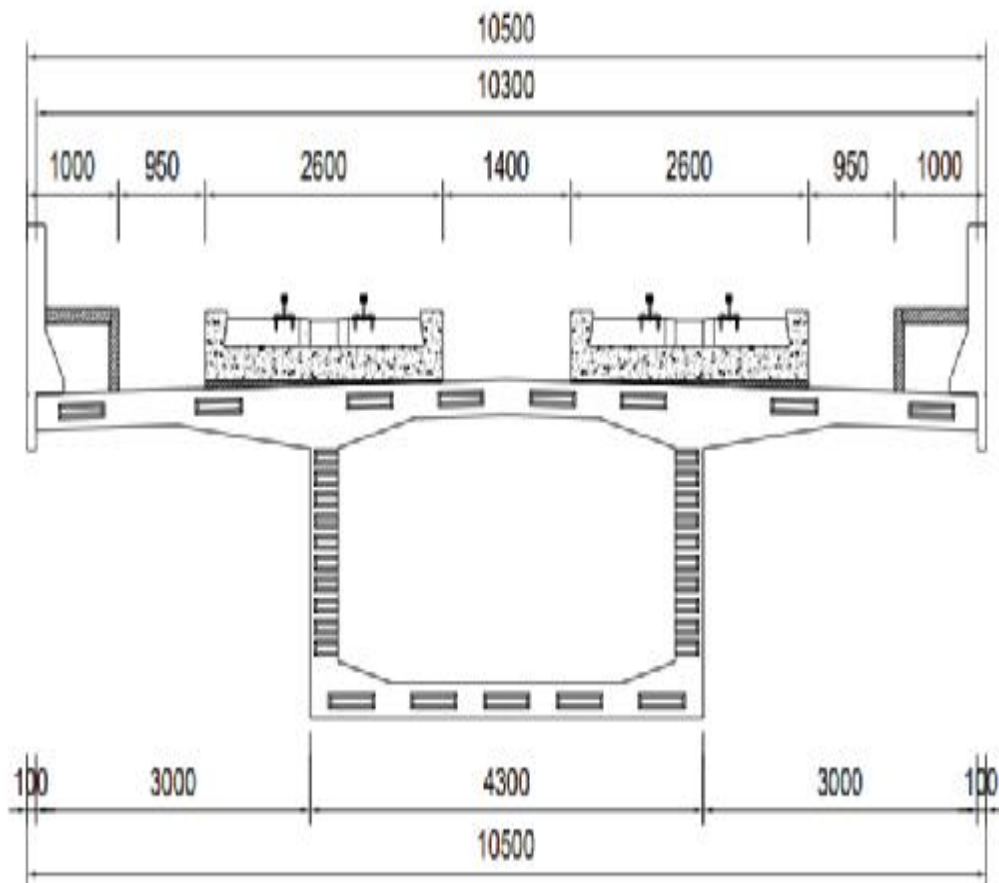
Box girder direncanakan menggunakan beton *presstred*. Untuk spesifikasi betonnya adalah sebagai berikut:

1. Dimensi *box girders pre-stress*:
  - Panjang *box girders pre-stress* (L) = 40 m
  - Lebar jalur lalu lintas (B) = 8,5 m
  - Jumlah *box girder* (n) = 1 buah

- Lebar median (bm) = 3,3 m
- Lebar *track* = 2,6 m
- Lebar trotoar (bt) = 1,0 m
- Lebar *box girder* = 10,3 m

2. Material *box girders pre-stres*:

- Berat jenis beton Pre-stress = 25,5 kN/m<sup>3</sup>
- Kuat tekan = 41,5 Mpa
- Modulus elastisitas, E = 4700 x  $\sqrt{f_c}$   
= 30277.632 MPa
- Angka poisson, U = 0,2
- Koefisien muai panjang, A = 1 x 10<sup>-5</sup>
- Modulus geser, G = (E/(2\*(1+U)))  
= 12615,68 Mpa



Gambar 3.3: Dimensi *box girder precast*.



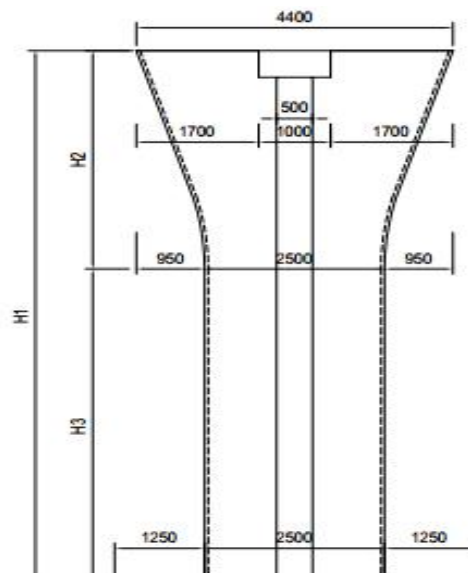
b. Kabel prategang

Untuk spesifikasi kabel prategangnya adalah sebagai berikut:

- Jenis *strands* = *uncoated 7 wire super strands* ASTM A-416 grade 270
- Tegangan leleh *strand* ( $f_{py}$ ) = 1580000 kPa
- Kuat tarik *strand* ( $f_{pu}$ ) = 1860000 kPa
- Diameter = 15,24 mm
- Luas nominal ( $A_{ps}$ ) = 140 mm<sup>2</sup>
- Modulus elastisitas ( $E_s$ ) = 200.000 MPa.
- Minimum *breaking load* = 260,7 kN
- Diameter selubung ideal = 84 mm
- Beban putus satu tendon ( $P_{bi}$ ) = 5183,62 kN

3.4.2. Struktur bawah

*Pier* direncanakan menggunakan beton bertulang. Untuk spesifikasi betonnya adalah sebagai berikut:



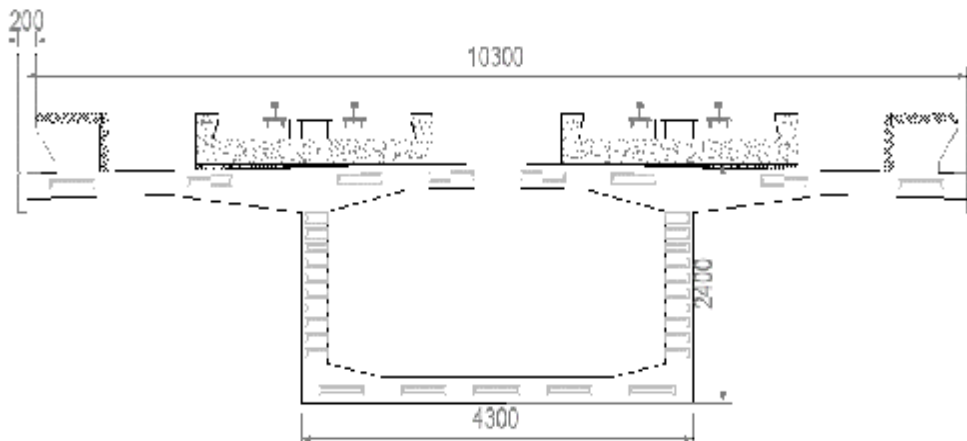
Gambar 3.4: *Design* penampang kolom/*pier*.

- a. Material yang digunakan:
- Berat jenis beton bertulang = 25 kN/m<sup>3</sup>
  - Kuat tekan = 41,5 Mpa
  - Modulus elastisitas, E = 4700 x  $\frac{1}{10000}$   
= 30277.632 MPa
  - Angka poisson, U = 0,2
  - Koefisien muai panjang, A = 1 x 10<sup>-5</sup>
  - Modulus geser, G = (E/(2\*(1+U)))  
= 12615,68 Mpa

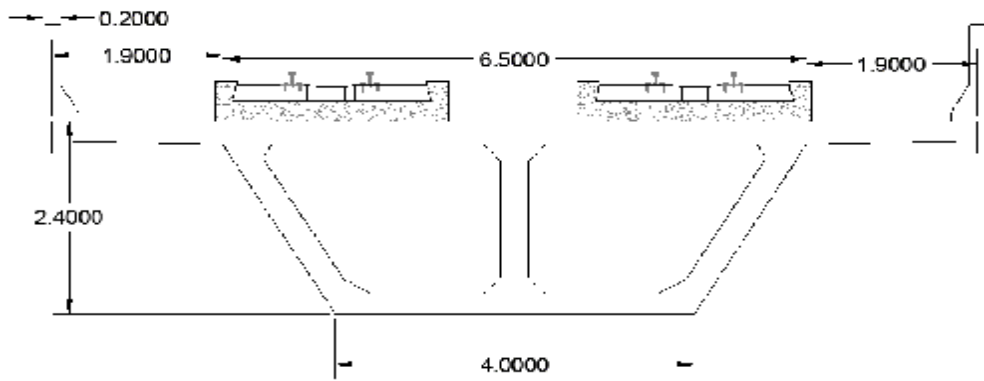
### 3.5. Pemodelan struktur

Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan sebagai struktur *fly over* yang menggunakan profil *box girder* dengan bentang total 1200 meter, terdiri dari 1 pilar dengan jarak 40 meter.

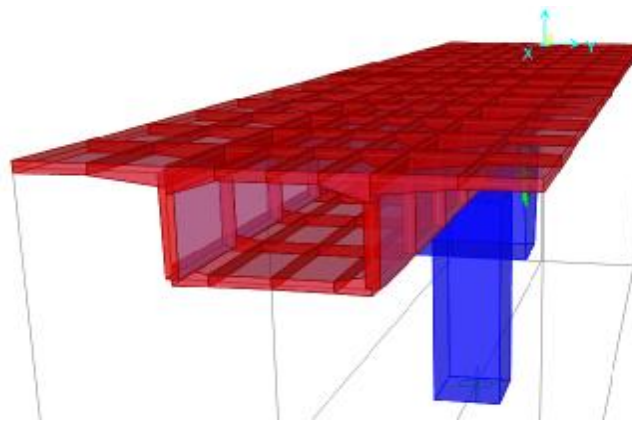
Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software CSI Bridge*. Analisis Model dilakukan dengan melihat perbandingan pengaruh deformasi pada profil *box girder* dengan bentuk penampang yang berbeda.



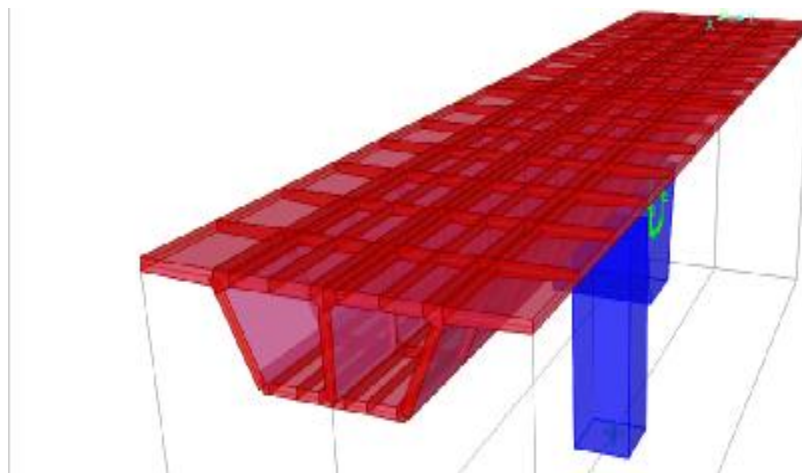
Gambar 3.5: Bentuk penampang rencana model 1.



Gambar 3.6: Bentuk penampang rencana model 2.



Gambar 3.7: Tampak 3D struktur jembatan Model 1 pada *CSI bridge*.



Gambar 3.8: Tampak 3D struktur jembatan Model 2 pada *CSI bridge*.

### 3.5.1. Tegangan ijin bahan

- a. Tegangan ijin Beton Prategang pada saat transfer

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dilakukan transfer ( $f_{ci}'$ ), dinyatakan dalam satuan MPa.

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 0.88 \times f_c \\ &= 0.8 \times 41,5 \text{ MPa} \\ &= 33,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI-T-2004 pasal 4.4.1.2.2. untuk komponen prategang saat transfer. Tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma \text{ tekan} &= 0.6 f_{ci}' \\ &= 0.6 \times 33,2 \text{ MPa} \\ &= 19,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI-T-2004 untuk struktur jembatan tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma \text{ tarik} &= 0.25 \sqrt{f_{ci}'} \\ &= 0.25 \times \sqrt{33,2} \text{ MPa} \\ &= 1.44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Tegangan ijin beton prategang pada saat layan

Berdasarkan SNI-T-2004 pasal 4.4.1.2.1 untuk komponen beton prategang pada saat layan, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma \text{ tekan} &= 0.45 f_c' \\ &= 0.45 \times 41,5 \text{ MPa} \\ &= 18,675 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI-T-2004 pasal 4.4.1.2.3 untuk komponen beton prategang pada saat layan, tegangan tarik dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut:

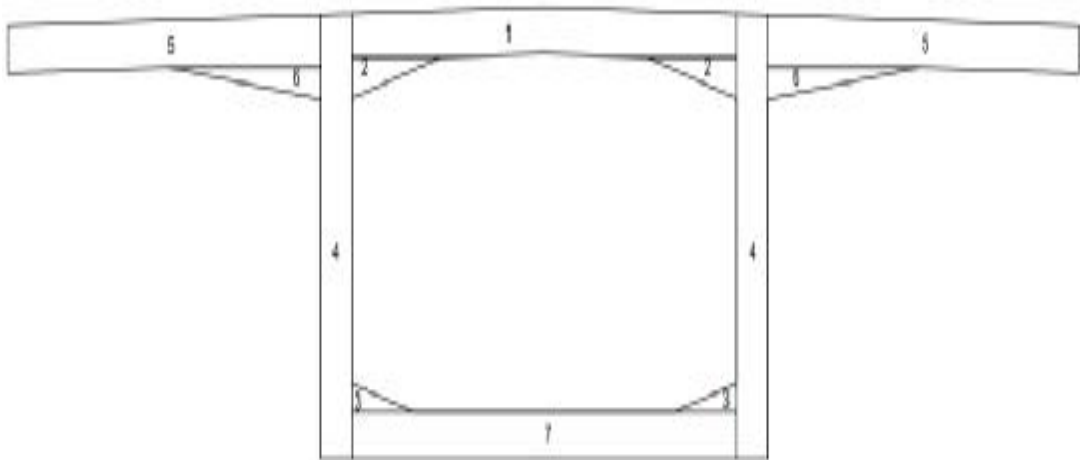
$$\begin{aligned} \sigma \text{ tarik} &= 0.5 \sqrt{f_c'} \\ &= 0.5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### 3.6. Perencanaan Model 1

#### 3.6.1. Preliminary Design

*Preliminary Design* atau desain awal atau estimasi dari perencanaan jembatan yang akan di buat. Pada tahap ini bukanlah spesifikasi yang akan dikerjakan di lapangan, namun hanya spesifikasi struktur yang akan dimodelkan.

- a. Perhitungan *section properties box girder prestress*:



Gambar 3.9: *Section Properties Box girder prestress*.

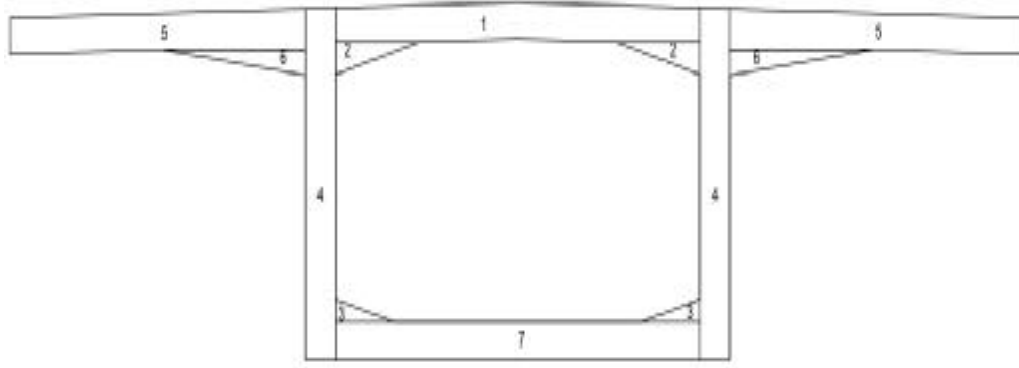
Tabel 3.1: Perhitungan *section properties*.

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Shape faktor	Jumlah tampang	Luas Tampang A (m <sup>2</sup> )	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A×y (m <sup>3</sup> )	Statis Momen A×y <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	Inersia Momen I <sub>0</sub> (m <sup>4</sup> )
1	3,7	0,25	1	1	0,925	2,275	2,104	4,787	0,0048
2	0,85	0,217	0,5	2	0,184	2,076	0,383	0,795	0,0005
3	0,6	0,15	0,5	2	0,09	0,278	0,025	0,007	0,0001
4	0,3	2,363	1	2	1,418	1,156	1,639	1,895	0,6597
5	3	0,25	1	2	1,5	2,172	3,258	7,076	0,0078
6	1,45	0,171	0,5	2	0,248	2,035	0,505	1,027	0,0004
7	3,7	0,25	1	1	0,925	0,125	0,116	0,014	0,0048
Jumlah					5,290	-	8,029	15,602	0,678

#### 3.6.2. Beban-Beban yang Bekerja

### 3.6.2.1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang dihasilkan oleh komponen struktur. Beban ini sifatnya tetap dan tidak berpindah. Beban mati adalah beban berat sendiri *box girder* (Gambar 3.6).



Gambar 3.10: Cara menganalisis berat *box girder*.

Berat sendiri didapatkan dari luas penampang melintang *box girder* dikalikan berat jenis beton.

Tabel 3.2: Berat 1 *box girder*.

No	Dimensi		Jumlah Tampang	Luas (A) m <sup>2</sup>	Berat Jenis (KN/m <sup>3</sup> )	Berat (KN/m)
	Lebar (m)	Tinggi (m)				
1	3,7	0,25	1	0,925	25,5	23,588
2	0,85	0,217	2	0,184	25,5	4,7035
3	0,6	0,15	2	0,09	25,5	2,295
4	0,3	2,363	2	1,418	25,5	36,154
5	3	0,25	2	1,5	25,5	38,25
6	1,45	0,171	2	0,248	25,5	6,3227
7	3,7	0,25	1	0,925	25,5	23,588
Total				5,29		134,9

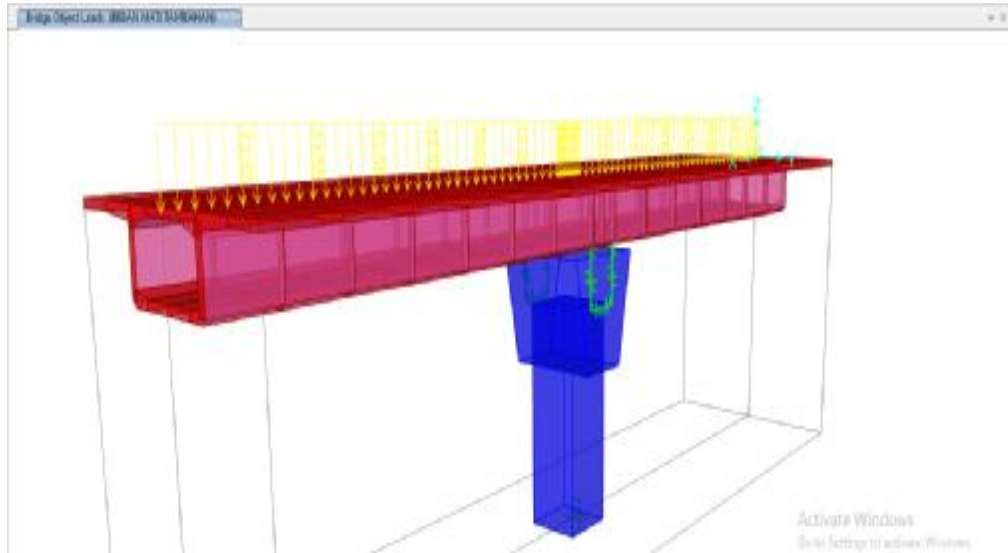
### 3.6.2.2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah beban yang sifatnya menetap namun berada di luar komponen struktur seperti utilitas kereta api.

Beban mati tambahan untuk jalur *fly over*:

- Berat bantalan untuk 2 jalur = 5,72 Kn/m

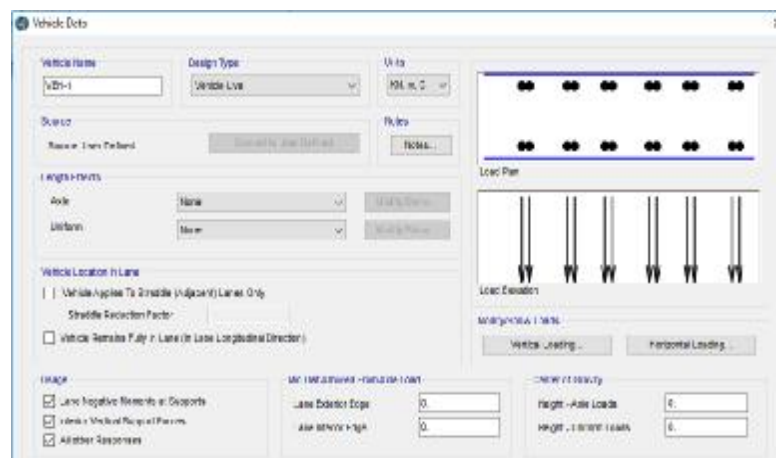
- Berat rel untuk 2 jalur = 0,534 Kn/m
- Berat balas untuk 2 jalur = 38,15 Kn/m
- Berat batas pengaman tepi = 29,146 Kn/m
- Total = 73,55 Kn/m



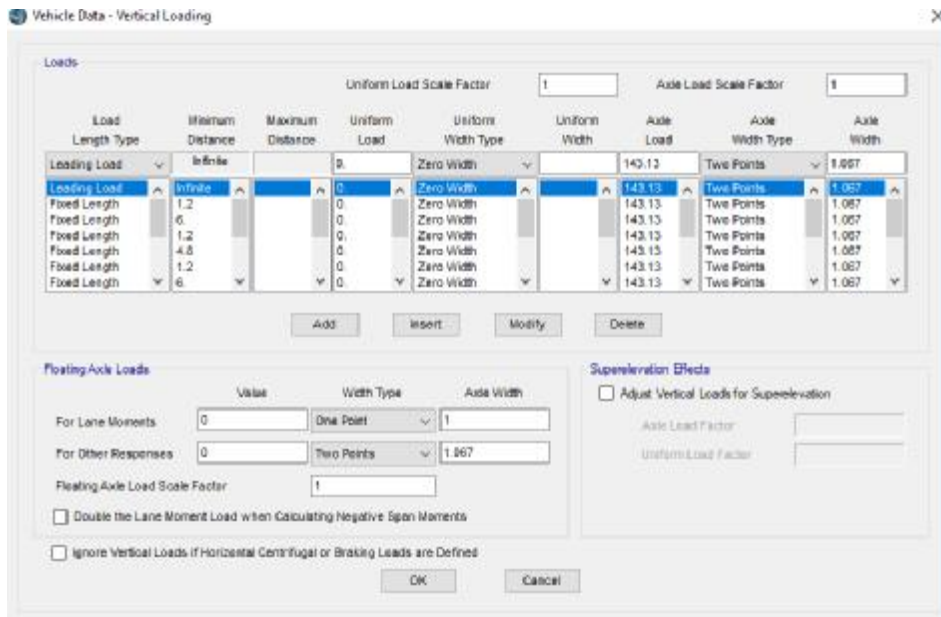
Gambar 3.11: Pemodelan beban mati tambahan pada *CSI bridge*.

### 3.6.2.3. Beban Hidup

Beban hidup didesain bekerja pada as kendaraan (*axle load*). Beban pada as kendaraan diatur seperti Gambar 3.12 dan Gambar 3.13 setiap as kendaraan mendistribusikan beban sebesar 12 ton dengan jarak antar rel adalah 1067 mm.



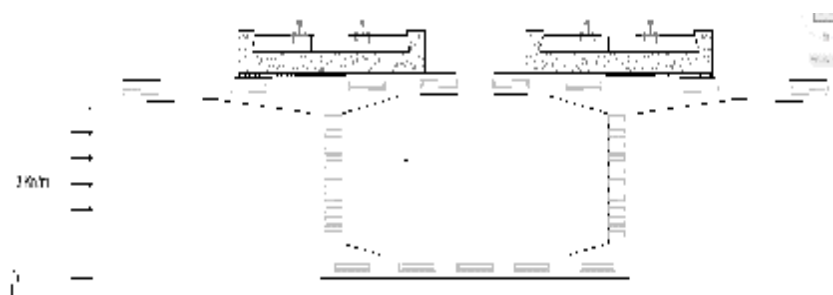
Gambar 3.12: Pemodelan beban hidup pada *CSI bridge*.



Gambar 3.13: Input beban kereta api pada *CSI bridge*.

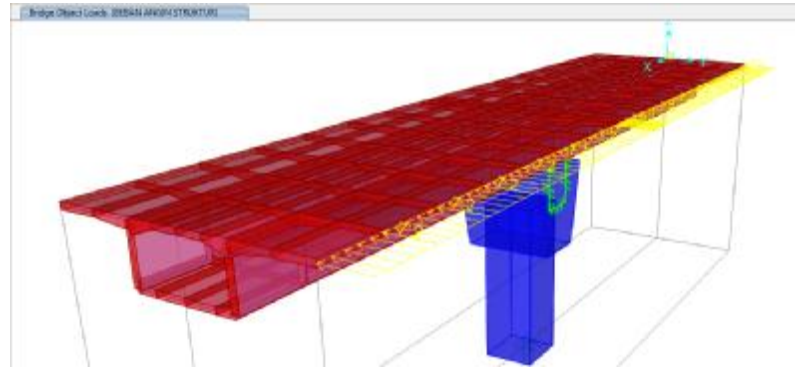
### 3.6.2.4. Beban Angin pada Struktur

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban angin yang bekerja tegak lurus rel, secara horizontal dengan nilai sebesar  $3,0 \text{ Kn/m}^2$  pada area proyeksi vertikal jembatan tanpa ada kereta di atasnya (Gambar 3.14 dan Gambar 3.15).



Gambar 3.14: Skema pembebanan angin pada struktur.





Gambar 3.15: Pemodelan beban angin struktur pada *CSI bridge*.

### 3.6.2.5. Beban Angin pada Kendaraan

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban angin yang bekerja tegak lurus rel, secara horizontal dengan nilai sebesar  $3,0 \text{ Kn/m}^2$  pada areal kereta dan jembatan dengan kereta di atasnya.

### 3.6.2.6. Beban Gempa

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini yaitu metode analisis respon spektrum. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan SNI-2833-2013 dengan probabilitas 10% dalam 50 tahun atau periode ulang 500 tahun. Berdasarkan peraturan SNI-2833-2013 Perancangan Gempa Terhadap Beban Jembatan, perencanaan beban rencana akibat gempa minimum ditentukan beberapa hal:

a. Penentuan beban gempa

1. Nilai PGA

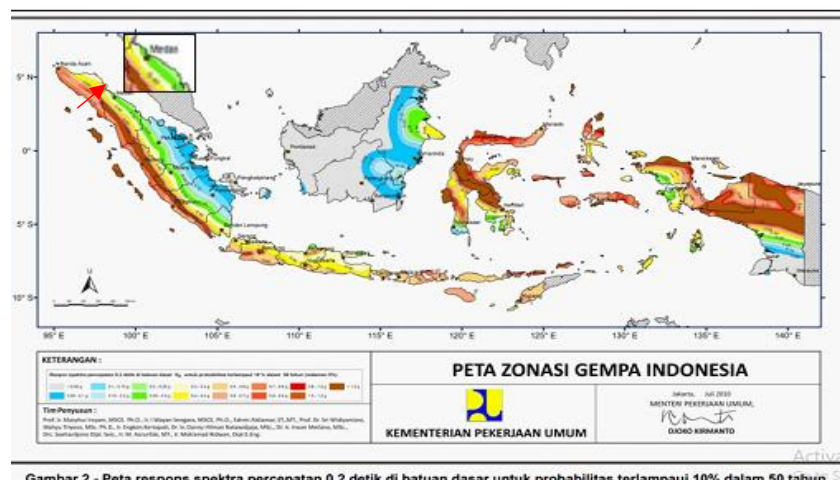
Berdasarkan Gambar 3.16 peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun maka nilai PGA adalah  $0,13g$ .



Gambar 3.16: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun.

2. Nilai SS (respon spektra 0,2 detik)

Berdasarkan Gambar 3.17 peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun maka nilai Ss adalah 0.27g.



Gambar 3.17: Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun.

3. Nilai S1 (respon spektra 1 detik)

Berdasarkan Gambar 3.18 peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun maka nilai S1 adalah 0.17g.



Gambar 3 - Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Gambar 3.18: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun.

4. Menentukan koefisien situs  $F_{pga}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$ .

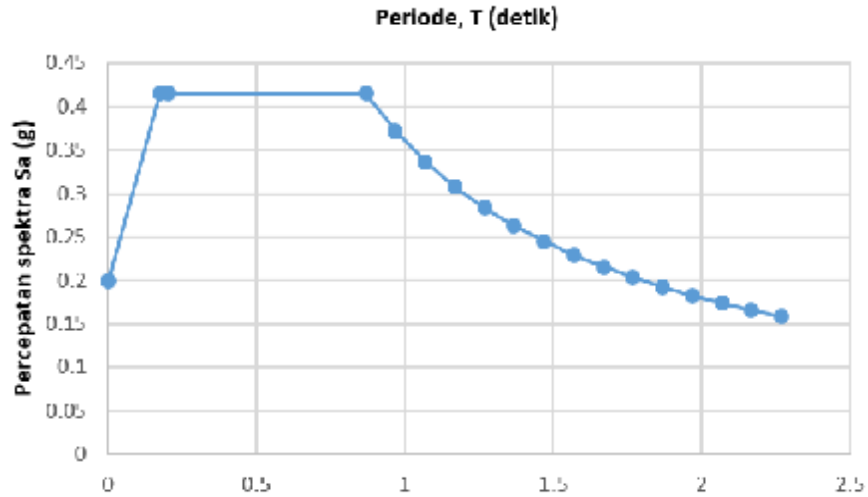
Berdasarkan nilai  $PGA$ ,  $S_1$ , dan  $S_s$  yang telah diperoleh dibaca pada Tabel 2.11 faktor amplifikasi periode 0 detik dan 0,2 detik ( $F_{pga}/F_a$ ) dan tabel 2.12 nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) untuk situs tanah sedang (SD) diperoleh hasil sebagai berikut:

- Nilai  $F_{pga}$  = 1,54
- Nilai  $F_a$  = 1,54
- Nilai  $F_v$  = 2,12

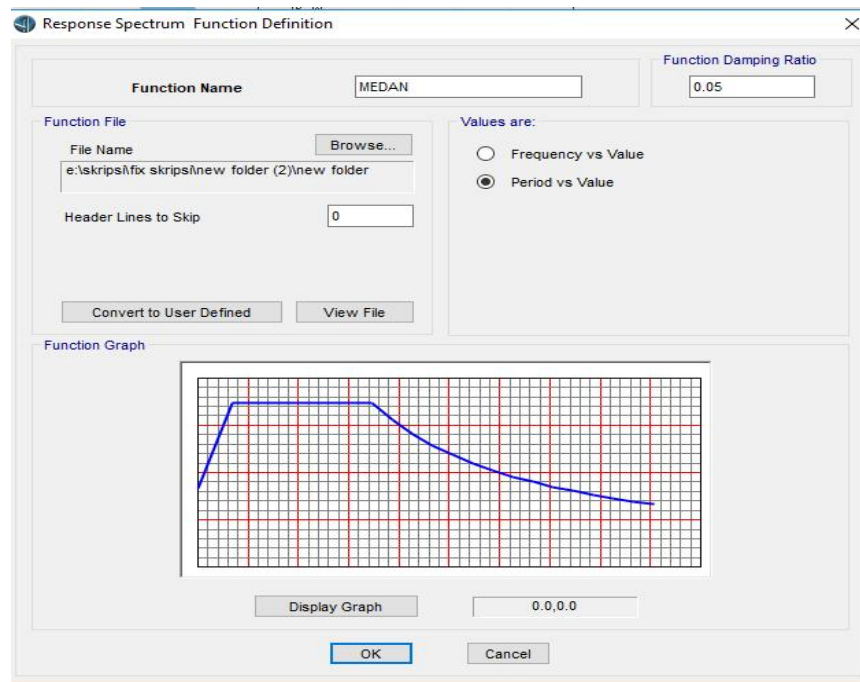
5. Menentukan parameter spektral  $A_s$ ,  $SD_s$ , dan  $SD_1$

- $A_s$  =  $F_{pga} \times PGA$   
 $= 1,54 \times 0,13$   
 $= 0,2002$
- $SD_s$  =  $F_a \times S_s$   
 $= 1,54 \times 0,27$   
 $= 0,4158$
- $SD_1$  =  $F_v \times S_1$   
 $= 2,12 \times 0,17$   
 $= 0,3604$

Dari hasil parameter spektra dapat digambarkan dalam sebuah grafik respon spektrum seperti dalam Gambar 3.19 dan 3.20:



Gambar 3.19: Grafik respon spektrum.



Gambar 3.20: Pemodelan respon spektrum pada *CSI Bridge*.

### 3.6.2.7. Beban Kejut

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor  $i$  terhadap beban kereta. Beban kejut akan

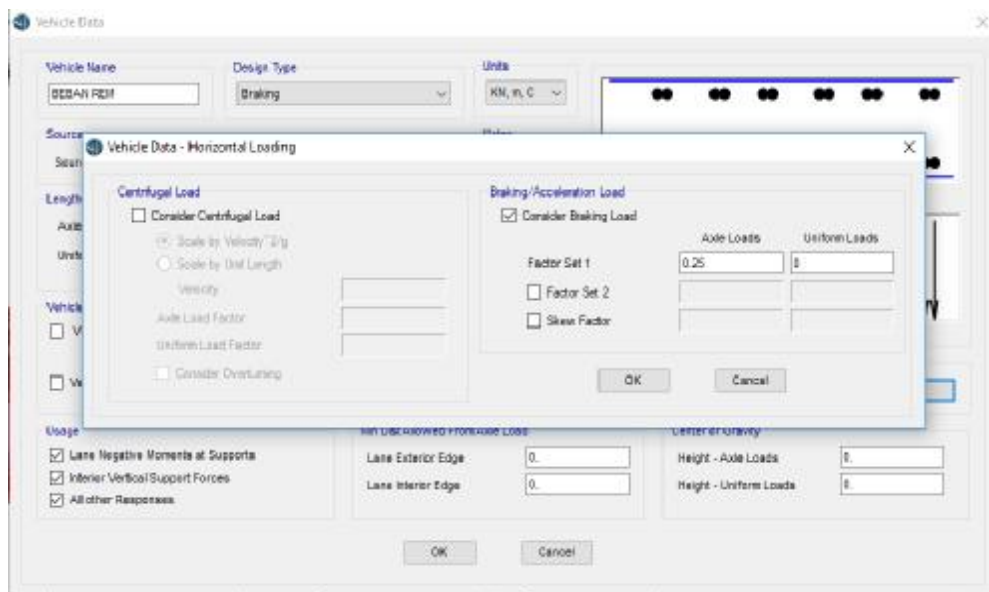
ditambahkan pada *axle load* yang bekerja di atas rel dimana distribusi beban kejut ini adalah sama dengan *axle load*. Perhitungan koefisien beban kejut:

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kejut} &= 0,1 + \frac{22,5}{50+40} \\ &= 0,35 \\ \text{Beban kejut} &= 0,35 \times \left(\frac{144}{39,6}\right) \times 2 \\ &= 2,545 \text{ ton/m} \\ &= 25,45 \text{ Kn/m} \end{aligned}$$

### 3.6.2.8. Beban Pengereman

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban pengereman masing-masing adalah 25% dari beban kereta (Gambar 3.21).

$$\begin{aligned} T_b &= 25\% \times 144 \text{ ton} \\ &= 36 \text{ ton} \\ &= 360 \text{ Kn} \end{aligned}$$

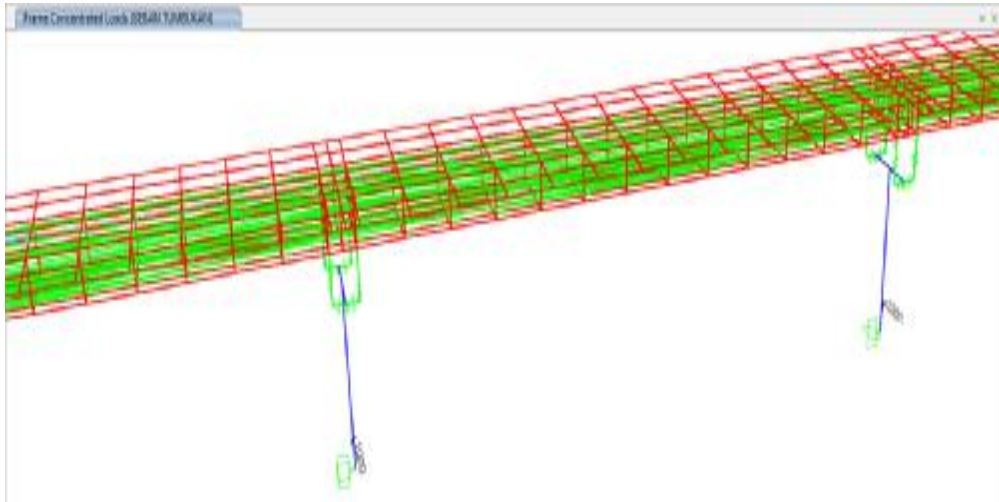


Gambar 3.21: Input beban pengereman pada *CSI bridge*.

### 3.6.2.9. Beban Tumbukan Kendaraan

Menurut buku perencanaan teknik jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan jalan layang ditentukan

sebesar 1000 kN pada arah tegak lurus jembatan (Gambar 3.22). Keduanya bekerja pada tinggi 1,8 m dari permukaan jalan dibawah jembatan.



Gambar 3.22:Pemodelan beban tumbukan pada *CSI Bridge*.

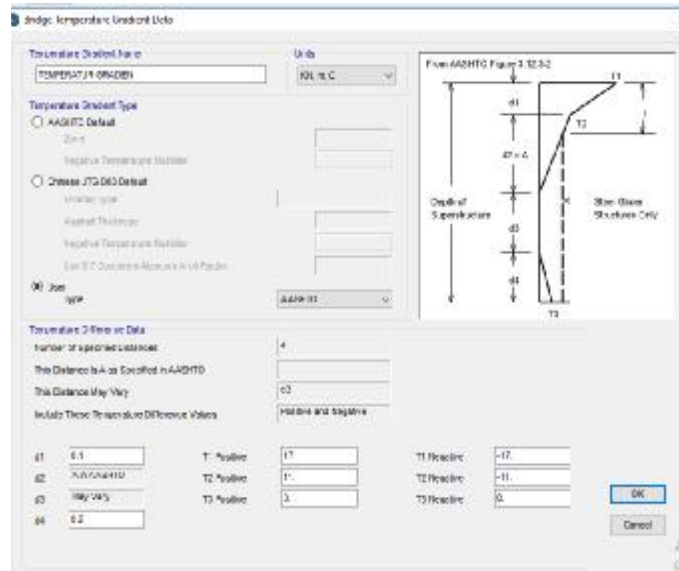
#### 3.6.2.10. Gesekan pada perletakan/Friksi

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap.

$$\begin{aligned} \text{Ditentukan koefisien elastomer} &= 0,15 \\ \text{Beban friksi (Bf)} &= 0,15 \times 179,304 \text{ Kn/m} \\ &= 26,896 \text{ Kn/m} \end{aligned}$$

#### 3.6.2.11. Temperatur

Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang dan 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 dimodelkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23: Pemodelan temperatur pada *CSI Bridge*.

### 3.6.2.12. Pengaruh susut dan rangkak

#### a. Pengaruh susut

Berdasarkan SNI-T-12-2004 diasumsikan pada kondisi standar nilai koefisien susut bisa dilihat pada Tabel 2.20 dan diambil nilainya sebesar 0.000164

#### b. Pengaruh rangkak

Berdasarkan SNI-T-12-2004 rangkak merupakan regangan jangka panjang yang tergantung waktu pada suatu kondisi tegangan tetap, dan yang akan mengakibatkan suatu tambahan regangan terhadap regangan elastis beton, bisa dihitung dalam perbandingannya terhadap regangan elastis, melalui suatu koefisien rangkak  $\phi_{cc}(t)$ .

$$\epsilon_{cc,t} = \phi_{cc}(t) \cdot \epsilon_e$$

$$\epsilon_e = 0,003$$

$$c_u = 2,338$$

$$\phi_{cc}(t) = (28^{0,6} / (10 + 28^{0,6})) \times 2,338$$

$$= 0,993$$

$$\epsilon_{cc,t} = 0,993 \times 0,003$$

$$= 0,00298$$

$$\text{Susut} + \text{rangkak} = 0,000164 + 0,00298$$

$$= 0,00314$$

### 3.6.2.13. Pengaruh Prategang

Dalam tugas akhir ini prategang direncanakan menggunakan tendon/kabel jenis *strand seven wire stress relieved* (7 kawat untaian).

Letak titik berat terhadap sisi bawah profil box girder,  $Y_b = 1,52$  m

Direncanakan jarak titik berat tendon terhadap sisi bawah *box girder* adalah,

- $Z_o = 0,45$  m
- $F_{ci} = 0.8 f_c = 0,8 \times 41,5 = 33200$  kPa
- Eksentrisitas Tendon,  $e_s = Y_b - Z_o = 1,52 - 0,45 = 1,068$  m
- Tahanan momen sisi atas:  $W_a = 4,64$  m<sup>3</sup>
- Tahanan momen sisi bawah:  $W_b = 2,697$  m<sup>3</sup>
- $M_{MS}$  = momen maksimum pada seluruh bentang akibat beban sendiri hasil analisis *Csi bridge* = 6254,7988 KNm

Tegangan pada serat atas:

$$0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = -P_t / A + P_t \times e_s / W_a - M_{bs} / W_a \quad (3.1)$$

Tegangan pada serat bawah:

$$-0,55 \times f_{ci} = -P_t / A + P_t \times e_s / W_b - M_{bs} / W_b \quad (3.2)$$

Besarnya gaya prategang awal ditentukan sebagai berikut:

Dari Pers. 3.1:

$$\begin{aligned} P_t &= (0,25 \times \sqrt{f_{ci}} + M_{MS} / W_a) / (e_s / W_a - 1 / A) \\ &= (0,25 \times \sqrt{33200} + 6254,7988 / 4,64) / (1,068 / 4,64 - 1 / 5,29) \\ &= 33877,509 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Pers. 3.2:

$$\begin{aligned} P_t &= (0,6 \times f_{ci} + M_{MS} / W_b) / (e_s / W_b - 1 / A) \\ &= (0,6 \times 33200 + 6254,7988 / 2,697) / (1,068 / 2,697 + 1 / 5,29) \\ &= 38014,317 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Pers. 3.1 dan 3.2 diambil gaya prategang awal,  $P_t = 33877,509$  kN

Direncanakan menggunakan kabel jenis *strand seven wires stress relieved*.

Dengan mengacu pada tabel ASTM A-416 berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja pratekan yang digunakan:

- Jenis strand : *Uncoated 7 wire superstrand* ASTM A-416 grade 270
- Diameter nominal *strands* = 0,6" = 15,24 mm



- Luas Nominal penampang strand ( $A_s$ ) =  $140 \text{ mm}^2$
- Beban putus minimal satu strand ( $P_{bs}$ ):  $260,7 \text{ KN} \approx 26070 \text{ Kgf}$  (100 % UTS atau 100% beban putus)

Jumlah *strand* minimal yang diperlukan:  $n_s = P_t / 0,8 \times P_{bs}$

$$= 33877,509 / 0,8 \times 260,7$$

$$= 162 \text{ strand}$$

1. Direncanakan jumlah kawat untai (*strand cable*) = 22 kawat untai tiap tendon.

Maka, jumlah tendon =  $4 + 4 + 4 + 4 = 16$  tendon.

Jumlah *strands*,  $n_s = (22 \times 4) + (22 \times 4) + (22 \times 4) + (22 \times 4) = 352$  *strands*.

Beban satu *strands* =  $P_{bs1} = P_t / n_s = 33877,509 / 352 = 96,243 \text{ kN}$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *Jacking force*):

$$P_o = P_t / (n_s \times P_{bs}) = 33877,509 / (352 \times 260,7) = 36,917 \% < 85 \% \text{ (OK)}$$

sesuai pasal 4.4.3.2.2 RSNI-T-12-2004.

Gaya *prestress* yang terjadi akibat *jacking*:

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs1} = 36,917 \times 352 \times 96,243 = 12506,6 \text{ kN}$$

2. Direncanakan jumlah kawat untai (*strand cable*) = 12 kawat untai tiap tendon.

Maka, jumlah tendon =  $8 + 8 = 16$  tendon.

Jumlah *strands*,  $n_s = (12 \times 8) + (12 \times 8) = 192$  *strands*.

Beban satu *strands* =  $P_{bs1} = P_t / n_s = 33877,509 / 192 = 176,445 \text{ kN}$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *Jacking force*):

$$P_o = P_t / (n_s \times P_{bs}) = 33877,509 / (192 \times 176,445) = 67,68 \% < 85 \% \text{ (OK)}$$

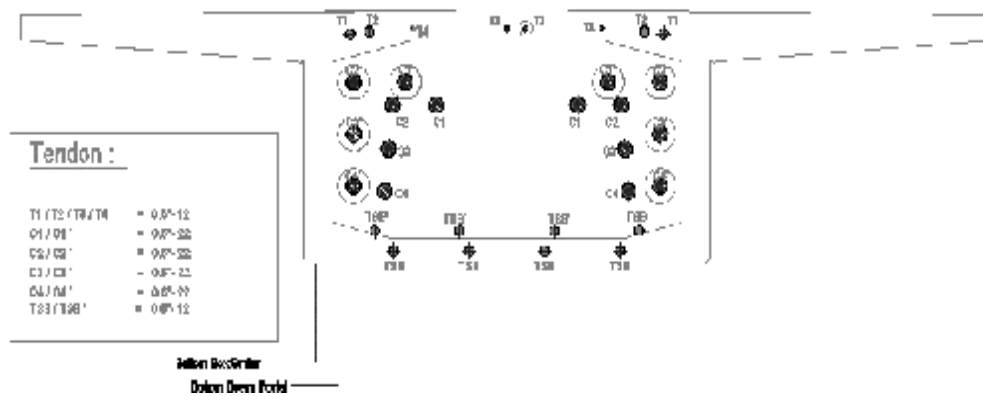
sesuai pasal 4.4.3.2.2 RSNI-T-12-2004.

Gaya *prestress* yang terjadi akibat *jacking*:

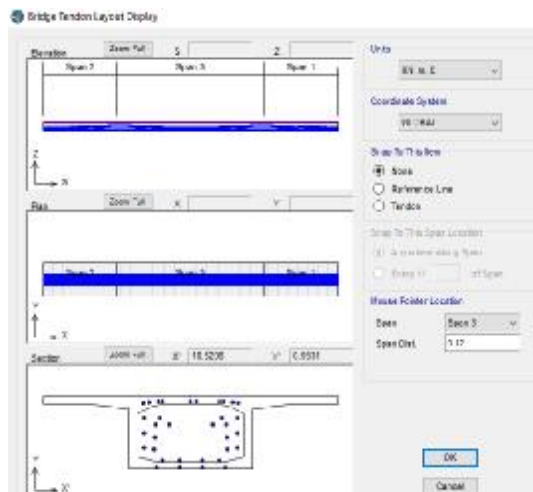
$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs1} = 67,68 \times 192 \times 176,445 = 22928,765 \text{ kN}$$

Untuk tegangan satu *strand* diambil nilai  $p_{bs}$  yang paling besar dibagikan

$$\text{luas nominal} = \frac{176,445}{140} = 1260,324 \text{ Mpa}$$



Gambar 3.24: Posisi letak tendon.



Gambar 3.25: Pemodelan tendon pada CSI bridge.

### 3.6.3. Perencanaan Spring

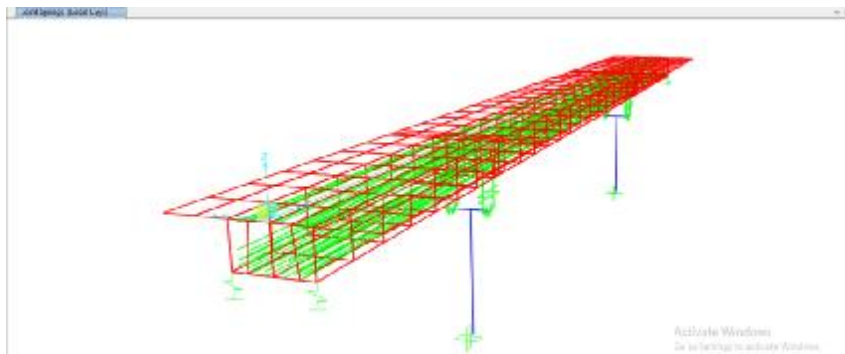
Tebal pelat injak direncanakan adalah 25 cm, panjang pelat injak disesuaikan dengan dengan lebar *pier* yang direncanakan 4,4 m, sedangkan lebar pelat injak tersebut diambil 2 m.

Menurut bowles, untuk menentukan besarnya modulus reaksi tanah dasar didasarkan pada daya dukung tanah dengan penurunan tanah ( $\delta$ ) 1 inci = 0,0254 m.

$$K_s = \frac{q_{ult}}{\delta}$$

$$= \frac{40 \times q_{ult}}{0,0254}$$

$$\begin{aligned}
N_c &= 12,9 \\
N_q &= 4,4 \\
N_{\phi} &= 2,5 \\
c &= 1,8 \text{ ton/m}^2 \\
\phi &= 1,6272 \text{ ton/m}^3 \\
D &= 0,85 \\
B &= 2 \\
Q_{ult} &= cN_c + Df\phi N_q + 0,5 \phi B N_{\phi} \\
&= (1,8 \times 12,9) + (0,85 \times 1,6272 \times 4,4) + (0,5 \times 1,6272 \times 2 \times 2,5) \\
&= 28,668 \text{ t/m} \\
K_s &= 40 \times 28,668 \\
&= 1146,72 \text{ t/m}^3 \\
\text{Untuk 2 spring jarak 4,3 m:} \\
K_s &= 4,3 \times 1146,72 \\
&= 4930,896 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$



Gambar 3.26: Pemodelan spring pada *CSI Bridge*.

#### 3.6.4. Perencanaan *Bearing*

*Bearing* adalah landasan yang merupakan sistem keseluruhan dari suatu bagian jembatan yang digunakan untuk mentransfer tegangan dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah yang dapat memberikan pergerakan pada bagian atas struktur jembatan. *Bearing* juga berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan translational dan rotasional. *Bearing* direncanakan menggunakan *rubber isolator* dengan dimensi 500 x 400 mm.

### 3.7. Perencanaan Model 2

Spesifikasi bahan untuk beton maupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* dipengaruhi oleh dimensi elemen struktur, dan bahan yang diterima oleh struktur tersebut. Oleh karena itu spesifikasi bahan beton ataupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan dan yang dapat mempermudah proses perencanaan.

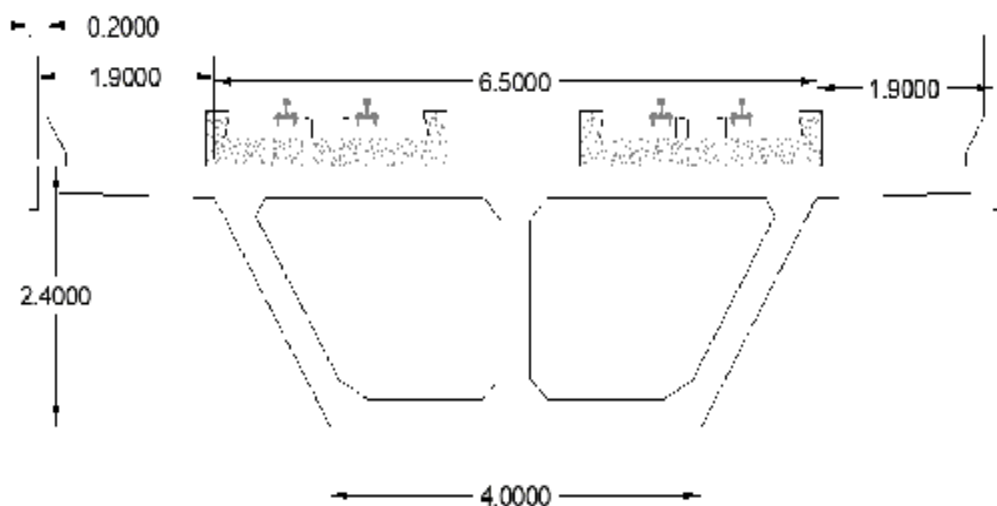
#### 3.7.1. Struktur Atas

##### a. *Box girder*

*Box girder* direncanakan menggunakan beton *presstred*. Untuk spesifikasi betonnya adalah sebagai berikut:

##### 1. Dimensi *box girders pre-stress*

- Panjang *box girders pre-stress*(L) = 40 m
- Jumlah *box girder* (n) = 1 buah
- Tinggi *box girder* = 2,4 m
- Lebar trotoar (bt) = 1,0 m
- Lebar *box girder* = 10,3 m



Gambar 3.27: Dimensi *box girder precast* model 2.

##### 2. Material *box girders pre-stress*

- Berat jenis beton *Pre-stress* = 25,5 kN/m<sup>3</sup>
- Kuat tekan = 41,5 Mpa
- Modulus elastisitas, E = 4700 x  $\sqrt{f_c}$   
= 30277632 kN/m
- Angka poisson, U = 0,2
- Koefisien muai panjang, A = 1 x 10<sup>-5</sup>
- Modulus geser, G = (E/(2\*(1+U)))  
= 12615680 Kn/m

b. Kabel prategang

Untuk spesifikasi kabel praetegangnya adalah sebagai berikut:

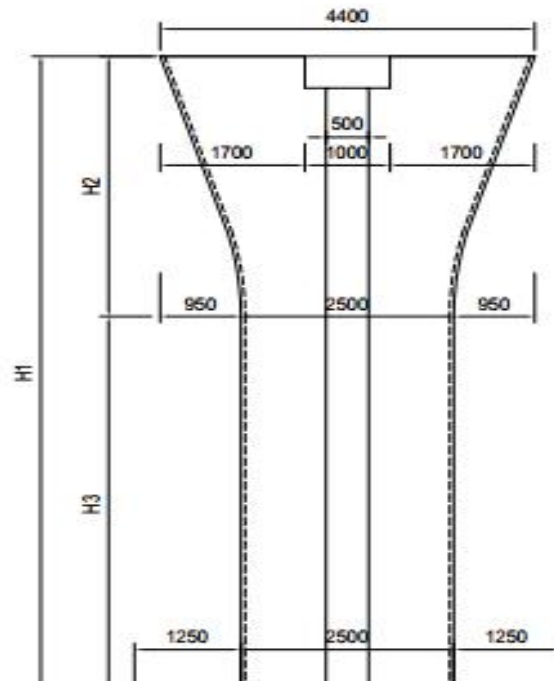
- Jenis *strands* = *uncoated 7 wire super strands* ASTM A-416 grade 270
- Tegangan leleh *strand* (fpy) = 1580000 kPa
- Kuat tarik *strand* (fpu) = 1860000 kPa
- Diameter = 15,24 mm
- Luas nominal (Aps) = 140 mm<sup>2</sup>
- Minimum *breaking load* = 260,7 kN
- Modulus elastisitas (Es) = 200.000 MPa.
- Beban putus minimal satu strands(Pbs) = 235,619 kN
- Diameter selubung ideal = 84 mm
- Beban putus satu tendon (Pbi) = 5183,62 kN

### 3.7.2. Struktur Bawah

*Pier* direncanakan menggunakan beton bertulang. Untuk spesifikasi betonnya adalah sebagai berikut:

b. Dimensi kolom/*piernya* adalah sebagai berikut:

- H1 = 10 m
- H2 = 4,1 m
- H3 = 5,9 m
- Lebar *pierhead* = 4,4 m
- Lebar badan *pier* = 2,5 m



Gambar 3.28: *Design* penampang kolom/*pier*.

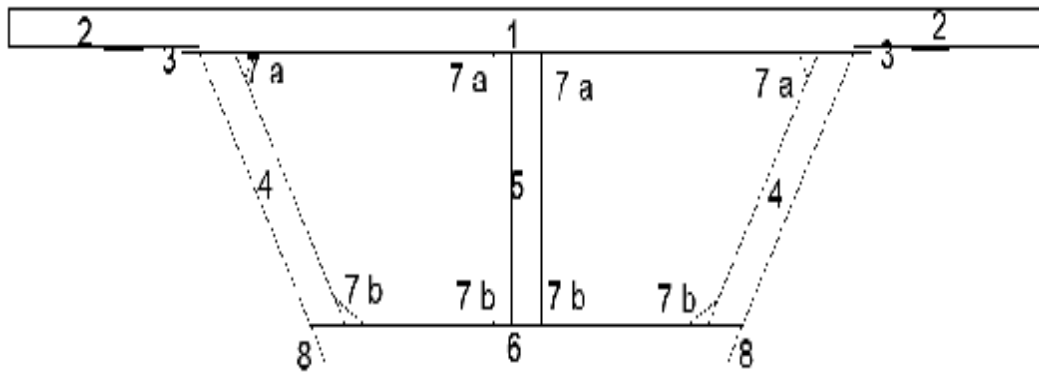
c. Material yang digunakan:

- Berat jenis beton bertulang = 25 kN/m<sup>3</sup>
- Kuat tekan = 41,5 Mpa
- Modulus elastisitas, E =  $4700 \times \sqrt{f_c}$   
= 30277632 Kn/m
- Angka poisson, U = 0,2
- Koefisien muai panjang, A =  $1 \times 10^{-5}$
- Modulus geser, G =  $(E/(2*(1+U)))$   
= 12615680 Kn/m

### 3.8. *Preliminary Design*

*Preliminary Design* atau desain awal atau estimasi dari perencanaan jembatan yang akan dibuat. Pada tahap ini bukanlah spesifikasi yang akan dikerjakan di lapangan, namun hanya spesifikasi struktur yang akan dimodelkan.

b. Perhitungan *section properties box girder prestress*:



Gambar 3.29: *Section Properties Box girder prestress.*

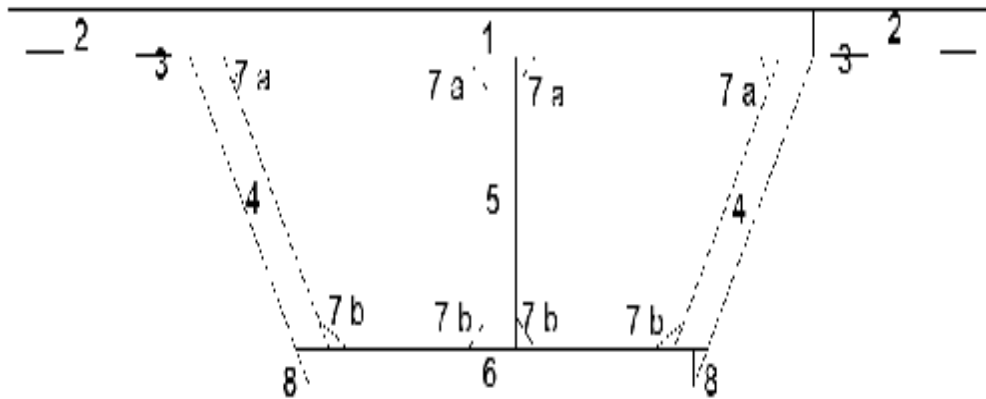
Tabel 3.3: Perhitungan *section properties.*

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Shape faktor	Jumlah tampang	Luas Tampang A (m <sup>2</sup> )	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A×y (m <sup>3</sup> )	Statis Momen A×y <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	Inersia Momen I <sub>0</sub> (m <sup>4</sup> )
1	6,5	0,3	1	1	1,95	2,250	4,388	9,872	0,0146
2	1,9	0,25	1	2	0,95	2,076	1,972	4,094	0,0049
3	1,9	0,05	0,5	2	0,095	2,117	0,201	0,426	0,000013
4	0,3	2,153	1	2	1,292	1,150	1,486	1,708	0,4989
5	1,85	0,3	1	1	0,555	1,150	0,638	0,734	0,0042
6	4	0,25	1	1	1	0,124	0,124	0,015	0,0052
7 a	0,2	0,2	0,5	4	0,08	1,983	0,159	0,315	0,0002
7 b	0,2	0,2	0,5	4	0,08	0,317	0,025	0,008	0,0002
8	0,149	0,25	0,5	2	0,037	0,167	0,006	0,001	0,0001
Jumlah					6,04	-	8,999	17,173	0,528

### 3.8.1. Beban-beban yang Bekerja

#### 3.8.1.1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang dihasilkan oleh komponen struktur. Beban ini sifatnya tetap dan tidak berpindah. Beban mati adalah beban berat sendiri *box girder* (Gambar 3.30).



Gambar 3.30: Cara menganalisis berat *box girder*.

Berat sendiri didapatkan dari luas penampang melintang *box girder* dikalikan berat jenis beton.

Tabel 3.4: Berat 1 *box girder*.

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Shape faktor	Jumlah tampang	Luas Tampang A (m <sup>2</sup> )	Berat Jenis (KN/m <sup>3</sup> )	Berat (KN/m)
1	6,5	0,3	1	1	1,95	25,5	4,388
2	1,9	0,25	1	2	0,95	25,5	2,161
3	1,9	0,05	0,5	2	0,095	25,5	0,202
4	2,153	0,3	1	2	1,292	25,5	1,518
5	1,85	0,3	1	1	0,555	25,5	0,652
6	4	0,25	1	1	1	25,5	0,125
7 a	0,2	0,2	0,5	4	0,08	25,5	0,159
7 b	0,2	0,2	0,5	4	0,08	25,5	0,025
8	0,149	0,25	0,5	2	0,037	25,5	0,006
Jumlah					6,04	25,5	

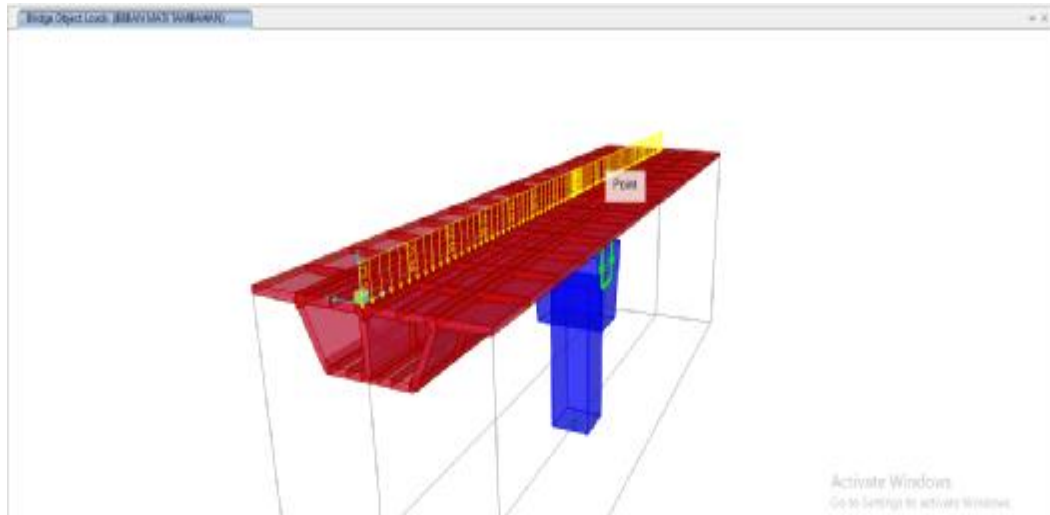
### 3.8.1.2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah beban yang sifatnya menetap namun berada di luar komponen struktur seperti utilitas kereta api.

Beban mati tambahan untuk jalur *fly over*:



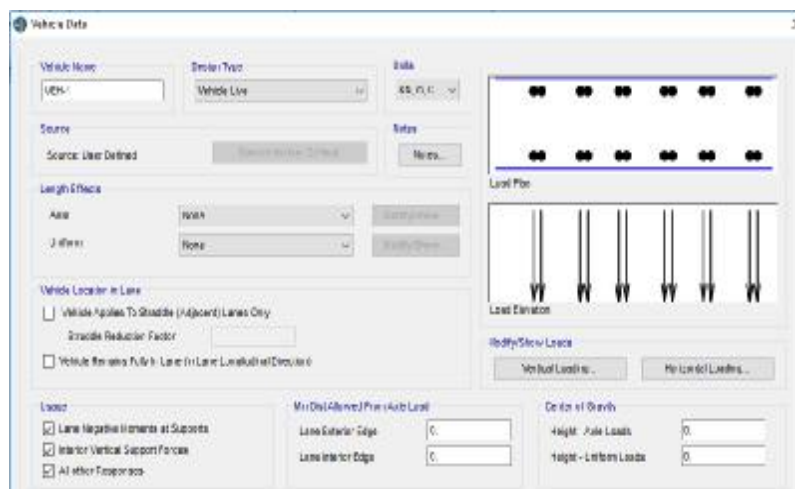
- Berat bantalan untuk 2 jalur = 5,72 Kn/m
- Berat rel untuk 2 jalur = 0,534 Kn/m
- Berat balas untuk 2 jalur = 38.15 Kn/m
- Total = 44,404 Kn/m



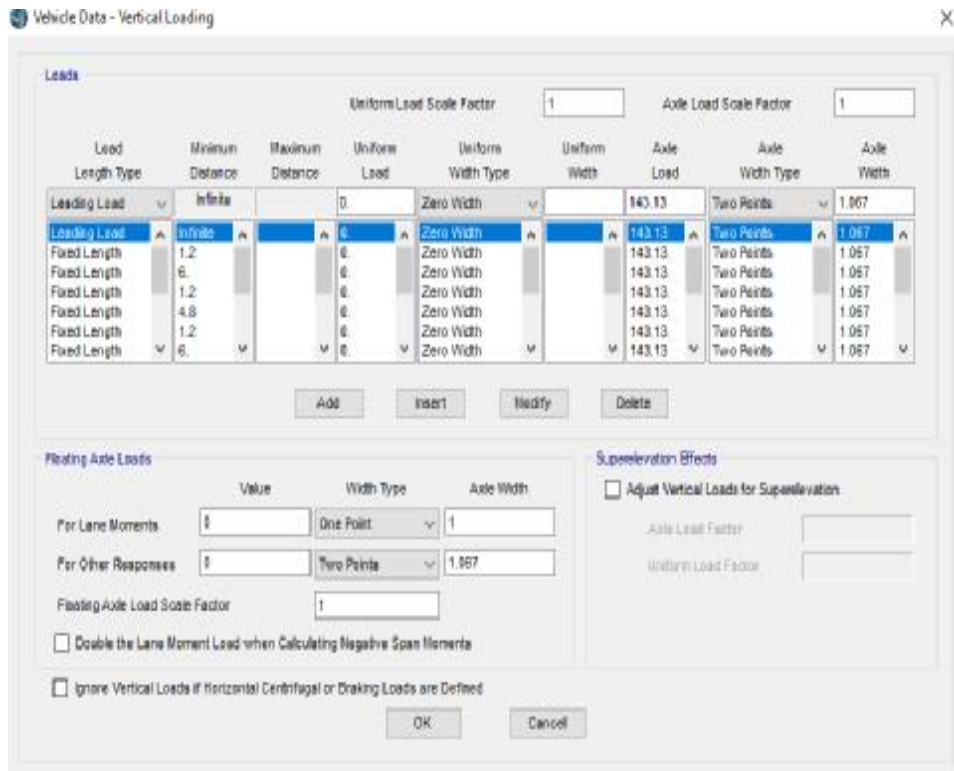
Gambar 3.31: Pemodelan beban mati tambahan pada *CSI bridge*.

### 3.8.1.3. Beban Hidup

Beban hidup didesain bekerja pada as kendaraan (*axle load*). Beban pada as kendaraan diatur seperti Gambar 3.32 dan Gambar 3.33 setiap as kendaraan mendistribusikan beban sebesar 12 ton dengan jarak antar rel adalah 1067 mm.



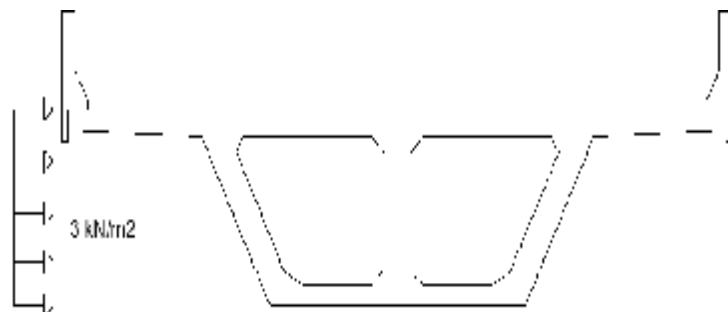
Gambar 3.32: Pemodelan beban hidup pada *CSI bridge*.



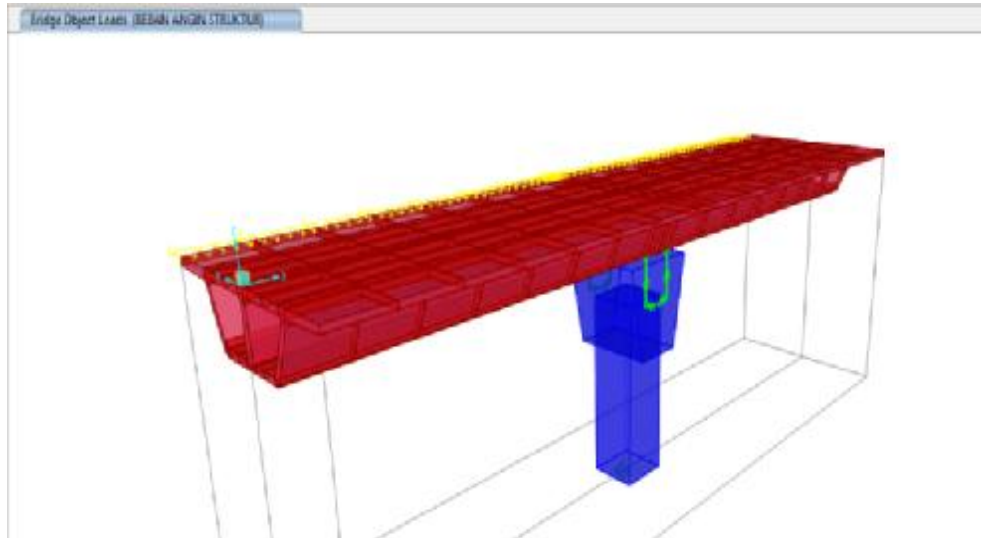
Gambar 3.33: Input beban kereta api pada *CSI bridge*.

### 3.8.1.4. Beban Angin pada Struktur

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban angin yang bekerja tegak lurus rel, secara horizontal dengan nilai sebesar  $3,0 \text{ Kn/m}^2$  pada area proyeksi vertikal jembatan tanpa ada kereta di atasnya (Gambar 3.34 dan Gambar 3.35).



Gambar 3.34: Skema pembebanan angin pada struktur.



Gambar 3.35: Pemodelan beban angin struktur pada *CSI bridge*.

### 3.8.1.5. Beban Angin pada Kendaraan

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban angin yang bekerja tegak lurus rel, secara horizontal dengan nilai sebesar  $3,0 \text{ Kn/m}^2$  pada areal kereta dan jembatan dengan kereta di atasnya.

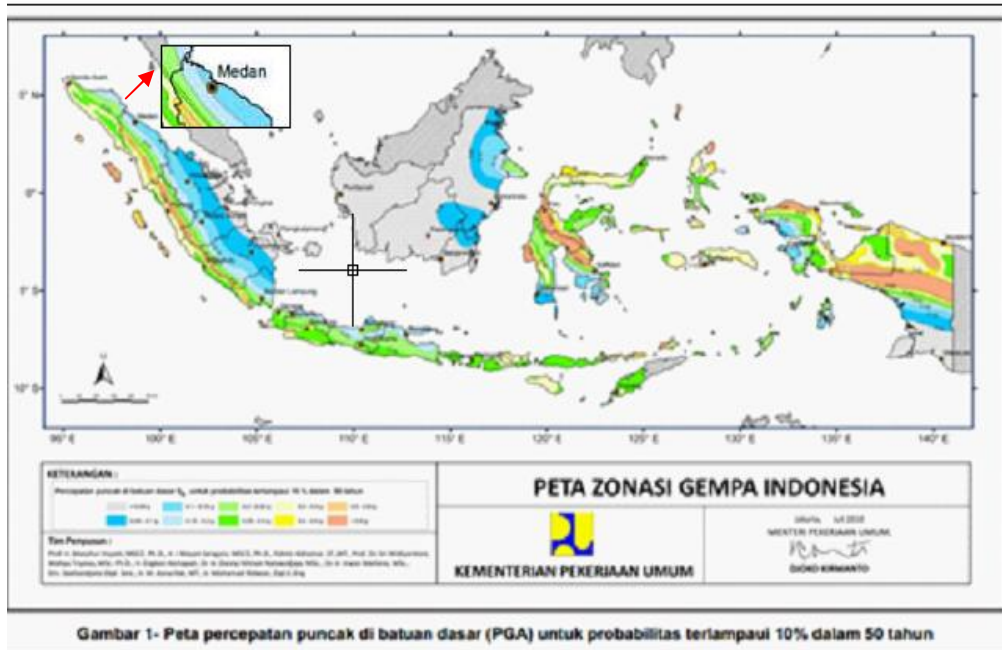
### 3.8.1.6. Beban Gempa

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini yaitu metode analisis respon spektrum. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan SNI-2833-2013 dengan probabilitas 10% dalam 50 tahun atau periode ulang 500 tahun. Berdasarkan peraturan SNI-2833-2013 Perancangan Gempa Terhadap Beban Jembatan, perencanaan beban rencana akibat gempa minimum ditentukan beberapa hal:

#### b. Penentuan beban gempa

##### 1. Nilai PGA

Berdasarkan Gambar 3.36 peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun maka nilai PGA adalah  $0,13g$ .



Gambar 1- Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Gambar 3.36: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun.

2. Nilai SS (respon spektra 0,2 detik)

Berdasarkan Gambar 3.37 peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun maka nilai Ss adalah 0.27g.



Gambar 2 - Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Gambar 3.37:Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun.

3. Nilai S1 (respon spektra 1 detik)

Berdasarkan Gambar 3.38 peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun maka nilai S1 adalah 0.17g.



Gambar 3.38: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun.

4. Menentukan koefisien situs  $F_{pga}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$ .

Berdasarkan nilai PGA, S1, dan Ss yang telah diperoleh dibaca pada Tabel 2.11 faktor amplifikasi periode 0 detik dan 0,2 detik ( $F_{pga}/F_a$ ) dan tabel 2.12 nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) untuk situs tanah sedang (SD) diperoleh hasil sebagai berikut:

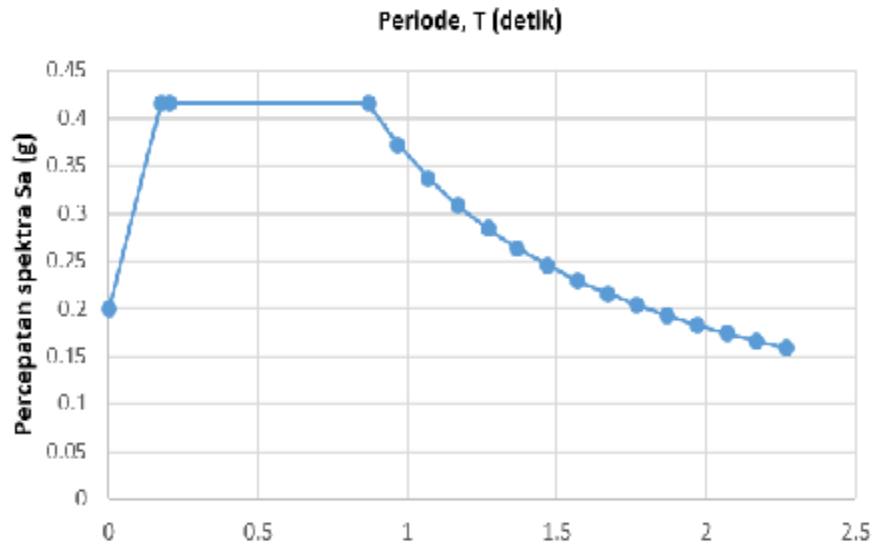
- Nilai  $F_{pga}$  = 1,54
- Nilai  $F_a$  = 1,54
- Nilai  $F_v$  = 2,12

5. Menentukan parameter spektral  $A_s$ ,  $S_Ds$ , dan  $S_{D1}$

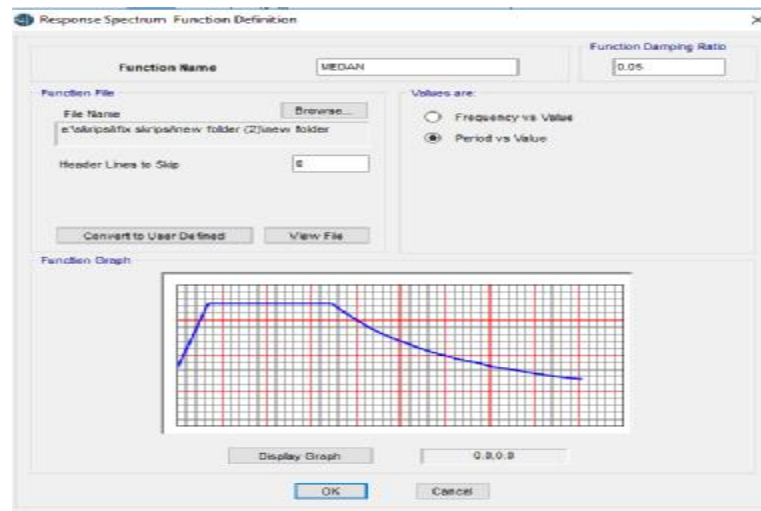
- $A_s$  =  $F_{pga} \times PGA$   
 =  $1,54 \times 0,13$   
 = 0,2002
- $S_Ds$  =  $F_a \times S_s$   
 =  $1,54 \times 0,27$   
 = 0,4158

$$\begin{aligned}
 - \text{SDs} &= F_v \times S_1 \\
 &= 2,12 \times 0,17 = 0,3604
 \end{aligned}$$

Dari hasil parameter spektra dapat digambarkan dalam sebuah grafik respon spektrum seperti dalam Gambar 3.39 dan 3.40:



Gambar 3.39: Grafik respon spektrum.



Gambar 3.40: Pemodelan respon spektrum pada CSI Bridge.

### 3.8.1.7. Beban Kejut

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor  $i$  terhadap beban kereta. Beban kejut akan

ditambahkan pada *axle load* yang bekerja di atas rel dimana distribusi beban kejut ini adalah sama dengan *axle load*. Perhitungan koefisien beban kejut:

$$\begin{aligned} \text{Koefisien beban kejut} &= 0,1 + \frac{22,5}{50+40} \\ &= 0,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban kejut} &= 0,35 \times \left(\frac{144}{39,6}\right) \times 2 \\ &= 2,545 \text{ ton/m} \\ &= 25,45 \text{ Kn/m} \end{aligned}$$

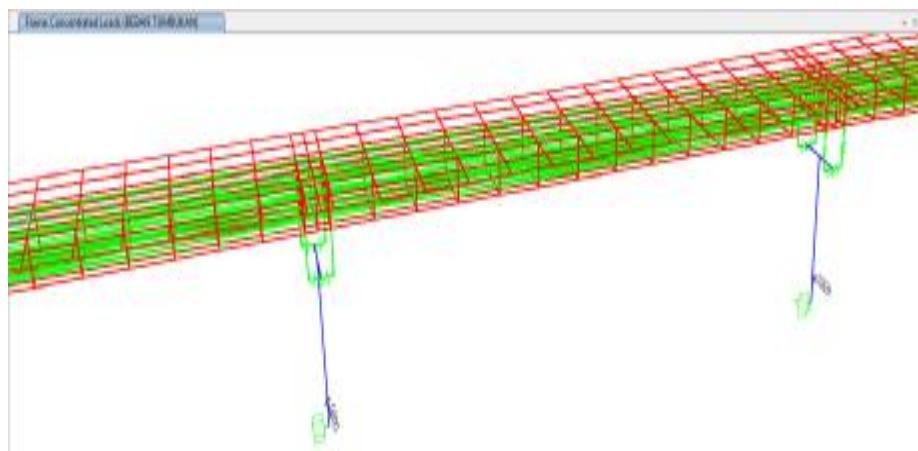
### 3.8.1.8. Beban Pengereman

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012, beban pengereman masing-masing adalah 25% dari beban kereta.

$$\begin{aligned} T_b &= 25\% \times 144 \text{ ton} \\ &= 36 \text{ ton} \\ &= 360 \text{ Kn} \end{aligned}$$

### 3.8.1.9. Beban Tumbukan Kendaraan

Menurut buku perencanaan teknik jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan jalan layang ditentukan sebesar 1000 kN pada arah tegak lurus jembatan (Gambar 3.41). Keduanya bekerja pada tinggi 1,8 m dari permukaan jalan dibawah jembatan.



Gambar 3.41: Pemodelan beban tumbukan pada *CSI Bridge*.

### 3.8.1.10. Gesekan pada Perletakan/Friksi

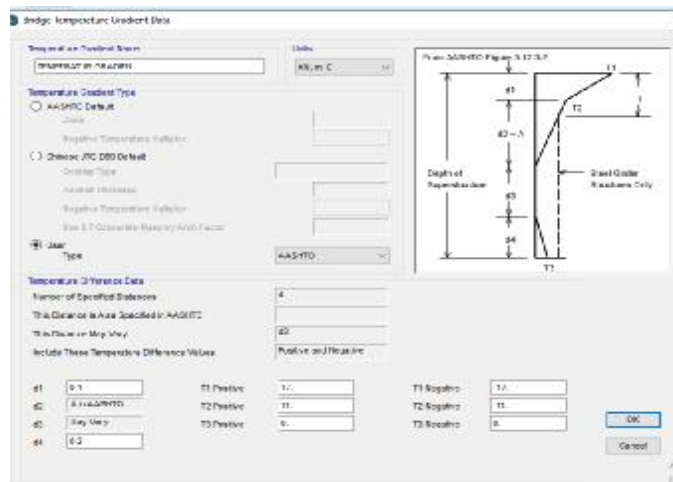
Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap.

Ditentukan koefisien elastomer = 0,15

Beban friksi (Bf) = 0,15 x 179,304 Kn/m  
= 26,896 Kn/m

### 3.8.1.11. Temperatur

Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang dan 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 dimodelkan pada gambar 3.42.



Gambar 3.42: Pemodelan temperatur pada CSI Bridge.

### 3.8.1.12. Pengaruh Susut dan Rangkak

c. Pengaruh susut

Berdasarkan SNI-T-12-2004 diasumsikan pada kondisi standar nilai koefisien susut bisa dilihat pada Tabel 2.20 dan diambil nilainya sebesar 0.000164



d. Pengaruh rangkak

Berdasarkan SNI-T-12-2004 rangkak merupakan regangan jangka panjang yang tergantung waktu pada suatu kondisi tegangan tetap, dan yang akan mengakibatkan suatu tambahan regangan terhadap regangan elastis beton, bisa dihitung dalam perbandingannya terhadap regangan elastis, melalui suatu koefisien rangkak  $\phi_{cc}(t)$ .

$$\epsilon_{cc,t} = \phi_{cc}(t) \cdot \epsilon_e$$

$$\epsilon_e = 0,003$$

$$c_u = 2,338$$

$$\phi_{cc}(t) = (28^{0,6} / (10 + 28^{0,6})) \times 2,338$$
$$= 0,993$$

$$\epsilon_{cc,t} = 0,993 \times 0,003$$
$$= 0,00298$$

$$\text{Susut} + \text{rangkak} = 0,000164 + 0,00298$$
$$= 0,00314$$

### 3.8.1.13. Pengaruh Prategang

Dalam tugas akhir ini prategang direncanakan menggunakan tendon/kabel jenis *strand seven wire stress relieved* (7 kawat untaian).

Letak titik berat terhadap sisi bawah *profil box girder*,  $Y_b = 1,49$  m

Direncanakan jarak titik berat tendon terhadap sisi bawah *box girder* adalah,

- $Z_o = 0,45$  m
- $F_{ci} = 0,8 f_c = 0,8 \times 41500 = 33200$  kPa
- Eksentrisitas Tendon,  $e_s = Y_b - Z_o = 1,49 - 0,45 = 1,04$  m
- Tahanan momen sisi atas:  $W_a = 4.718$  m<sup>3</sup>
- Tahanan momen sisi bawah:  $W_b = 2.881$  m<sup>3</sup>
- $M_{MS}$  = momen maksimum pada seluruh bentang akibat beban sendiri  
hasil analisis *Csi bridge* = 7148,767 KNm

Tegangan pada serat atas:

$$0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = - P_t / A + P_t \times e_s / W_a - M_{bs} / W_a \quad (3.3)$$

Tegangan pada serat bawah:

$$- 0,55 \times f_{ci} = - P_t / A + P_t \times e_s / W_b - M_{bs} / W_b \quad (3.4)$$

Besarnya gaya prategang awal ditentukan sebagai berikut:

Dari Pers. 3.3:

$$\begin{aligned} P_t &= (0,25 \times \sqrt{f_{ci}} + M_{MS} / W_a) / (e_s / W_a - 1 / A) \\ &= (0,25 \times \sqrt{33200} + 7148,767 / 4,718) / (1,04 / 4,718 - 1 / 6,039) \\ &= 28437,196 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Pers. 3.4:

$$\begin{aligned} P_t &= (0,55 \times f_{ci} + M_{MS} / W_b) / (e_s / W_b - 1 / A) \\ &= (0,55 \times 33200 + 7148,767 / 2,881) / (1,04 / 2,881 - 1 / 6,039) \\ &= 42533,801 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Pers. 3.3 dan 3.4 diambil gaya prategang awal,  $P_t = 28437,196 \text{ kN}$

Direncanakan menggunakan kabel jenis *strand seven wires stress relieved*.

Dengan mengacu pada tabel ASTM A-416 berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja pratekan yang digunakan:

- Jenis strand : *Uncoated 7 wire superstrand* ASTM A-416 grade 270
- Diameter nominal *strands* = 0,6" = 15,24 mm
- Luas Nominal penampang strand ( $A_s$ ) = 140 mm<sup>2</sup>
- Beban putus minimal satu strand ( $P_{bs}$ ): 260,7 kN  $\approx$  26070 Kgf (100 % UTS atau 100% beban putus)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{strand} \text{ minimal yang diperlukan: } n_s &= P_t / 0,8 \times P_{bs} \\ &= 28437,196 / 0,8 \times 260,7 \\ &= 136 \textit{ strand} \end{aligned}$$

3. Direncanakan jumlah kawat untai (*strand cable*) = 22 kawat untai tiap tendon.

Maka, jumlah tendon = 4 + 4 + 4 + 4 = 16 tendon.

$$\text{Jumlah } \textit{strands}, n_s = (22 \times 4) + (22 \times 4) + (22 \times 4) + (22 \times 4) = 352 \textit{ strands}.$$

$$\text{Beban satu } \textit{strands} = P_{bs1} = P_t / n_s = 28981,895 / 352 = 80,787 \text{ kN}$$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *Jacking force*):

$$P_o = P_t / (n_s \times P_{bs}) = 28437,196 / (352 \times 260,7) = 31 \% < 85 \% \text{ (OK) sesuai pasal 4.4.3.2.2 RSNI-T-12-2004.}$$

Gaya *prestress* yang terjadi akibat *jacking*:

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs1} = 31 \times 352 \times 80,787 = 8812,312 \text{ kN}$$

4. Direncanakan jumlah kawat untai (*strand cable*) = 12 kawat untai tiap tendon.

Maka, jumlah tendon = 6 + 8 = 14 tendon.

Jumlah *strands*,  $n_s = (12 \times 6) + (12 \times 8) = 168 \text{ strands}$ .

Beban satu *strands* =  $P_{bs1} = P_t / n_s = 28437,196 / 168 = 169,269 \text{ kN}$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *Jacking force*):

$$P_o = P_t / (n_s \times P_{bs}) = 28437,196 / (168 \times 169,269) = 64,93 \% < 85 \% \text{ (OK)}$$

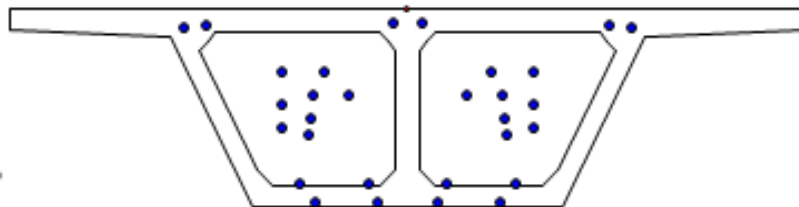
sesuai pasal 4.4.3.2.2 RSNI-T-12-2004.

Gaya *prestress* yang terjadi akibat *jacking*:

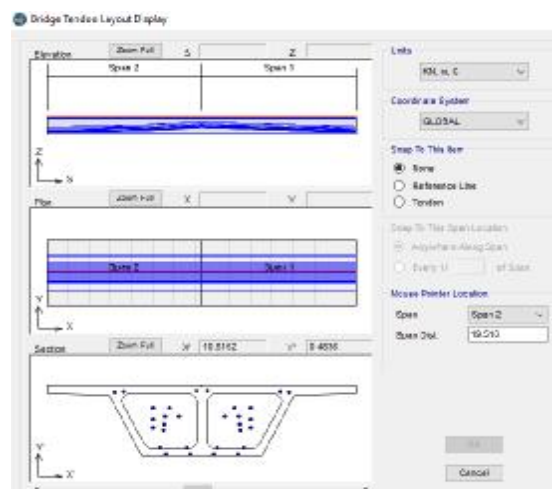
$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs1} = 64,93 \times 168 \times 169,269 = 18463,892 \text{ kN}$$

Untuk tegangan satu *strand* diambil nilai pbs yang paling besar dibagikan

$$\text{luas nominal} = \frac{169,269}{140} = 1209,064 \text{ Mpa}$$



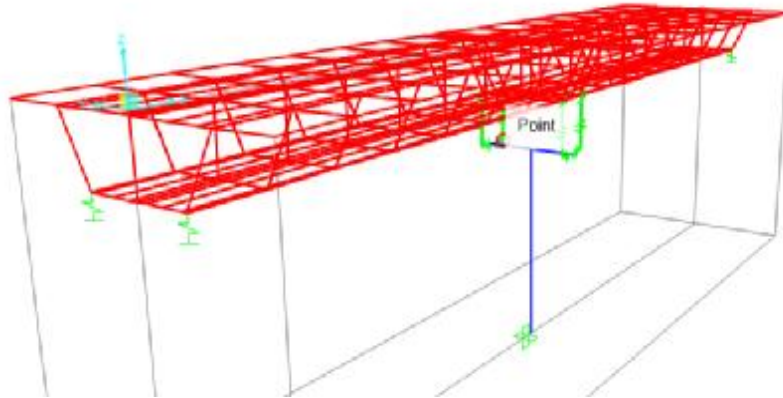
Gambar 3.43: Posisi letak tendon.



Gambar 3.44: Pemodelan tendon pada *CSI bridge*.

### 3.8.2. Perencanaan *Spring*

Tebal pelat injak direncanakan adalah 25 cm, panjang pelat injak disesuaikan dengan dengan lebar *pier* yang direncanakan 4,4 m, sedangkan lebar pelat injak tersebut diambil 2 m pada Gambar 3.45.



Gambar 3.45: Pemodelan spring pada *CSI Bridge*.

Menurut bowles, untuk menentukan besarnya modulus reaksi tanah dasar didasarkan pada daya dukung tanah dengan penurunan tanah ( $\delta$ ) 1 inci = 0,0254 m.

$$\begin{aligned}
 K_s &= \frac{q_{ult}}{\delta} \\
 &= \frac{q_{ult}}{0,0254} \\
 &= 40 \times q_{ult}
 \end{aligned}$$

$$N_c = 12,9$$

$$N_q = 4,4$$

$$N_{\gamma} = 2,5$$

$$c = 1,8 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma = 1,6272 \text{ ton/m}^3$$

$$D = 0,85$$

$$B = 2$$

$$q_{ult} = cN_c + D\gamma N_q + 0,5 \gamma B N_{\gamma}$$

$$= (1,8 \times 12,9) + (0,85 \times 1,6272 \times 4,4) + (0,5 \times 1,6272 \times 2 \times 2,5)$$

$$\begin{aligned}
 &= 28,668 \text{ t/m} \\
 \text{Ks} &= 40 \times 28,668 \\
 &= 1146,72 \text{ t/m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk 2 *spring* jarak 4,3 m:

$$\begin{aligned}
 \text{Ks} &= 4,3 \times 1146,72 \\
 &= 4930,896 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

### 3.8.3. Perencanaan *bearing*

*Bearing* adalah landasan yang merupakan sistem keseluruhan dari suatu bagian jembatan yang digunakan untuk mentransfer tegangan dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah yang dapat memberikan pergerakan pada bagian atas struktur jembatan. *Bearing* juga berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan translational dan rotasional. *Bearing* direncanakan menggunakan *rubber isolator* dengan dimensi 500 x 400.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Tinjauan Umum

Pada bab ini akan membahas tentang hasil studi dan membandingkan hasil analisis *fly over double track* dari program *CSI Bridge* dengan perbandingan *box girder* yang memiliki bentuk dan mutu yang berbeda dengan bentang 40m untuk struktur atas dan menganalisis stabilitas kekuatan *pier* untuk struktur bawah.

#### 4.2. Hasil Analisa

Hasil analisa *fly over* menggunakan nilai yang disyaratkan sesuai dengan SNI 1725:2016, SNI T-12-2004, PM No.60 tahun 2012 tentang pembebanan jembatan, perencanaan struktur beton untuk jembatan dan persyaratan teknis jalur kereta api. Dalam analisis ini didapat hasil dari perbandingan ke 2 model *box girder* dengan tendon, *pier* dan bentang yang sama pada lendutan, periode getar, tegangan dan geser.

##### 4.2.1. Hasil Analisis Prategang dan Jumlah *Strand*

###### a. gaya prategang awal (Pt) dan jumlah *strand* Model 1

Dari hasil perhitungan gaya prategang awal yang diperlukan pada model 1 dengan mutu beton 41,5 MPa adalah sebesar 33877,509 kN dengan jumlah *strand* 544*strand*.

###### b. gaya prategang awal (Pt) dan jumlah *strand* Model 2

Dari hasil perhitungan gaya prategang awal yang diperlukan pada model 2 dengan mutu beton 41,5 MPa adalah sebesar 28981,895 dengan jumlah *strand* 520 *strand*.

#### 4.2.2. Hasil Analisis Periode Getar Model 1

Hasil analisis periode getar menggunakan aplikasi *CSIBridge* pada struktur jembatan beton prategangdengan menggunakan profil *box girder* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Nilai periode getar (T) pada Model 1fc' 41,5 MPa.

Case	Mode	Periode (T) Sec
Modal	Mode 1	0,69055
Modal	Mode 2	0,45271
Modal	Mode 3	0,3084
Modal	Mode 4	0,2149
Modal	Mode 5	0,21155
Modal	Mode 6	0,20381
Modal	Mode 7	0,16632
Modal	Mode 8	0,10436
Modal	Mode 9	0,07189
Modal	Mode 10	0,06939
Modal	Mode 11	0,0689
Modal	Mode 12	0,06185

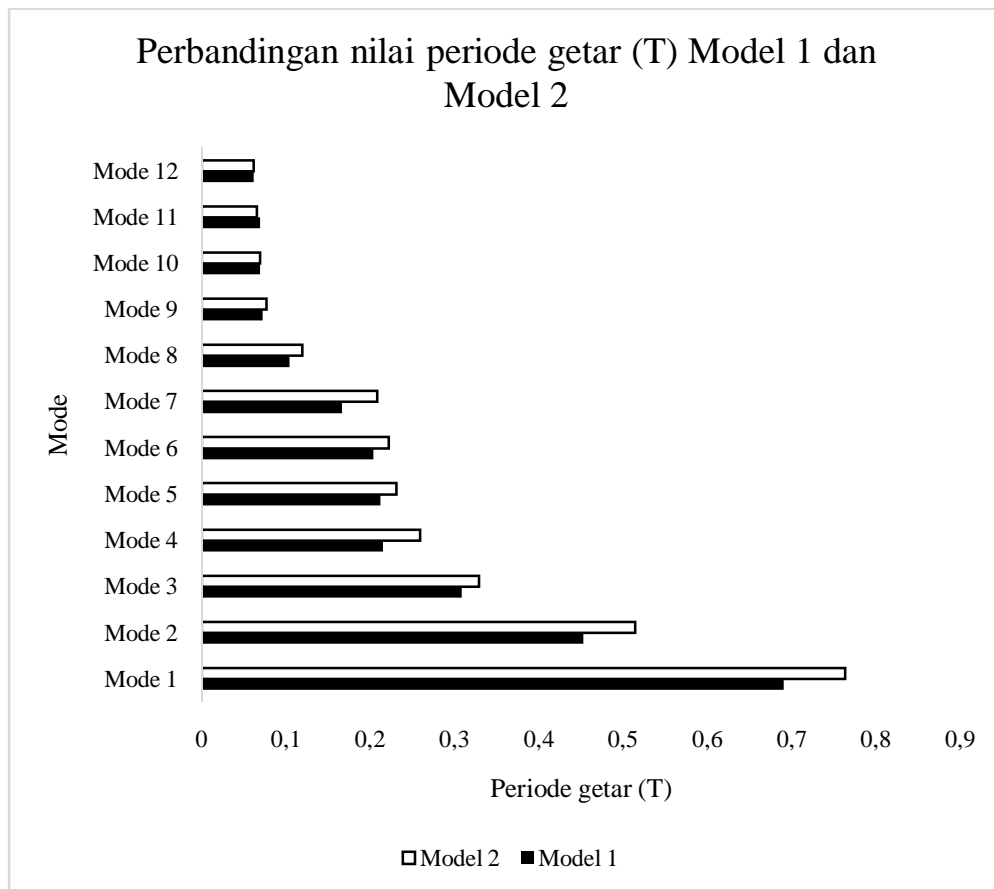
#### 4.2.3. Hasil Analisis Periode Getar Model 2

Hasil analisis periode getar menggunakan aplikasi *CSI bridge* pada struktur jembatan beton prategangdengan menggunakan profil *box girder* dapat dilihat pada Tabel 4.2:

Tabel 4.2: Nilai periode getar (T) pada Model 2fc' 41,5 MPa.

Case	Mode	Periode (T) Sec
Modal	Mode 1	0,76333
Modal	Mode 2	0,51447
Modal	Mode 3	0,32896
Modal	Mode 4	0,25899
Modal	Mode 5	0,231
Modal	Mode 6	0,22178
Modal	Mode 7	0,20795
Modal	Mode 8	0,11891
Modal	Mode 9	0,07657
Modal	Mode 10	0,06946
Modal	Mode 11	0,06562

Modal	Mode 12	0,06152
-------	---------	---------



Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada Model 1 dan Model 2.

Dari Gambar 4.1 diperoleh perbedaan nilai perioda getar (T) antara Model 1  $f_c' 41,5 \text{ MPa}$  dengan Model 2  $f_c' 41,5 \text{ MPa}$ , dimana nilai perioda getarnya sangat signifikan dan bervariasi dikarenakan pengaruh perbedaan *box girder*.

#### 4.2.4. Hasil Analisis Lentutan Model 1

Dari hasil analisis *CSI Bridge* nilai lentutan maksimum akibat kombinasi daya layan adalah pada model 1 dengan mutu beton 41,5 Mpa adalah 0,0287 m (Tabel 4.3) dimana nilai tersebut masih sesuai dengan syarat nilai lentutan maksimum yang terdapat pada PM No.60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api, dimana lentutan yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui  $L/1100$ .

$$L/1100 = 40 / 1100 = 0,03636 \text{ m}$$



Tabel 4.3: Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi pada Model 1  $f_c'$  41,5 Mpa.

<i>Output case</i> (kombinasi)	Lendutan (m)
Daya layan 1	0,0287
Daya layan 3	0,0277
Daya layan 4	0,0238

Kontrol:

Daya layan 1 =  $0,0287 < 0,03636$  ( OKE )

Daya layan 3 =  $0,0277 < 0,03636$  (OKE)

Daya layan 4 =  $0,0238 < 0,03636$  (OKE)

#### 4.2.5. Hasil Analisis Lendutan Model 2

Dari hasil analisis *CSI Bridge* nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan pada model 2 dengan mutu beton 41,5 MPa adalah -0,0318 m (Tabel 4.4) dimana nilai tersebut masih sesuai dengan syarat nilai lendutan maksimum pada beton yang terdapat pada PM No.60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api, dimana lendutan yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui  $L/1100$

$$L/1100 = 40 / 1100 = 0,03636 \text{ m}$$

Tabel 4.4: Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi pada Model 2  $f_c'$  41,5 Mpa.

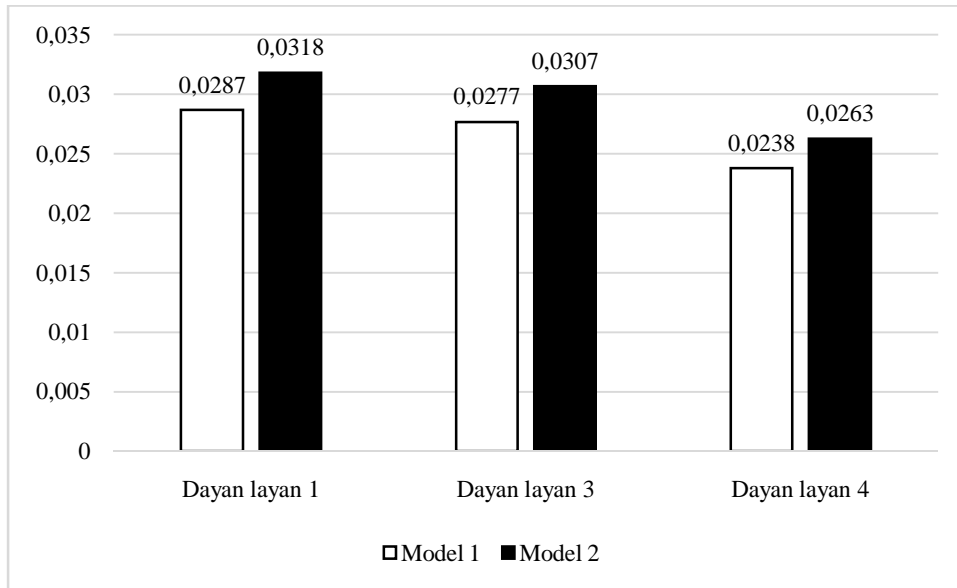
<i>Output case</i> (kombinasi)	Lendutan (m)
Daya layan 1	0,0318
Daya layan 3	0,0307
Daya layan 4	0,0263

Kontrol:

Daya layan 1 =  $0,0318 < 0,03636$  ( OKE )

Daya layan 3 =  $0,0307 < 0,03636$  (OKE)

Daya layan 4 = 0,0263 < 0,03636 (OKE)



Gambar 4.2: Grafik perbandingan nilai lendutan pada Model 1.

Dari Gambar 4.2 diketahui bahwa nilai lendutan pada model 1 lebih besar dibandingkan dengan model 2 hal ini terjadi karena pengaruh perbedaan penampang *box girder* dan jumlah tendon yang direncanakan.

#### 4.2.6. Hasil Analisis Tegangan Akibat Kombinasi Layan pada Model 1

Menurut SNI T-12-2004, pada pasal 4.4.1.2 dimana tegangan ijin tekan yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui  $0,45 \times f_c'$  dan tegangan ijin tarik yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui  $0,5 \times \sqrt{f_c'}$ .

Tabel 4.5: Tegangan ( $\sigma$ ) akibat kombinasi layan pada Model 1  $f_c' 41,5$  Mpa

Output Case / Combo (Kombinasi)	Tegangan ( $\sigma$ )(Mpa)	
	fa	fb
Kombinasi daya layan 1	2,386	0,3191
Kombinasi daya layan 3	2,367	0,0455

Kombinasi daya layan 4	2,067	0,1676
------------------------	-------	--------

Kontrol Model  $f_c'$  41,5 MPa:

a. Kombinasi daya layan 1

$$\text{Tekan} < 0,45 f_c' = 2,386 < 18,675 \quad (\text{oke})$$

$$\text{Tarik} < 0,5 \times \sqrt{f_c} = 0,3191 < 3,221 \quad (\text{oke})$$

b. Kombinasi daya layan 2

$$\text{Tekan} < 0,45 f_c = 2,367 < 18,675 \quad (\text{oke})$$

$$\text{Tarik} < 0,5 \times \sqrt{f_c} = 0,0455 < 3,221 \quad (\text{oke})$$

c. Kombinasi daya layan 3

$$\text{Tekan} < 0,45 f_c' = 2,067 < 18,675 \quad (\text{oke})$$

$$\text{Tarik} < 0,5 \times \sqrt{f_c} = 0,1676 < 3,221 \quad (\text{oke})$$

#### 4.2.7. Hasil Analisis Tegangan Akibat Kombinasi pada Model 2

Hasil analisis tegangan akibat kombinasi daya layan1, daya layan 3 dan daya layan 4 pada model 2 dengan mutu beton 41,5 Mpa dapat dilihat pada Tabel 4.6:

Tabel 4.6: Tegangan ( $\sigma$ ) akibat kombinasi layan pada Model  $2f_c'$  41,5 MPa

Output Case / Combo (Kombinasi)	Tegangan ( $\sigma$ )(Mpa)	
	fa	fb
Kombinasi daya layan 1	2,5022	0,2895
Kombinasi daya layan 3	2,4796	0,0448
Kombinasi daya layan 4	2,19	0,1525

Menurut RSNI T-12-2004 - perencanaan struktur beton untuk jembatan, pada pasal 4.4.1.2 dimana tegangan ijin tekan yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui  $0,45 \times f_c'$  dan tegangan ijin tarik yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui  $0,5 \times \sqrt{f_c'}$

Kontrol model  $2f_c'$  41,5 MPa:

a. Kombinasi daya layan 1

$$\text{Tekan} < 0,45 f_c' = 2,5022 < 18,675 \quad (\text{oke})$$

$$\text{Tarik} < 0,5 \times \sqrt{f_c} = 0,2895 < 3,221 \quad (\text{oke})$$

b. Kombinasi daya layan 2

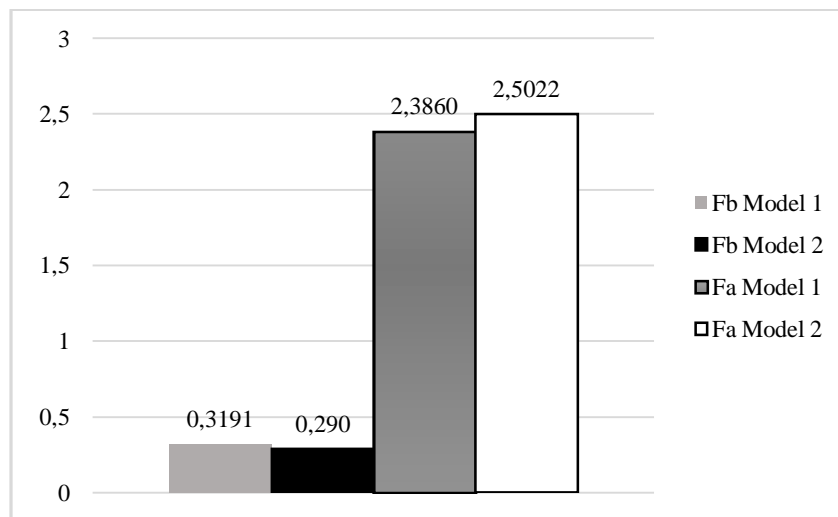
$$\text{Tarik} < 0,45 f_c' = 2,4796 < 18,675 \quad (\text{oke})$$

$$\text{Tarik} < 0,5 \times \sqrt{f_c} = 0,0448 < 3,221 \quad (\text{oke})$$

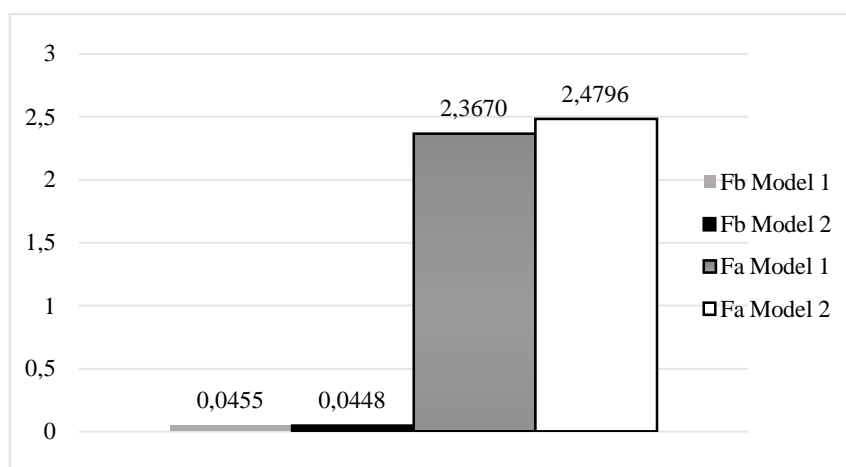
c. Kombinasi daya layan 3

$$\text{Tekan} < 0,45 f_c' = 2,19 < 18,675 \quad (\text{oke})$$

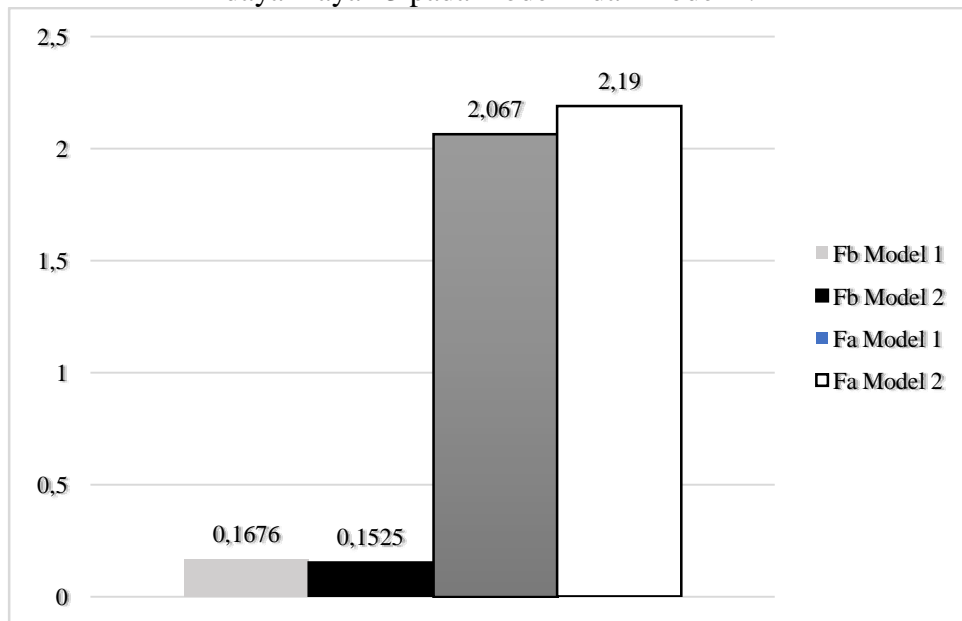
$$\text{Tarik} < 0,5 \times \sqrt{f_c} = 0,1525 < 3,221 \quad (\text{oke})$$



Gambar 4.3: Grafik perbandingan nilai tegangan yang terjadi akibat kombinasi dayan layan 1 pada model 1 dan model 2.



Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai tegangan yang terjadi akibat kombinasi dayan layan 3 pada model 1 dan model 2.



Gambar 4.5: Grafik perbandingan nilai tegangan yang terjadi akibat kombinasi dayan layan 4 pada model 1 dan model 2.

Dari Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai tegangan pada model 2 lebih besar dibandingkan dengan model 1 hal ini terjadi karena pengaruh perbedaan beban satu *strand* pada tendon.

#### 4.2.8. Hasil Analisis Nilai Gaya Geser Arah Y (V3) pada Model 1 dan Model 2

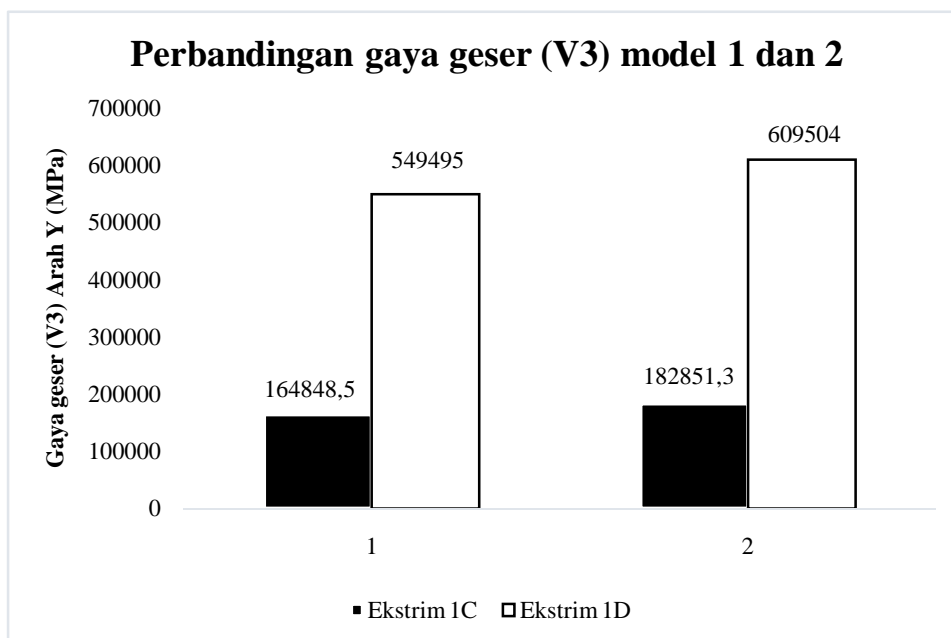
Hasil analisis gaya geser (V3) arah Y pada Model 1 dan Model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7: Nilai gaya geser (V3) maksimum pada kombinasi ekstrim 1C.

Mutu beton $f_c'$ (MPa)	Kombinasi ekstrim 1C (Mpa)
41,5 (Model 1)	164848,5
41,5 (Model 2)	182851,3

Tabel 4.8: Nilai gaya geser (V3) maksimum pada kombinasi ekstrim 1D.

Mutu beton $f_c'$ (MPa)	Kombinasi ekstrim 1D (Mpa)
41,5 (Model 1)	549495
41,5 (Model 2)	609504



Gambar 4.6: Grafik perbandingan nilai gaya geser (V3) arah Y kombinasi ekstrim 1C dan 1D pada Model 1 dan Model 2.

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa nilai gaya geser yang terbesar terjadi pada kombinasi ekstrim 1D. Arah Y lebih berpengaruh karena dalam kombinasi gempa arah Y dianggap 100% dan gempa arah X dianggap 30%. Dan model yang paling kuat menahan gaya geser adalah model 1 (*single cell*).

#### 4.2.9. Hasil Analisis Nilai Gaya Geser Arah X (V2) pada Model 1 dan Model 2

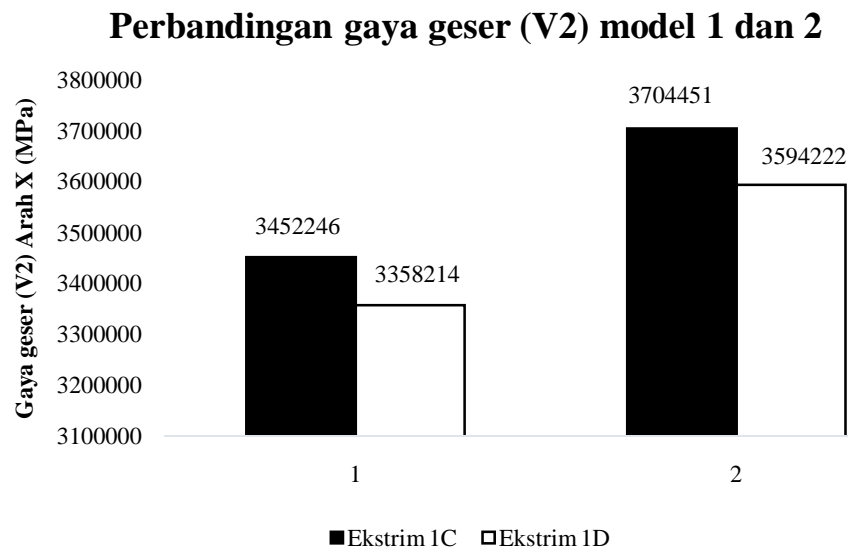
Hasil analisis gaya geser (V2) arah X pada model 1 dan model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10:

Tabel 4.9: Nilai gaya geser (V2) maksimum pada kombinasi ekstrim 1C.

Mutu beton $f_c'$ (MPa)	Kombinasi ekstrim 1C (Mpa)
41,5 (Model 1)	3452246
41,5 (Model 2)	3704451

Tabel 4.10: Nilai gaya geser (V2) maksimum pada kombinasi ekstrim 1D.

Mutu beton $f_c'$ (MPa)	Kombinasi ekstrim 1D (Mpa)
41,5 (Model 1)	3358214
41,5 (Model 2)	3594222



Gambar 4.7: Grafik perbandingan nilai gaya geser (V2) arah X kombinasi ekstrim 1C dan 1D pada Model 1 dan Model 2.

Dari Gambar 4.7 diketahui bahwa nilai gaya geser yang terbesar terjadi pada kombinasi ekstrim 1C. Arah X lebih berpengaruh karena dalam kombinasi gempa arah X dianggap 100% dan gempa arah Y dianggap 30%. Dan model yang paling kuat menahan gaya geser adalah model 1 (*single cell*).

#### 4.2.10. Hasil Analisis Nilai gaya aksial (P) pada Model 1 dan Model 2

Hasil analisis gaya aksial (P) pada Model 1 dan Model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12:

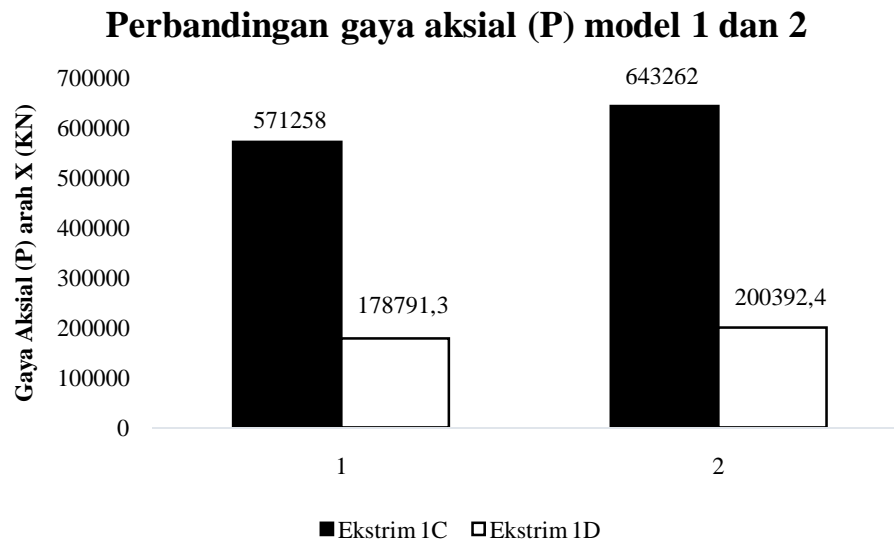
Tabel 4.11: Nilai gaya aksial(P) maksimum pada kombinasi ekstrim 1C.

Mutu beton $f_c'$ (MPa)	Kombinasi ekstrim 1C (Mpa)
41,5 (Model 1)	571258
41,5 (Model 2)	643262

Tabel 4.12: Nilai gaya aksial(P) maksimum pada kombinasi ekstrim 1D.

Mutu beton $f_c'$ (MPa)	Kombinasi ekstrim 1D (Mpa)
41,5 (Model 1)	178791,3
41,5 (Model 2)	200392,4





Gambar 4.8: Grafik perbandingan nilai gaya aksial (P) pada Model 1 dan Model 2.

Dari Gambar 4.8 diketahui bahwa nilai aksial yang terbesar terjadi pada kombinasi ekstrim 1C. Dikarenakan gempa arah Arah X akan menyebabkan penambahan panjang dari elemen, gaya yang bekerja adalah gaya tarik.

### 4.3. Kehilangan Gaya Prategang Model 1

Kehilangan tegangan adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan. Kehilangan gaya pratekan (*loss of prestress*) akan terjadi pada dua tahap yaitu pada saat:

1. Segera setelah peralihan gaya pratekan ke penampang beton yang meliputi:
  - Perpendekan elastis (ES)
  - Gesekan kabel dan *wooble effect*
  - Slip ankur
2. Pada saat service/beban bekerja, yang meliputi:
  - Rangkak beton (CR)
  - Susut beton (SH)
  - Relaksasi baja (RE)

#### 4.3.1. Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton (ES)

Untuk sistem pascatarik beton memendek saat tendon diangkurkan terhadap beton karena gaya pada kabel dihitung setelah perpendekan elastis terhadap beton terjadi. Jika tendon yang dimiliki lebih dari satu tendon, tendon-tendon tersebut ditarik secara berurutan, maka gaya prategang secara bertahap bekerja pada tendon.

$$\Delta ES = \frac{Es}{Eci} \times fcir \times n$$

$$Es = 200000 \text{ MPa}$$

$$Eci = 4700 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 30277,63 \text{ MPa}$$

$$Fcir = \text{tegangan awal/luas penampang}$$

$$= 33877,509 \text{ N}/5290200 \text{ mm}^2$$

$$= 6,404 \text{ Mpa}$$

$$n = 0,5 \text{ (post tension)}$$

$$\Delta ES = \frac{Es}{Eci} \times fcir \times n$$

$$= \frac{200000}{30277,63} \times 6,404 \text{ Mpa} \times 0,5$$

$$= 21,15 \text{ Mpa}$$

#### 4.3.2. Gesekan Kabel Dan *Wooble Effect*

Pada saat dilakukan stressing (penarikan kabel prategang) dengan menggunakan dongkrak *jack hydraulic*. Kabel prategang mengalami kehilangan sebagian gaya prategang yang diakibatkan oleh gesekan kabel dan efek kelengkungan tendon, sehingga tegangan yang ada pada tendon atau kabel prategang menjadi lebih kecil daripada bacaan pada alat *pressure gauge*. Sehingga perlu dihitung sebesar kehilangan gaya prategangnya. Kehilangan akibat gesekan ini dapat dipertimbangkan pada dua bagian yaitu pengaruh panjang dan kelengkungan sehingga dapat dijelaskan sebagai pengaruh naik turunnya kabel (*woobling effect*) dan tergantung dari panjang dan tegangan tendon serta koefisien gesekan antara bahan yang bersentuhan. Gesekan antara kabel dengan *duct* yang menyebabkan besarnya tarikan pada bahan ujung.

$$\frac{F2-F1}{F1} = -KL - \mu\alpha$$

Dengan mengambil nilai pada tabel 2.31 untuk strand dengan untaian 7 kawat, didapat nilai  $k = 0,0041$  dan nilai  $\mu = 0,2$

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -kL - \mu\alpha$$

$$\begin{aligned} \frac{F_2 - F_1}{F_1} &= -0,0041 \times (40/2) - 0,2 \times 0 \\ &= -0,082 \end{aligned}$$

$$\Delta f_{s1} = \frac{F_2 - F_1}{F_1} \times f_{pi}$$

$$\begin{aligned} f_{pi} &= (176,445/140) \times 1000 \\ &= 1260,324 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{s1} &= -0,082 \times 1260,324 \\ &= 103,347 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### 4.3.3. Kehilangan Prategang Akibat Slip Angkur

Pada sistem pasca tarik setelah kabel ditarik kemudian dilepas, panjang tarikan akan lebih kecil, karena terjadi slip pada angkur saat *hydraulic* dilepaskan, artinya ada kehilangan gaya prategangan akibat slip yang terjadi pada angkur. Besarnya slip tergantung pada jenis angkur yang terbentuk baji (*wedge*) dan tegangan pada kabel. Harga rata-rata panjang slip yang terjadi sebesar 2,5 mm.

$$\Delta L = \Delta L = \frac{f_c}{E_s} \times L$$

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{1260,324}{200000} \times 40000 \\ &= 252 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ANC} &= \frac{2,5}{252} \times 100\% \\ &= 0,992 \% \end{aligned}$$

Maka, besarnya kehilangan prategangan yang terjadi adalah:

$$\Delta f_{ANC} = 0,955 \% \times 1260,324 = 12,5 \text{ Mpa}$$

#### 4.3.4. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton (CR)

Salah satu sifat beton adalah dapat mengalami tambahan regangan akibat beban tetap (mati) seiring dengan semakin bertambahnya waktu. Metode umum untuk memperhitungkan rangkai pada beton adalah dengan memasukkan kedalam perhitungan perbandingan volume terhadap permukaan, umur beton pada saat prategang, kelembaban relatif dan jenis beton (beton ringan atau normal). Kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk komponen struktur dengan tendon terekat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (untuk beton dengan berat normal) :

$$CR = Kcr \times \frac{ES}{EC} \times (fcir - fc ds)$$

$$Kcr = 1,6 \text{ untuk struktur pasca tarik.}$$

$$Fc ds = 0,6387 \text{ MPa (output csi bridge)}$$

$$Fcir = 6,404 \text{ MPa}$$

$$Es = 200000 \text{ Mpa}$$

$$Ec = 30277,63 \text{ MPa}$$

$$CR = Kcr \times \frac{ES}{EC} \times (fcir - fc ds)$$

$$= 1,6 \times \frac{200000}{30277,63} \times (6,404 - 0,6387) = 60,931 \text{ Mpa}$$

#### 4.3.5. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton

Susut pada beton dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti rangkai, perbandingan antara volume dan permukaan, kelembaban relatif, dan waktu dari akhir perawatan sampai dengan bekerjanya gaya prategang. Persamaan yang dipakai dalam memperhitungkan kehilangan pratekan akibat susut pada beton adalah:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times Ksh \times Es \times (1 - 0,06 \times \frac{V}{S}) \times (100\% - RH)$$

$$KSh = 0,77 \text{ (Tabel 2.29) dengan asumsi dilakukan 7 hari setelah selesainya perawatan basah)}$$

$$V = \text{panjang} \times \text{luas} \text{ box girder}$$

$$= 40 \times 5,29$$

$$= 211,608 \text{ mm}^3$$

$$S = \text{keliling (mm)}$$

$$= 52257 \text{ mm}$$

$$V/S = 0,004 \text{ mm}^2$$

RH = kelembaban udara rata-rata diambil 70%

$$\begin{aligned} SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times Ksh \times Es \times \left(1 - 0,06 \times \frac{V}{S}\right) \times (100\% - RH) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,77 \times 200000 \times (1 - (0,06 \times 0,00597)) \times (100\% - 70\%) \\ &= 37,875 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### 4.3.6. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja

Sebenarnya balok pratekan mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkai yang tergantung pada waktu. Akibat perpendekan elastis (ES), serta kehilangan gaya pratekan yang tergantung pada waktu yaitu CR dan SH, maka akan mengakibatkan terjadi pengurangan yang kontinu pada tegangan tendon. Oleh karena itu untuk memperkirakan kehilangan gaya pratekan akibat pengaruh tersebut digunakan perumusan sebagai berikut:

$$RE = (Kre - J (SH + CR + ES)) \times C$$

Dimana tendon yang dipakai adalah tipe strand atau kawat *stress relieved* derajat 1395,61 Mpa. Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

$$Kre = 138$$

$$J = 0,15$$

$$C = f_{pi}/f_{pu}$$

$$= 0,68$$

$$C = 0,89 \text{ (Tabel 2.30)}$$

$$RE = (Kre - J (SH + CR + ES)) \times C$$

$$= (138 - 0,15 \times (37,875 + 60,931 + 21,15)) \times 0,89$$

$$= 106,806 \text{ Mpa}$$

#### 4.3.7. Kehilangan Gaya Prategang Total

Untuk struktur pascatarik terdiri dari 1% perpendekan elastis, 5% rangkai pada beton, 6% susut pada beton, dan 8% relaksasi baja. Dengan demikian kehilangan total untuk struktur pascatarik adalah 20%.

$$\text{Kehilangan total} = ES + CR + SH + RE$$

$$= 21,15 + 60,931 + 37,875 + 106,806$$

$$= 242,864 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ kehilangan total} &= \frac{226,762}{1260,324} \times 100\% \\ &= 18\% < 20\% \text{ (memenuhi syarat)} \end{aligned}$$

#### 4.4. Kehilangan Gaya Prategang Model 2

Kehilangan tegangan adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan. Kehilangan gaya pratekan (*loss of prestress*) akan terjadi pada dua tahap yaitu pada saat:

- i. Segera setelah peralihan gaya pratekan ke penampang beton yang meliputi:
  - Perpendekan elastis (ES)
  - Gesekan kabel dan *wooble effect*
  - Slip ankur
2. Pada saat service/beban bekerja, yang meliputi:
  - Rangkak beton (CR)
  - Susut beton (SH)
  - Relaksasi baja (RE)

##### 4.4.1. Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton (ES)

Untuk sistem pascatarik beton memendek saat tendon diangkurkan terhadap beton karena gaya pada kabel dihitung setelah perpendekan elastis terhadap beton terjadi. Jika tendon yang dimiliki lebih dari satu tendon, tendon-tendon tersebut ditarik secara berurutan, maka gaya prategang secara bertahap bekerja pada tendon.

$$\Delta ES = \frac{Es}{Eci} \times f_{cir} \times n$$

$$Es = 200000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} Eci &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 30277,63 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cir} &= \frac{\text{gaya prategang awal}}{\text{luas penampang}} \\ &= \frac{28437,196}{6.04} \end{aligned}$$

$$= 4,709 \text{ Mpa}$$

$$n = 0,5 \text{ (post tension)}$$

$$\begin{aligned} \Delta ES &= \frac{Es}{Ect} \times f_{c1r} \times n \\ &= \frac{200000}{30277,63} \times 4,709 \text{ Mpa} \times 0,5 \\ &= 15,553 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### 4.4.2. Gesekan Kabel Dan *Wooble Effect*

Pada saat dilakukan *stressing* (penarikan kabel prategang) dengan menggunakan dongkrak *jack hydraulic*. Kabel prategang mengalami kehilangan sebagian gaya prategang yang diakibatkan oleh gesekan kabel dan efek kelengkungan tendon, sehingga tegangan yang ada pada tendon atau kabel prategang menjadi lebih kecil daripada bacaan pada alat *pressure gauge*. Sehingga perlu dihitung sebesar kehilangan gaya prategangnya. Kehilangan akibat gesekan ini dapat dipertimbangkan pada dua bagian yaitu pengaruh panjang dan kelengkungan sehingga dapat dijelaskan sebagai pengaruh naik turunnya kabel (*woobling effect*) dan tergantung dari panjang dan tegangan tendon serta koefisien gesekan antara bahan yang bersentuhan. Gesekan antara kabel dengan *duct* yang menyebabkan besarnya tarikan pada bahan ujung.

$$\frac{F2-F1}{F1} = -KL - \mu\alpha$$

Dengan mengambil nilai pada tabel 2.31 untuk strand dengan untaian 7 kawat, didapat nilai  $k = 0,0041$  dan nilai  $\mu = 0,2$

$$\frac{F2-F1}{F1} = -KL - \mu\alpha$$

$$\frac{F2-F1}{F1} = -0,0041 \times 40 - 0,2 \times 0$$

$$= -0,082$$

$$\Delta fs1 = \frac{F2-F1}{F1} \times f_{pi}$$

$$f_{pi} = (169,269/140) \times 1000$$

$$= 1209,064 \text{ Mpa}$$

$$\Delta fs1 = -0,082 \times 1209,064$$

$$= 99,143 \text{ Mpa}$$

#### 4.4.3. Kehilangan Prategang Akibat Slip Angkur

Pada sistem pasca tarik setelah kabel ditarik kemudian dilepas, panjang tarikan akan lebih kecil, karena terjadi slip pada angkur saat *hydraulic* dilepaskan, artinya ada kehilangan gaya prategang akibat slip yang terjadi pada angkur. Besarnya slip tergantung pada jenis angkur yang terbentuk baji (*wedge*) dan tegangan pada kabel. Harga rata-rata panjang slip yang terjadi sebesar 2,5 mm.

$$\begin{aligned} \text{ANC} &= \Delta L = \frac{fc}{Es} \times L \\ \Delta L &= \frac{1209,064}{200000} \times 40000 \\ &= 241,81 \text{ mm} \\ \text{ANC} &= \frac{2,5}{241,81} \times 100\% \\ &= 1 \% \\ \text{Kehilangan} &= \text{ANC} \times F_{pi} \\ &= 1\% \times 1209,064 \\ &= 12,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### 4.4.4. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton (CR)

Salah satu sifat beton adalah dapat mengalami tambahan regangan akibat beban tetap (mati) seiring dengan semakin bertambahnya waktu. Metode umum untuk memperhitungkan rangkakan pada beton adalah dengan memasukkan kedalam perhitungan perbandingan volume terhadap permukaan, umur beton pada saat prategang, kelembaban relatif dan jenis beton (beton ringan atau normal). Kehilangan gaya prategang akibat rangkakan untuk komponen struktur dengan tendon terekat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (untuk beton dengan berat normal) :

$$\begin{aligned} \text{CR} &= K_{cr} \times \frac{ES}{EC} \times (f_{cir} - f_{c,d,s}) \\ K_{cr} &= 1,6 \text{ untuk struktur pasca tarik.} \\ f_{c,d,s} &= 0,6236 \text{ MPa (output csi bridge)} \\ f_{cir} &= 4,709 \text{ MPa} \\ E_s &= 200000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



$$E_c = 30277,63 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} CR &= K_{cr} \times \frac{ES}{EC} \times (f_{c,ir} - f_{c,d,s}) \\ &= 1,6 \times \frac{200000}{30277,63} \times (4,709 - 0,6236) = 43,178 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### 4.4.5. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton

Susut pada beton dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti rangkai, perbandingan antara volume dan permukaan, kelembaban relatif, dan waktu dari akhir perawatan sampai dengan bekerjanya gaya prategang. Persamaan yang dipakai dalam memperhitungkan kehilangan pratekan akibat susut pada beton adalah:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times \left(1 - 0,06 \times \frac{V}{S}\right) \times (100\% - RH)$$

$$K_{sh} = 0,77 \text{ (tabel 2.29 dengan asumsi dilakukan 7 hari setelah selesainya perawatan basah)}$$

$$\begin{aligned} V &= \text{panjang} \times \text{luasan } \textit{box girder} \\ &= 40 \times 6,039 \\ &= 241,608 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{keliling (mm)} \\ &= 60250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V/S = 0,004 \text{ mm}^2$$

$$RH = \text{kelembaban udara rata-rata diambil } 70\%$$

$$\begin{aligned} SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times \left(1 - 0,06 \times \frac{V}{S}\right) \times (100\% - RH) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,77 \times 200000 \times \left(1 - (0,06 \times 0,004)\right) \times (100\% - 70\%) \\ &= 37,875 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### 4.4.6. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja

Sebenarnya balok pratekan mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkai yang tergantung pada waktu. Akibat perpendekan elastis (ES), serta kehilangan gaya pratekan yang tergantung pada waktu yaitu CR dan SH, maka akan mengakibatkan terjadi pengurangan yang kontinu pada tegangan tendon. Oleh karena itu untuk memperkirakan kehilangan gaya pratekan akibat pengaruh tersebut digunakan perumusan sebagai berikut:

$$RE = (Kre - J (SH + CR + ES)) \times C$$

Dimana tendon yang dipakai adalah tipe strand atau kawat *stress relieved* derajad 1395,61 Mpa. Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

$$Kre = 138$$

$$J = 0,15$$

$$C = f_{pi}/f_{pu}$$

$$= 0,65$$

$$C = 0,73 \text{ (Tabel 2.30)}$$

$$RE = (Kre - J (SH + CR + ES)) \times C$$

$$= (138 - 0,15 \times (37,875 + 43,178 + 15,553)) \times 0,73$$

$$= 90,162 \text{ Mpa}$$

#### 4.4.7. Kehilangan Gaya Prategang Total

Untuk struktur pascatarik terdiri dari 1% perpendekan elastis, 5% rangkakan pada beton, 6% susut pada beton, dan 8% relaksasi baja. Dengan demikian kehilangan total untuk struktur pascatarik adalah 20%.

$$\text{Kehilangan total} = ES + CR + SH + RE$$

$$= 15,553 + 43,178 + 37,875 + 90,162$$

$$= 186,767 \text{ MPa}$$

$$\% \text{ kehilangan total} = \frac{186,767}{1209,064} \times 100\%$$

$$= 15,45\% < 20\% \text{ (memenuhi syarat)}$$

#### 4.5. Hasil Analisa Kontrol *Pier*

Untuk memperhitungkan sebuah analisis *pier*, ada beberapa pertimbangan yang harus di evaluasi dalam analisa *pier* diantaranya stabilitas struktur *pier*, dan pengaruh P-delta.

##### 4.5.1. Tinjauan Arah *Pier* Memanjang

Tinggi kolom <i>pier</i> (Lc)	= 6 m
Ukuran penampang (B)	= 2,5 m
H	= 2,5 m
Luasan (A)	= 6,25 m <sup>2</sup>

Adapun beban ultimit pada kolom *pier* didapat dari *output CSI bridge* terdapat pada Tabel 4.13:

Tabel 4.13: *output* nilai Pu dan Mu dari *CSI bridge*

No	Kombinasi beban	Pu (Kn)	Mux (Knm)
1	Kombinasi 1	63,547	163,094
2	Kombinasi 2	49,425	126,85
3	Kombinasi 3	$1,56 \times 10^{-10}$	$2,144 \times 10^{-9}$
4	Kombinasi 4	$1,56 \times 10^{-10}$	$2,144 \times 10^{-9}$

Tabel 4.13: *lanjutan*.

5	Kombinasi 5	$1,6 \times 10^{-10}$	$1,039 \times 10^{-10}$
6	Kombinasi 6	497,607	1035,23
7	Kombinasi 7	10,59	6237,738
8	Kombinasi 8	579,771	1890,349
9	Kombinasi 9	181,345	6237,738
10	Kombinasi 10	35,304	90,6076
11	Kombinasi 11	28,243	72,486
12	Kombinasi 12	$1,04 \times 10^{-10}$	$1,46 \times 10^{-9}$

#### 4.5.2. Kontrol Stabilitas *pier*

Dalam perhitungan pilar kombinasi yang dipakai pada jembatan ada 12 kombinasi dan untuk beban persen yang diizinkan untuk perhitungan Stabilitas *pier* adalah >20%.

Berat sendiri struktur atas (Pms)	= 134,9 Kn/m x 40 m
	= 5396,004 Kn
Beban mati tambahan (Pma)	= 73,55 Kn/m x 40 m
	= 2942 Kn
Berat <i>headstock</i> (Wh)	= 1420,075 Kn

Berat kolom <i>pier</i> ( $W_c$ )	= 937,5 Kn	
Berat total struktur atas ( $W_a$ )	= $P_{ms} + P_{ma}$	
	= 8338,004 Kn	
Berat struktur bawah ( $W_b$ )	= $W_h + W_c$	
	= 1888,825 Kn	
Perbandingan berat	= $\frac{W_b}{W_a} \times 100\%$	
	= 22,65% > 20%	(Oke)

#### 4.5.3. Pengaruh P-delta

Dalam perhitungan pilar kombinasi yang dipakai pada jembatan ada 12 kombinasi dan untuk beban persen yang diizinkan untuk perhitungan pengaruh P-delta adalah  $M_d < 5\% M_u$ .

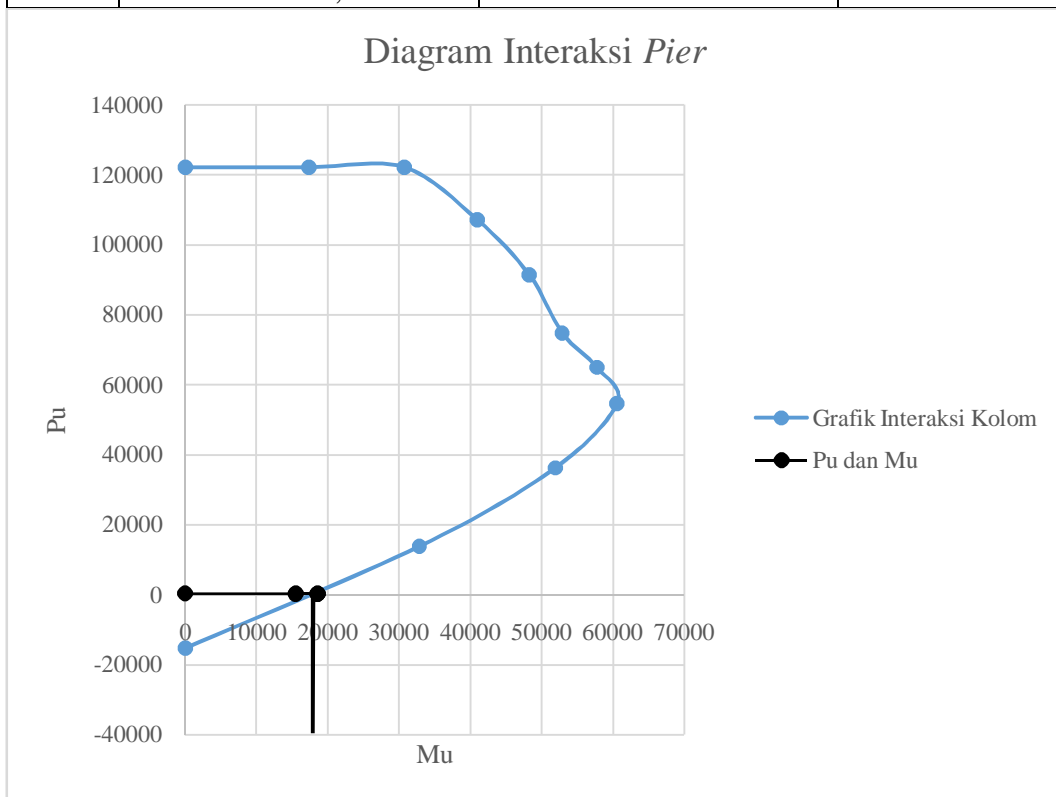
Gaya aksial ultimit <i>pier</i> ( $P_u$ )	= 181,345 Kn (diambil dari nilai momen terbesar)
Momen ultimit <i>pier</i> ( $M_u$ )	= 6237,738 Kn
Inersia penampang kolom ( $I_c$ )	= $1/12 \times 2,5 \times 2,5^3$
	= 3,255 m <sup>4</sup>
Kuat tekan ( $f_c$ )	= 41,5 Mpa
Modulus elastisitas ( $E_c$ )	= 30277,632 Mpa
Tinggi kolom <i>pier</i>	= 6 m
Lendutan	= 0,0331 m ( <i>output CSI bridge</i> )
5% $M_u$	= 311
Momen akibat pengaruh P-delta ( $M_d$ )	= $P_u \times$ lendutan
	= 181,345 x 0,0331
	= 6,002 Kn/m < 5% $M_u$ (oke)

#### 4.5.4. Diagram Interaksi *Pier*

Diagram interaksi menggambarkan interaksi antara momen dan gaya aksial dalam berbagai variasi sehingga membentuk suatu grafik. Berdasarkan hasil *output CSI bridge* didapatkan diagram interaksi untuk *pier* kotak seperti pada Gambar 4.9:

Tabel 4.14: *Output* nilai diagram interaksi *pier*.

No	P	M3	M2
1	-122184,62	0	0
2	-122184,62	17352,306	0
3	-122184,62	30682,486	0
4	-107193,25	40937,68	0
5	-91453,94	48240,55	0
6	-74838,05	52851,59	0
7	-65012,67	57712,72	0
8	-54731	60541,26	0
9	-36304,81	51889,08	0
10	-13874,165	32824,19	0
11	15195,6	0	0



Gambar 4.9: Diagram Interaksi *pier* di pemodelan *CSI bridge*.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Suatu bangunan (struktur) dengan luas penampang dan bentuk yang berbeda memiliki perilaku struktur yang berbeda pula, baik dari segi nilai perioda getar alami, maupun ketahanan struktur tersebut untuk menahan deformasi, hal ini dapat dibuktikan dari hasil analisis yang didapat sebagai berikut:
  - Nilai perioda getar
    - Model 1  $f_c'$  41,5 MPa : 0,69055 detik
    - Model 2  $f_c'$  41,5 MPa : 0,76333 detik
  - Nilai lendutan maksimum
    - Model 1  $f_c'$  41,5 MPa : -0,0287 m
    - Model 2  $f_c'$  41,5 MPa : -0,0318 m
  - Gaya geser maksimum yang terjadi arah Y (V3)
    - Model 1  $f_c'$  41,5 MPa : 182851,3 Mpa
    - Model 2  $f_c'$  41,5 MPa : 609504 Mpa
  - Gaya geser maksimum yang terjadi arah X (V2)
    - Model 1  $f_c'$  41,5 MPa : 3452246 Mpa
    - Model 2  $f_c'$  41,5 MPa : 3704451 Mpa
2. Pada studi ini model 1 diperlukan jumlah tendon sebanyak 32 tendon dengan maksimum 22 buah kawat untaian tiap tendon dan memiliki 544 *strand*. Model 2 diperlukan jumlah tendon sebanyak 30 tendon dengan maksimum 22 buah kawat untaian tiap tendon dan memiliki 520 *strand*.
3. Dimensi penampang pada studi ini pada setiap model berbeda, yakni jenis *single cell* dan *multi cell box girder* dengan masing-masing model

memiliki kuat tekan beton 41,5 Mpa, dan berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa model 1 (penampang *single cell*) lebih efisien dibandingkan dengan model 2 (penampang *multi cell*) dan model 1 lebih kuat menahan lendutan daripada model 2.

## 5.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat penulis sampaikan setelah melakukan pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat sebaiknya tanah yang ditinjau ada 3 jenis yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Disini penulis hanya meninjau pada 1 jenis tanah yaitu tanah sedang.
2. Desain *Fly Over* ini menggunakan bentuk *box girder* yang berbeda sebagai perbandingan analisis, penulis menyarankan dalam perencanaan yang nyata untuk dilakukan peninjauan lebih dalam lagi guna mendapat struktur yang lebih ekonomis.
3. Pada tugas akhir ini pemodelan dengan bentang kantilever menggunakan *spring* diujung pangkal jembatan analisisnya tidak akurat. Jadi, untuk kedepannya harus pemodelan satu bentang penuh atau dua bentang dengan sistem *discontinues*.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_(2004) Peraturan Menteri Perhubungan. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api* PM.60:2012.
- \_\_\_\_\_(2004) Rancangan Standar Nasional Indonesia. *Perancangan jembatan terhadap beban gempa* SNI 2833:2004.
- \_\_\_\_\_(2004) Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan struktur beton untuk jembatan* SNI T-12:2004.
- \_\_\_\_\_(2016) Standar Nasional Indonesia. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan* SNI 1725:2016.
- Bambang, S. dan Muntohar, A.S. (2007) *jembatan* Cetakan IV Edisi Pertama. Yogyakarta: Beta Offset.
- Budiadi, A. (2008) *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta: Andi.
- Hapsoro, S. (2009) *jalan rel*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ilham, N. (2008) *Perhitungan box girder prestress*. Yogyakarta.
- Iqbal, M. (2018) *Studi Perencanaan Fly Over Menggunakan Profil Box Girder dengan Perbandingan Kuat Tekan Beton Box Material*. Medan.
- Jatu, H.W. (2017) *Desain Struktur dan Metode Pelaksanaan Light Rail Transit LRT Jakarta dengan Prestress U-Shape Girder*. Surabaya.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010) *Perencanaan Teknik Jembatan*. Jakarta.
- Lin, T.Y, dan Burns, N.H. (1993) *Desain Struktur Beton Prategang* Jilid I Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, E.G. (2001) *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar* Jilid I Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.



# **LAMPIRAN**

## A. Perhitungan untuk *Section Properties* Model 1

### 1. Diketahui:

- Lebar = 3,7 m
- Tinggi = 0,25 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 2,275 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 3,7 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,925 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,925 \text{ m}^2 \times 2,275 \text{ m} \\ &= 2,104 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 3,7 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,0048 \text{ m}^4\end{aligned}$$

### 2. Diketahui:

- Lebar = 0,85 m
- Tinggi = 0,217 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 2,076 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,85 \text{ m} \times 0,217 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\ &= 0,184 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,184 \text{ m}^2 \times 2,076 \text{ m} \\ &= 0,383 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,85 \text{ m} \times 0,217^3 \text{ m} \times 2\end{aligned}$$

$$= 0,0005 \text{ m}^4$$

3. Diketahui:

- Lebar = 0,6 m
- Tinggi = 0,15 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 0,278 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,6 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\ &= 0,09 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,09 \text{ m}^2 \times 0,278 \text{ m} \\ &= 0,026 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,6 \text{ m} \times 0,15^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,0001 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

4. Diketahui:

- Lebar = 0,3 m
- Tinggi = 2,363 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 1,156 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,3 \text{ m} \times 2,363 \text{ m} \times 1 \times 2 \\ &= 1,418 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 1,418 \text{ m}^2 \times 1,156 \text{ m} \\ &= 1,639 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 0,3 \text{ m} \times 2,363^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,6597 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

5. Diketahui:

- Lebar = 3 m
- Tinggi = 0,25 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 2,172 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 3 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \times 2 \\ &= 1,5 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 1,5 \text{ m}^2 \times 2,172 \text{ m} \\ &= 3,258 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 3 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,0078 \text{ m}^4\end{aligned}$$

6. Diketahui:

- Lebar = 1,45 m
- Tinggi = 0,171 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 2,035 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 1,45 \text{ m} \times 0,171 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\ &= 0,248 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,248 \text{ m}^2 \times 2,035 \text{ m} \\ &= 0,505 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 1,45 \text{ m} \times 0,171^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,0004 \text{ m}^4\end{aligned}$$

7. Diketahui

- Lebar = 3,7 m
- Tinggi = 0,25 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 0,125 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 3,7 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,925 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,925 \text{ m}^2 \times 0,125 \text{ m} \\ &= 0,116 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 3,7 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,0048 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Letak Titik Berat Model 1

$$\text{Tinggi } \textit{box girder prestress} \text{ (H)} = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang } \textit{box girder prestress} \text{ (A)} = 5,29 \text{ m}^2$$

Letak titik berat:

- $y_b = \frac{\Sigma A x Y}{\Sigma A} = \frac{8,03}{5,29} = 1,518 \text{ m}$
- $y_a = H - Y_b = 2,4 - 1,518 = 0,882 \text{ m}$

## C. Perhitungan Momen Tahanan Model 1

- Momen inersia terhadap alas balok

$$\begin{aligned} I_b &= \Sigma A \times Y^2 + \Sigma I_o \\ &= 15,602 + 0,344 \\ &= 16,28 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Momen inersia terhadap titik berat balok

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - (A \times Y_b^2) \\ &= 16,28 - (5,29 \times 1,518^2) \end{aligned}$$

$$= 4,093 \text{ m}^4$$

- Tahanan momen sisi atas

$$\begin{aligned} W_a &= I_x/Y_a \\ &= 4,093/0,882 \\ &= 4,64 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_b &= I_x/Y_b \\ &= 4,093/1,518 \\ &= 2,696 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### D. Perhitungan untuk *Section Properties* Model 2

Penjabaran perhitungan:

1. Diketahui:

- Lebar = 6,5 m
- Tinggi = 0,3 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 2,250 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 6,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 1,95 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 1,95 \text{ m}^2 \times 2.250 \text{ m} \\ &= 4,388 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 6,5 \text{ m} \times 0,3^3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,0146 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

2. Diketahui:

- Lebar = 1,9 m
- Tinggi = 0,25 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang =

- Jarak terhadap alas y = 2,076 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 1,9 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \times 2 \\ &= 0,95 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,95 \text{ m}^2 \times 2,076 \text{ m} \\ &= 1,972 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 1,9 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,0049 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### 3. Diketahui:

- Lebar = 1,9 m
- Tinggi = 0,05 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 2,117 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 1,9 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\ &= 0,095 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,095 \text{ m}^2 \times 2,117 \text{ m} \\ &= 0,201 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 1,9 \text{ m} \times 0,05^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,000013 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### 4. Diketahui:

- Lebar = 0,3 m
- Tinggi = 2,1529 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang =

- Jarak terhadap alas y = 1,15 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,3 \text{ m} \times 2,1529 \text{ m} \times 1 \times 2 \\ &= 1,292 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 1,292 \text{ m}^2 \times 1,15 \text{ m} \\ &= 1,486 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 0,3 \text{ m} \times 2,1529^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,4989 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

5. Diketahui:

- Lebar = 1,85 m
- Tinggi = 0,3 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 1,15 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 1,85 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,555 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,555 \text{ m}^2 \times 1,15 \text{ m} \\ &= 0,638 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 1,85 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,0042 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

6. Diketahui:

- Lebar = 4 m
- Tinggi = 0,25 m
- *Shape factor* = 1
- Jumlah tampang =



- Jarak terhadap alas y = 0,124 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 4 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \\ &= 1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 1 \text{ m}^2 \times 0,124 \text{ m} \\ &= 0,124 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 4 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,0052 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

7a. Diketahui:

- Lebar = 0,2 m
- Tinggi = 0,2 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang = 4
- Jarak terhadap alas y = 1,983 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 0,5 \times 4 \\ &= 0,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,08 \text{ m}^2 \times 1,983 \text{ m} \\ &= 0,159 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,2 \text{ m} \times 0,2^3 \text{ m} \times 4 \\ &= 0,0002 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

7b. Diketahui:

- Lebar = 0,2 m
- Tinggi = 0,2 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang =

- Jarak terhadap alas y = 0,317 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 0,5 \times 4 \\ &= 0,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,08 \text{ m}^2 \times 0,317 \text{ m} \\ &= 0,025 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,2 \text{ m} \times 0,2^3 \text{ m} \times 4 \\ &= 0,0002 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

8 Diketahui:

- Lebar = 0,1488 m
- Tinggi = 0,25 m
- *Shape factor* = 0,5
- Jumlah tampang = 4
- Jarak terhadap alas y = 0,167 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{jumlah tampang} \\ &= 0,1488 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 0,5 \times 4 \\ &= 0,037 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,037 \text{ m}^2 \times 0,167 \text{ m} \\ &= 0,006 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,1488 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 4 \\ &= 0,0001 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### E. Perhitungan Letak Titik Berat Model 2

$$\text{Tinggi box girder prestress (H)} = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang box girder prestress (A)} = 6,039 \text{ m}^2$$

Letak titik berat:

- $y_b = \frac{\Sigma A x Y}{\Sigma A} = \frac{8,999}{6,039} = 1,49 \text{ m}$
- $y_a = H - Y_b = 2,4 - 1,49 = 0,91 \text{ m}$

#### F. Perhitungan Momen Tahanan

- Momen inersia terhadap alas balok

$$\begin{aligned} I_b &= \Sigma A x Y^2 + \Sigma I_o \\ &= 17.173 + 0,529 \\ &= 17,702 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Momen inersia terhadap titik berat balok

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - (A x Y_b^2) \\ &= 17,702 - (6,039 x 1,49^2) \\ &= 4,293 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Tahanan momen sisi atas

$$\begin{aligned} W_a &= I_x / Y_a \\ &= 4,293 / 0,91 \\ &= 4.718 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- $W_b = I_x / Y_b$   
 $= 4,293 / 1,49$   
 $= 2,881 \text{ m}^3$

Tabel L1: Rekapitulasi pembebanan akibat beban mati pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
M	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-1.41E-11	-1335.681	1.69E-13	3.65E-10	-7.85E-12	-3.53E-11
2.73571	-2.81E-11	-953.305	1.99E-11	2.77E-10	-2.30E-10	3131.006
2.73571	-5.03E-11	-953.305	2.72E-11	-2.14E-10	-2.01E-10	3131.006
5.47143	-4.91E-11	-570.928	4.96E-11	-1.05E-09	-5.00E-10	5215.939
5.47143	-3.83E-11	-570.928	2.98E-11	-1.24E-09	-5.43E-10	5215.939
8.20714	1.21E-11	-188.552	4.76E-11	-1.25E-09	-6.44E-10	6254.7988
8.20714	-1.44E-11	-188.552	4.46E-11	-1.31E-09	-6.36E-10	6254.7988
10.94286	-1.03E-10	193.825	3.27E-11	-1.81E-09	-3.87E-10	6247.5856
10.94286	-8.07E-11	193.825	3.33E-11	-1.76E-09	-4.72E-10	6247.5856
13.67857	-8.36E-11	576.202	1.88E-11	-1.79E-09	-7.71E-10	5194.2993
13.67857	-9.71E-11	576.202	2.87E-11	-1.65E-09	-7.49E-10	5194.2993
16.41429	-2.08E-10	958.578	4.31E-11	-1.66E-09	-1.11E-09	3094.9398
16.41429	-1.57E-10	958.578	3.56E-11	-1.64E-09	-1.15E-09	3094.9398
19.15	-1.81E-10	1340.955	4.23E-11	-1.63E-09	-1.24E-09	-50.4927
19.15	2.75E-11	-118.806	-2.21E-12	-6.37E-12	8.87E-12	-50.4927
20	1.20E-11	-4.71E-12	-1.42E-12	-7.11E-12	1.18E-11	-5.33E-12
20	-3.89E-12	4.30E-12	2.91E-13	1.20E-12	-1.01E-11	1.18E-12
20.85	2.75E-11	118.806	-3.30E-12	7.33E-12	-3.03E-11	-50.4927
20.85	-1.17E-10	-1340.955	-1.64E-11	-1.46E-09	4.49E-10	-50.4927
23.58571	-1.45E-10	-958.578	-1.80E-11	-1.45E-09	5.06E-10	3094.9398
23.58571	-1.20E-10	-958.578	-1.81E-11	-1.38E-09	4.49E-10	3094.9398
26.32143	-1.06E-10	-576.202	-1.82E-11	-1.40E-09	4.46E-10	5194.2993
26.32143	-1.43E-10	-576.202	-2.52E-11	-1.65E-09	2.99E-10	5194.2993
29.05714	-1.15E-10	-193.825	-2.83E-11	-1.58E-09	1.85E-10	6247.5856
29.05714	-1.37E-10	-193.825	-1.75E-11	-1.73E-09	3.06E-10	6247.5856
31.79286	9.27E-11	188.552	-1.89E-12	-1.85E-09	2.37E-10	6254.7988
31.79286	7.08E-11	188.552	3.15E-12	-1.81E-09	3.15E-10	6254.7988
34.52857	7.87E-11	570.928	6.94E-12	-1.61E-09	1.46E-10	5215.939
34.52857	9.88E-11	570.928	8.29E-12	-1.70E-09	1.15E-10	5215.939
37.26429	8.64E-12	953.305	6.10E-12	-1.28E-09	-2.81E-11	3131.006
37.26429	-5.71E-12	953.305	4.44E-12	-1.51E-09	-2.38E-11	3131.006
40	-1.80E-11	1335.681	-3.18E-14	-7.79E-10	1.34E-10	4.80E-11

Tabel L2: Rekapitulasi pembebanan akibat beban mati tambahan pada Model 1.

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
M	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	8.53E-13	-669.32	2.27E-13	2.23E-10	-1.94E-11	-1.13E-11
2.73571	5.10E-12	-535.18	1.16E-11	8.42E-11	-1.14E-10	1647.578
2.73571	-3.40E-11	-468.11	1.94E-11	-4.11E-11	-5.83E-11	1647.578
5.47143	-1.73E-11	-333.97	2.86E-11	-4.77E-10	-2.46E-10	2744.698
5.47143	-1.22E-11	-266.9	1.82E-11	-6.36E-10	-2.91E-10	2744.698
8.20714	1.42E-11	-132.75	2.39E-11	-6.37E-10	-3.29E-10	3291.361
8.20714	-2.39E-12	-65.683	2.11E-11	-6.21E-10	-3.96E-10	3291.361
10.94286	-6.16E-11	68.458	1.53E-11	-8.66E-10	-2.28E-10	3287.565
10.94286	-4.22E-11	135.529	1.41E-11	-9.03E-10	-2.70E-10	3287.565
13.67857	-3.28E-11	269.67	9.16E-12	-8.87E-10	-3.58E-10	2733.311
13.67857	-7.66E-11	336.74	1.35E-11	-8.55E-10	-4.11E-10	2733.311
16.41429	-8.56E-11	470.882	2.17E-11	-8.42E-10	-5.70E-10	1628.6
16.41429	-1.02E-10	537.952	1.76E-11	-8.34E-10	-6.27E-10	1628.6
19.15	-1.03E-10	672.093	2.09E-11	-8.40E-10	-6.71E-10	-26.5699
19.15	2.10E-11	-31.259	-2.68E-13	3.38E-12	2.06E-11	-26.5699
20	7.10E-12	-31.259	1.98E-12	6.94E-12	2.16E-11	-8.53E-12
20	-8.80E-12	31.259	-1.75E-12	-3.77E-12	2.27E-11	3.87E-12
20.85	4.02E-12	31.259	-1.67E-12	-3.16E-12	-3.38E-12	-26.5699
20.85	-5.79E-11	-672.09	-9.16E-12	-1.10E-10	2.68E-10	-26.5699
23.58571	-6.70E-11	-537.95	-1.10E-11	-1.12E-10	3.07E-10	1628.6
23.58571	-6.88E-11	-470.88	-1.06E-11	-4.91E-11	2.69E-10	1628.6
26.32143	-6.19E-11	-336.74	-8.98E-12	-6.57E-11	2.29E-10	2733.311
26.32143	-6.08E-11	-269.67	-1.28E-11	-2.06E-10	1.91E-10	2733.311
29.05714	-6.52E-11	-135.53	-1.19E-11	-1.59E-10	1.49E-10	3287.565
29.05714	-5.27E-11	-68.458	-3.84E-12	-3.02E-10	1.74E-10	3287.565
31.79286	4.53E-11	65.683	-9.68E-13	-3.88E-10	1.29E-10	3291.361
31.79286	3.44E-11	132.754	1.97E-12	-2.43E-10	1.50E-10	3291.361
34.52857	5.93E-11	266.895	3.18E-12	-2.52E-10	1.11E-10	2744.698
34.52857	3.83E-11	333.966	5.80E-12	-2.22E-10	4.75E-11	2744.698
37.26429	1.59E-11	468.107	2.75E-12	-6.14E-11	-2.74E-12	1647.578
37.26429	-1.67E-11	535.177	1.34E-12	-1.15E-10	7.65E-12	1647.578
40	-4.69E-12	669.318	-1.78E-14	1.66E-10	1.10E-11	1.74E-11

Tabel L3: Rekapitulasi pembebanan akibat beban angin pada kendaraan pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	6.07E-12	-1.51E-11	-3.078	66.4812	2.54E-11	-1.74E-12
2.73571	-1.35E-11	-1.54E-11	-15.388	57.7234	25.2589	4.17E-11
2.73571	-2.87E-11	-1.61E-11	-21.544	53.3444	25.2589	5.59E-11
5.47143	-2.94E-11	-3.79E-12	-33.854	44.5865	101.0358	9.80E-11
5.47143	-3.44E-11	6.76E-12	-40.01	40.2076	101.0358	9.72E-11
8.20714	-5.00E-11	3.86E-12	-52.321	31.4497	227.3305	1.02E-10
8.20714	-5.88E-11	8.16E-12	-58.476	27.0708	227.3305	1.02E-10
10.94286	-5.21E-11	2.00E-11	-70.787	18.3129	404.1432	6.09E-11
10.94286	-4.97E-11	2.14E-11	-76.942	13.934	404.1432	6.42E-11
13.67857	-5.76E-11	2.53E-11	-89.253	5.1761	631.4737	2.18E-11
13.67857	-6.44E-11	2.28E-11	-95.408	0.7971	631.4737	1.47E-11
16.41429	-9.21E-11	2.14E-11	-107.72	-7.9607	909.3221	-3.60E-11
16.41429	-9.71E-11	2.28E-11	-113.87	-12.34	909.3221	-3.33E-11
19.15	-9.83E-11	2.58E-11	-126.19	-21.098	1237.6884	-9.66E-11
19.15	-1.93E-12	1.83E-12	2.869	2.0408	2.4384	1.23E-12
20	-2.23E-12	2.21E-12	2.869	2.0408	-1.14E-12	-2.17E-12
20	-8.95E-13	-1.51E-13	-2.869	-2.0408	-6.08E-12	2.51E-12
20.85	-1.55E-12	6.40E-14	-2.869	-2.0408	2.4384	9.31E-13
20.85	3.40E-11	-1.86E-11	126.185	21.0976	1237.6884	-2.90E-10
23.58571	3.73E-11	-1.31E-11	113.874	12.3397	909.3221	-2.44E-10
23.58571	3.57E-11	-1.97E-11	107.719	7.9607	909.3221	-2.41E-10
26.32143	2.39E-11	-2.15E-11	95.408	-0.7971	631.4737	-1.82E-10
26.32143	1.98E-11	-1.14E-11	89.253	-5.1761	631.4737	-1.74E-10
29.05714	2.26E-11	-1.39E-11	76.942	-13.934	404.1432	-1.50E-10
29.05714	1.85E-11	-8.38E-12	70.787	-18.313	404.1432	-1.43E-10
31.79286	1.55E-11	-1.14E-11	58.476	-27.071	227.3305	-1.17E-10
31.79286	2.54E-11	-1.24E-11	52.321	-31.45	227.3305	-1.18E-10
34.52857	3.15E-11	-1.42E-11	40.01	-40.208	101.0358	-8.18E-11
34.52857	2.22E-11	-1.48E-11	33.854	-44.587	101.0358	-9.04E-11
37.26429	-4.95E-13	-2.03E-11	21.544	-53.344	25.2589	-5.99E-11
37.26429	-6.77E-12	-2.04E-11	15.388	-57.723	25.2589	-5.23E-11
40	1.24E-12	-2.59E-11	3.078	-66.481	-1.10E-11	-1.13E-12

Tabel L4: Rekapitulasi pembebanan akibat beban angin pada struktur pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-1.68E-12	-1.79E-11	-3.283	70.9133	-1.99E-11	-8.38E-12
2.73571	-1.15E-11	-1.71E-11	-16.414	61.5716	26.9429	4.54E-11
2.73571	-1.63E-11	-1.64E-11	-22.98	56.9007	26.9429	5.23E-11
5.47143	-2.77E-11	-2.37E-12	-36.111	47.559	107.7715	1.09E-10
5.47143	-4.07E-11	5.65E-12	-42.677	42.8881	107.7715	1.11E-10
8.20714	-4.89E-11	3.88E-12	-55.809	33.5464	242.4859	1.06E-10
8.20714	-5.04E-11	9.75E-12	-62.374	28.8755	242.4859	1.11E-10
10.94286	-5.09E-11	2.17E-11	-75.506	19.5338	431.086	6.19E-11
10.94286	-5.39E-11	2.35E-11	-82.071	14.8629	431.086	7.19E-11
13.67857	-7.02E-11	2.60E-11	-95.203	5.5212	673.5719	2.16E-11
13.67857	-7.25E-11	2.68E-11	-101.77	0.8503	673.5719	1.49E-11
16.41429	-9.77E-11	2.18E-11	-114.9	-8.4914	969.9436	-3.84E-11
16.41429	-1.01E-10	2.55E-11	-121.47	-13.162	969.9436	-3.37E-11
19.15	-1.00E-10	2.72E-11	-134.6	-22.504	1320.201	-1.04E-10
19.15	2.24E-12	2.54E-12	3.06	2.1769	2.601	3.66E-12
20	-1.49E-12	2.96E-12	3.06	2.1769	4.80E-12	-2.61E-12
20	5.02E-12	-2.53E-12	-3.06	-2.1769	-5.53E-12	-3.29E-12
20.85	-8.67E-13	-3.13E-12	-3.06	-2.1769	2.601	-5.33E-13
20.85	4.02E-11	-1.88E-11	134.597	22.5041	1320.201	-3.05E-10
23.58571	3.61E-11	-1.65E-11	121.466	13.1623	969.9436	-2.60E-10
23.58571	3.76E-11	-2.08E-11	114.9	8.4914	969.9436	-2.59E-10
26.32143	2.39E-11	-2.20E-11	101.769	-0.8503	673.5719	-1.91E-10
26.32143	2.33E-11	-1.30E-11	95.203	-5.5212	673.5719	-1.86E-10
29.05714	2.70E-11	-1.30E-11	82.071	-14.863	431.086	-1.60E-10
29.05714	1.72E-11	-1.21E-11	75.506	-19.534	431.086	-1.55E-10
31.79286	1.67E-11	-1.24E-11	62.374	-28.876	242.4859	-1.21E-10
31.79286	1.96E-11	-1.37E-11	55.809	-33.546	242.4859	-1.12E-10
34.52857	2.73E-11	-1.74E-11	42.677	-42.888	107.7715	-8.73E-11
34.52857	2.32E-11	-1.68E-11	36.111	-47.559	107.7715	-9.23E-11
37.26429	-7.14E-12	-2.23E-11	22.98	-56.901	26.9429	-6.68E-11
37.26429	-3.65E-12	-2.15E-11	16.414	-61.572	26.9429	-6.34E-11
40	8.11E-13	-2.96E-11	3.283	-70.913	-1.90E-11	9.78E-13

Tabel L5: Rekapitulasi pembebanan akibat beban angin pada pilar pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-5.14E-13	1.90E-12	-4.45E-13	-7.4817	1.34E-12	-1.41E-13
2.73571	6.87E-13	1.90E-12	1.27E-11	-7.4817	-2.10E-11	-5.45E-12
2.73571	2.14E-12	1.26E-12	1.77E-11	-7.4817	-2.04E-11	-5.76E-12
5.47143	1.41E-12	3.29E-13	1.68E-11	-7.4817	-7.72E-11	-1.02E-11
5.47143	1.94E-12	-7.69E-13	2.09E-11	-7.4817	-7.66E-11	-1.10E-11
8.20714	3.27E-12	-4.37E-13	1.45E-11	-7.4817	-1.22E-10	-9.66E-12
8.20714	3.18E-12	-1.04E-12	1.26E-11	-7.4817	-1.22E-10	-1.02E-11
10.94286	4.31E-12	-2.51E-12	1.60E-11	-7.4817	-1.63E-10	-6.29E-12
10.94286	4.61E-12	-2.58E-12	2.06E-11	-7.4817	-1.62E-10	-6.59E-12
13.67857	5.16E-12	-2.84E-12	2.12E-11	-7.4817	-2.18E-10	-4.09E-13
13.67857	5.75E-12	-2.50E-12	1.83E-11	-7.4817	-2.17E-10	-2.47E-14
16.41429	6.75E-12	-2.28E-12	1.25E-11	-7.4817	-2.59E-10	6.85E-12
16.41429	7.94E-12	-2.35E-12	1.52E-11	-7.4817	-2.59E-10	7.09E-12
19.15	7.85E-12	-3.18E-12	1.61E-11	-7.4817	-2.95E-10	1.44E-11
19.15	-6.23E-13	-4.33E-13	5.12E-13	-2.78E-12	-1.70E-12	2.79E-13
20	-7.90E-13	-3.55E-13	1.33E-12	7.17E-13	-1.38E-14	1.32E-12
20	3.19E-14	3.50E-13	3.55E-12	4.00E-12	-1.37E-13	-1.38E-13
20.85	-7.53E-14	3.51E-13	5.00E-12	7.49E-12	-1.98E-12	2.39E-15
20.85	-8.07E-13	1.21E-13	3.42E-11	7.4817	4.71E-10	-1.05E-12
23.58571	-1.39E-12	-5.04E-14	3.03E-11	7.4817	3.91E-10	-1.36E-12
23.58571	-1.64E-12	5.42E-13	3.94E-11	7.4817	3.93E-10	-2.23E-12
26.32143	4.50E-13	3.93E-13	3.38E-11	7.4817	3.00E-10	-4.70E-12
26.32143	9.36E-14	-5.45E-13	2.84E-11	7.4817	3.01E-10	-5.15E-12
29.05714	-2.90E-13	-2.89E-13	2.59E-11	7.4817	2.24E-10	-2.74E-12
29.05714	-2.10E-13	-7.30E-13	3.17E-11	7.4817	2.25E-10	-3.28E-12
31.79286	-3.84E-13	-7.11E-13	3.01E-11	7.4817	1.42E-10	-1.21E-12
31.79286	-1.26E-13	-5.05E-13	2.74E-11	7.4817	1.46E-10	-1.60E-12
34.52857	-2.11E-12	-2.31E-13	2.49E-11	7.4817	6.98E-11	4.15E-13
34.52857	-2.50E-12	1.11E-13	2.48E-11	7.4817	6.97E-11	8.15E-13
37.26429	5.99E-13	4.51E-13	1.04E-11	7.4817	1.19E-11	1.56E-12
37.26429	9.94E-13	4.27E-13	1.24E-11	7.4817	1.31E-11	1.73E-12
40	-5.42E-14	1.12E-12	-1.09E-12	7.4817	-1.33E-12	-6.35E-13



Tabel L6: Rekapitulasi pembebanan akibat beban pekerja pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	2.63E-14	-9.1	1.47E-15	2.59E-12	-8.18E-14	-1.31E-14
2.73571	9.10E-14	-7.276	2.00E-13	2.07E-12	-1.50E-12	22.4008
2.73571	-2.81E-13	-6.364	2.71E-13	-7.88E-13	-6.70E-13	22.4008
5.47143	-4.49E-13	-4.541	4.11E-13	-6.74E-12	-2.95E-12	37.3174
5.47143	-2.17E-13	-3.629	2.15E-13	-9.01E-12	-3.48E-12	37.3174
8.20714	-1.18E-13	-1.805	3.38E-13	-8.92E-12	-4.81E-12	44.75
8.20714	-6.53E-14	-0.893	2.58E-13	-7.97E-12	-4.72E-12	44.75
10.94286	-5.41E-13	0.931	2.08E-13	-1.24E-11	-3.02E-12	44.6984
10.94286	-6.18E-13	1.843	2.22E-13	-1.24E-11	-3.56E-12	44.6984
13.67857	-6.84E-13	3.666	1.56E-13	-1.21E-11	-4.29E-12	37.1626
13.67857	-9.99E-13	4.578	1.69E-13	-1.18E-11	-5.73E-12	37.1626
16.41429	-1.40E-12	6.402	2.63E-13	-1.09E-11	-7.56E-12	22.1428
16.41429	-1.17E-12	7.314	2.27E-13	-1.13E-11	-8.40E-12	22.1428
19.15	-1.29E-12	9.138	2.60E-13	-1.13E-11	-8.61E-12	-0.3613
19.15	9.51E-14	-0.425	-3.28E-15	8.97E-14	-5.30E-14	-0.3613
20	-6.25E-14	-0.425	2.12E-14	8.73E-14	-8.05E-14	3.53E-14
20	9.15E-14	0.425	-2.08E-14	2.19E-14	3.52E-14	-1.02E-13
20.85	3.53E-13	0.425	-3.06E-14	7.99E-15	9.57E-14	-0.3613
20.85	-8.32E-13	-9.138	-1.53E-13	-1.54E-12	3.43E-12	-0.3613
23.58571	-1.02E-12	-7.314	-1.31E-13	-1.32E-12	4.03E-12	22.1428
23.58571	-1.00E-12	-6.402	-1.29E-13	-9.52E-13	4.12E-12	22.1428
26.32143	-4.06E-13	-4.578	-1.28E-13	-9.62E-13	3.64E-12	37.1626
26.32143	-9.78E-13	-3.666	-1.44E-13	-2.79E-12	2.86E-12	37.1626
29.05714	-8.80E-13	-1.843	-1.66E-13	-2.31E-12	2.43E-12	44.6984
29.05714	-1.04E-12	-0.931	-9.43E-14	-4.35E-12	2.50E-12	44.6984
31.79286	4.70E-13	0.893	-3.22E-14	-3.83E-12	1.94E-12	44.75
31.79286	5.39E-13	1.805	6.59E-15	-4.33E-12	1.73E-12	44.75
34.52857	5.07E-13	3.629	4.72E-14	-3.03E-12	1.66E-12	37.3174
34.52857	5.93E-13	4.541	8.81E-14	-2.74E-12	8.80E-13	37.3174
37.26429	-3.53E-14	6.364	3.64E-14	-7.37E-13	-3.01E-13	22.4008
37.26429	-2.31E-13	7.276	1.42E-14	-2.04E-12	-4.45E-13	22.4008
40	-1.86E-13	9.1	-3.72E-14	2.60E-12	2.23E-13	1.62E-13

Tabel L7: Rekapitulasi pembebanan akibat friksi pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-1.86E-12	-244.76	-1.04E-13	8.88E-11	2.17E-12	-5.80E-12
2.73571	-8.31E-12	-195.71	3.60E-12	3.09E-11	-4.48E-11	602.4917
2.73571	-9.89E-12	-171.18	5.96E-12	1.32E-12	-2.93E-11	602.4917
5.47143	-8.09E-12	-122.13	9.23E-12	-1.80E-10	-7.96E-11	1003.6901
5.47143	-4.27E-12	-97.599	6.27E-12	-2.36E-10	-1.07E-10	1003.6901
8.20714	8.53E-14	-48.546	9.07E-12	-2.12E-10	-1.28E-10	1203.5953
8.20714	5.64E-12	-24.019	7.87E-12	-2.23E-10	-1.37E-10	1203.5953
10.94286	-2.05E-11	25.034	5.41E-12	-3.26E-10	-9.83E-11	1202.2073
10.94286	-1.44E-11	49.561	6.05E-12	-3.32E-10	-9.22E-11	1202.2073
13.67857	-1.94E-11	98.614	4.24E-12	-3.27E-10	-1.31E-10	999.526
13.67857	-2.47E-11	123.14	4.87E-12	-3.17E-10	-1.40E-10	999.526
16.41429	-3.90E-11	172.194	8.41E-12	-2.99E-10	-2.18E-10	595.5515
16.41429	-3.06E-11	196.72	6.72E-12	-3.08E-10	-2.23E-10	595.5515
19.15	-3.44E-11	245.773	7.48E-12	-3.08E-10	-2.26E-10	-9.7162
19.15	4.89E-12	-11.431	-2.91E-13	-1.99E-13	-5.39E-12	-9.7162
20	2.02E-13	-11.431	2.40E-13	-6.34E-13	2.88E-12	1.92E-12
20	5.35E-13	11.431	-8.88E-14	5.12E-13	1.33E-11	1.72E-12
20.85	5.41E-12	11.431	-9.02E-13	-8.53E-14	8.94E-12	-9.7162
20.85	-2.85E-11	-245.77	-3.36E-12	-3.94E-11	1.05E-10	-9.7162
23.58571	-2.52E-11	-196.72	-3.60E-12	-3.52E-11	1.12E-10	595.5515
23.58571	-2.42E-11	-172.19	-3.39E-12	-3.52E-11	9.68E-11	595.5515
26.32143	-2.15E-11	-123.14	-3.97E-12	-2.11E-11	1.08E-10	999.526
26.32143	-2.58E-11	-98.614	-5.05E-12	-8.04E-11	7.98E-11	999.526
29.05714	-2.40E-11	-49.561	-4.46E-12	-6.63E-11	5.92E-11	1202.2073
29.05714	-1.81E-11	-25.034	-3.30E-12	-1.03E-10	5.79E-11	1202.2073
31.79286	7.18E-12	24.019	-5.33E-15	-1.31E-10	6.18E-11	1203.5953
31.79286	1.40E-11	48.546	-2.03E-13	-1.06E-10	5.43E-11	1203.5953
34.52857	2.43E-11	97.599	1.66E-12	-9.45E-11	1.55E-11	1003.6901
34.52857	2.21E-11	122.126	1.65E-12	-1.04E-10	1.86E-11	1003.6901
37.26429	1.34E-12	171.179	1.93E-12	-1.14E-11	-1.10E-12	602.4917
37.26429	-4.14E-12	195.705	7.11E-15	-6.16E-11	-1.51E-11	602.4917
40	-5.06E-12	244.759	-7.54E-13	7.65E-11	1.06E-11	6.23E-12

Tabel L8: Rekapitulasi pembebanan akibat beban kereta api pada Model 1.

Layout Line Distance	Item Type	P	V2	V3	T	M2	M3
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	0	5.082	0	258.476	0	0
0	Min	0	-403.18	0	-258.476	0	0
2.73571	Max	0	18.664	0	361.86	0	923.9772
2.73571	Min	0	-337.75	0	-361.86	0	-13.9041
2.73571	Max	0	26.224	0	357.556	0	923.9772
2.73571	Min	0	-305.03	0	-357.556	0	-13.9041
5.47143	Max	0	47.351	0	347.201	0	1409.1
5.47143	Min	0	-243.91	0	-347.201	0	-27.8081
5.47143	Max	0	58.256	0	384.619	0	1409.1
5.47143	Min	0	-219.24	0	-384.619	0	-27.8081
8.20714	Max	0	91.37	0	564.706	0	1690.92
8.20714	Min	0	-175.62	0	-564.706	0	-41.7122
8.20714	Max	0	114.034	0	565.978	0	1690.92
8.20714	Min	0	-153.81	0	-565.978	0	-41.7122
10.94286	Max	0	153.811	0	566.957	0	1690.92
10.94286	Min	0	-110.19	0	-566.957	0	-55.6162
10.94286	Max	0	175.621	0	566.943	0	1690.92
10.94286	Min	0	-88.38	0	-566.943	0	-55.6162
13.67857	Max	0	224.125	0	614.096	0	1409.1
13.67857	Min	0	-58.256	0	-614.096	0	-69.5203
13.67857	Max	0	247.074	0	686.397	0	1409.1
13.67857	Min	0	-47.351	0	-686.397	0	-69.5203
16.41429	Max	0	305.031	0	793.915	0	923.9772
16.41429	Min	0	-25.54	0	-793.915	0	-83.4243
16.41429	Max	0	337.746	0	798.552	0	923.9772
16.41429	Min	0	-14.635	0	-798.552	0	-83.4243
19.15	Max	0	403.177	0	806.774	0	0
19.15	Min	0	0	0	-806.774	0	-97.3284
19.15	Max	0	0	0	146.937	0	0
19.15	Min	0	-114.5	0	-146.937	0	-97.3284
20	Max	0	0	0	146.937	0	0
20	Min	0	-114.5	0	-146.937	0	0
20	Max	0	0	0	0	0	0
20	Min	0	0	0	0	0	0
20.85	Max	0	0	0	0	0	0

Tabel L8: *lanjutan.*

20.85	Max	0	0	0	804.801	0	0
20.85	Min	0	-403.18	0	-804.801	0	0
23.58571	Max	0	14.635	0	798.554	0	923.9772
23.58571	Min	0	-337.75	0	-798.554	0	0
23.58571	Max	0	25.54	0	793.913	0	923.9772
23.58571	Min	0	-305.03	0	-793.913	0	0
26.32143	Max	0	47.351	0	685.129	0	1409.1
26.32143	Min	0	-243.91	0	-685.129	0	0
26.32143	Max	0	58.256	0	611.849	0	1409.1
26.32143	Min	0	-219.24	0	-611.849	0	0
29.05714	Max	0	88.38	0	566.943	0	1690.92
29.05714	Min	0	-175.62	0	-566.943	0	0
29.05714	Max	0	110.19	0	566.96	0	1690.92
29.05714	Min	0	-153.81	0	-566.96	0	0
31.79286	Max	0	153.811	0	565.632	0	1690.92
31.79286	Min	0	-110.19	0	-565.632	0	0
31.79286	Max	0	175.621	0	564.436	0	1690.92
31.79286	Min	0	-88.38	0	-564.436	0	0
34.52857	Max	0	219.242	0	382.616	0	1409.1
34.52857	Min	0	-58.256	0	-382.616	0	0
34.52857	Max	0	243.914	0	344.354	0	1409.1
34.52857	Min	0	-47.351	0	-344.354	0	0
37.26429	Max	0	305.031	0	357.491	0	923.9772
37.26429	Min	0	-25.54	0	-357.491	0	0
37.26429	Max	0	337.746	0	361.492	0	923.9772
37.26429	Min	0	-14.635	0	-361.492	0	0
40	Max	0	403.177	0	258.046	0	0
40	Min	0	0	0	-258.046	0	0

Tabel L9: Rekapitulasi pembebanan akibat rem pada Model 1.

Layout Line Distance	Item Type	P	V2	V3	T	M2	M3
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	5.884	5.494	0	2.7358	15.1013	4.1859
0	Min	-5.884	-5.494	0	-2.7358	-15.101	-4.1859
2.73571	Max	11.768	5.494	0	2.7358	30.2025	11.9781
2.73571	Min	-11.768	-5.494	0	-2.7358	-30.203	-11.978
2.73571	Max	11.768	5.494	0	2.7358	30.2025	11.9781
2.73571	Min	-11.768	-5.494	0	-2.7358	-30.203	-11.978
5.47143	Max	11.768	5.494	0	2.7358	30.2025	23.9562
5.47143	Min	-11.768	-5.494	0	-2.7358	-30.203	-23.956
5.47143	Max	14.241	5.494	0	2.7358	36.5506	20.5265
5.47143	Min	-14.241	-5.494	0	-2.7358	-36.551	-20.527
8.20714	Max	23.536	5.494	0	2.7358	60.405	29.3658
8.20714	Min	-23.536	-5.494	0	-2.7358	-60.405	-29.366
8.20714	Max	23.536	5.494	0	2.7358	60.405	29.3658
8.20714	Min	-23.536	-5.494	0	-2.7358	-60.405	-29.366
10.94286	Max	23.536	5.494	0	2.7358	60.405	43.3819
10.94286	Min	-23.536	-5.494	0	-2.7358	-60.405	-43.382
10.94286	Max	23.536	5.494	0	2.7358	60.405	43.3819
10.94286	Min	-23.536	-5.494	0	-2.7358	-60.405	-43.382
13.67857	Max	26.624	5.494	0	2.7358	68.3302	56.2165
13.67857	Min	-26.624	-5.494	0	-2.7358	-68.33	-56.217
13.67857	Max	30.649	5.494	0	2.7358	78.6606	53.3531
13.67857	Min	-30.649	-5.494	0	-2.7358	-78.661	-53.353
16.41429	Max	35.304	5.494	0	2.7358	90.6076	65.0729
16.41429	Min	-35.304	-5.494	0	-2.7358	-90.608	-65.073
16.41429	Max	35.304	5.494	0	2.7358	90.6076	65.0729
16.41429	Min	-35.304	-5.494	0	-2.7358	-90.608	-65.073
19.15	Max	35.304	5.494	0	2.7358	90.6076	80.1043
19.15	Min	-35.304	-5.494	0	-2.7358	-90.608	-80.104
19.15	Max	5.884	0	0	0	15.1013	4.1859
19.15	Min	-5.884	0	0	0	-15.101	-4.1859
20	Max	5.884	0	0	0	15.1013	4.1859
20	Min	-5.884	0	0	0	-15.101	-4.1859
20	Max	0	0	0	0	0	0
20	Min	0	0	0	0	0	0
20.85	Max	0	0	0	0	0	0
20.85	Min	0	0	0	0	0	0

Tabel L9: *lanjutan.*

20.85	Min	-35.304	-5.065	0	-2.5315	-90.608	-71.884
23.58571	Max	35.304	5.065	0	2.5315	90.6076	62.2128
23.58571	Min	-35.304	-5.065	0	-2.5315	-90.608	-62.213
23.58571	Max	35.304	5.065	0	2.5315	90.6076	62.2128
23.58571	Min	-35.304	-5.065	0	-2.5315	-90.608	-62.213
26.32143	Max	30.649	5.065	0	2.5315	78.6606	48.3558
26.32143	Min	-30.649	-5.065	0	-2.5315	-78.661	-48.356
26.32143	Max	26.624	5.065	0	2.5315	68.3302	50.3449
26.32143	Min	-26.624	-5.065	0	-2.5315	-68.33	-50.345
29.05714	Max	23.536	5.065	0	2.5315	60.405	42.8705
29.05714	Min	-23.536	-5.065	0	-2.5315	-60.405	-42.871
29.05714	Max	23.536	5.065	0	2.5315	60.405	42.8705
29.05714	Min	-23.536	-5.065	0	-2.5315	-60.405	-42.871
31.79286	Max	23.536	5.065	0	2.5315	60.405	29.0135
31.79286	Min	-23.536	-5.065	0	-2.5315	-60.405	-29.014
31.79286	Max	23.536	5.065	0	2.5315	60.405	29.0135
31.79286	Min	-23.536	-5.065	0	-2.5315	-60.405	-29.014
34.52857	Max	14.241	5.065	0	2.5315	36.5506	18.0662
34.52857	Min	-14.241	-5.065	0	-2.5315	-36.551	-18.066
34.52857	Max	11.768	5.065	0	2.5315	30.2025	20.7975
34.52857	Min	-11.768	-5.065	0	-2.5315	-30.203	-20.798
37.26429	Max	11.768	5.065	0	2.5315	30.2025	11.9781
37.26429	Min	-11.768	-5.065	0	-2.5315	-30.203	-11.978
37.26429	Max	11.768	5.065	0	2.5315	30.2025	11.9781
37.26429	Min	-11.768	-5.065	0	-2.5315	-30.203	-11.978
40	Max	5.884	5.065	0	2.5315	15.1013	4.1859
40	Min	-5.884	-5.065	0	-2.5315	-15.101	-4.1859

Tabel L10: Rekapitulasi pembebanan akibat beban gempa X pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	13.702	134.331	4.12E-06	3.88E-05	7.14E-06	0.4888
2.73571	Max	68.502	114.337	1.80E-05	1.13E-04	6.62E-05	337.472
2.73571	Max	95.899	104.795	2.15E-05	1.33E-04	7.90E-05	336.515
5.47143	Max	150.686	86.835	2.61E-05	1.27E-04	1.69E-04	594.558
5.47143	Max	178.074	78.536	2.55E-05	1.12E-04	1.79E-04	593.535
8.20714	Max	232.835	63.689	2.22E-05	8.61E-05	2.63E-04	778.638
8.20714	Max	260.206	57.341	1.72E-05	8.14E-05	2.73E-04	777.531
10.94286	Max	314.927	47.37	1.03E-05	6.27E-05	3.25E-04	898.786
10.94286	Max	342.276	43.949	7.68E-06	7.25E-05	3.32E-04	897.591
13.67857	Max	396.943	40.334	1.53E-05	1.64E-04	3.30E-04	966.428
13.67857	Max	424.261	39.918	2.18E-05	2.23E-04	3.34E-04	965.153
16.41429	Max	478.862	40.772	3.56E-05	3.24E-04	2.73E-04	994.954
16.41429	Max	506.143	41.545	4.27E-05	3.47E-04	2.78E-04	993.618
19.15	Max	560.667	42.749	5.47E-05	3.20E-04	1.62E-04	998.574
19.15	Max	12.695	1.249	1.69E-06	4.35E-05	2.40E-06	0.6346
20	Max	12.695	1.249	1.69E-06	4.35E-05	1.04E-06	0.6936
20	Max	12.695	1.249	2.35E-06	5.12E-05	5.80E-06	0.6936
20.85	Max	12.695	1.249	2.35E-06	5.12E-05	7.78E-06	0.6346
20.85	Max	560.667	42.749	6.11E-05	1.36E-04	1.50E-04	998.574
23.58571	Max	506.143	41.545	5.44E-05	2.48E-04	2.85E-04	993.617
23.58571	Max	478.862	40.772	4.70E-05	2.56E-04	2.94E-04	994.954
26.32143	Max	424.261	39.918	2.80E-05	2.00E-04	4.03E-04	965.153
26.32143	Max	396.943	40.334	1.74E-05	1.82E-04	4.10E-04	966.428
29.05714	Max	342.275	43.949	9.77E-06	2.22E-04	4.27E-04	897.591
29.05714	Max	314.927	47.37	1.91E-05	2.41E-04	4.29E-04	898.787
31.79286	Max	260.206	57.341	3.80E-05	2.04E-04	3.53E-04	777.531
31.79286	Max	232.835	63.689	4.48E-05	1.54E-04	3.53E-04	778.638
34.52857	Max	178.074	78.536	5.16E-05	9.38E-05	2.19E-04	593.535
34.52857	Max	150.686	86.835	5.07E-05	1.02E-04	2.15E-04	594.558
37.26429	Max	95.899	104.795	4.21E-05	1.06E-04	7.55E-05	336.515
37.26429	Max	68.502	114.337	3.35E-05	8.51E-05	6.93E-05	337.472
40	Max	13.702	134.331	8.44E-06	3.03E-05	2.24E-06	0.4888

Tabel L11: Rekapitulasi pembebanan akibat beban gempa Y pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	3.12E-06	7.05E-06	18.708	266.818	3.9053	1.65E-06
2.73571	Max	1.54E-05	1.56E-05	90.289	240.847	167.2157	2.53E-05
2.73571	Max	2.14E-05	1.34E-05	124.46	231.737	174.3783	2.28E-05
5.47143	Max	3.28E-05	1.48E-05	189.583	222.408	617.8349	4.07E-05
5.47143	Max	3.82E-05	2.40E-05	220.546	222.238	624.829	4.02E-05
8.20714	Max	4.85E-05	2.94E-05	279.307	229.769	1321.922	8.66E-05
8.20714	Max	5.34E-05	2.37E-05	307.124	236.636	1328.765	8.73E-05
10.94286	Max	6.25E-05	6.83E-06	359.687	254.121	2253.326	1.17E-04
10.94286	Max	6.66E-05	1.82E-05	384.462	263.794	2259.99	1.17E-04
13.67857	Max	7.41E-05	3.21E-05	431.089	283.01	3386.565	8.07E-05
13.67857	Max	7.74E-05	3.58E-05	452.984	291.939	3393.01	8.07E-05
16.41429	Max	8.30E-05	3.98E-05	494.076	307.406	4697.3	1.00E-04
16.41429	Max	8.53E-05	3.80E-05	513.339	313.751	4703.483	9.82E-05
19.15	Max	8.88E-05	3.10E-05	549.495	323.975	6163.041	1.58E-04
19.15	Max	5.91E-07	1.44E-06	8.509	6.9393	6.395	3.24E-06
20	Max	5.91E-07	1.44E-06	8.509	6.9393	3.1616	2.22E-06
20	Max	5.02E-07	1.33E-05	8.509	6.9393	3.1616	1.42E-06
20.85	Max	5.02E-07	1.33E-05	8.509	6.9393	6.395	1.27E-05
20.85	Max	1.14E-04	7.35E-05	549.495	323.975	6163.041	2.07E-04
23.58571	Max	1.11E-04	5.31E-05	513.339	313.751	4703.483	4.97E-05
23.58571	Max	1.09E-04	4.92E-05	494.076	307.405	4697.3	5.06E-05
26.32143	Max	1.03E-04	4.07E-05	452.984	291.94	3393.01	8.77E-05
26.32143	Max	9.83E-05	3.25E-05	431.089	283.011	3386.565	8.68E-05
29.05714	Max	8.84E-05	1.07E-05	384.462	263.795	2259.99	1.37E-04
29.05714	Max	8.28E-05	8.75E-06	359.687	254.122	2253.326	1.35E-04
31.79286	Max	7.04E-05	1.98E-05	307.124	236.636	1328.765	1.02E-04
31.79286	Max	6.36E-05	1.98E-05	279.307	229.769	1321.922	9.98E-05
34.52857	Max	4.94E-05	1.46E-05	220.546	222.238	624.829	5.65E-05
34.52857	Max	4.20E-05	1.23E-05	189.583	222.408	617.8349	5.47E-05
37.26429	Max	2.70E-05	1.19E-05	124.46	231.737	174.3783	2.04E-05
37.26429	Max	1.93E-05	1.01E-05	90.289	240.847	167.2157	1.88E-05
40	Max	3.86E-06	2.60E-06	18.708	266.818	3.9053	9.91E-07



Tabel L12: Rekapitulasi pembebanan akibat susut dan rangkai pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	5.09E-12	8.28E-10	3.93E-12	-2.49E-08	-2.10E-11	3.91E-13
2.73571	9.83E-11	8.63E-10	9.87E-12	-2.49E-08	-1.28E-10	-2.42E-09
2.73571	4.14E-11	8.51E-10	6.73E-12	-2.48E-08	-9.75E-11	-2.38E-09
5.47143	1.84E-10	8.59E-10	2.61E-11	-2.44E-08	-4.17E-10	-4.83E-09
5.47143	2.12E-10	8.95E-10	2.46E-11	-2.41E-08	-5.98E-10	-4.84E-09
8.20714	2.81E-10	8.90E-10	4.55E-11	-2.42E-08	-5.73E-10	-7.33E-09
8.20714	3.03E-10	9.24E-10	6.20E-11	-2.42E-08	-7.82E-10	-7.30E-09
10.94286	2.31E-10	6.78E-10	8.91E-11	-2.34E-08	-4.98E-10	-9.68E-09
10.94286	2.53E-10	8.48E-10	9.54E-11	-2.32E-08	-5.31E-10	-9.67E-09
13.67857	2.71E-10	5.84E-10	1.31E-10	-2.35E-08	-1.16E-09	-1.17E-08
13.67857	2.20E-10	6.60E-10	1.21E-10	-2.38E-08	-1.23E-09	-1.16E-08
16.41429	2.45E-10	5.50E-10	1.37E-10	-2.39E-08	-1.90E-09	-1.33E-08
16.41429	2.07E-10	3.84E-10	1.64E-10	-2.37E-08	-2.00E-09	-1.34E-08
19.15	3.40E-10	8.62E-11	1.80E-10	-2.33E-08	-2.52E-09	-1.46E-08
19.15	-1.78E-11	2.91E-11	-2.26E-11	2.36E-10	6.84E-11	-2.10E-11
20	-2.39E-11	-9.32E-12	-1.59E-11	2.09E-10	2.23E-11	-2.50E-11
20	1.71E-13	-1.15E-10	1.71E-12	-3.23E-10	8.21E-11	-4.43E-12
20.85	2.79E-11	-1.31E-10	2.06E-12	-2.17E-10	4.68E-11	1.17E-11
20.85	-7.28E-10	-1.82E-09	-2.64E-11	-9.33E-09	7.31E-10	-2.85E-08
23.58571	-5.88E-10	-1.55E-09	2.37E-11	-9.38E-09	6.08E-10	-2.41E-08
23.58571	-5.58E-10	-1.40E-09	3.26E-11	-9.94E-09	7.47E-10	-2.40E-08
26.32143	-4.26E-10	-1.63E-09	9.26E-12	-1.00E-08	5.13E-10	-2.01E-08
26.32143	-4.58E-10	-1.45E-09	4.26E-12	-9.10E-09	3.60E-10	-2.00E-08
29.05714	-4.45E-10	-1.49E-09	2.27E-11	-9.08E-09	1.10E-10	-1.58E-08
29.05714	-4.59E-10	-1.39E-09	-7.59E-12	-8.84E-09	2.81E-10	-1.58E-08
31.79286	-8.16E-11	-1.54E-09	3.17E-12	-8.74E-09	2.11E-10	-1.23E-08
31.79286	-6.98E-11	-1.46E-09	-4.97E-12	-8.86E-09	1.43E-10	-1.23E-08
34.52857	-2.16E-11	-1.43E-09	1.07E-11	-8.80E-09	9.29E-12	-8.29E-09
34.52857	2.15E-11	-1.52E-09	1.39E-11	-8.75E-09	9.27E-13	-8.33E-09
37.26429	-2.41E-11	-1.49E-09	6.28E-12	-8.94E-09	-5.07E-11	-4.17E-09
37.26429	-2.37E-11	-1.52E-09	-6.16E-13	-8.91E-09	4.86E-12	-4.16E-09
40	-5.56E-11	-1.50E-09	-2.30E-12	-8.99E-09	6.19E-11	3.77E-11

Tabel L13: Rekapitulasi pembebanan akibat temperatur pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-5.40E-12	-3.16E-10	1.95E-12	-1.05E-11	-1.15E-12	3.90E-13
2.73571	1.92E-11	-2.97E-10	-2.33E-12	-1.02E-11	-5.84E-12	8.50E-10
2.73571	3.05E-11	-3.09E-10	1.08E-12	3.18E-11	-9.16E-12	8.53E-10
5.47143	4.58E-11	-3.13E-10	-1.95E-12	1.36E-10	-2.48E-11	1.69E-09
5.47143	4.40E-11	-2.91E-10	6.03E-12	1.86E-10	-1.92E-11	1.68E-09
8.20714	5.66E-11	-3.08E-10	-1.88E-12	1.82E-10	-2.18E-11	2.51E-09
8.20714	5.31E-11	-2.83E-10	-4.21E-13	1.96E-10	-2.36E-11	2.52E-09
10.94286	6.95E-11	-3.21E-10	7.94E-12	3.06E-10	-8.21E-11	3.33E-09
10.94286	6.49E-11	-3.19E-10	7.38E-12	3.20E-10	-6.68E-11	3.32E-09
13.67857	7.25E-11	-3.35E-10	1.54E-11	3.17E-10	-4.37E-11	4.21E-09
13.67857	8.24E-11	-3.27E-10	1.50E-11	2.63E-10	-4.53E-11	4.20E-09
16.41429	1.03E-10	-3.27E-10	1.23E-11	2.65E-10	-2.75E-11	5.09E-09
16.41429	1.03E-10	-3.39E-10	1.07E-11	2.71E-10	2.34E-11	5.09E-09
19.15	8.85E-11	-3.36E-10	2.49E-12	2.68E-10	-3.53E-11	6.03E-09
19.15	-2.39E-11	8.90E-13	7.01E-13	1.42E-12	4.29E-12	1.63E-11
20	-1.42E-11	3.30E-12	1.79E-13	2.65E-12	3.80E-12	9.74E-12
20	1.96E-15	-7.84E-16	-1.25E-16	-4.93E-15	-6.61E-15	-2.64E-16
20.85	-1.92E-15	-7.56E-16	1.74E-17	-6.87E-15	-4.98E-15	-3.28E-15
20.85	6.25E-14	-6.66E-14	-1.01E-15	-1.56E-12	-7.62E-14	-1.21E-12
23.58571	5.71E-14	-6.77E-14	-1.12E-15	-1.55E-12	-7.87E-14	-1.04E-12
23.58571	5.61E-14	-6.21E-14	-9.19E-16	-1.56E-12	-7.03E-14	-1.04E-12
26.32143	4.16E-14	-6.89E-14	-4.83E-16	-1.56E-12	-6.57E-14	-8.84E-13
26.32143	4.47E-14	-6.52E-14	-3.56E-16	-1.55E-12	-5.47E-14	-8.87E-13
29.05714	3.74E-14	-6.56E-14	-4.35E-16	-1.55E-12	-4.59E-14	-7.14E-13
29.05714	3.93E-14	-6.24E-14	2.59E-16	-1.55E-12	-4.48E-14	-7.12E-13
31.79286	1.69E-14	-6.74E-14	-6.20E-16	-1.55E-12	-3.84E-14	-5.37E-13
31.79286	1.56E-14	-6.69E-14	-7.58E-16	-1.55E-12	-3.02E-14	-5.40E-13
34.52857	1.11E-14	-6.81E-14	-1.86E-15	-1.55E-12	-1.96E-14	-3.55E-13
34.52857	7.10E-15	-6.84E-14	-1.97E-15	-1.55E-12	-1.20E-14	-3.57E-13
37.26429	9.00E-15	-6.89E-14	-8.16E-16	-1.55E-12	1.55E-15	-1.82E-13
37.26429	1.42E-14	-6.89E-14	-4.50E-17	-1.55E-12	-1.42E-16	-1.83E-13
40	1.23E-15	-6.99E-14	-1.65E-17	-1.55E-12	-4.64E-15	-7.01E-16

Tabel L14: Rekapitulasi pembebanan akibat tumbukan pada Model 1.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-1.85E-14	6.78E-13	4.40E-13	-3.036	-6.96E-13	2.90E-14
2.73571	4.24E-13	6.55E-13	6.32E-12	-3.036	-9.98E-12	-1.38E-12
2.73571	6.00E-13	5.80E-13	9.37E-12	-3.036	-9.98E-12	-1.61E-12
5.47143	8.05E-13	1.20E-14	8.93E-12	-3.036	-4.29E-11	-4.30E-12
5.47143	1.08E-12	-3.45E-13	1.08E-11	-3.036	-4.22E-11	-4.26E-12
8.20714	1.94E-12	-1.64E-13	8.19E-12	-3.036	-6.56E-11	-4.05E-12
8.20714	1.65E-12	-5.10E-13	6.95E-12	-3.036	-6.52E-11	-4.17E-12
10.94286	2.21E-12	-1.15E-12	9.26E-12	-3.036	-9.01E-11	-2.16E-12
10.94286	2.88E-12	-1.22E-12	1.09E-11	-3.036	-8.87E-11	-2.51E-12
13.67857	2.60E-12	-1.39E-12	1.06E-11	-3.036	-1.18E-10	3.11E-13
13.67857	2.88E-12	-1.36E-12	9.87E-12	-3.036	-1.18E-10	6.25E-13
16.41429	3.51E-12	-1.16E-12	7.23E-12	-3.036	-1.42E-10	4.24E-12
16.41429	4.03E-12	-1.29E-12	7.74E-12	-3.036	-1.40E-10	4.10E-12
19.15	4.49E-12	-1.53E-12	8.69E-12	-3.036	-1.60E-10	7.76E-12
19.15	-1.19E-13	8.72E-15	-1.12E-13	-1.45E-12	-1.44E-12	2.99E-13
20	1.84E-13	1.90E-14	1.09E-13	6.49E-13	1.92E-13	6.58E-14
20	-1.35E-13	3.75E-14	1.53E-12	1.64E-12	8.87E-13	9.07E-14
20.85	2.69E-13	5.53E-14	2.41E-12	3.97E-12	7.50E-13	-2.79E-13
20.85	-4.60E-13	2.00E-15	1.56E-11	3.036	2.47E-10	-1.03E-12
23.58571	-4.21E-13	-1.85E-15	1.67E-11	3.036	2.04E-10	-1.36E-12
23.58571	-2.36E-13	8.74E-14	1.99E-11	3.036	2.05E-10	-1.23E-12
26.32143	1.50E-13	1.58E-13	1.68E-11	3.036	1.58E-10	-2.22E-12
26.32143	-2.48E-14	-1.89E-13	1.51E-11	3.036	1.58E-10	-2.39E-12
29.05714	-1.84E-13	-1.34E-13	1.32E-11	3.036	1.20E-10	-1.03E-12
29.05714	-5.64E-13	-2.84E-13	1.66E-11	3.036	1.19E-10	-1.22E-12
31.79286	-3.03E-13	-2.12E-13	1.58E-11	3.036	7.55E-11	-5.81E-13
31.79286	-4.87E-13	-1.78E-13	1.54E-11	3.036	7.50E-11	-9.16E-13
34.52857	-8.18E-13	-1.45E-13	1.29E-11	3.036	3.78E-11	1.50E-14
34.52857	-1.00E-12	-7.81E-14	1.34E-11	3.036	3.75E-11	4.31E-13
37.26429	4.89E-14	1.48E-13	3.95E-12	3.036	6.21E-12	9.50E-13
37.26429	3.38E-13	1.19E-13	6.26E-12	3.036	5.34E-12	8.67E-13
40	3.58E-15	5.42E-13	-9.69E-13	3.036	6.80E-14	-8.26E-14

Tabel L15: Rekapitulasi pembebanan akibat beban mati pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	1.00E-11	-1526.58	1.98E-11	-1.95E-09	5.34E-11	6.20E-12
2.73571	-4.95E-11	-1089.56	7.35E-11	-1.40E-09	3.07E-10	3578.506
2.73571	-2.78E-11	-1089.56	-1.01E-11	-1.35E-09	7.99E-11	3578.506
5.47143	-1.21E-10	-652.528	-3.44E-10	7.89E-10	5.01E-10	5961.428
5.47143	-1.27E-10	-652.528	-4.43E-10	2.48E-10	7.22E-10	5961.428
8.20714	-2.86E-10	-215.5	-7.16E-10	-5.16E-10	2.27E-09	7148.767
8.20714	-3.18E-10	-215.5	-7.58E-10	2.73E-12	2.33E-09	7148.767
10.94286	-4.49E-10	221.527	-1.24E-09	8.44E-10	5.04E-09	7140.523
10.94286	-4.18E-10	221.527	-1.26E-09	1.95E-10	5.06E-09	7140.523
13.67857	-4.25E-10	658.555	-1.65E-09	4.75E-10	9.01E-09	5936.695
13.67857	-4.59E-10	658.555	-1.52E-09	1.06E-09	8.93E-09	5936.695
16.41429	-4.15E-10	1095.583	-1.83E-09	1.99E-09	1.36E-08	3537.285
16.41429	-5.25E-10	1095.583	-1.89E-09	2.16E-09	1.36E-08	3537.285
19.15	-5.60E-10	1532.611	-1.97E-09	2.38E-09	1.85E-08	-57.7094
19.15	-1.74E-11	-135.787	-1.48E-11	5.51E-12	-1.23E-10	-57.7094
20	-6.48E-12	-4.31E-12	3.55E-14	1.41E-11	-6.60E-11	6.42E-12
20	4.82E-12	-1.44E-12	5.75E-12	9.49E-12	8.51E-12	7.21E-12
20.85	3.79E-12	135.787	8.77E-12	1.39E-11	-1.78E-11	-57.7094
20.85	1.86E-10	-1532.61	1.66E-09	-6.48E-09	1.66E-08	-57.7094
23.58571	2.56E-10	-1095.58	1.62E-09	-6.17E-09	1.24E-08	3537.285
23.58571	3.43E-10	-1095.58	1.58E-09	-6.15E-09	1.24E-08	3537.285
26.32143	3.74E-10	-658.555	1.34E-09	-6.14E-09	8.64E-09	5936.695
26.32143	3.64E-10	-658.555	1.27E-09	-5.73E-09	8.73E-09	5936.695
29.05714	2.93E-10	-221.527	1.24E-09	-3.63E-09	4.93E-09	7140.523
29.05714	2.51E-10	-221.527	1.39E-09	-2.89E-09	4.90E-09	7140.523
31.79286	6.75E-11	215.5	7.88E-10	-8.39E-10	2.47E-09	7148.767
31.79286	5.30E-11	215.5	8.85E-10	-1.15E-09	2.54E-09	7148.767
34.52857	1.43E-10	652.528	3.38E-10	-8.65E-11	8.81E-10	5961.428
34.52857	1.32E-10	652.528	3.29E-10	5.88E-10	1.07E-09	5961.428
37.26429	-9.01E-12	1089.556	1.24E-10	3.41E-10	4.45E-10	3578.506
37.26429	-2.92E-11	1089.556	2.18E-10	2.80E-10	3.81E-10	3578.506
40	-1.46E-11	1526.584	2.23E-11	1.93E-09	7.22E-11	6.64E-12

Tabel L16: Rekapitulasi pembebanan akibat beban mati tambahan pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	4.65E-12	-669.318	-3.38E-12	-1.00E-09	1.19E-11	-9.68E-12
2.73571	-3.00E-11	-535.177	3.12E-11	-8.15E-10	1.40E-10	1647.578
2.73571	-1.33E-11	-468.107	7.19E-12	-9.50E-10	8.66E-11	1647.578
5.47143	-4.40E-11	-333.966	-1.47E-10	1.81E-10	2.81E-10	2744.698
5.47143	-5.40E-11	-266.895	-1.98E-10	-4.60E-11	3.23E-10	2744.698
8.20714	-1.48E-10	-132.754	-3.27E-10	-4.36E-10	1.07E-09	3291.361
8.20714	-1.58E-10	-65.683	-3.65E-10	-2.12E-10	1.10E-09	3291.361
10.94286	-2.20E-10	68.458	-5.75E-10	7.25E-11	2.38E-09	3287.565
10.94286	-1.99E-10	135.529	-5.91E-10	-1.89E-10	2.42E-09	3287.565
13.67857	-2.04E-10	269.67	-7.67E-10	1.45E-11	4.21E-09	2733.311
13.67857	-2.02E-10	336.74	-7.00E-10	2.57E-10	4.25E-09	2733.311
16.41429	-2.01E-10	470.882	-8.51E-10	6.72E-10	6.36E-09	1628.6
16.41429	-2.20E-10	537.952	-8.78E-10	8.33E-10	6.37E-09	1628.6
19.15	-2.71E-10	672.093	-9.15E-10	8.61E-10	8.71E-09	-26.5699
19.15	1.31E-11	-31.259	-8.87E-12	-2.25E-12	-1.94E-11	-26.5699
20	1.48E-11	-31.259	-2.61E-12	2.75E-12	6.89E-13	-9.46E-12
20	-1.50E-12	31.259	2.66E-12	6.05E-12	2.23E-11	1.69E-12
20.85	-1.24E-11	31.259	5.91E-12	8.61E-12	-1.23E-11	-26.5699
20.85	8.85E-11	-672.093	7.73E-10	-2.74E-09	7.75E-09	-26.5699
23.58571	1.32E-10	-537.952	7.50E-10	-2.62E-09	5.75E-09	1628.6
23.58571	1.50E-10	-470.882	7.33E-10	-2.59E-09	5.76E-09	1628.6
26.32143	1.66E-10	-336.74	6.16E-10	-2.53E-09	4.04E-09	2733.311
26.32143	1.48E-10	-269.67	5.73E-10	-2.32E-09	4.06E-09	2733.311
29.05714	1.22E-10	-135.529	5.78E-10	-1.42E-09	2.28E-09	3287.565
29.05714	1.30E-10	-68.458	6.41E-10	-1.19E-09	2.29E-09	3287.565
31.79286	2.71E-11	65.683	3.70E-10	-1.12E-10	1.16E-09	3291.361
31.79286	2.52E-11	132.754	4.10E-10	-2.70E-10	1.18E-09	3291.361
34.52857	5.95E-11	266.895	1.43E-10	2.89E-10	3.96E-10	2744.698
34.52857	5.50E-11	333.966	1.29E-10	6.47E-10	4.93E-10	2744.698
37.26429	-1.51E-11	468.107	5.15E-11	3.97E-10	1.59E-10	1647.578
37.26429	-7.48E-12	535.177	9.97E-11	4.33E-10	1.79E-10	1647.578
40	5.61E-13	669.318	9.35E-12	1.09E-09	2.05E-11	2.80E-12

Tabel L17: Rekapitulasi pembebanan akibat beban angin pada struktur pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-2.97E-12	-2.56E-10	-3.283	64.3249	7.04E-12	-3.44E-12
2.73571	1.14E-11	-2.95E-10	-16.414	54.8864	26.9429	5.99E-10
2.73571	4.08E-12	-2.57E-10	-22.98	50.1671	26.9429	6.13E-10
5.47143	2.86E-11	-2.40E-10	-36.111	40.7285	107.7715	1.25E-09
5.47143	2.51E-11	-1.84E-10	-42.677	36.0093	107.7715	1.25E-09
8.20714	1.35E-12	-1.33E-10	-55.809	26.5707	242.4859	1.68E-09
8.20714	3.13E-12	-1.16E-10	-62.374	21.8514	242.4859	1.68E-09
10.94286	1.10E-11	-2.83E-11	-75.506	12.4129	431.086	1.86E-09
10.94286	2.43E-11	-2.03E-11	-82.071	7.6936	431.086	1.86E-09
13.67857	2.00E-11	7.51E-11	-95.203	-1.745	673.5719	1.76E-09
13.67857	1.53E-11	2.44E-11	-101.77	-6.4643	673.5719	1.76E-09
16.41429	9.44E-12	1.06E-10	-114.9	-15.903	969.9436	1.55E-09
16.41429	6.95E-12	1.19E-10	-121.47	-20.622	969.9436	1.56E-09
19.15	5.00E-12	1.66E-10	-134.6	-30.061	1320.201	1.17E-09
19.15	3.62E-12	1.53E-11	3.06	2.1995	2.601	9.88E-12
20	-2.13E-12	-6.63E-12	3.06	2.1995	4.29E-12	-3.27E-13
20	1.20E-12	-1.02E-12	-3.06	-2.1995	2.98E-13	-5.21E-12
20.85	-7.43E-12	-2.33E-11	-3.06	-2.1995	2.601	4.06E-12
20.85	-4.61E-11	-4.16E-10	134.597	30.0607	1320.201	-4.88E-09
23.58571	-3.26E-11	-3.86E-10	121.466	20.6221	969.9436	-3.81E-09
23.58571	-3.51E-11	-3.77E-10	114.9	15.9028	969.9436	-3.81E-09
26.32143	-3.17E-11	-2.97E-10	101.769	6.4643	673.5719	-2.93E-09
26.32143	-3.04E-11	-2.95E-10	95.203	1.745	673.5719	-2.93E-09
29.05714	-2.90E-11	-3.30E-10	82.071	-7.6936	431.086	-2.07E-09
29.05714	-3.53E-11	-3.69E-10	75.506	-12.413	431.086	-2.07E-09
31.79286	-2.01E-11	-2.67E-10	62.374	-21.851	242.4859	-1.31E-09
31.79286	-1.95E-11	-2.68E-10	55.809	-26.571	242.4859	-1.31E-09
34.52857	-6.02E-12	-1.67E-10	42.677	-36.009	107.7715	-7.68E-10
34.52857	7.16E-12	-1.73E-10	36.111	-40.729	107.7715	-7.76E-10
37.26429	1.17E-11	-1.34E-10	22.98	-50.167	26.9429	-3.59E-10
37.26429	2.47E-12	-1.38E-10	16.414	-54.886	26.9429	-3.58E-10
40	1.73E-12	-1.37E-10	3.283	-64.325	-1.42E-11	3.53E-12

Tabel L18: Rekapitulasi pembebanan akibat beban angin pada kendaraan pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	4.83E-13	-2.48E-10	-3.078	60.3046	9.53E-12	-4.45E-12
2.73571	8.70E-14	-2.80E-10	-15.388	51.456	25.2589	5.69E-10
2.73571	-5.99E-12	-2.50E-10	-21.544	47.0317	25.2589	5.75E-10
5.47143	1.46E-11	-2.25E-10	-33.854	38.183	101.0358	1.18E-09
5.47143	1.52E-11	-1.87E-10	-40.01	33.7587	101.0358	1.18E-09
8.20714	2.23E-12	-1.29E-10	-52.321	24.91	227.3305	1.57E-09
8.20714	1.02E-12	-1.12E-10	-58.476	20.4857	227.3305	1.57E-09
10.94286	2.53E-11	-2.98E-11	-70.787	11.6371	404.1432	1.75E-09
10.94286	2.11E-11	-1.35E-11	-76.942	7.2127	404.1432	1.75E-09
13.67857	1.93E-11	7.10E-11	-89.253	-1.6359	631.4737	1.64E-09
13.67857	1.76E-11	2.08E-11	-95.408	-6.0603	631.4737	1.64E-09
16.41429	1.35E-11	9.98E-11	-107.72	-14.909	909.3221	1.45E-09
16.41429	6.06E-12	1.16E-10	-113.87	-19.333	909.3221	1.46E-09
19.15	3.01E-12	1.53E-10	-126.19	-28.182	1237.688	1.10E-09
19.15	2.08E-12	1.66E-11	2.869	2.062	2.4384	1.23E-11
20	1.16E-12	-2.65E-12	2.869	2.062	-7.11E-13	-3.41E-13
20	6.32E-13	-9.85E-13	-2.869	-2.062	-6.19E-12	-1.52E-12
20.85	-4.29E-12	-2.61E-11	-2.869	-2.062	2.4384	5.20E-12
20.85	-4.37E-11	-3.95E-10	126.185	28.1819	1237.688	-4.58E-09
23.58571	-2.79E-11	-3.65E-10	113.874	19.3332	909.3221	-3.57E-09
23.58571	-2.82E-11	-3.50E-10	107.719	14.9089	909.3221	-3.57E-09
26.32143	-2.95E-11	-2.81E-10	95.408	6.0603	631.4737	-2.75E-09
26.32143	-2.62E-11	-2.69E-10	89.253	1.6359	631.4737	-2.74E-09
29.05714	-2.56E-11	-3.04E-10	76.942	-7.2127	404.1432	-1.95E-09
29.05714	-2.78E-11	-3.39E-10	70.787	-11.637	404.1432	-1.95E-09
31.79286	-2.10E-11	-2.43E-10	58.476	-20.486	227.3305	-1.23E-09
31.79286	-2.43E-11	-2.59E-10	52.321	-24.91	227.3305	-1.22E-09
34.52857	-2.06E-12	-1.55E-10	40.01	-33.759	101.0358	-7.23E-10
34.52857	6.22E-12	-1.66E-10	33.854	-38.183	101.0358	-7.31E-10
37.26429	6.13E-12	-1.23E-10	21.544	-47.032	25.2589	-3.40E-10
37.26429	-7.99E-13	-1.45E-10	15.388	-51.456	25.2589	-3.35E-10
40	7.97E-12	-1.18E-10	3.078	-60.305	4.03E-13	-4.88E-12

Tabel L19: Rekapitulasi pembebanan akibat beban angin pada pilar pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	1.25E-13	1.85E-11	-1.75E-12	-6.2562	4.00E-13	6.18E-13
2.73571	-8.39E-14	2.01E-11	-1.82E-11	-6.2562	2.63E-11	-4.20E-11
2.73571	-1.18E-12	1.86E-11	-1.99E-11	-6.2562	2.78E-11	-4.21E-11
5.47143	-2.07E-12	1.76E-11	-1.58E-11	-6.2562	7.48E-11	-8.73E-11
5.47143	-1.85E-12	1.29E-11	-1.22E-11	-6.2562	7.54E-11	-8.71E-11
8.20714	-7.28E-13	7.76E-12	-6.59E-12	-6.2562	1.00E-10	-1.14E-10
8.20714	-6.58E-13	6.78E-12	-1.39E-11	-6.2562	1.03E-10	-1.14E-10
10.94286	-1.37E-12	-1.35E-12	-3.38E-11	-6.2562	1.61E-10	-1.20E-10
10.94286	-1.67E-12	-3.02E-12	-3.52E-11	-6.2562	1.60E-10	-1.20E-10
13.67857	-8.23E-13	-1.34E-11	-2.89E-11	-6.2562	2.37E-10	-9.61E-11
13.67857	-7.81E-13	-6.26E-12	-3.25E-11	-6.2562	2.36E-10	-9.57E-11
16.41429	7.74E-14	-1.67E-11	-3.92E-11	-6.2562	3.26E-10	-6.11E-11
16.41429	8.49E-13	-1.80E-11	-2.95E-11	-6.2562	3.25E-10	-6.16E-11
19.15	-1.19E-13	-2.51E-11	-3.58E-11	-6.2562	4.12E-10	-2.72E-12
19.15	-6.49E-13	-1.91E-12	2.74E-12	5.00E-12	3.18E-12	-1.50E-12
20	1.82E-13	2.39E-12	3.13E-13	7.79E-13	-1.22E-12	-1.40E-13
20	2.56E-13	4.29E-13	4.05E-12	-2.48E-12	6.20E-13	4.83E-13
20.85	1.17E-12	3.17E-12	8.94E-13	-3.78E-12	-4.74E-12	-4.53E-13
20.85	5.30E-12	1.94E-11	1.23E-10	6.2562	1.07E-09	2.01E-11
23.58571	3.04E-12	1.39E-11	1.25E-10	6.2562	7.31E-10	-2.14E-11
23.58571	3.83E-12	1.36E-11	1.27E-10	6.2562	7.32E-10	-2.17E-11
26.32143	4.32E-12	3.51E-12	8.71E-11	6.2562	4.30E-10	-3.83E-11
26.32143	4.04E-12	1.92E-12	8.53E-11	6.2562	4.31E-10	-3.99E-11
29.05714	2.30E-12	6.82E-12	4.41E-11	6.2562	2.59E-10	-5.14E-11
29.05714	2.86E-12	1.06E-11	4.24E-11	6.2562	2.61E-10	-5.21E-11
31.79286	2.08E-12	7.97E-13	2.93E-11	6.2562	1.55E-10	-5.91E-11
31.79286	2.80E-12	2.62E-12	2.53E-11	6.2562	1.54E-10	-5.95E-11
34.52857	5.82E-13	-7.74E-12	2.44E-11	6.2562	8.28E-11	-4.73E-11
34.52857	4.31E-13	-6.36E-12	3.13E-11	6.2562	8.15E-11	-4.64E-11
37.26429	-8.28E-14	-9.72E-12	1.46E-11	6.2562	2.80E-11	-2.54E-11
37.26429	9.21E-13	-8.53E-12	1.56E-11	6.2562	2.76E-11	-2.52E-11
40	-8.93E-13	-9.27E-12	9.88E-13	6.2562	6.74E-13	2.76E-13



Tabel L20: Rekapitulasi pembebanan akibat beban pekerja pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	6.66E-14	-9.1	-3.75E-14	-1.41E-11	-1.70E-13	2.00E-13
2.73571	-6.08E-13	-7.276	5.54E-13	-1.20E-11	1.74E-12	22.4008
2.73571	-2.75E-13	-6.364	8.43E-14	-1.15E-11	9.07E-13	22.4008
5.47143	-9.36E-13	-4.541	-2.13E-12	2.66E-12	4.06E-12	37.3174
5.47143	-7.39E-13	-3.629	-2.93E-12	-1.25E-12	4.38E-12	37.3174
8.20714	-1.74E-12	-1.805	-4.47E-12	-6.73E-12	1.47E-11	44.75
8.20714	-1.75E-12	-0.893	-4.99E-12	-3.73E-12	1.50E-11	44.75
10.94286	-2.79E-12	0.931	-7.86E-12	1.86E-12	3.25E-11	44.6984
10.94286	-2.59E-12	1.843	-8.02E-12	-1.67E-12	3.24E-11	44.6984
13.67857	-2.80E-12	3.666	-1.03E-11	-7.36E-13	5.75E-11	37.1626
13.67857	-2.96E-12	4.578	-9.60E-12	3.91E-12	5.79E-11	37.1626
16.41429	-2.69E-12	6.402	-1.16E-11	9.51E-12	8.70E-11	22.1428
16.41429	-3.23E-12	7.314	-1.19E-11	1.08E-11	8.69E-11	22.1428
19.15	-3.63E-12	9.138	-1.25E-11	1.17E-11	1.19E-10	-0.3612
19.15	-1.92E-14	-0.425	-1.47E-13	-1.73E-14	-3.54E-13	-0.3612
20	1.35E-13	-0.425	-6.12E-14	5.55E-14	8.42E-14	-4.79E-14
20	-7.80E-15	0.425	3.69E-14	9.81E-14	2.17E-13	2.57E-14
20.85	-1.41E-13	0.425	6.93E-14	8.26E-14	-2.96E-13	-0.3612
20.85	1.08E-12	-9.138	1.04E-11	-3.72E-11	1.05E-10	-0.3613
23.58571	2.02E-12	-7.314	1.02E-11	-3.50E-11	7.82E-11	22.1428
23.58571	2.02E-12	-6.402	9.97E-12	-3.50E-11	7.79E-11	22.1428
26.32143	2.37E-12	-4.578	8.54E-12	-3.48E-11	5.52E-11	37.1626
26.32143	2.17E-12	-3.666	7.97E-12	-3.19E-11	5.50E-11	37.1626
29.05714	1.59E-12	-1.843	7.93E-12	-1.89E-11	3.14E-11	44.6984
29.05714	1.66E-12	-0.931	8.82E-12	-1.56E-11	3.08E-11	44.6984
31.79286	3.72E-13	0.893	4.85E-12	-1.42E-12	1.56E-11	44.75
31.79286	2.31E-13	1.805	5.69E-12	-4.92E-12	1.60E-11	44.75
34.52857	7.47E-13	3.629	2.08E-12	3.79E-12	5.81E-12	37.3174
34.52857	7.58E-13	4.541	1.69E-12	6.28E-12	6.29E-12	37.3174
37.26429	-3.04E-13	6.364	7.85E-13	5.16E-12	2.78E-12	22.4008
37.26429	4.55E-14	7.276	1.20E-12	4.88E-12	1.86E-12	22.4008
40	2.01E-13	9.1	-1.65E-13	1.62E-11	2.86E-14	-1.97E-13

Tabel L21: Rekapitulasi pembebanan akibat friksi pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-1.24E-12	-244.759	6.24E-12	-3.80E-10	2.34E-12	-3.37E-12
2.73571	-1.42E-11	-195.705	1.88E-11	-3.02E-10	5.46E-11	602.4917
2.73571	-5.59E-12	-171.179	-6.24E-13	-3.18E-10	2.38E-11	602.4917
5.47143	-2.72E-11	-122.126	-5.34E-11	2.96E-11	1.04E-10	1003.6901
5.47143	-2.13E-11	-97.599	-8.16E-11	-2.08E-11	1.16E-10	1003.6901
8.20714	-4.72E-11	-48.546	-1.18E-10	-1.16E-10	4.05E-10	1203.5953
8.20714	-5.30E-11	-24.019	-1.33E-10	-1.02E-10	4.07E-10	1203.5953
10.94286	-7.96E-11	25.034	-2.11E-10	3.15E-11	8.70E-10	1202.2073
10.94286	-7.20E-11	49.561	-2.09E-10	-6.66E-11	8.84E-10	1202.2073
13.67857	-7.55E-11	98.614	-2.81E-10	-7.12E-12	1.53E-09	999.526
13.67857	-7.76E-11	123.14	-2.58E-10	8.92E-11	1.55E-09	999.526
16.41429	-7.69E-11	172.194	-3.13E-10	2.44E-10	2.32E-09	595.5515
16.41429	-8.63E-11	196.72	-3.23E-10	3.03E-10	2.33E-09	595.5515
19.15	-9.28E-11	245.773	-3.35E-10	3.12E-10	3.19E-09	-9.7162
19.15	4.61E-12	-11.431	-3.79E-12	-4.55E-13	-1.31E-11	-9.7162
20	6.46E-12	-11.431	-1.05E-12	1.33E-12	-1.12E-12	-2.92E-12
20	1.64E-12	11.431	1.38E-12	1.10E-12	1.01E-11	1.04E-12
20.85	-1.06E-12	11.431	2.14E-12	2.94E-12	-1.31E-12	-9.7162
20.85	3.52E-11	-245.773	2.82E-10	-9.99E-10	2.82E-09	-9.7162
23.58571	4.56E-11	-196.72	2.74E-10	-9.36E-10	2.10E-09	595.5515
23.58571	5.95E-11	-172.194	2.69E-10	-9.59E-10	2.11E-09	595.5515
26.32143	6.23E-11	-123.14	2.27E-10	-9.27E-10	1.48E-09	999.526
26.32143	5.64E-11	-98.614	2.14E-10	-8.43E-10	1.48E-09	999.526
29.05714	4.69E-11	-49.561	2.14E-10	-5.10E-10	8.47E-10	1202.2073
29.05714	4.08E-11	-25.034	2.39E-10	-4.52E-10	8.38E-10	1202.2073
31.79286	1.13E-11	24.019	1.31E-10	-7.77E-11	4.23E-10	1203.5953
31.79286	1.02E-11	48.546	1.46E-10	-9.55E-11	4.29E-10	1203.5953
34.52857	1.93E-11	97.599	5.11E-11	8.72E-11	1.46E-10	1003.6901
34.52857	1.66E-11	122.126	5.55E-11	2.27E-10	1.82E-10	1003.6901
37.26429	-3.42E-12	171.179	2.36E-11	1.54E-10	6.43E-11	602.4917
37.26429	-2.01E-12	195.705	4.11E-11	1.65E-10	4.20E-11	602.4917
40	-2.99E-12	244.759	2.90E-12	4.67E-10	4.06E-12	-4.42E-12

Tabel L22: Rekapitulasi pembebanan akibat kereta api pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	12.427	20.536	2.644	11.5497	19.7328	13.0117
0	Min	-1.564	-207.3	-79.506	-28.485	-2.6248	-3.4464
2.73571	Max	16.635	34.46	5.783	101.491	269.092	400.186
2.73571	Min	-25.191	-163.73	-105.88	-18.1505	-14.3223	-31.8023
2.73571	Max	12.194	37.734	8.839	84.0302	233.138	341.917
2.73571	Min	-44.138	-145.64	-85.067	-21.2863	-14.5723	-22.2743
5.47143	Max	10.013	44.318	10.342	72.7407	365.211	508.008
5.47143	Min	-64.038	-119.87	-59.205	-30.6682	-21.8736	-36.6544
5.47143	Max	9.534	47.255	10.361	69.2414	350.728	486.628
5.47143	Min	-67.719	-110.22	-50.824	-40.0539	-18.3016	-21.9224
8.20714	Max	7.832	73.443	14.678	65.4553	415.463	568.804
8.20714	Min	-72.702	-93.826	-35.605	-64.1052	-20.1967	-29.6105
8.20714	Max	7.949	78.492	19.481	66.5586	418.236	576.474
8.20714	Min	-75.561	-86.485	-28.927	-73.252	-19.8893	-28.0108
10.94286	Max	17.54	87.286	29.914	71.9207	428.384	582.964
10.94286	Min	-81.699	-71.546	-18.02	-84.8044	-35.5425	-39.1433
10.94286	Max	27.137	94.71	35.946	74.6291	440.707	610.562
10.94286	Min	-87.387	-64.507	-13.238	-90.5391	-47.1655	-64.4623
13.67857	Max	49.176	116.675	50.855	75.4175	407.246	539.453
13.67857	Min	-98.257	-53.086	-8.292	-110.625	-73.7572	-81.1484
13.67857	Max	57.31	136.65	59.122	72.4851	433.092	597.047
13.67857	Min	-101.13	-49.988	-7.197	-121.912	-88.882	-122.511
16.41429	Max	60.8	179.925	86.546	58.3316	302.321	403.357
16.41429	Min	-92.051	-47.92	-8.291	-127.498	-119.201	-132.195
16.41429	Max	54.54	203.365	103.374	47.6286	314.319	460.654
16.41429	Min	-76.911	-52.011	-10.456	-121.485	-105.794	-157.175
19.15	Max	11.503	268.719	95.921	32.8788	27.9312	19.7252
19.15	Min	-24.625	-85.115	-12.484	-32.8806	-34.0335	-106.127
19.15	Max	0.147	22.823	31.559	36.618	16.056	21.4836
19.15	Min	-7.654	-75.803	-5.094	-92.9971	-7.5278	-80.9029
20	Max	0.147	22.823	31.559	36.618	0.4023	3.3863
20	Min	-7.654	-75.803	-5.094	-92.9971	-14.3492	-20.1051
20	Max	0.158	27.427	3.679	81.7755	0.4192	3.4007
20	Min	-6.504	-22.025	-31.118	-28.8253	-12.3717	-18.2789
20.85	Max	0.158	27.427	3.679	81.7755	16.0558	21.0397

Tabel L22: *lanjutan.*

20.85	Max	11.526	83.58	11.936	29.4316	27.9654	19.7948
20.85	Min	-21.571	-266.18	-95.681	-21.942	-29.6936	-68.5746
23.58571	Max	53.948	51.6	9.64	110.969	312.842	460.654
23.58571	Min	-74.33	-201.29	-103.38	-47.5617	-99.6986	-145.931
23.58571	Max	59.516	47.915	6.695	118.041	298.836	403.353
23.58571	Min	-88.96	-177.14	-86.547	-58.3315	-111.637	-116.414
26.32143	Max	55.136	49.985	6.899	115.211	428.266	594.189
26.32143	Min	-97.996	-132.43	-59.122	-72.4851	-79.0688	-109.68
26.32143	Max	46.814	52.906	8.163	105.247	402.398	539.468
26.32143	Min	-95.381	-111.83	-50.855	-75.4282	-63.8944	-66.1025
29.05714	Max	26.209	64.508	12.763	87.1447	440.815	610.674
29.05714	Min	-85.736	-93.298	-35.946	-74.795	-37.9848	-53.1919
29.05714	Max	16.673	71.546	17.684	82.0893	428.385	582.964
29.05714	Min	-81.011	-86.131	-29.608	-72.0039	-26.5663	-28.464
31.79286	Max	6.022	86.486	28.927	71.7668	418.237	576.475
31.79286	Min	-75.562	-76.421	-18.807	-66.5588	-13.2438	-19.1611
31.79286	Max	5.78	93.827	35.605	63.0726	415.464	568.806
31.79286	Min	-72.702	-71.498	-14.046	-65.4551	-11.5635	-18.1838
34.52857	Max	8.712	110.093	50.824	39.4216	350.733	486.63
34.52857	Min	-67.715	-45.683	-9.535	-69.166	-12.5615	-14.4168
34.52857	Max	9.958	119.736	59.227	30.1623	365.215	508.018
34.52857	Min	-64.033	-42.721	-9.134	-72.6325	-15.8276	-28.7086
37.26429	Max	12.194	145.643	85.068	20.576	233.127	341.92
37.26429	Min	-44.133	-35.985	-7.507	-83.9858	-11.9272	-18.5883
37.26429	Max	16.635	163.729	105.881	17.148	269.081	400.19
37.26429	Min	-25.192	-32.466	-4.344	-101.507	-11.0548	-27.5113
40	Max	12.26	206.727	79.495	28.3097	19.5324	12.8812
40	Min	-1.501	-18.597	-1.687	-11.354	-2.5436	-3.2848

Tabel L23: Rekapitulasi pembebanan akibat beban rem pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	5.884	5.438	0	3.0256	15.1013	4.085
0	Min	-5.884	-5.438	0	-3.0256	-15.101	-4.085
2.73571	Max	11.768	5.438	0	3.0256	30.2025	11.8545
2.73571	Min	-11.768	-5.438	0	-3.0256	-30.203	-11.855
2.73571	Max	11.768	5.438	0	3.0256	30.2025	11.8545
2.73571	Min	-11.768	-5.438	0	-3.0256	-30.203	-11.855
5.47143	Max	11.768	5.438	0	3.0256	30.2025	23.709
5.47143	Min	-11.768	-5.438	0	-3.0256	-30.203	-23.709
5.47143	Max	14.241	5.438	0	3.0256	36.5506	20.3146
5.47143	Min	-14.241	-5.438	0	-3.0256	-36.551	-20.315
8.20714	Max	23.536	5.438	0	3.0256	60.405	29.2405
8.20714	Min	-23.536	-5.438	0	-3.0256	-60.405	-29.241
8.20714	Max	23.536	5.438	0	3.0256	60.405	29.2405
8.20714	Min	-23.536	-5.438	0	-3.0256	-60.405	-29.241
10.94286	Max	23.536	5.438	0	3.0256	60.405	43.1697
10.94286	Min	-23.536	-5.438	0	-3.0256	-60.405	-43.17
10.94286	Max	23.536	5.438	0	3.0256	60.405	43.1697
10.94286	Min	-23.536	-5.438	0	-3.0256	-60.405	-43.17
13.67857	Max	26.624	5.438	0	3.0256	68.3302	55.9008
13.67857	Min	-26.624	-5.438	0	-3.0256	-68.33	-55.901
13.67857	Max	30.649	5.438	0	3.0256	78.6606	53.1069
13.67857	Min	-30.649	-5.438	0	-3.0256	-78.661	-53.107
16.41429	Max	35.304	5.438	0	3.0256	90.6076	64.749
16.41429	Min	-35.304	-5.438	0	-3.0256	-90.608	-64.749
16.41429	Max	35.304	5.438	0	3.0256	90.6076	64.749
16.41429	Min	-35.304	-5.438	0	-3.0256	-90.608	-64.749
19.15	Max	35.304	5.438	0	3.0256	90.6076	79.6234
19.15	Min	-35.304	-5.438	0	-3.0256	-90.608	-79.623
19.15	Max	5.884	0	0	0	15.1013	4.085
19.15	Min	-5.884	0	0	0	-15.101	-4.085
20	Max	5.884	0	0	0	15.1013	4.085
20	Min	-5.884	0	0	0	-15.101	-4.085
20	Max	0	0	0	0	0	0
20	Min	0	0	0	0	0	0
20.85	Max	0	0	0	0	0	0

Tabel L23: *lanjutan.*

20.85	Max	35.304	5.013	0	2.7967	90.6076	71.4879
20.85	Min	-35.304	-5.013	0	-2.7967	-90.608	-71.488
23.58571	Max	35.304	5.013	0	2.7967	90.6076	61.8605
23.58571	Min	-35.304	-5.013	0	-2.7967	-90.608	-61.861
23.58571	Max	35.304	5.013	0	2.7967	90.6076	61.8605
23.58571	Min	-35.304	-5.013	0	-2.7967	-90.608	-61.861
26.32143	Max	30.649	5.013	0	2.7967	78.6606	48.149
26.32143	Min	-30.649	-5.013	0	-2.7967	-78.661	-48.149
26.32143	Max	26.624	5.013	0	2.7967	68.3302	50.0898
26.32143	Min	-26.624	-5.013	0	-2.7967	-68.33	-50.09
29.05714	Max	23.536	5.013	0	2.7967	60.405	42.6047
29.05714	Min	-23.536	-5.013	0	-2.7967	-60.405	-42.605
29.05714	Max	23.536	5.013	0	2.7967	60.405	42.6047
29.05714	Min	-23.536	-5.013	0	-2.7967	-60.405	-42.605
31.79286	Max	23.536	5.013	0	2.7967	60.405	28.8919
31.79286	Min	-23.536	-5.013	0	-2.7967	-60.405	-28.892
31.79286	Max	23.536	5.013	0	2.7967	60.405	28.8919
31.79286	Min	-23.536	-5.013	0	-2.7967	-60.405	-28.892
34.52857	Max	14.241	5.013	0	2.7967	36.5506	17.8798
34.52857	Min	-14.241	-5.013	0	-2.7967	-36.551	-17.88
34.52857	Max	11.768	5.013	0	2.7967	30.2025	20.5829
34.52857	Min	-11.768	-5.013	0	-2.7967	-30.203	-20.583
37.26429	Max	11.768	5.013	0	2.7967	30.2025	11.8545
37.26429	Min	-11.768	-5.013	0	-2.7967	-30.203	-11.855
37.26429	Max	11.768	5.013	0	2.7967	30.2025	11.8545
37.26429	Min	-11.768	-5.013	0	-2.7967	-30.203	-11.855
40	Max	5.884	5.013	0	2.7967	15.1013	4.085
40	Min	-5.884	-5.013	0	-2.7967	-15.101	-4.085

Tabel L24: Rekapitulasi pembebanan akibat beban gempa X pada Model 2.

Layout Line Distance	ItemType	P	V2	V3	T	M2	M3
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	15.468	157.47	1.95E-06	1.34E-05	1.22E-06	0.2496
2.73571	Max	77.331	133.315	7.83E-06	7.98E-05	1.84E-05	396.983
2.73571	Max	108.259	121.755	1.05E-05	1.02E-04	2.06E-05	396.8087
5.47143	Max	170.104	99.89	1.36E-05	1.07E-04	5.53E-05	697.198
5.47143	Max	201.019	89.726	1.35E-05	8.70E-05	5.63E-05	696.9738
8.20714	Max	262.828	71.469	1.25E-05	2.70E-05	9.40E-05	908.3036
8.20714	Max	293.72	63.681	1.01E-05	3.73E-05	9.55E-05	907.9995
10.94286	Max	355.473	51.788	5.71E-06	7.71E-05	1.16E-04	1040.597
10.94286	Max	386.333	48.077	2.69E-06	7.83E-05	1.16E-04	1040.201
13.67857	Max	448.014	45.39	2.69E-06	5.42E-05	1.14E-04	1107.987
13.67857	Max	478.832	46.009	4.38E-06	4.82E-05	1.11E-04	1107.503
16.41429	Max	540.421	49.296	7.14E-06	6.12E-05	9.03E-05	1128.027
16.41429	Max	571.189	51.209	7.60E-06	5.95E-05	8.66E-05	1127.477
19.15	Max	632.671	54.165	8.22E-06	4.06E-05	6.41E-05	1120.42
19.15	Max	14.312	1.372	2.79E-06	7.60E-06	4.40E-06	1.0098
20	Max	14.312	1.372	2.79E-06	7.60E-06	2.04E-06	0.4246
20	Max	14.312	1.372	2.87E-06	2.50E-05	1.65E-06	0.4246
20.85	Max	14.312	1.372	2.87E-06	2.50E-05	2.18E-06	1.0098
20.85	Max	632.671	54.165	3.20E-05	1.71E-04	9.35E-05	1120.42
23.58571	Max	571.189	51.209	1.70E-05	2.22E-04	1.64E-04	1127.477
23.58571	Max	540.421	49.296	1.02E-05	2.12E-04	1.66E-04	1128.027
26.32143	Max	478.832	46.009	4.56E-06	1.16E-04	1.77E-04	1107.503
26.32143	Max	448.014	45.39	7.50E-06	4.64E-05	1.76E-04	1107.987
29.05714	Max	386.333	48.077	1.07E-05	1.01E-04	1.50E-04	1040.201
29.05714	Max	355.473	51.788	1.13E-05	1.47E-04	1.46E-04	1040.597
31.79286	Max	293.72	63.681	1.12E-05	1.63E-04	1.08E-04	907.9998
31.79286	Max	262.828	71.469	1.08E-05	1.34E-04	1.04E-04	908.3038
34.52857	Max	201.019	89.726	1.11E-05	3.95E-05	6.69E-05	696.974
34.52857	Max	170.104	99.89	1.10E-05	2.52E-05	6.38E-05	697.1982
37.26429	Max	108.259	121.755	9.12E-06	7.43E-05	2.97E-05	396.8088
37.26429	Max	77.331	133.315	7.34E-06	7.40E-05	2.49E-05	396.9831
40	Max	15.468	157.47	2.27E-06	2.38E-05	3.56E-06	0.2496

Tabel L25: Rekapitulasi pembebanan akibat beban gempa Y pada Model 2.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	1.54E-06	3.14E-06	22.131	244.825	5.4077	5.90E-07
2.73571	Max	6.38E-06	1.32E-05	106.216	220.811	200.9177	2.15E-05
2.73571	Max	8.20E-06	1.53E-05	146.041	214.003	210.948	2.60E-05
5.47143	Max	1.16E-05	2.19E-05	221.278	212.441	732.7974	8.09E-05
5.47143	Max	1.43E-05	2.14E-05	256.704	217.586	742.5927	8.29E-05
8.20714	Max	1.85E-05	1.66E-05	323.216	237.579	1554.479	1.33E-04
8.20714	Max	1.77E-05	9.27E-06	354.327	251.166	1564.065	1.34E-04
10.94286	Max	1.94E-05	1.84E-05	412.337	282.371	2630.043	1.31E-04
10.94286	Max	2.02E-05	2.73E-05	439.276	298.914	2639.384	1.30E-04
13.67857	Max	2.29E-05	4.06E-05	489.146	331.734	3924.423	6.16E-05
13.67857	Max	2.43E-05	3.71E-05	512.14	347.349	3933.469	6.09E-05
16.41429	Max	2.72E-05	1.91E-05	554.444	375.769	5404.042	7.69E-05
16.41429	Max	2.90E-05	8.83E-06	573.855	388.281	5412.742	7.80E-05
19.15	Max	3.24E-05	3.09E-05	609.504	409.984	7037.864	5.50E-05
19.15	Max	5.64E-07	1.00E-05	9.062	7.7805	7.683	8.42E-06
20	Max	5.64E-07	1.00E-05	9.062	7.7805	4.4389	3.88E-07
20	Max	5.49E-07	4.49E-06	9.062	7.7805	4.4389	1.11E-06
20.85	Max	5.49E-07	4.49E-06	9.062	7.7805	7.6829	4.71E-06
20.85	Max	3.49E-05	1.58E-05	609.504	409.984	7037.864	5.94E-05
23.58571	Max	3.51E-05	1.43E-05	573.855	388.281	5412.742	7.05E-05
23.58571	Max	3.45E-05	1.22E-05	554.444	375.769	5404.042	7.17E-05
26.32143	Max	3.44E-05	8.81E-06	512.14	347.349	3933.469	7.68E-05
26.32143	Max	3.46E-05	8.59E-06	489.146	331.734	3924.423	7.98E-05
29.05714	Max	3.49E-05	1.49E-05	439.276	298.914	2639.384	5.48E-05
29.05714	Max	3.61E-05	2.01E-05	412.337	282.372	2630.043	5.50E-05
31.79286	Max	3.05E-05	2.01E-05	354.327	251.166	1564.065	3.26E-05
31.79286	Max	2.95E-05	1.65E-05	323.216	237.58	1554.479	3.33E-05
34.52857	Max	2.35E-05	7.09E-06	256.704	217.586	742.5927	5.37E-05
34.52857	Max	2.09E-05	5.43E-06	221.278	212.441	732.7974	5.43E-05
37.26429	Max	1.42E-05	1.50E-05	146.041	214.003	210.948	2.79E-05
37.26429	Max	7.37E-06	1.58E-05	106.216	220.811	200.9177	2.81E-05
40	Max	1.61E-06	4.91E-06	22.131	244.825	5.4077	5.59E-07



Tabel L26: Rekapitulasi pembebanan akibat susut dan rangkai pada Model 2.

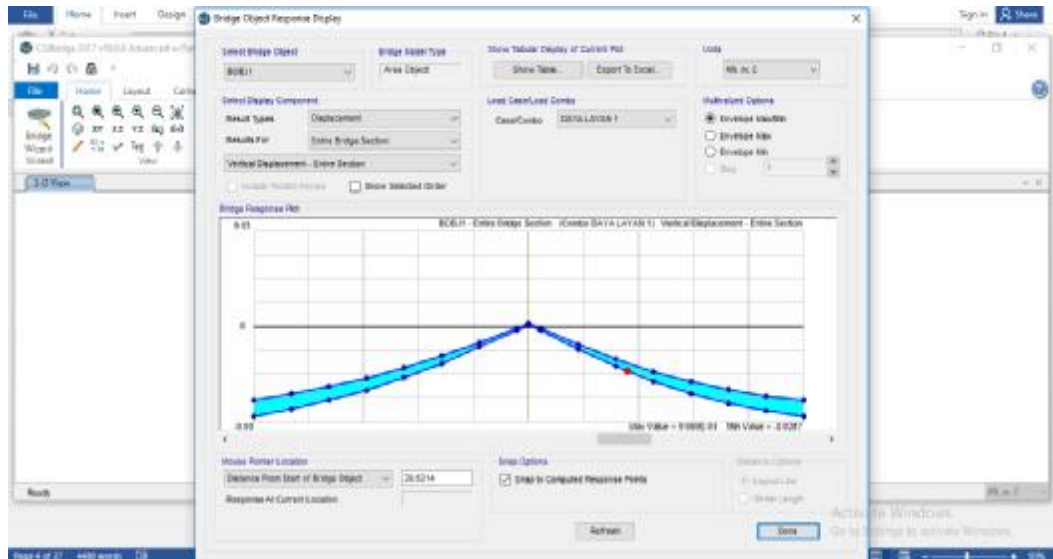
<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	1.66E-11	1.02E-09	3.53E-14	-1.70E-08	1.39E-11	-8.10E-12
2.73571	-9.77E-11	8.44E-10	-8.24E-11	-1.71E-08	8.23E-11	-2.56E-09
2.73571	-6.34E-11	8.33E-10	-7.08E-11	-1.71E-08	-1.12E-10	-2.58E-09
5.47143	-7.04E-11	8.83E-10	1.07E-11	-1.78E-08	-2.42E-10	-4.68E-09
5.47143	-4.47E-11	6.67E-10	8.71E-11	-1.78E-08	-1.49E-10	-4.70E-09
8.20714	-2.12E-10	-5.09E-11	2.65E-10	-1.71E-08	-6.99E-10	-5.85E-09
8.20714	-2.36E-10	-1.04E-09	3.15E-10	-1.76E-08	-7.44E-10	-5.81E-09
10.94286	-4.80E-10	-3.88E-10	7.54E-10	-1.82E-08	-2.32E-09	-3.05E-09
10.94286	-4.44E-10	-7.95E-10	7.57E-10	-1.76E-08	-2.17E-09	-3.09E-09
13.67857	-3.58E-10	4.57E-10	1.51E-09	-1.81E-08	-5.41E-09	-2.73E-09
13.67857	-3.99E-10	9.29E-10	1.16E-09	-1.95E-08	-5.41E-09	-2.76E-09
16.41429	-3.81E-10	-1.33E-09	2.24E-09	-2.31E-08	-1.01E-08	-2.28E-09
16.41429	-4.95E-10	-2.24E-09	2.55E-09	-2.43E-08	-1.01E-08	-2.24E-09
19.15	-4.53E-10	-2.59E-09	3.55E-09	-2.65E-08	-1.84E-08	4.17E-09
19.15	-6.82E-12	-3.82E-10	3.17E-10	7.14E-10	1.82E-10	-3.82E-10
20	7.62E-12	-2.65E-10	-5.63E-11	-3.38E-10	-3.26E-11	-1.29E-11
20	3.16E-11	2.98E-10	-2.61E-11	-1.12E-10	2.87E-11	-3.37E-11
20.85	3.07E-11	3.82E-10	-2.07E-10	-8.38E-10	-7.71E-11	-1.57E-10
20.85	3.67E-11	-6.46E-09	-2.77E-09	3.11E-08	-1.59E-08	-5.82E-08
23.58571	2.88E-10	-5.41E-09	-2.16E-09	2.96E-08	-9.15E-09	-4.24E-08
23.58571	2.80E-10	-4.77E-09	-2.02E-09	2.96E-08	-9.07E-09	-4.23E-08
26.32143	2.51E-10	-3.34E-09	-1.13E-09	2.92E-08	-5.17E-09	-3.11E-08
26.32143	2.34E-10	-3.44E-09	-9.95E-10	2.80E-08	-5.12E-09	-3.11E-08
29.05714	9.61E-11	-3.07E-09	-9.68E-10	2.45E-08	-2.63E-09	-2.25E-08
29.05714	6.83E-11	-3.15E-09	-1.21E-09	2.39E-08	-2.66E-09	-2.25E-08
31.79286	5.70E-11	-2.14E-09	-4.30E-10	2.12E-08	-6.91E-10	-1.62E-08
31.79286	3.61E-11	-2.06E-09	-4.81E-10	2.13E-08	-5.79E-10	-1.61E-08
34.52857	1.37E-10	-2.23E-09	-8.41E-11	2.09E-08	-1.46E-10	-1.01E-08
34.52857	1.31E-10	-1.83E-09	-6.08E-11	2.05E-08	7.61E-11	-1.02E-08
37.26429	2.17E-11	-1.87E-09	-2.16E-12	2.06E-08	3.69E-10	-5.16E-09
37.26429	3.33E-11	-1.99E-09	-2.20E-11	2.06E-08	1.78E-10	-5.17E-09
40	-2.05E-12	-1.86E-09	-2.53E-12	2.04E-08	-9.00E-12	-2.77E-12

Tabel L27: Rekapitulasi pembebanan akibat temperature pada Model 2.

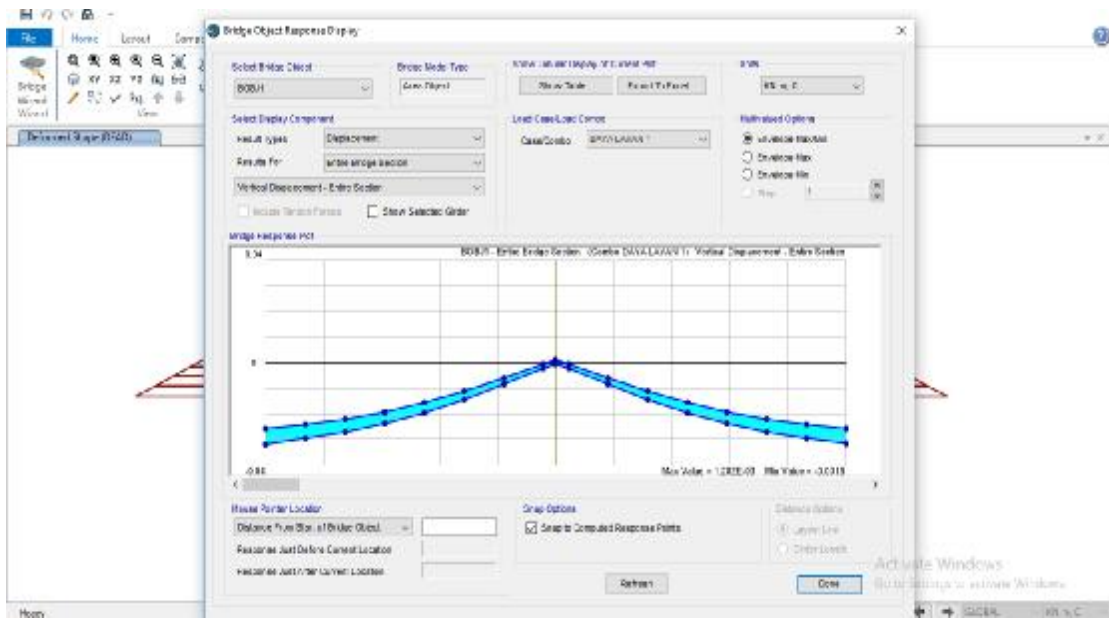
<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-2.46E-12	3.54E-10	-3.05E-12	-0.267	6.46E-12	-5.49E-12
2.73571	-5.04E-12	2.95E-10	-2.52E-11	-0.267	2.00E-11	-8.94E-10
2.73571	-2.86E-12	2.86E-10	-2.05E-11	-0.267	1.85E-13	-8.95E-10
5.47143	4.10E-12	2.98E-10	9.21E-12	-0.267	-5.14E-12	-1.64E-09
5.47143	5.42E-12	2.27E-10	2.17E-11	-0.267	-4.96E-12	-1.64E-09
8.20714	2.02E-11	9.70E-11	6.82E-11	-0.267	-1.53E-10	-2.19E-09
8.20714	2.35E-11	-1.11E-10	8.09E-11	-0.267	-1.57E-10	-2.19E-09
10.94286	3.90E-11	-3.19E-12	1.65E-10	-0.267	-4.88E-10	-1.90E-09
10.94286	3.07E-11	-7.30E-11	1.74E-10	-0.267	-4.96E-10	-1.90E-09
13.67857	4.28E-11	1.00E-10	2.65E-10	-0.267	-1.10E-09	-1.97E-09
13.67857	3.81E-11	1.50E-10	2.31E-10	-0.267	-1.08E-09	-1.97E-09
16.41429	2.89E-11	-3.12E-11	3.10E-10	-0.267	-1.84E-09	-2.14E-09
16.41429	5.84E-11	-8.89E-11	3.24E-10	-0.267	-1.85E-09	-2.16E-09
19.15	7.66E-11	-8.60E-11	3.40E-10	-0.267	-2.65E-09	-1.94E-09
19.15	3.13E-13	8.26E-12	3.45E-12	-7.45E-12	2.39E-11	5.72E-12
20	-5.85E-12	6.21E-12	4.91E-14	2.76E-12	8.54E-12	1.07E-12
20	8.60E-13	-1.52E-12	-2.31E-12	-7.30E-12	-3.20E-11	-4.16E-12
20.85	-1.81E-12	-1.25E-12	-9.54E-13	-2.43E-12	1.40E-11	-2.79E-12
20.85	1.80E-11	9.02E-10	-2.89E-10	0.267	-2.59E-09	2.25E-08
23.58571	-1.90E-11	9.14E-10	-2.88E-10	0.267	-1.88E-09	2.00E-08
23.58571	-3.14E-11	9.69E-10	-2.73E-10	0.267	-1.88E-09	2.00E-08
26.32143	-4.11E-11	1.11E-09	-2.18E-10	0.267	-1.29E-09	1.72E-08
26.32143	-2.99E-11	1.07E-09	-1.97E-10	0.267	-1.29E-09	1.72E-08
29.05714	-1.51E-11	1.13E-09	-2.06E-10	0.267	-6.61E-10	1.42E-08
29.05714	-1.59E-11	1.11E-09	-2.43E-10	0.267	-6.59E-10	1.42E-08
31.79286	1.12E-11	1.27E-09	-1.25E-10	0.267	-2.59E-10	1.08E-08
31.79286	1.16E-11	1.27E-09	-1.37E-10	0.267	-2.68E-10	1.08E-08
34.52857	1.28E-11	1.26E-09	-4.03E-11	0.267	-6.51E-11	7.35E-09
34.52857	1.06E-11	1.35E-09	-3.61E-11	0.267	-6.67E-11	7.35E-09
37.26429	1.15E-11	1.34E-09	-1.49E-11	0.267	2.41E-11	3.64E-09
37.26429	1.52E-11	1.30E-09	-1.54E-11	0.267	1.47E-11	3.64E-09
40	5.79E-12	1.34E-09	2.39E-13	0.267	-3.66E-12	2.40E-12

Tabel L28: Rekapitulasi pembebanan akibat tumbukan kendaraan pada Model 2.

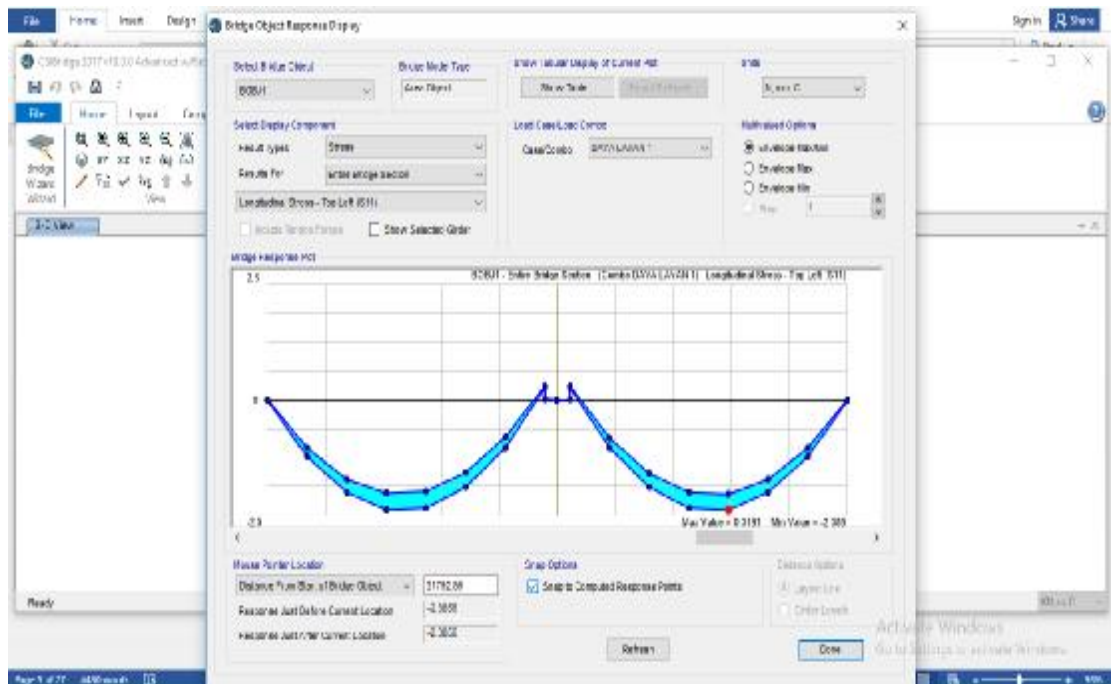
<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-1.31E-13	1.01E-11	-4.98E-13	-2.5387	-4.80E-14	8.47E-14
2.73571	3.10E-13	1.10E-11	-8.25E-12	-2.5387	1.42E-11	-2.36E-11
2.73571	-2.95E-13	1.01E-11	-1.14E-11	-2.5387	1.37E-11	-2.36E-11
5.47143	-1.06E-12	8.91E-12	-8.17E-12	-2.5387	3.92E-11	-4.79E-11
5.47143	-8.78E-13	7.31E-12	-6.29E-12	-2.5387	4.03E-11	-4.76E-11
8.20714	-1.46E-13	4.00E-12	-3.16E-12	-2.5387	5.39E-11	-6.25E-11
8.20714	-2.23E-13	3.65E-12	-6.24E-12	-2.5387	5.48E-11	-6.27E-11
10.94286	-5.71E-13	-7.26E-13	-1.86E-11	-2.5387	8.62E-11	-6.64E-11
10.94286	-6.33E-13	-1.12E-12	-1.87E-11	-2.5387	8.64E-11	-6.62E-11
13.67857	-7.03E-13	-6.95E-12	-1.48E-11	-2.5387	1.28E-10	-5.34E-11
13.67857	-8.97E-14	-3.86E-12	-1.76E-11	-2.5387	1.29E-10	-5.38E-11
16.41429	2.79E-13	-9.64E-12	-2.15E-11	-2.5387	1.78E-10	-3.41E-11
16.41429	5.67E-13	-1.01E-11	-1.68E-11	-2.5387	1.78E-10	-3.44E-11
19.15	1.59E-13	-1.45E-11	-2.05E-11	-2.5387	2.25E-10	-1.24E-12
19.15	-4.44E-13	-6.96E-13	1.26E-12	2.67E-12	1.98E-12	-7.94E-13
20	-1.23E-13	3.92E-13	1.15E-12	1.22E-12	-4.57E-13	-8.59E-15
20	-1.23E-13	2.27E-13	2.33E-12	-2.24E-12	-2.05E-13	6.96E-14
20.85	4.57E-13	2.04E-12	5.97E-13	-1.55E-12	-2.71E-12	-3.86E-13
20.85	2.67E-12	1.15E-11	6.58E-11	2.5387	5.77E-10	8.61E-12
23.58571	1.69E-12	8.42E-12	6.59E-11	2.5387	3.94E-10	-1.61E-11
23.58571	2.04E-12	7.57E-12	6.71E-11	2.5387	3.95E-10	-1.66E-11
26.32143	2.53E-12	2.57E-12	4.73E-11	2.5387	2.32E-10	-2.76E-11
26.32143	1.88E-12	2.02E-12	4.73E-11	2.5387	2.32E-10	-2.77E-11
29.05714	1.53E-12	3.19E-12	2.30E-11	2.5387	1.40E-10	-3.55E-11
29.05714	1.40E-12	5.49E-12	2.42E-11	2.5387	1.41E-10	-3.56E-11
31.79286	1.57E-12	-3.37E-13	1.43E-11	2.5387	8.44E-11	-3.82E-11
31.79286	1.32E-12	5.61E-13	1.46E-11	2.5387	8.43E-11	-3.82E-11
34.52857	3.83E-13	-4.71E-12	1.26E-11	2.5387	4.54E-11	-3.02E-11
34.52857	4.44E-13	-4.25E-12	1.75E-11	2.5387	4.48E-11	-3.00E-11
37.26429	7.35E-14	-5.68E-12	1.00E-11	2.5387	1.36E-11	-1.63E-11
37.26429	3.62E-13	-5.46E-12	9.08E-12	2.5387	1.42E-11	-1.62E-11
40	-2.35E-13	-6.26E-12	2.88E-13	2.5387	-3.24E-14	1.50E-13



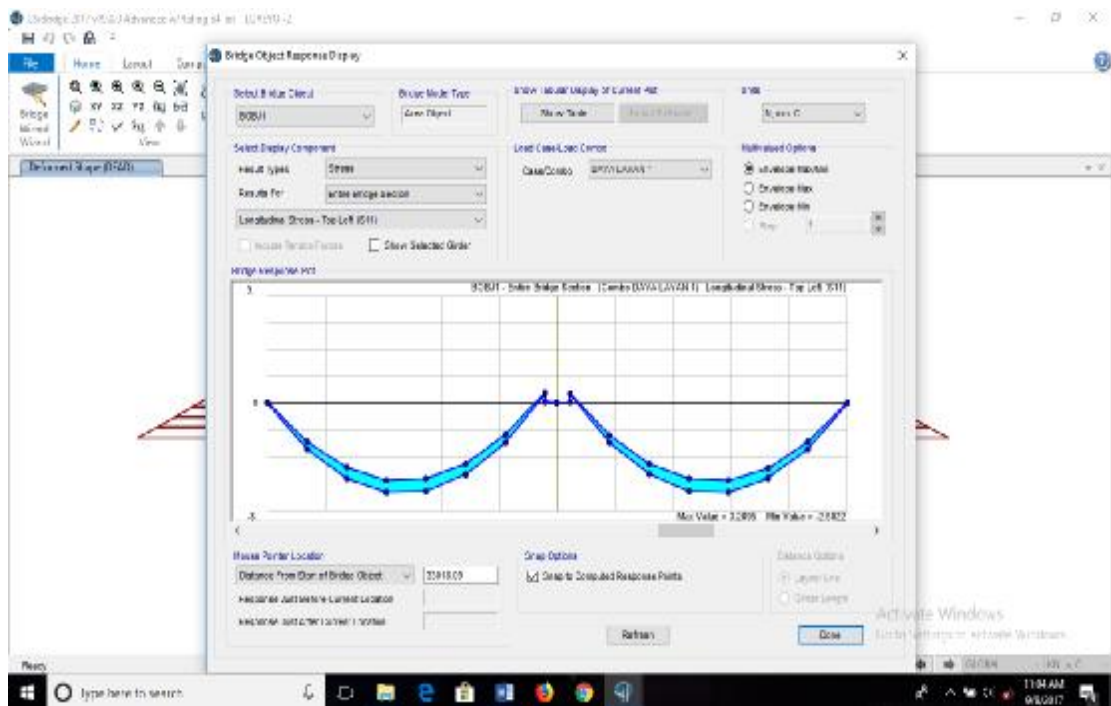
Gambar L1: Lendutan pada Model 1.



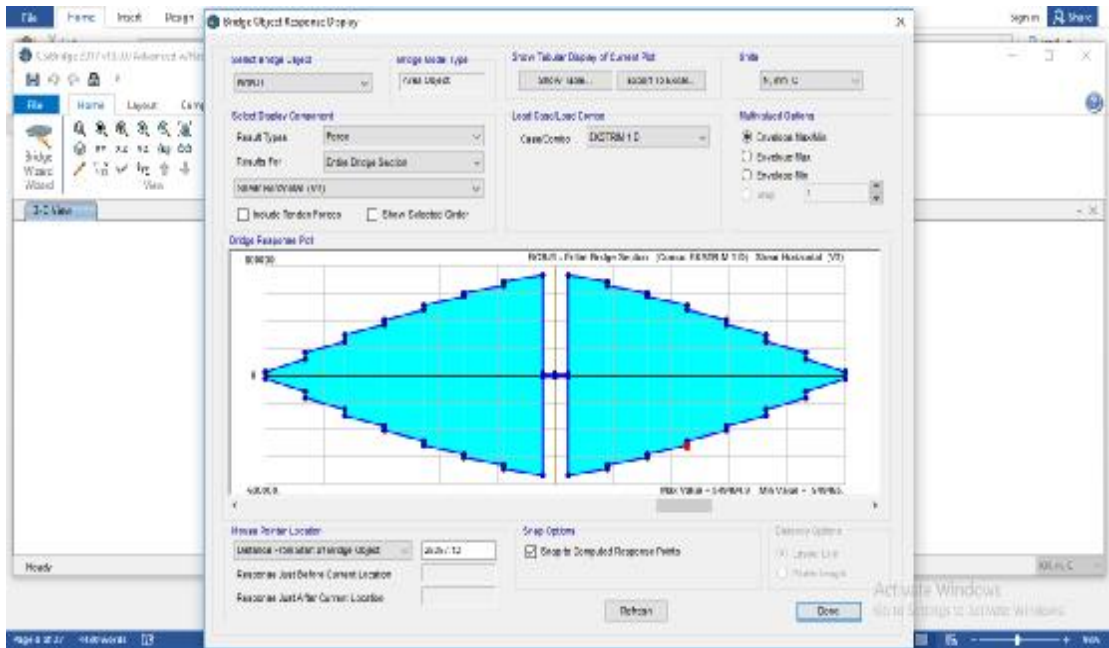
Gambar L2: Lendutan pada Model 2.



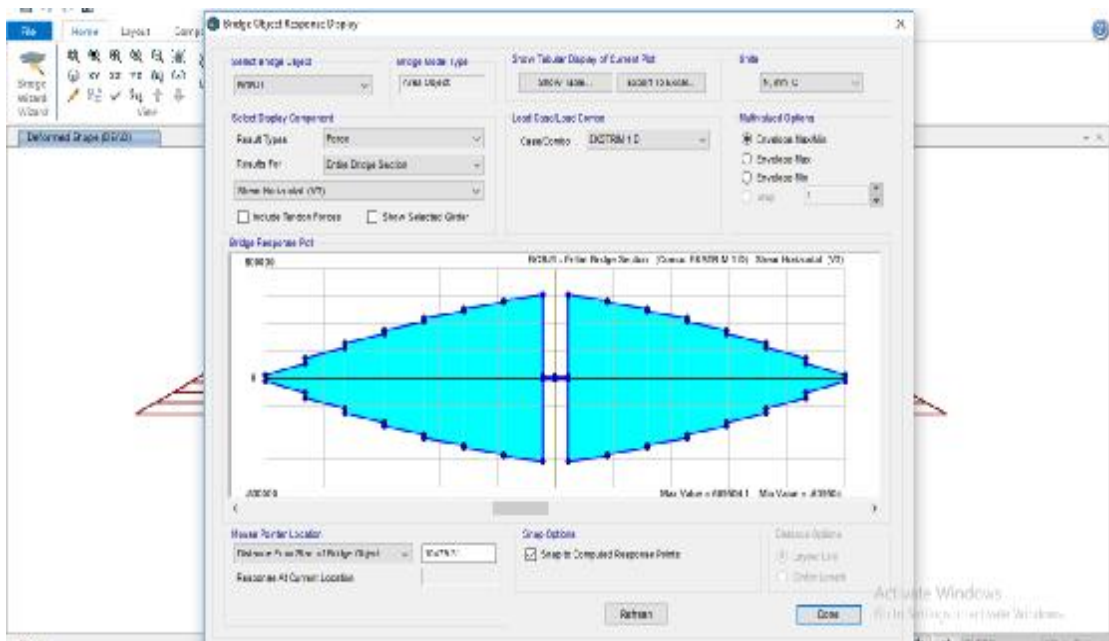
Gambar L3: Stress pada Model 1.



Gambar L4: Stress pada Model 2.



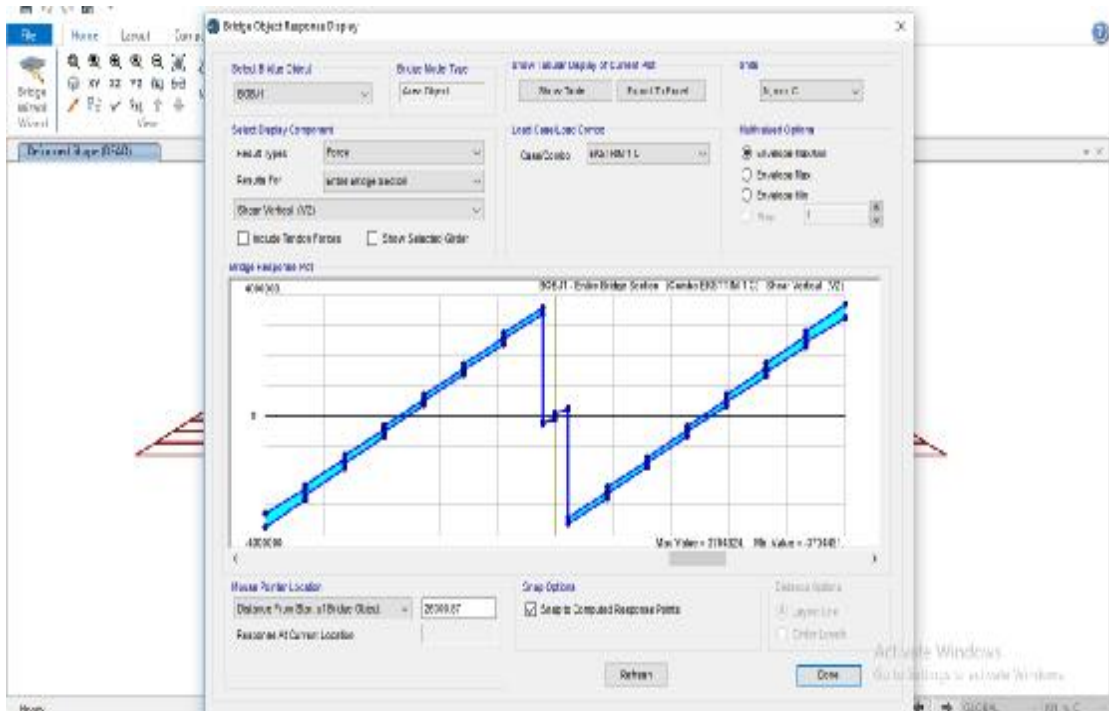
Gambar L5: Gaya Geser V3 pada Model 1.



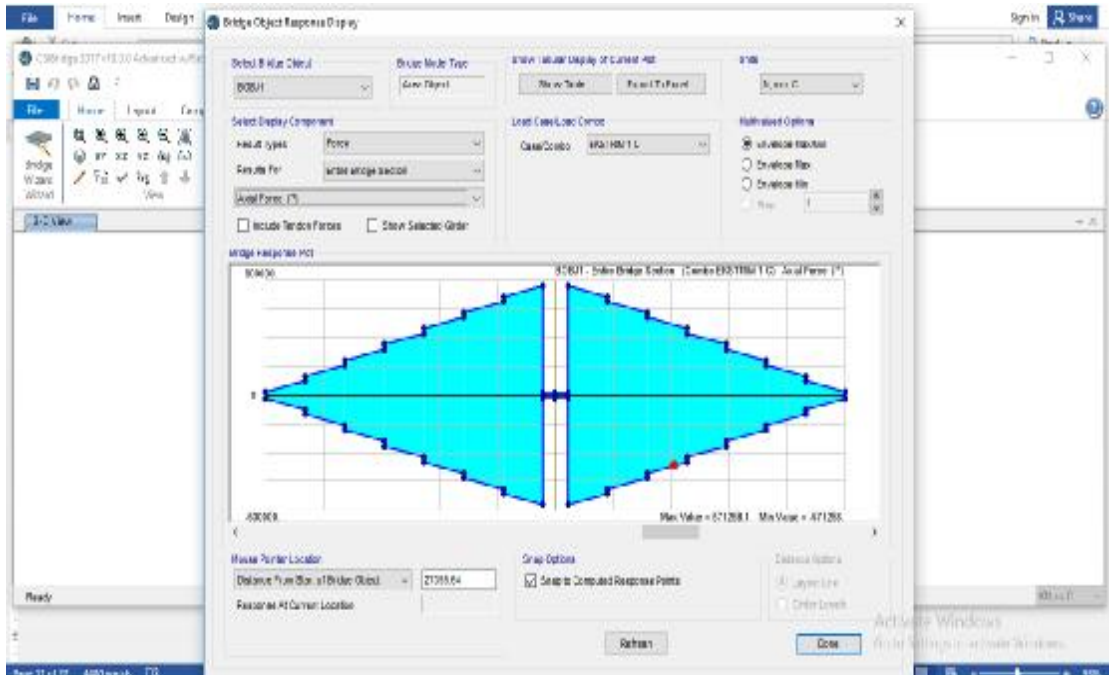
Gambar L6: Gaya Geser V3 pada Model 2.



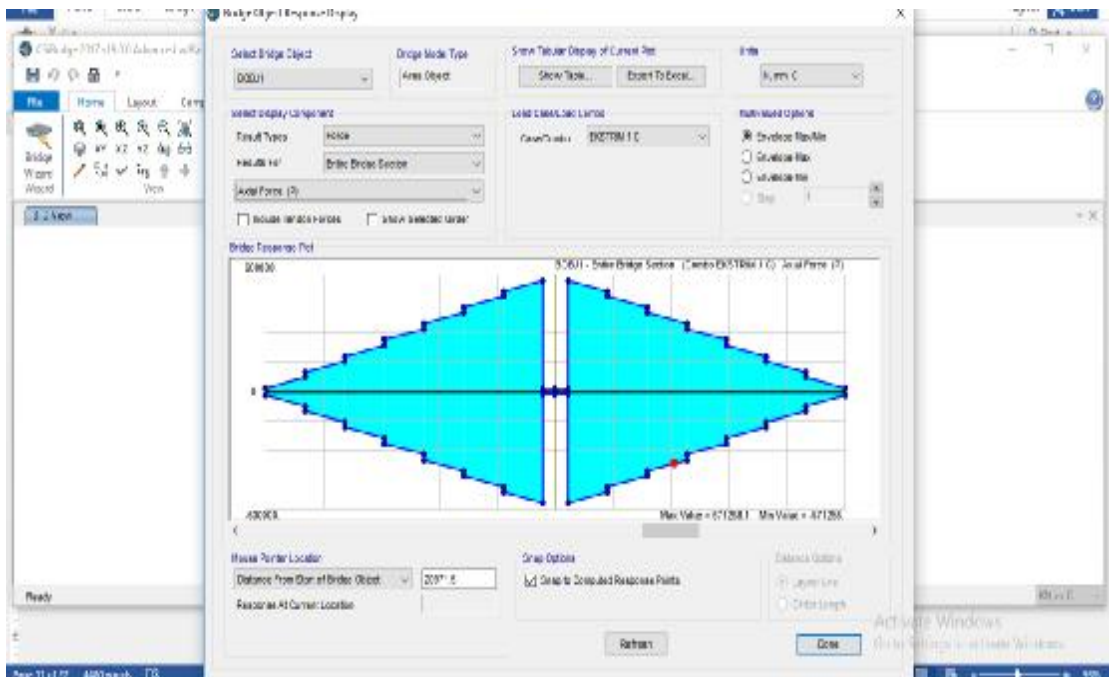
Gambar L7: Gaya Geser V2 pada Model 1.



Gambar L8: Gaya Geser V2 pada Model 2.



Gambar L9: Axial force pada Model 1.



Gambar L10: Axial force pada Model 2.





TUGAS AKHIR  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : NIZAR FUADI  
NPM : 1407210054  
JUDUL TUGAS AKHIR : REDESAIN PERENCANAAN FLY OVER  
KERETA API DOUBLE TRACK DARI KM 0,00  
STASIUN MEDAN SAMPAI DENGAN KM 4,340  
ARAH PULO BRAYAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
①	7/2-2018	- Uraian Bab I dan II perbaya apunasi; dan teori. - Lanjut permodelan.	
②	14/2-2018	- Asumsi komposisi cakar last permodelan perbatasan (Amanah)	
③	14/4-2018	- Laporan untuk perambatan yang Cakar yang - Bab III → detail layout dan perambatan yg diteliti	

PEMBIMBING I

(Tundi Amiriyah P.ST,MT)



**TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : NIZAR FUADI  
**NPM** : 1407210054  
**JUDUL TUGAS AKHIR** : REDESAIN PERENCANAAN FLY OVER  
KERETA API *DOUBLE TRACK* DARI KM 0.00  
STASIUN MEDAN SAMPAI DENGAN KM 4.340  
ARAH PULO BRAYAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
④	7/5-2018	- Balok III - Pendefinisian dan model layout jalan reporter, pemodelan layout, Bent (gier) di jalan	
⑤	4/7-2018	- Pemodelan, tabel di bagian Kontrol	
⑥	25/7-2018	- Pemodelan, Perbaikan input Beban, Cek Desain (BMS)	

PEMBIMBING I

( Tondi Amirsyah P.ST.MT )



**TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : NIZAR FUADI  
NPM : 1407210054  
JUDUL TUGAS AKHIR : REDESAIN PERENCANAAN FLY OVER  
KERETA API DOUBLE TRACK DARI KM 0,00  
STASIUN MEDAN SAMPAI DENGAN KM 4,340  
ARAH PULO BRAYAN

No	Tanggal	Keterangan	Prakt
7	10/08-2018	- Analisis lendutan - Analisis Tegangan di perbaiki	
8	24/08-2018	- Perbaiki input. Tendon di Permodelan - Analisis Tegangan - Peruluran Bab II - IV di perbaiki - Daftar Isi, Bab V Abstrak dan Lampiran	

PEMBIMBING I

( Tandi Amiryah P.ST.MT )



**TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238**

**LEMBAR ASISTENSI**

NAMA : NIZAR FUADI  
NPM : 1407210054  
JUDUL TUGAS AKHIR : REDESAIN PERENCANAAN *FLY OVER*  
KERETA API *DOUBLE TRACK* DARI KM 0.00  
STASIUN MEDAN SAMPAI DENGAN KM 4.340  
ARAH PULO BRAYAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
9	29/8-2023	- Perbaiki Border pd bet III - Analisis tolog di tambang * per (daya tenaga) - ket. proses	
10	30/8-2023	Acc Seminar	

PEMBIMBING I

( Tondi Amirsyah P.ST.MT )



**TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238**

**LEMBAR ASISTENSI**

NAMA : NIZAR FUADI  
NPM : 1407210054  
JUDUL TUGAS AKHIR : REDESAIN PERENCANAAN FLY OVER  
KERETA API *DOUBLE TRACK* DARI KM 0,00  
STASIUN MEDAN SAMPAI DENGAN KM 4,340  
ARAH PULO BRAYAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	27 Juli 2018	- Periksa X cek perulangan - Gambar, Tabel, Gambar, Per harus sesuai da- nda prototyping - Periksa Gambar - Lanjutkan ke BAB III	
2	27 Agustus 2018	- Periksa kesempurnaan, desain kurva dgn benar - Tambahkan daftar Tabel, daftar isi, daftar nomor, abstrak, dll.	

PEMBIMBING II

( Miranuddin Sitompul, S.T, M.T )



**TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238**

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : NIZAR FUADI  
NPM : 1407210054  
JUDUL TUGAS AKHIR : REDESAIN PERENCANAAN *FLY OVER*  
KERETA API *DOUBLE TRACK* DARI KM 0,00  
STASIUN MEDAN SAMPAI DENGAN KM 4,340  
ARAH PULO BRAYAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
3	28 Agustus 2018	- Pabani dibuat - Ccu x pabani pondasi sru	
4	29 Agustus 2018	- Acc uku diseminikan	

PEMBIMBING II

( Mizanuddin Sitompul, S.T, MT )

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Nizar Fuadi  
Panggilan : Nizar  
Tempat, Tanggal Lahir : Muara Tais III, 14 Mei 1996  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat : Muara Tais III Kecamatan Batang Angkola  
Agama : Islam

Nama Orang Tua  
Ayah : Anwar Nasution  
Ibu : Marni Hutasuhut  
No.HP : 082167846006  
E-Mail : [fuadinizar550@gmail.com](mailto:fuadinizar550@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210054  
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	SDN 100190 Batang Angkola	2008
2	SMP	SMPN 2 Batang Angkola	2011
3	SMK	SMAN 3 Padang Sidempuan	2014
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 sampai selesai.		