

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH GEMPA PADA PENGGUNAAN TIPE GLAGAR PCI  
GIRDER DAN VOID SLAB PADA JEMBATAN K.A BH 38 TEBING  
TINGGI SIANTAR TERHADAP PENINGKATAN KELAS JALAN  
(STUDI KASUS)**

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

**Disusun Oleh:**

**JORDI ZOLA AMBRISA**  
**1507210023**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6623301  
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rektor@umsu.ac.id](mailto:rektor@umsu.ac.id)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Jordi Zola Ambrisa

NPM : 1507210023

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Gempa Pada Penggunaan Tipe Gelagar Pci Girder Dan Void Slab Pada Jembatan K.A BH 38 Tebing Tinggi Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan ( Studi Kasus )

Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada  
Panitia Ujian



Pembimbing I

Pembimbing II

Tondi Amirsyah Putera P, ST, MT.

Dr. Fahrial Zulkarnain, ST, MSc.

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Jordi Zola Ambrisa

NPM : 1507210023

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Gempa Pada Penggunaan Tipe Glagar Pci Girder Dan  
*Void Slab* Pada Jembatan K.A BH 38 Tebing Tinggi Siantar  
Terhadap Peningkatan Kelas Jalan

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, 22 Desember 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Tondi Amunyah Putera P, ST, MT.

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dr. Ade Faisal, ST, MSc.

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc.

Dosen Pembimbing II / Penguji

Rizki Efrida, ST, MT.

Program Studi Teknik Sipil  
Ketua

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Jordi Zola Ambrisa

Tempat /Tanggal Lahir : Tigangreh/16 Desember 1996

NPM : 1507210023

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Pengaruh Gempa Pada Penggunaan Tipe Glagar Pci Girder Dan *Void Slab* Pada Jembatan K.A BH 38 Tebing Tinggi Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan”.

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara 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, 20 Desember 2021

Saya yang menyatakan



Jordi Zola Ambrisa

## ABSTRAK

### PENGARUH GEMPA PADA PENGGUNAAN TIPE GELAGAR PCI GIRDER DAN VOID SLAB PADA JEMBATAN K.A BH 38 TEBING TINGGI SIANTAR TERHADAP PENINGKATAN KELAS JALAN

Jordi Zola Ambrisa  
1507210023

Tondi Amirsyah P Pulungan,S.T,M.T  
Dr. Fahrizal Zulkarnain

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus karena adanya halangan atau rintangan seperti lembah. Dalam penelitian ini Struktur jembatan ini direncanakan sebagai fungsi jembatan kereta api. Struktur jembatan menggunakan *void slab* girder, pci girder, dengan bentang kedua girder 77 m . analisis yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 dan SNI 1725-2016 untuk pembebanan, dan SNI 2833-2016 untuk peraturan pembebanan gempa. Struktur jembatan dimodelkan dengan menggunakan software *CSI bridge* dimana diperoleh hasil nilai perioda getar untuk *void slab* sebesar 0,095556, dan untuk Pci girder 0,100227. Hasil analisis lendutan yang terjadi pada *void slab* girder sebesar 0,000119 m dan untuk Pci girder sebesar 0,000221 m. Kehilangan gaya prategang (loss of prestress) pada *void slab* girder sebesar 13% sedangkan pada Pci girder sebesar 10% dimana persentase (%) kehilangan gaya prategang kedua model tersebut sangat mendekati estimasi kehilangan gaya prategang awal yakni sebesar 20%. Dari analisis *void slab* lebih efisien dan lebih kuat untuk menahan daya lendutan dan lebih ringan dengan berat girder 1 span *void slab* sebesar 3533,97, dan Pci girder: 6316,348.

Kata kunci: jembatan kereta api , *void slab*, Pci girder, prategang, kekuatan, periode getar ,lendutan.

## ABSTRAK

### ***THE EFFECT OF EARTHQUAKE ON THE USE OF PCI GIRDER AND VOID SLAB GIRDER ON K.A BH 38 BRIDGE OF SIANTAR HIGH CLICK ON ROAD CLASS IMPROVEMENT***

Jordi Zola Ambrisa

1507210023

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

Dr. Fahrizal Zulkarnain

*A bridge is a construction that functions to connect two parts of a road or area that are cut off due to obstacles or obstacles such as valleys. In this research, the structure of this bridge is planned as a function of the railway bridge. The bridge structure uses a void slab girder, pci girder, with a span of 77 m on both girders. the analysis used refers to the Ministerial Regulation no. 60 of 2012 and SNI 1725-2016 for loading, and SNI 2833-2016 for earthquake loading regulations. The bridge structure is modeled using CSI bridge software where the results of the vibration period for the void slab are 0.095556, and for the Pci girder 0.100227. The results of the analysis of the deflection that occurs in the void slab girder is 0.000119 m and for the Pci girder is 0.000221 m. Loss of prestress in the void slab girder is 13% while in Pci girder it is 10% where the percentage (%) of prestress loss in both models is very close to the estimated initial prestress loss of 20%. From the analysis, the void slab is more efficient and stronger to withstand deflection and is lighter with a weight of girder 1 span void slab of 3533.97, and Pci girder: 6316.348.*

*Keywords: railway bridge, void slab, PCI girder, prestress, strength, vibration period, deflection.*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillahil'alamin, 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 "Pengaruh Gempa Pada Penggunaan Tipe Gelagar Pci Girder Dan Void Slab Pada Jembatan K.A BH 38 Tebing Tinggi Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan" 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 terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera P, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain.ST, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji sekaligus sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Rizki Efrida, ST.,M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Terimakasih yang teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Sunaroso dan Ibunda tercinta Suminah yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
9. Terimakasih kepada teman teman saya: , Rizky Juanda S.T, Angga Edi Pratama S.T , Hendra Setiawan S.E, Riska Diana, Ade Adiani Lubis dan seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. dikarenakan keterbatasan waktu serta kemampuan yang dimiliki oleh penulis. untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

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

*Wassalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Medan, 22 Desember 2021

Jordi Zola Ambrisa



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
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 Penulisan	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Umum	5
2.2 Geometri Jembatan	5
2.3 Jembatan kereta api	7
2.4 Struktur jembatan	7
2.4.1 Elemen struktur atas jembatan	8
2.4.2 Elemen struktur bawah jembatan	17
2.5 Perencanaan girder beton	17
2.6 Aspek beton Prategang	22
2.6.1 Material beton prategang	22
2.6.1.1 Beton	22
2.6.1.2 Kabel/tendon	25

2.6.2	Konsep beton prategang	26
2.6.3	Tipe beton prategang berdasarkan penarikan kabel	30
2.6.4	Kehilangan gaya prategang	32
2.6.4.1	Perpendek elastis	32
2.6.4.2	Gesekan Pada Tendon	33
2.6.4.3	Slip Pada Angkur	34
2.6.4.4	Rangka pada beton	36
2.6.4.5	Susut pada beton	37
2.6.4.6	Relaksasi baja	38
2.6.4.7	Kehilangan total dalam desain	39
2.7	Persyaratan system jembatan	40
2.7.1	Ketentuan umum	40
2.7.2	Kondisi batas layann	40
2.7.3	Keadaan batas fatik dan fraktur	40
2.7.4	Keadaan batas kekuatan	41
2.7.5	Keadaan bats fatik	41
2.8	Persyaratan pembebanan pada sistem jembatan kereta api	41
2.8.1	beban gandar	41
2.8.2	lendutan	41
2.8.3	stabilitas kontruksi	43
2.8.4	tinggi jagaan ( tiang tepi)	43
2.9	pembebanan pada jembatan kereta api	43
2.9.1	beban primer	43
2.9.2	beban angin	49
2.9.3	beaban akibat tumbukan kendaraan	50
2.9.4	beban gempa	50
2.9.5	gaya akibat temperature	57
2.10	Faktor kombinasi pembebanan	60
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Bangan alir	64
3.2	Model systruktur jembatan dan property penampang	65
3.2.1	data umum pada pemodelan jembatan	65

3.2.2	pemodelan struktur	68
3.3	Analisa pembebanan	70
3.4	Perhitungan beban	70
3.4.1	Beban sendiri (MS)	70
3.4.2	Beban mati tambahan (MA)	72
3.4.3	Beban hidup (TD)	74
3.4.4	Beban kejut	75
3.4.5	Beban pengereman	76
3.4.6	Gaya sentrifugal	76
3.4.7	Beban angin	77
3.4.8	Analisis responspectrum	79
3.5	Perencanaan prategang	82
3.5.1	Pengaruh prategang PCI girder	83
3.5.2	Pengaruh prategang <i>void slab</i>	86
3.6	Kombinasi pembebanan	88
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Tinjauan Umum	89
4.2	Hasil Analisa	89
4.2.1	Hasil pemeriksaan berat sendiri	89
4.2.2	Hasil Analisis Periode Getar	90
4.2.3	Hasil analisis besarnya momen (M3)	92
4.2.4	Hasil analisis lendutan	94
4.2.5	Hasil analisa kekuatan gelagar terhadap gaya geser	95
4.2.6	Kehilangan gaya prategang	96
4.2.3.1	Kehilangan gaya prategang pci girder	97
4.2.3.2	Kehilangan gaya prategang <i>void slab</i>	101
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	105
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Dimensi penampang rel	9
Tabel 2.2	Pembagian kelas jalan rel 1067 mm	10
Tabel 2.3	Koefisien standar susut beton sebagai tambahan regangan jangka panjang (RSNI T-12-2004)	19
Tabel 2.4	Koefisien standar rangkai beton sebagai tambahan regangan jangka panjang(RSNI T-12-2004)	21
Tabel 2.5	Sifat-sifat <i>stress-relieved</i> dengan tujuh kawat tanpa pelapisan(ASTM 416)	25
Tabel 2.6	<i>Strands</i> Standar Tujuh Kawat Untuk Beton Prategang	26
Tabel 2.7	Koefisien <i>wobble</i> dan koefisien friksi	33
Tabel 2.8	Nilai $\lambda$ dan X untuk berbagai profil tendon (Naaman, 1982)	35
Tabel 2.9	Koefisien susut Ksh	37
Tabel 2.10	Nilai C	38
Tabel 2.11	Koefisien lendutan maksimum jembatan baja	41
Tabel 2.12	Koefisien lendutan maksimum jembatan beton	42
Tabel 2.13	Berat jenis bahan	44
Tabel 2.14	Faktor beban akibat berat sendiri	44
Tabel 2.15	Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 17252016)	45
Tabel 2.16	Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan	46
Tabel 2.17	Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0.2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ )	53
Tabel 2.18	Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ )	53
Tabel 2.19	Zona gempa	56
Tabel 2.20	Faktor modifikasi respons ( $R$ ) untuk bangunan bawah	56
Tabel 2.21	Faktor modifikasi respons ( $R$ ) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833 2016)	57
Tabel 2.22	Temperatur jembatan rata-rata nominal	58
Tabel 2.23	Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	58
Tabel 2.24	Parameter $T1$ dan $T2$	59
Tabel 2.25	Kombinasi beban dan faktor beban (SNI 17252016)	62
Tabel 3.1	Spesifikasi elastomeric bearing pad (CCL Bridge Bearings)	68
Tabel 3.2	Berat dinding tepi atau pembatas	71

Tabel 3.3	Tipe rel dan dimensi penampang rel (PM. Nomor 60 Tahun 2012)	72
Tabel 3.4	Perletakan tendon pada pci girder	85
Tabel 4.1	Data berat sendiri girder	89
Tabel 4.2	Nilai perioda getar (T) pada jembatan pci girder	90
Tabel 4.3	Nilai perioda getar (T) pada jembatan <i>void slab</i>	91
Tabel 4.4	Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder <i>void slab</i> girder	92
Tabel 4.5	Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Pci girder	93
Tabel 4.6	Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan pci girder	94
Tabel 4.7	Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan <i>void slab</i>	94
Tabel 4.8	Nilai gaya geser (V3) maksimum	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Potongan melintang penyusun bagian atas jalan rel konvensional	8
Gambar 2.2	Struktur bagian atas komponen penyusunan	9
Gambar 2.3	Dimensi rel (PM. Nomor 60 Tahun 2012)	10
Gambar 2.4	Jarak bebas lateral ke tembok pembatas	13
Gambar 2.5	penampang melintang <i>void slab girder</i>	14
Gambar 2.6	Tipikal penampang melintang <i>pci girder</i>	15
Gambar 2.7	Elestomeric bridge bearing (bantalan karet)	16
Gambar 2.8	Penentuan faktor susut (RSNI T-12-2004).	18
Gambar 2.9	Grafik penentuan faktor rangkai (RSNI T-12-2004)	20
Gambar 2.10	Gaya prategang konsentris	27
Gambar 2.11	Gaya prategang eksentris	28
Gambar 2.12	Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang	29
Gambar 2.13	Balok prategang dengan tendon parabola	29
Gambar 2.14	Konsep Pra Tarik	30
Gambar 2.15	Konsep pasca Tarik	31
Gambar 2.16	Diagram kehilangan tegangan akibat pemindahan gaya	35
Gambar 2.17	Skema pembebanan rencana muatan 1921 (RM 21)	47
Gambar 2.18	Beban lateral kereta (PM. Nomor 60 Tahun 2012)	48
Gambar 2.19	Faktor beban dinamis untuk beban hidup kendaraan	49
Gambar 2.20	Peta Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 28332016)	51
Gambar 2.21	Ss, peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar sb untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 28332016)	52
Gambar 2.22	S1, Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar sb untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 28332016)	52
Gambar 2.23	Respon spektrum desain (SNI 28332016).	54
Gambar 2.24	Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja	59

Gambar 3.1	Diagram alir perencanaan	64
Gambar 3.2	Dimensi <i>void slab girder</i>	66
Gambar 3.3	Dimensi PCI girder	67
Gambar 3.4	Potongan melintang pier	68
Gambar 3.5	Tampak 3D struktur jembatan kereta api <i>void slab</i>	69
Gambar 3.6	Tampak 3D struktur jembatan kereta api pci girder	69
Gambar 3.7	Dimensi dinding pembatas	70
Gambar 3.8	Beban dinding tepi pada <i>void slab</i> di software	71
Gambar 3.9	Beban dinding tepi pada PCI girder di software	71
Gambar 3.10	Beban genangan air pada <i>void slab</i> di software	74
Gambar 3.11	Beban genangan air pada <i>PCI girder</i> di software	74
Gambar 3.12	Rencana muatan kereta api yang disesuaikan dengan tekanan gandar maksimum 22,5 ton	75
Gambar 3.13	Pemodelan beban hidup kereta pada software	75
Gambar 3.14	Input gaya sentrifugal pada software	77
Gambar 3.15	Input beban angin struktur pada void slab di software	77
Gambar 3.16	Input beban angin struktur pada pci girder di software	78
Gambar 3.17	Input beban angin kendaraan pada void slab di software	78
Gambar 3.18	Input beban angin kendaraan pada pci girder software	78
Gambar 3.19	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	79
Gambar 3.20	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	80
Gambar 3.21	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	81
Gambar 3.22	Pemodelan respon spectrum pada software	82
Gambar 3.23	Tabel jenis dan karakteristik tendon	83
Gambar 3.24	Lintasan tendo	85
Gambar 3.25	pada PCI girder csi bridge	85
Gambar 3.26	pada <i>void slab</i> girder csi bridge	87
Gambar 4.1	Grafik perbandingan nilai berat sendiri girder pada jembatan yang menggunakan Pci girder, dan Void slab girder	90
Gambar 4.2	Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada jembatan yang menggunakan Pci girder, dan Void slab girder	91

Gambar 4.3	Grafik perbandingan nilai kuat momen pada jembatan pci girder, dan void slab	93
Gambar 4.4	Grafik perbandingan nilai lendutan pada jembatan pci girder, dan void slab	95
Gambar 4.5	Grafik perbandingan nilai gaya geser pada jembatan pci girder, dan void slab	96



## DAFTAR NOTASI

$L$	= Panjang bentang terpanjang
$E_s$	= Modulus elastis baja (MPa)
$E_c$	= Modulus elastis beton (MPa)
$f_y$	= Tegangan leleh baja
$f_c$	= Kuat tekan beton
$\epsilon_{cs,t}$	= Nilai regangan susut beton pada umur $t$ hari.
$\epsilon_{cs,u}$	= 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 (%)
$K_d^s$	= Faktor pengaruh ketebalan komponen beton (cm)
$K_s^s$	= Faktor pengaruh konsistensi ( <i>slump</i> ) adukan beton (cm)
$K_f^s$	= Faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton (%)
$K_b^s$	= Faktor pengaruh jumlah semen dalam beton (kg/m <sup>3</sup> )
$K_{ac}^s$	= Faktor pengaruh kadar udara dalam beton (%)
$C_u$	= koefisien rangkai maksimum
$K_h^c$	= Faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat (%)
$K_d^c$	= Faktor pengaruh ketebalan komponen beton (cm)
$K_s^c$	= Faktor pengaruh konsistensi ( <i>slump</i> ) adukan beton (cm)
$K_f^c$	= Faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton (%)
$K_{ac}^c$	= Faktor pengaruh kadar udara dalam beton (%)
$K_{to}^c$	= Faktor pengaruh umur beton saat dibebani (hari)
$f_{ct}$	= Kuat tarik langsung dari beton,
$f_{cf}$	= Kuat tarik lentur beton
$W_c$	= Massa jenis beton
$h$	= Tinggi parabola lintasan kabel prategang
$L$	= Bentangan balok.
$F$	= Gaya prategang.
$ES$	= Kehilangan gaya prategang
$f_c$	= Tegangan beton ditempat baja prategang.

$n$	= Ratio antara modulus elastisitas baja prategang dan modulus elastisitas beton
$P_i$	= Gaya prategang awal
$A_c$	= Luas penampang beton
$A_s$	= Luas penampang baja prategang
$P_1$	= Gaya prategang dititik 1
$P_2$	= Gaya prategang dititik 2
$L$	= Panjang kabel prategang dari titik 1 ke titik 2
$\alpha$	= Sudut pada tendon
$\mu$	= Koefisien geseran
$K$	= Koefisien wobble
$P_s$	= Gaya prategang diujung ankur
$P_x$	= Gaya prategang pada titik yang ditinjau.
$L_x$	= Panjang tendon dari ankur sampai titik yang ditinjau.
$e$	= 2,7183
$L_{pa}$	= Jarak dari tendon yang ditarik
$\alpha_t$	= Jumlah nilai absolut pada semua deviasi angular dari tendon sepanjang $L_{pa}$ dalam radian
$\beta_p$	= Deviasi angular atau dalam wobble, nilainya tergantung pada diameter selongsong ( $d_s$ )
ANC	= Kehilangan gaya prategang akibat slip dipengankuran.
$L$	= Panjang kabel
$d$	= Penyetelan ankur ( Anchorage Set )
$E_p$	= Modulus Elastisitas Baja Prategang
CR	= Kehilangan tegangan akibat creep ( rangkak )
$\epsilon_{ce}$	= Regangan elastis
$\phi$	= Koefisien rangkak
$\epsilon_{cr}$	= Regangan akibat rangkak
$K_{cr}$	= Koefisien rangkak, nilainya 2,0 untuk pratarik, dan 1,6 untuk pasca tarik
$f_{ci}$	= Tegangan beton pada posisi/level baja prategang sesaat setelah transfer gaya prategang.
$f_{cd}$	= Tegangan beton pada pusat berat tendon akibat dead load ( beban mati )

$f_{cp}$	= Tegangan tekan beton rata-rata pada pusat berat tendon
SH	= Kehilangan tegangan akibat penyusutan beton
RE	= Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja prategang
C	= Faktor Relaksasi yang besarnya tergantung pada jenis kawat/ baja prategang
Kre	= Koefisien relaksasi, harganya berkisar 41 ~ 138 N/mm <sup>2</sup>
J	= Faktor waktu, harganya berkisar antara 0,05 ~ 0,15
R	= Relaksasi yang direncanakan ( % )
ECS	= Kehilangan tegangan akibat rangkai ditambah akibat penyusutan
$f_{pi}$	= Tegangan pada tendon sesaat setelah pemindahan gaya gaya prategang
$\eta$	= Kehilangan tegangan
$\alpha$	= Koefisien beban sentrifugal
V	= Kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam)
R	= Radius tikungan (m)
EQ	= Gaya gempa horizontal statis (kN).
Csm	= Koefisien respon gempa elastic.
Rd	= Faktor modifikasi respon.
Wt	= Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).
PGA	= Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
S1	= Parameter respon spectra percepatan gempa periode pendek (T=0.2 detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
SS	= Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisa respon spesifik spesifik percepatan tanah puncak.
PGAM	= Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.
FPGA	= Nilai koefisien situs untuk PGA
T	= Perioda alami struktur (detik)
$\gamma_i$	= Faktor beban.
$\eta_i$	= Faktor pengubah respons.
Qi	= Gaya atau beban yang bekerja pada jembatan
MS	= Beban mati komponen <i>structural</i> dan <i>non structural</i> jembatan

MA	= Beban mati perkerasan dan utilitas
PL	= Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan
TB	= Gaya akibat rem
TC	= Gaya akibat tumbukan kendaraan
EQ	= Gaya gempa
BF	= Gaya friksi
TD	= Beban lajur "D"
TP	= Beban pejalan kaki
SE	= Beban akibat penurunan
ET	= Gaya akibat temperatur gradien
EU <sub>n</sub>	= Gaya akibat temperatur seragam
EW <sub>s</sub>	= Beban angin pada struktur
EW <sub>L</sub>	= Beban angin pada kendaraan
es	= Eksentrisitas Tendon
Wa	= Tahanan momen sisi atas
Wb	= Tahanan momen sisi bawah
MMS	= Momen maksimum pada seluruh bentang akibat beban sendiri
Pt	= Gaya prategang awal
As	= Luas Nominal penampang
Pbs <sub>1</sub>	= Gaya prategang akibat jackling (N)
Pbs	= Beban putus minimal satu strand (Kn)
ns	= Jumlah strand
P <sub>o</sub>	= Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja
P <sub>j</sub>	= Gaya <i>prestress</i> yang terjadi akibat <i>jacking</i>

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang transportasi semakin maju dan pesat, sehingga saat ini pembangunan infrastruktur transportasi menjadi prioritas penting bagi pemerintah untuk memajukan daerah atau negara. Salah satu infrastruktur yang berkembang saat ini adalah jembatan. Jembatan adalah bagian yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah dan laut. Jembatan sangat berfungsi terhadap kehidupan manusia yang mempunyai arti penting bagi setiap manusia. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi setiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik (Supriadi, 2007).

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

Menurut Gere Timoshenko konstruksi jembatan harus memenuhi persyaratan kekuatan yaitu, mampu menahan beban yang menimbulkan *bending moment* pada konstruksi dan juga harus memenuhi syarat kestabilan perubahan kelurusan gelagar yaitu lendutan yang terjadi tidak boleh lebih dari persyaratan. Kekuatan dan lendutan jembatan tersebut ditentukan oleh besarnya momen inersia tampang komposit.

Pada penelitian ini, akan diperlihatkan pengaruh gempa terhadap *pci*, dan *void slab* girder. Beban-beban yang diperhitungkan adalah beban yang digunakan sesuai fungsi jembatan kereta api. Untuk jembatan kereta api beban dikelompokkan menjadi 3 kelompok beban yaitu beban sendiri gelagar, beban mati tambahan dan beban hidup. Untuk beban mati tambahan yang dianalisis yaitu

beban pelat beton (*deck slab*), rel, dan diafragma sedangkan untuk beban hidup yang dapat di analisis beban kendaraan beban angin kendaraan dan beban inpeksi/pejalan kaki berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 dan “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan” SNI 2833:2016.

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana menganalisa pembebanan struktur jembatan dan perbandingan perilaku struktur atas jembatan berdasarkan jenis penampang girder yang berbeda?.
2. Bagaimana perbandingan perilaku jembatan yang didesain pada tanah sedang berdasarkan jenis penampang girder yang berbeda di Kota tebing tinggi ?.
3. Bagaimana besar pembebanan pada jembatan kereta api sesuai dengan PM 60 dan SNI 2833-2016 ?.

## **1.3 Batasan Masalah**

1. Struktur yang di evaluasi hanya meliputi struktur atas pada jembatan.
2. Struktur di laksanakan di daerah kota tebing tinggi.
3. Perencanaan jalur kereta api dilakukan dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api.
4. Analisis perilaku struktur dilakukan berdasarkan standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan SNI 2833:2016 serta peta wilayah gempa Indonesia.
5. Analisa struktur jembatan kereta api yang ditinjau menggunakan bantuan perangkat lunak.
6. Tidak melakukan analisis dari segi biaya dan waktu.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk merancang jembatan gelagar *void slab girder* dan gelagar *Pci girder* sebagai fungsi jembatan kereta api menggunakan PM 60 dan SNI 2833-2016.
2. Untuk mengetahui perbandingan perilaku jembatan yang didisain pada tanah sedang dengan girder yang berbeda di Kota Tebing Tinggi.
3. Untuk merencanakan girder yang efisien dengan penampang yang berbeda.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang di dapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui dan memahami proses perencanaan yang terjadi dalam suatu proyek perencanajembatan Kereta Api Double.
2. Dapat memberikan gambaran metode pelaksanaan tentang perencanaan struktur jembatan Kereta Api .

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

##### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

##### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan teori-teori tentang *box girder* baja, metode analisa yang akan digunakan serta ketentuan dalam desain yang harus dipenuhi sesuai syarat.

### BAB 3 METODE PENELITIAN

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

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus karena adanya halangan atau rintangan seperti lembah, alur sungai, danau, saluran irigasi jalan kereta, jalan raya yang tidak sebidang dan lain-lain. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi atau aspek lalu lintas, persyaratan teknis dan estetika arsitektural (Supriyadi dan Munthor, 2007).

Jenis jembatan sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan zaman dan teknologi berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan struktur. Jembatan terbagi menjadi 3 bagian struktur yaitu struktur atas (*super structure*), struktur bawah (*sub structure*), dan pondasi. Bagian yang menghubungkan rintangan kereta api adalah struktur atasnya.

Umur rencana dari suatu konstruksi jembatan biasanya relatif panjang, dan karena pemilihan materialnya juga yang akan mendukung umur rencana jembatan tersebut. Material baja telah digunakan dalam konstruksi jembatan kereta api sejak zaman Victoria, baik dalam struktur bentang panjang maupun bentang yang lebih sederhana. Banyak dari jembatan baja yang lebih tua masih beroperasi, karena adanya program pemeliharaan, perbaikan dan peningkatan sesuai dengan kebutuhan, kemajuan zaman dan teknologi.

#### 2.2 Geometri jalan

Pada umumnya geometri jalan ada dua yaitu, alinyemen vertikal dan alinyemen horizontal. Alinyemen vertikal terbagi menjadi lengkung vertikal cekung dan lekung vertikal cembung. Sedangkan alinyemen horizontal dikenal juga dengan nama trase jalan (situasi jalan). Alinyemen horizontal membahas tentang beberapa macam bentuk tikungan, yang mana salah satu jenis tikungan tersebut akan diterapkan pada jembatan yang direncanakan dalam tugas akhir ini. Berikut

beberapa bentuk tikungan dalam alinyemen horizontal (Badan Standarisasi Nasional No.T-14, 2004).

- a. *Full circle* (FC) yaitu tikungan yang berbentuk busur lingkaran secara penuh. Tikungan ini memiliki satu titik pusat lingkaran dengan jari-jari seragam. Tikungan FC hanya digunakan untuk R (jari-jari tikungan) yang besar agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan super elevasi yang besar. Tikungan FC ini tidak memerlukan lengkung peralihan dan hanya berbentuk busur lingkaran saja (Tribhuwana, 2018)
- b. *Spiral-circle-spiral* (SCS) yaitu tikungan yang terdiri atas 1 lengkung circle dan 2 lengkung spiral atau lengkung peralihan. Tikungan ini dimaksudkan jika tidak bisa digunakan jenis FC karena ruang untuk kendaraan berbelok tidak terlalu besar atau sedang, maka alternatif kedua menggunakan tikungan jenis ini, karena pada tikungan ini menggunakan lengkung peralihan pada saat masuk tikungan, kemudian busur lingkaran di puncak tikungan dan diakhiri lagi dengan lengkung peralihan saat kendaraan keluar tikungan (Tribhuwana, 2018).
- c. *Spiral-spiral* (SS) yaitu tikungan yang terdiri atas dua lengkung spiral atau lengkung peralihan saja. Penggunaan tikungan jenis ini adalah pilihan terakhir jika tidak bisa menggunakan dua jenis tikungan di atas, karena ruang untuk kendaraan berbelok sangat sempit sehingga pada tikungan ini tidak hanya lengkung peralihan saja pada awal masuk dan keluar tikungan (Tribhuwana, 2018).

#### 1. Super Elevasi

Diagram superelevasi digambar berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol, elevasi tepi perkerasan diberi tanda positif atau negatif ditinjau dari ketinggian sumbu jalan. Pada tikungan tipe SCS (*spiral-circle-spiral*), pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bentuk normal sampai awal lengkung peralihan, kemudian meningkat secara bertahap sampai mencapai superelevasi penuh. Selanjutnya, pada tikungan tipe FC (*full circle*), bila diperlukan pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bagian lurus sepanjang  $\frac{2}{3} L_s$  dan dilanjutkan pada bagian lingkaran penuh sepanjang  $\frac{1}{3}$  bagian panjang  $L_s$ .

Terakhir, pada tikungan tipe SS (*spiral-spiral*), pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral atau pada lengkung peralihan (Tribhuwana, 2018).

### 2.3 Jembatan Kereta Api

Desain jembatan kereta api mengharuskan perencana untuk memberikan pertimbangan terperinci terhadap metode konstruksi serta material yang digunakan yang berhubungan dengan lokasi yang telah ditentukan. Hal ini sebagai persyaratan mendasar untuk menghasilkan solusi desain untuk direncanakan pada waktu yang lebih efisien dan biaya perencanaan seekonomis mungkin. Khususnya dalam perencanaan jembatan kereta api, jembatan harus mampu mendukung muatan beban kereta api yang bebannya akan disalurkan ke struktur jembatan.

### 2.4 Struktur Jembatan

Secara umum, Struktur jembatan dapat dibagi menjadi tiga bagian yang saling menopang satu sama lain sehingga tidak dapat dipisahkan sebagai suatu kesatuan yaitu:

#### 1. Struktur atas (*super structures*).

Struktur atas dari suatu jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung. Struktur atas jembatan pada umumnya meliputi: (a) trotoar; (b) slab lantai kendaraan; (c) gelagar atau *girder*; (d) balok diafragma; (e) ikatan pengaku; dan (f) tumpuan atau *bearing*.

#### 2. Struktur bawah (*sub structures*).

Struktur bawah jembatan meliputi: (a) kepala jembatan (*abutments*) atau pilar jembatan (*pier*) yang berfungsi untuk memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain secara vertikal maupun horisontal yang akan disalurkan ke pondasi.

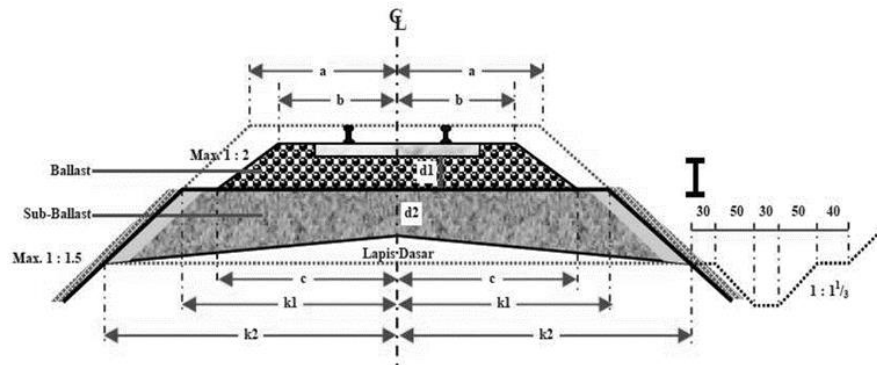
#### 3. Pondasi (*foundation*).

Pondasi dari suatu jembatan berfungsi untuk meneruskan beban jembatan ke tanah. Berdasarkan sistemnya, pondasi *abutment* atau *pier* jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam jenis, antara lain: (a) pondasi telapak; (b) pondasi sumuran; dan (c) pondasi tiang.

### 2.4.1 Elemen Struktur Atas Jembatan

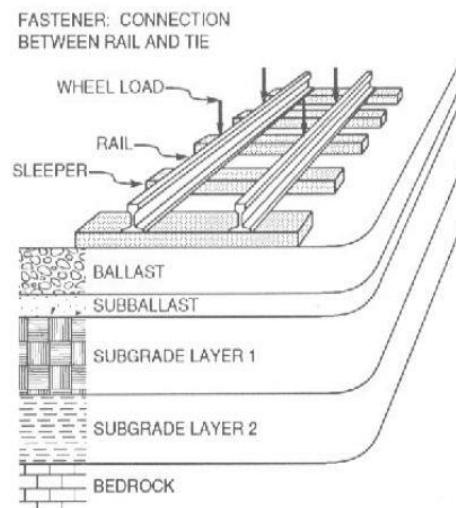
Siswanto M.F, (1999) mengatakan bahwa struktur atas jembatan adalah bagian-bagian jembatan yang memindahkan beban-beban jembatan ke arah perletakan struktur atas, yang terdiri dari gelagar-gelagar induk, struktur tumpuan atau perletakan, struktur lantai jembatan/kendaraan, pertambahan arah melintang dan memanjang.

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu-lintas kendaraan, gaya rem, beban kejut, dll.



Gambar 2.1: Potongan melintang penyusun bagian atas jalan rel konvensional.

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari suatu 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 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 disebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut sepur (*track*). Sepur diletakkan di atas suatu alas disebut balas (*ballast*), yang selanjutnya dibawah balas terdapat slab lantai kendaraan.



Gambar 2.2: Struktur bagian atas komponen penyusunan.

Struktur atas jembatan umumnya meliputi:

1. Rel

Jalan rel harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Minimum perpanjangan (*elongation*) 10%.
- b. Kekuatan tarik (*tensile strength*) minum  $1175 \text{ N/mm}^2$ .
- c. Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN.

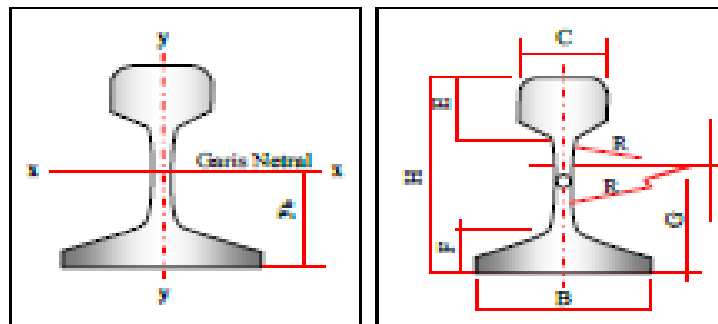
Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 tentang perencanaan teknis jalur kereta api diperoleh dimensi penampang rel sesuai tipe rel dan kelas jalan rel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1 sampai Tabel 2.2.

Tabel 2.1: Dimensi penampang rel.

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95

Table 2.1 : Lanjutan

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm <sup>2</sup> )	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	1369	1960	2346	3055
Y <sub>b</sub> (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A = Luas penampang				
W = Berat rel per meter				
I <sub>x</sub> = Momen inersia terhadap sumbu x				
y <sub>b</sub> = Jarak tepi bawah rel ke garis netral				



Gambar 2.3: Dimensi rel (PM. Nomor 60 Tahun 2012).

Tabel 2.2: Pembagian kelas jalan rel 1067 mm.

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/Jarak (mm)	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
I	> 20	120	R 60/ R 54	Beton/600	Elastis Ganda	30	60
II	10 – 20	110	R 54/ R 50	Beton/Kayu/ 600	Elastis Ganda	30	50
III	5 – 10	100	R 54/ R 50/R42	Beton/Kayu/ Baja/600	Elastis Ganda	30	40

Table 2.2 : *Lanjutan*

IV	2,5 - 5	90	R 54/ R 50/R42	Beton/Kayu/ Baja/600	Elastis Ganda/Tu nggal	25	40
V	<2.5	80	R.42	Kayu/Baja/ 600	Elastis tunggal	25	35

## 2. Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api, berat konstruksi jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilahan jenis bantalan didasarkan pada kelas kondisi lapangan serta ketersediaan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu kepada persyaratan teknis yang berlaku. Bantalan harus memenuhi persyaratan berikut:

### a. Bantalan beton struktur prategang

- 1) Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari  $500 \text{ kg/cm}^2$ , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar  $16,876 \text{ kg/cm}^2$  (1,655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian didukung rel dan -930 kgm pada bagian tengah bantalan.

Dimensi bantalan untuk lebar jalan rel 1067 mm:

- a) Panjang : 2.000 mm
- b) Lebar maksimum : 260 mm
- c) Tinggi maksimum : 220 mm

- 2) Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari  $600 \text{ kg/cm}^2$ , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar  $16.876 \text{ kg/cm}^2$  (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum dengan sesuai desain beban gandar dan kecepatan.

Dimensi bantalan untuk lebar jalan rel 1435 mm:

- a) Panjang : - 2.440 mm untuk beban gandar sampai dengan 22,5 ton.  
- 2.740 mm untuk beban gandar di atas

22,5 ton.

b) Lebar maksimum : 330 mm.

c) Tinggi bawah dudukan : 220 mm.

- b. Bantalan kayu, harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan *modulus elastisitas* (E) minimum 125.000 kg/cm<sup>2</sup>. Harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kgm, lentur *absolute* tidak boleh kurang dari 46 kg/cm<sup>2</sup>. Berat jenis kayu minimum = 0.9, kadar air maksimum 15%, tanpa mata kayu, retak tidak boleh sepanjang 230 mm dari ujung kayu.
- c. Bantalan besi harus memiliki kandungan Carbon Manganese *Steel Grade* 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rel, mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kgm, tegang tarik 88-103 kg-m. *Elongation* A1 > 10%.

### 3. Alat penambat

Alat penambat yang digunakan adalah alat penambat jenis elastis yang terdiri dari sistem elastis tunggal dan sistem elastis ganda. Pada bantalan beton terdiri dari *shoulder/insert, clip, insulator*, dan *rail pad*. Pada bantalan kayu dan baja terdiri dari pelat landas (*beseplate*), *clip, tripon (screw spike)*/baut dan cincin per (*lock washer*).

### 4. Balas

Fungsi utama balas adalah untuk meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar atau *deck girder* pada jembatan, mengkokohkan kedudukan bantalan dan meluruskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel. Kemiringan lereng lapisan balas atas tidak boleh lebih curam 1:2. Bahan balas atas dihampar hingga mencapai sampai dengan elevasi bantalan. Material pembentuk balas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Balas harus terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan.
- b. Material balas harus bersudut banyak dan tajam.
- c. Porositas maksimum 3%.
- d. Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm<sup>2</sup>.
- e. *Specific gravity* minimum 2,6.



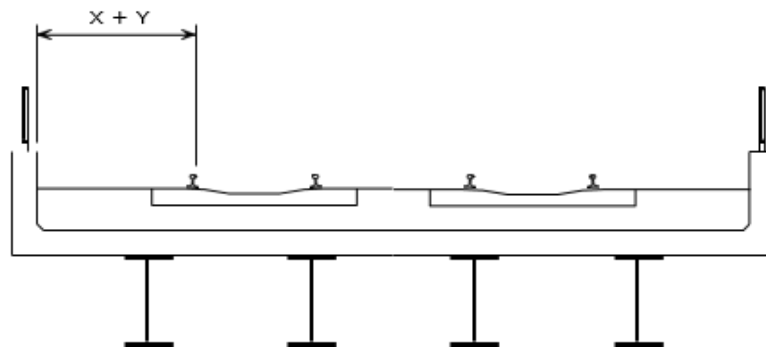
- f. Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%.
- g. Kandungan minyak maksimum 0,2%.
- h. Keausan balas sesuai dengan test *Lost Angeles* tidak boleh lebih dari 25%.

5. Trotoar

Trotoar pada jembatan kereta api berfungsi sebagai ruang bebas sebagai tempat keselamatan yang berbatasan langsung dengan trek. Dimensi dan jarak bebas minum dari jalur kereta.

6. Tiang sandaran (*rail post*)

Tiang pembatas biasanya dibuat dari beton bertulang untuk jembatan *girder* beton, sedangkan untuk jembatan rangka tiang sandaran dengan struktur rangka tersebut. Untuk jembatan tipe *slab* komposit lebar ruang bebas minimum adalah 700 mm, jarak antara lintasan dan struktur adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Jarak bebas lateral ke tembok pembatas.

7. Plat lantai kendaraan (*slab*)

*Deck* berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang menahan beban langsung lalu lintas yang melewati jembatan itu.

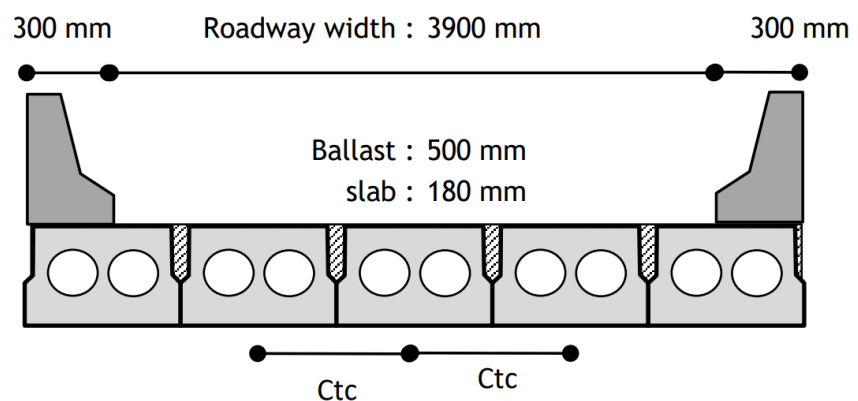
8. Gelagar

Gelagar terdiri atas gelagar induk memanjang merupakan komponen jembatan yang letaknya melintang arah jembatan atau tegak lurus arah penghalang. Sedangkan gelagar melintang merupakan komponen jembatan yang letaknya melintang arah jembatan terbuat dari pelat-pelat berbentuk kotak empat persegi atau

berbentuk trapesium. Jembatan dapat terdiri dari gelagar kotak tunggal (*single box*) maupun tersusun dari beberapa gelagar (*multi span*).

a. *Void slab girder*

voided slab adalah struktur yang tersusun dari plat-plat pracetak dengan penampang berlubang. Lubang-lubang di dalam penampang ini dimaksudkan untuk mengurangi berat sendiri dan efisiensi material. Penulangan di-dalam beton menggunakan system pra-tegang pre-tensioning. Contoh penampang PC I girder dapat dilihat pada Gambar 2.5 Untuk menyatukan antar elemen voided slab digunakan lateral stressing yang berfungsi sebagai diafragma, dan untuk menahan gaya geser yang terjadi antar voided slab sebagai akibat dari beban roda kendaraan yang bekerja pada salah satu elemen voided slab digunakan grouting dengan bahan mortar cement. Struktur Jembatan Precast Voided Slab diproduksi dengan bentang 5 m sampai dengan 16 m. Struktur Jembatan Precast Voided Slab digunakan dengan pertimbangan cepat dan mudah pelaksanaannya .

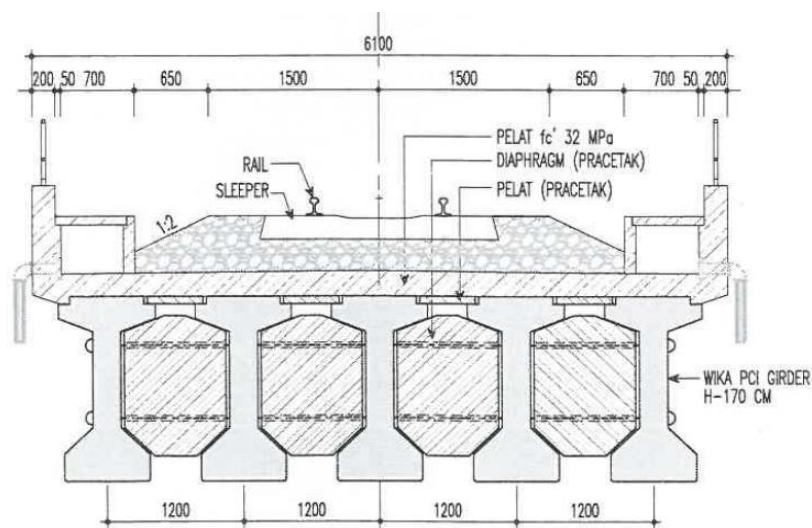


Gambar 2.5: penampang melintang *void slab girder*.

b. *PCI girder*

PC I girder merupakan girder jembatan yang memiliki bentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing daripada bagian pinggir. PC I girder merupakan girder dengan penampang yang kecil dibanding dengan jenis girder lainnya dan memiliki berat sendiri yang relatif lebih ringan per unitnya, oleh sebab itu biasanya dari hasil analisis

PC I girder adalah penampang yang ekonomis. Contoh penampang PC I girder dapat dilihat pada Gambar 2.6 Girder profil I merupakan bentuk yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan balok jembatan. Girder Profil I berbentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dari bagian pinggirnya. Girder profil I memiliki penampang yang kecil dibandingkan jenis girder lainnya, sehingga biasanya dari hasil analisa merupakan penampang yang ekonomis. Selain itu trend penggunaan balok beton prategang dengan bentuk I dipilih karena dianggap mudah dalam proses pembuatan, lebih efisien, dan mudah pelaksanaannya di lapangan.



Gambar 2.6: Tipikal penampang melintang *pci girder*.

#### 9. Balok diafragma

Balok diafragma berfungsi mengkakuhan *PCI girder* dari pengaruh gaya melintang. Diafragma harus disediakan pada daerah perletakan dari gelagar untuk memindahkan beban yang ada ke pemikul. Diafragma harus digunakan bila gaya luar vertikal dan melintang akan di salurkan dari satu unsur ke unsur lain. Diafragma pada perletakan harus di dimensi sebanding untuk membagi gaya-gaya yang bekerja padanya dan sebagai gaya tambahan untuk menahan gaya melintang rencana harus terbagi sama antara diafragma-diafragma.

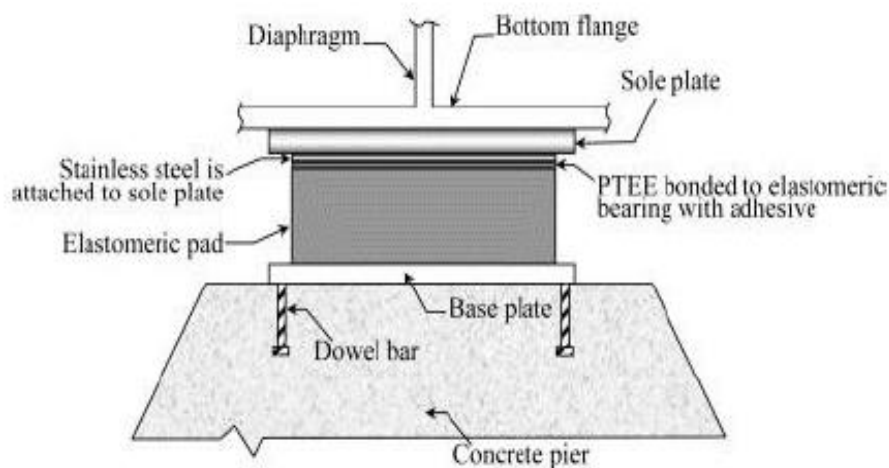
#### 10. *Bracing* pada *girder*

*Bracing* adalah ikatan pengaku pada struktur. Ukuran *flange* atas di daerah lentur positif biasanya lebih kecil dan *slab* beton yang berada di atas *flange* merupakan elemen meningkatkan lentur dan kekuatan torsional. Di wilayah

moment negatif, daerah *flange* atas juga mempengaruhi *flange* bawah karena tegangan yang terjadi pada *gelagar* tidak efektif sehingga diperlukan adanya *bracing* (pengaku) untuk meningkatkan kinerja *gelagar*. Adapun tiga pilihan tipe *bracing* rangka pada *girder* yaitu *bracing v*, *bracing v* terbalik, dan *bracing x* adalah bentuk percobaan untuk meminimalisir berat dari pengikat yang di pakai.

#### 11. Tumpuan (*bearing*)

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 di dalamnya untuk menyerap energi seismik yang ditimbulkan dari getaran gempa. 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 dowel untuk memudahkan pemasangan. Lapisan baja dan karet memberikan kekuatan fleksibilitas ke arah vertikal dan mendukung fleksibilitas. Penyebab energi dan redaman pada arah horizontal LRB dapat berbentuk persegi panjang atau lingkaran seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: *Elastomeric bridge bearing* (bantalan karet).

## 2.4.2 Struktur Bawah (*Substructure*)

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (Modul Pengantar dan Prinsip-Prinsip Perencanaan Bangunan Bawah/Pondasi Jembatan 1988), fungsi utama bangunan bawah adalah memikul beban-beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan ke pondasi yang selanjutnya beban-beban tersebut oleh pondasi di salurkan ke tanah. Struktur bawah jembatan kereta api ini umumnya meliputi:

### 1. Pangkal jembatan (*abutment*)

Abutment merupakan bangunan bawah jalan layang yang terletak pada kedua ujung jalan layang yang berfungsi memikul reaksi beban pada ujung jembatan dan dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah.

### 2. Pilar jembatan (*pier*)

Terletak di tengah bentang jembatan atau memberikan dukungan vertikal untuk rentang di antara dua poin. *Pier* jembatan memiliki dua fungsi utama yaitu mentransfer beban bangunan atas vertikal ke pondasi dan menahan kekuatan horizontal yang bekerja pada jembatan. Meskipun *pier* dirancang untuk menahan beban vertikal dan struktur di atasnya, *pier* juga didesain untuk menahan beban lateral yang disebabkan oleh gaya seismik.

## 2.5 perencanaan girder beton

### 1. Susut beton

Bila tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, nilai regangan susut rencana beton pada umur  $t$  (hari), untuk beton yang dirawat basah dilokasi pekerjaan, biasa ditentukan berdasarkan rumusan pada Pers. 2.1. sampai Pers. 2.3.

$$\varepsilon_{cs,t} = (t / (35 + t)) \varepsilon_{cs,u} \quad (2.1)$$

dengan pengertian:

$\varepsilon_{cs,t}$  = nilai regangan susut beton pada umur  $t$  hari.

$\varepsilon_{cs,u}$  = nilai susut maksimum beton, yang besarnya bias diambil sebagai:

$$\varepsilon_{cs,u} = 780 \times 10^{-6} \lambda_{cs} \quad (2.2)$$

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

$$\lambda_{cs} = K_h^s, K_d^s, K_s^s, K_f^s, K_b^s, K_{ac}^s \quad (2.3)$$

dengan pengertian :

$t$  = 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))

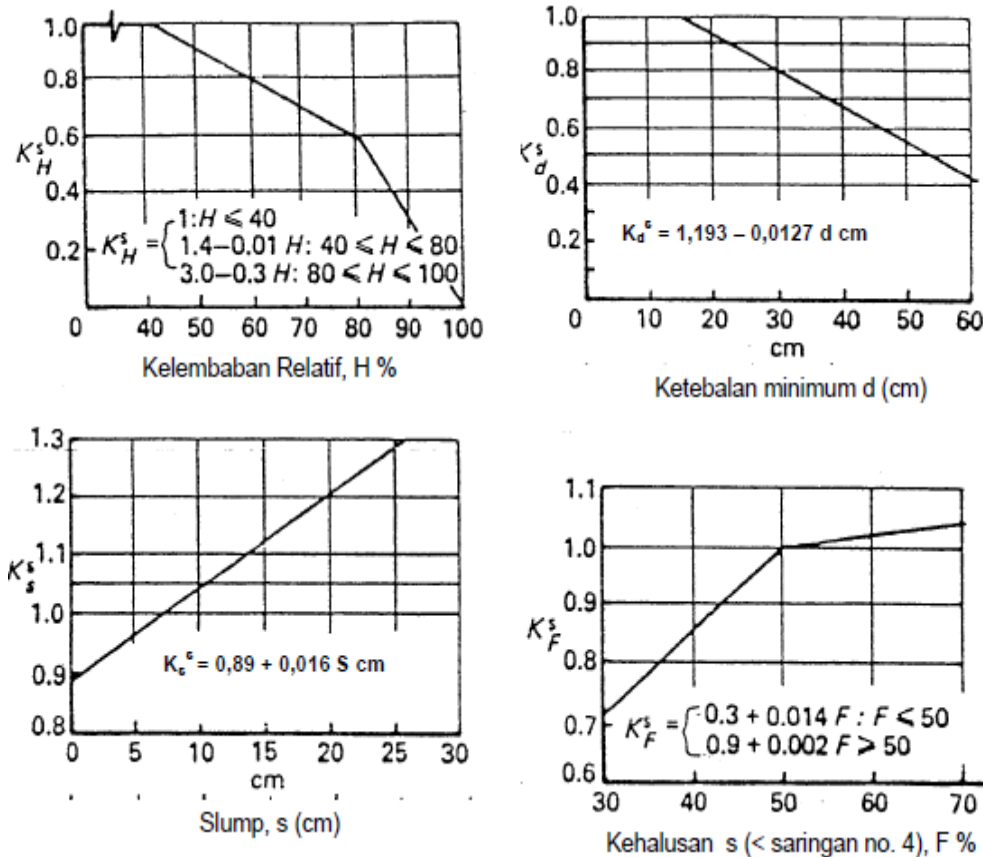
$K_s^s$  = Faktor pengaruh konsistensi (*slump*) adukan beton ( $s$  (cm))

$K_f^s$  = Faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton ( $F$  (%))

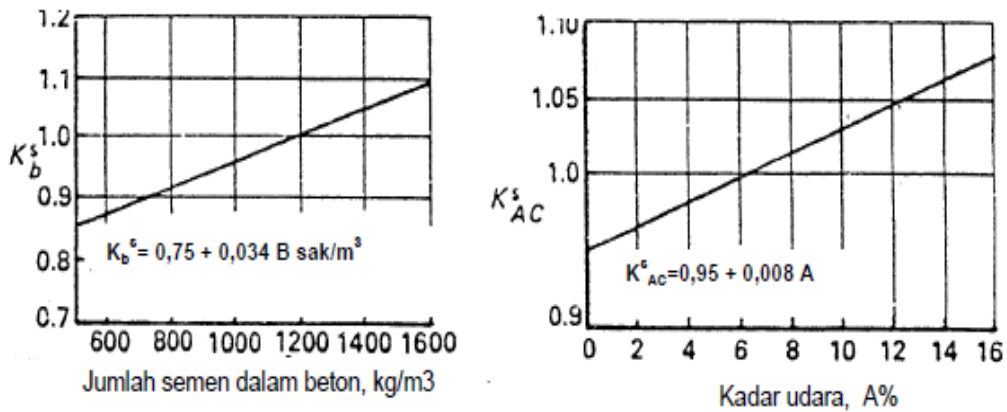
$K_b^s$  = Faktor pengaruh jumlah semen dalam beton ( $C$  (kg/m<sup>3</sup>))

$K_{ac}^s$  = Faktor pengaruh kadar udara dalam beton ( $AC$  (%))

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 2.8.



Gambar 2.8: Penentuan faktor susut (RSNI T-12-2004).



Gambar 2.8: Lanjutan.

Untuk komponen beton yang dirawat dengan cara penguapan (*steam cured*), maka nilai  $\varepsilon_{cs,t}$  ditentukan oleh Pers. 2.4.

$$\varepsilon_{cs,t} = (t / (55 + t)) \varepsilon_{cs,u} \quad (2.4)$$

Di mana t menyatakan umur beton yang dirawat dengan cara penguapan, terhitung sejak 1 -3 hari setelah pengecoran, dalam satuan hari. Berikut ini koefisien standar susut beton pada jangkapanjang pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Koefisien standar susut beton sebagai tambahan regangan jangka panjang (RSNI T-12-2004).

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

## 2. Rangkak pada beton

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  $\varphi_{cc}(t)$ , didapat dilihat pada Pers. 2.5:

$$\varepsilon_{cc,t} = \varphi_{cc}(t) \varepsilon_e \quad (2.5)$$

$\varepsilon_e$  merupakan regangan elastic sesaat, yang diakibatkan oleh bekerjanya suatu tegangan tetap. Dalam hal koefisien rangkak  $\varphi_{cc}(t)$ , bila tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, didapat pada Pers 2.8 sampai Pers. 2.10:

$$\varphi_{cc}(t) = (t^{0,6} / (10 + t^{0,6})) C_u \quad (2.6)$$

$$C_u = 2,35\gamma_{cc} \quad (2.7)$$

$$\gamma_{cc} = K_h^c, K_d^c, K_s^c, K_f^c, K_{ac}^s, K_{to}^c \quad (2.8)$$

keterangan:

t = waktu setelah pembebanan (hari)

$C_u$  = koefisien rangkak maksimum

$K_h^c$  = faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat (H (%))

$K_d^c$  = faktor pengaruh ketebalan komponen beton (d (cm))

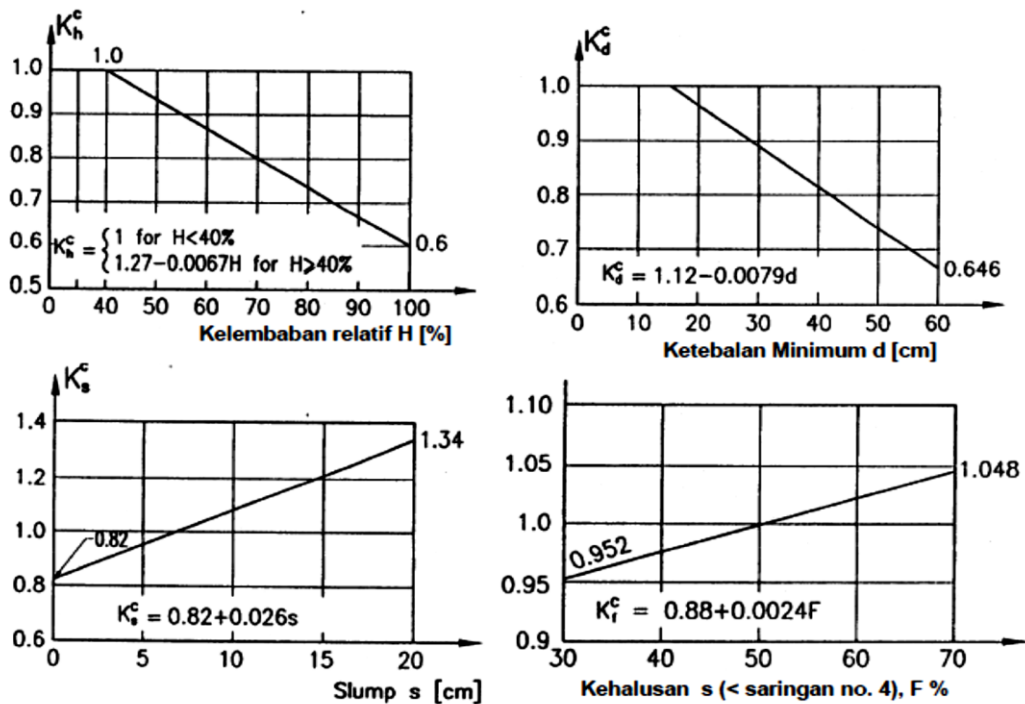
$K_s^c$  = faktor pengaruh konsistensi (*slump*) adukan beton (s (cm))

$K_f^c$  = faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton (F (%))

$K_{ac}^s$  = faktor pengaruh kadar udara dalam beton (AC (%))

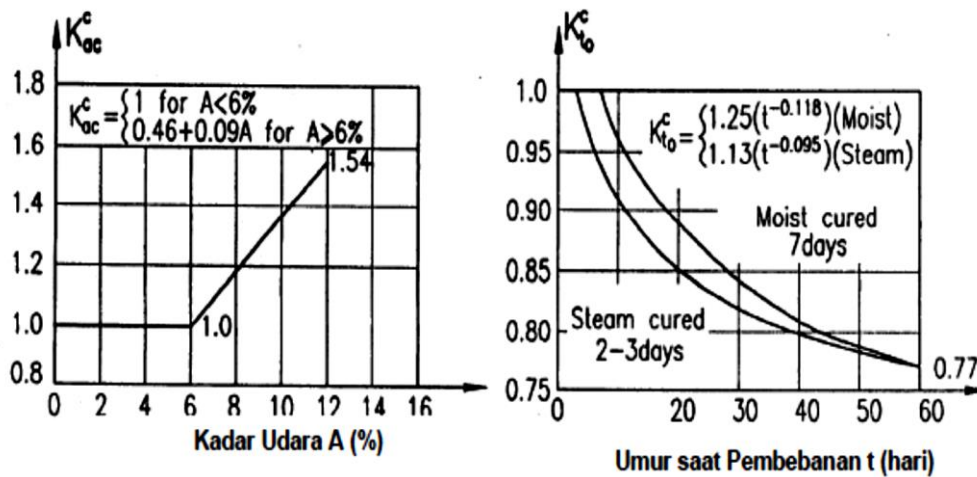
$K_{to}^c$  = faktor pengaruh umur beton saat dibebani ( $t_o$  (hari))

Besaran faktor-faktor  $K_h^c, K_d^c, K_s^c, K_f^c, K_{ac}^s, K_{to}^c$  dapat diambil dari Gambar 2.7.



Gambar 2.9: Grafik penentuan faktor rangkak (RSNI T-12-2004).





Gambar 2.9: Lanjutan.

Namun demikian bila tidak dilakukan suatu perhitungan rinci seperti yang dirumuskan dalam Pers. (2.6) sampai (2.8), atau bila dianggap memang tidak dibutuhkan suatu perhitungan rinci yang sebagaimana disebutkan diatas, maka dalam asumsi pada suatu kondisi yang standar, nilai koefisien rangkai maksimum  $C_u$  bisa diambil secara langsung dari Tabel 2.4.

Dalam hal ini, yang disebut sebagai suatu kondisi standar adalah:

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

Nilai koefisien rangkai maksimum  $C_u$  dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Koefisien standar rangkai beton sebagai tambahan regangan jangka panjang(RSNI T-12-2004).

Kekuatan karakteristik $f_c'$ (MPa)	20	25	30	35	40-60
Koef. rangkai maksimum $\epsilon_{cs,t}$	2,8	2,5	2,3	2,15	2,0

## **2.6 Aspek beton prategang**

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 (angkur 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.

### **2.6.1 Material Beton Prategang**

#### **2.6.1.1 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.

1. 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.

2. Kuat tarik

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

- a.  $0,33 \sqrt{f_{c'}}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b. Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

3. Kuat tarik lentur

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

- a.  $0,6 \sqrt{f_{c'}}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b. Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

4. 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.

5. Tegangan izin 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.

6. Tekanan izin Tarik pada kondisi batas layan

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

- a. beton tanpa tulangan:  $0,15 \sqrt{f_c'}$
- b. beton prategang penuh:  $0,5 \sqrt{f_c'}$

7. 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:

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

8. Massa jenis

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

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

9. 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:

$$E_c = w_c^{1,5} \times (0,043 \times \sqrt{f_c'})$$

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.

## 10. Angka Poisson

Angka Poisson untuk beton bisa diambil sebesar:

- a. 0,2 atau
- b. Ditentukan dari hasil pengujian.

### 2.6.1.2 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 2.5). Untaian kawat yang banyak digunakan adalah untaian tujuh kawat pada Tabel 2.6(*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 2.5: 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

Table 2.5 : *Lanjutan*

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 2.6: *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/1000ft)	Beban minimum pada eksetensi 1%
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	737	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*

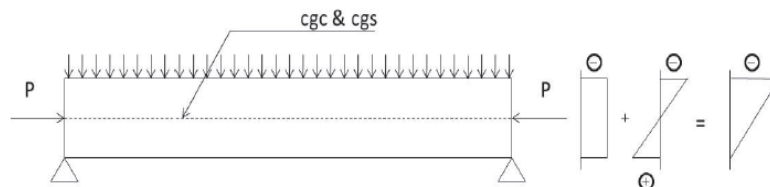
## 2.6.2 Konsep Beton Prategang

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:

1. 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.

- a. 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 2.10).



Gambar 2.10: 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 besar :

$$\sigma = -\frac{P}{A} \quad (2.9)$$

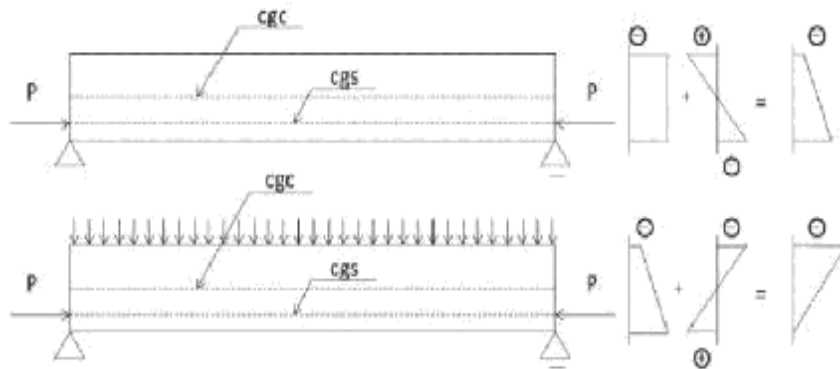
Balok persegi panjang dengan tumpuan sederhana, diberi gaya prategang  $P$  dan beban merata, sehingga timbul momen di tengah bentang, tegangannya menjadi:

$$\sigma^t = -\frac{P}{A} - \frac{MY}{I} \quad (2.10)$$

$$\sigma^b = -\frac{P}{A} - \frac{MY}{I} \quad (2.11)$$

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

- b. 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 2.11).



Gambar 2.11: 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:

$$\sigma^t = -\frac{P}{A} - \frac{MY}{I} \quad (2.12)$$

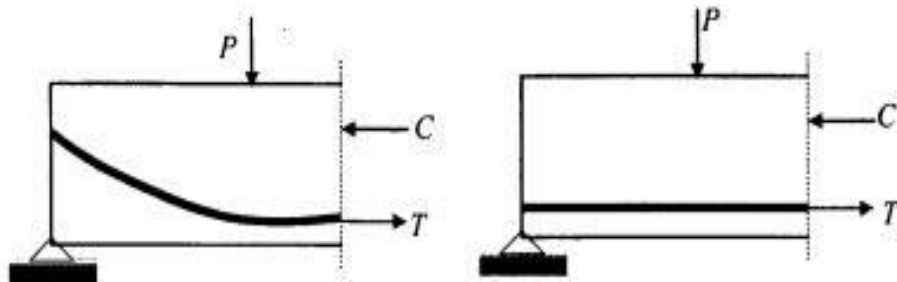
$$\sigma^b = -\frac{P}{A} - \frac{MY}{I} \quad (2.13)$$

2. 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 2.12.



Bagian balok prategang

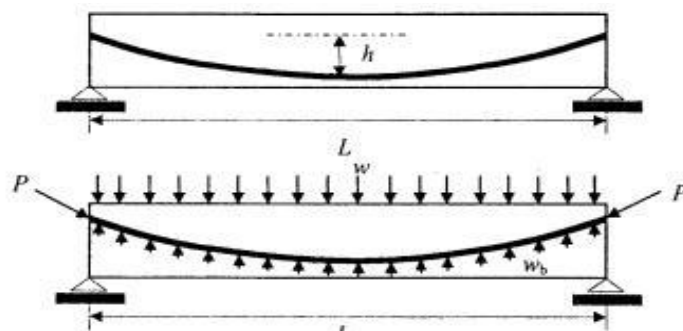
Bagian balok bertulang

Gambar 2.12: Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang.

3. 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 2.13.



Gambar 2.13: Balok prategang dengan tendon parabola.

Dari gambar 2.13. beban yang bekerja yang terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan dalam Pers. 2.33:

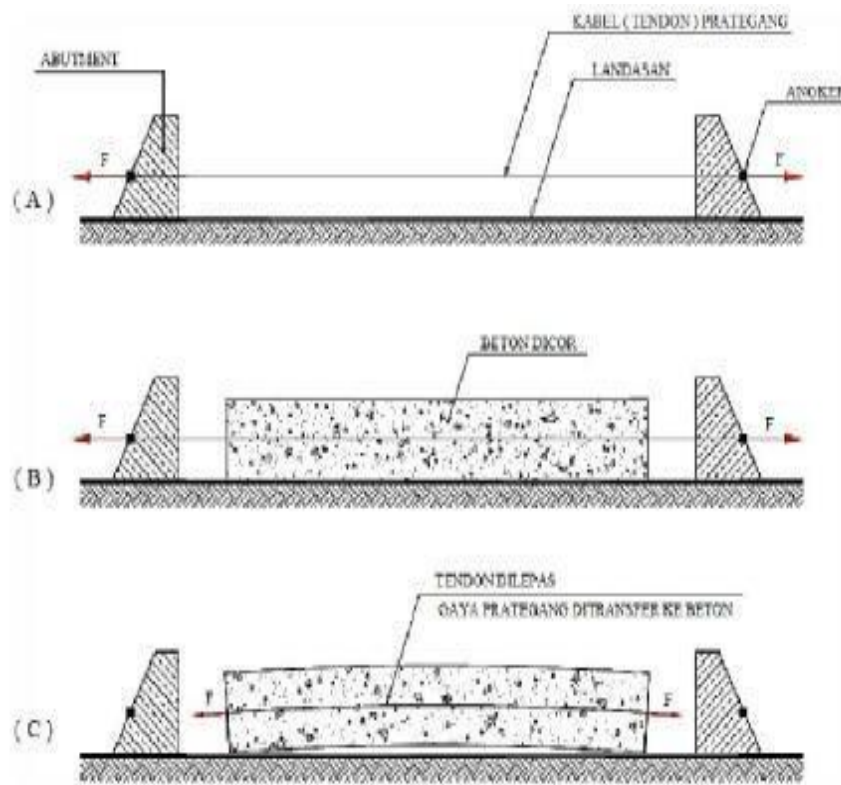
$$W_b = \frac{8Fh}{L^1} \quad (2.14)$$

### 2.6.3 Tipe Beton 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 :

#### 1. Pra Tarik (*Pre-Tension*)

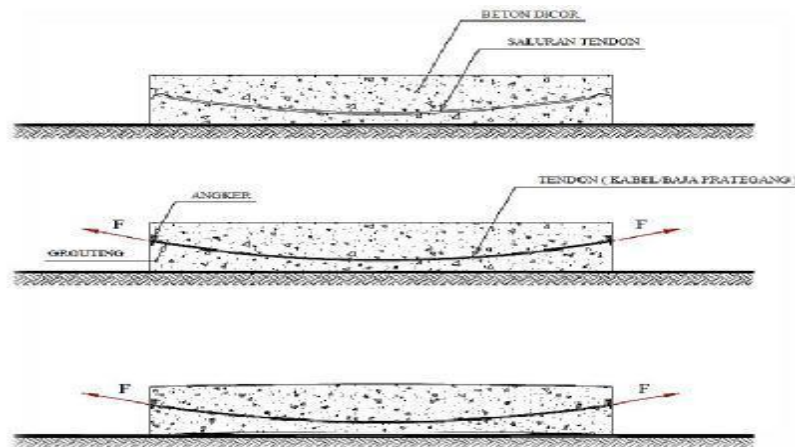
Prinsip kerja metode ini adalah kabel baja diregangkan terlebih dahulu sebelum beton dicetak. Awalnya tendon prategang ditarik kemudian dilakukan pengangkuran pada abutment. Setelah tendon terpasang, maka beton dapat dicetak. Setelah itu, tendon dapat dipotong sehingga gaya prategang dapat ditransfer ke beton. Pada kondisi ini, kuat tekan beton harus sesuai dengan yang disyaratkan. Konsep ini digambarkan (Gambar 2.14) sebagai berikut:



Gambar 2.14: Konsep Pra Tarik.

## 2. 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 2.15):



Gambar 2.15: Konsep pasca Tarik.

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

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

$$\text{Tegangan serat tekan terluar} = 0,6 f_{ci} \quad (2.15)$$

$$\text{Tegangan serat tarik terluar} = \frac{1}{4} \sqrt{f_{ci}} \quad (2.16)$$

$$\text{Tegangan titik di ujung elemen} = \frac{1}{2} \sqrt{f_{ci}} \quad (2.17)$$

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

$$\text{Tegangan tekan iji akibat beban hidup tetap} = 0,45 f_c \quad (2.18)$$

$$\text{Tegangan tekan ijin beban hidup total} = 0,6 f_c \quad (2.19)$$

$$\text{Tegangan tarik} = \frac{1}{2} \sqrt{f_c} \quad (2.20)$$

## 2.6.4 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 angkur, 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.

### 2.6.4.1 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.

#### 1. 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:

$$ES = n \times f_c \quad (2.21)$$

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:

$$ES = \frac{n \times P_i}{A_s + (n \times A_s)} \quad (2.22)$$

## 2. 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:

$$ES = \Delta f_c = \frac{np_i}{Ac} \quad (2.23)$$

Atau secara praktis, untuk struktur pascatarik dapat digunakan persamaan:

$$ES = 0,5 \frac{ES}{EC} \times f_c \quad (2.24)$$

### 2.6.4.2 Geserkan 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 2.7. Sedangkan kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{p_2 - p_1}{p_1} = -KL - \mu\alpha \quad (2.25)$$

Tabel 2.7: 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	0,0003-0,0020	0,08-0,30
Strand 7 kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25

Table 2.7 : *Lanjutan*

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- greaseed	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:

$$P_s = p_x e^{(k \times Lx + \mu\alpha)} \quad (2.26)$$

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

$$P_s = P_x (1 + K \times LX + \mu\alpha) \quad (2.27)$$

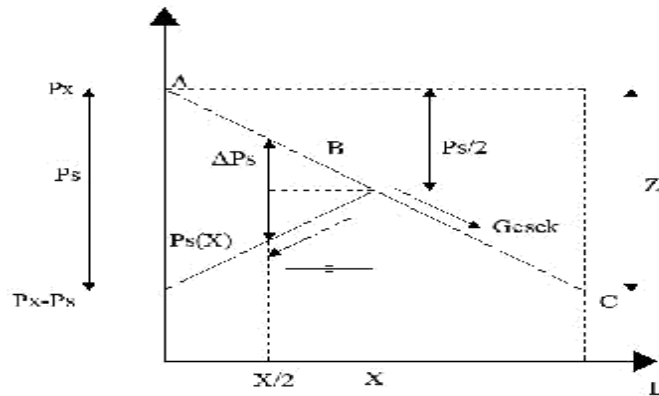
#### 2.6.4.3 Slip Pada Angkur

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:

$$ANC = \Delta L = \frac{f_c}{E_s} \times L \quad (2.28)$$

Kehilangan tegangan akibat pemindahan gaya dilihat pada Gambar 2.16. 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:

$$P_s = 2 EP \frac{d}{x} \quad (2.29)$$



Gambar 2.16: 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 2.8 menunjukkan nilai  $\lambda$  untuk berbagai profil tendon.

Tabel 2.8: Nilai  $\lambda$  dan X untuk berbagai profil tendon (Naaman, 1982).

Profil tendon	Gambar	$\lambda = \frac{\mu\alpha + kx}{x}$	X jika kurang dari L
Linier		$\lambda = \frac{\mu\alpha + kx}{x}$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{K Px}}$
Parabolis		$\lambda = \frac{2\mu\alpha}{b^2} + K$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{\left(\frac{2\mu\alpha}{b^2} + K\right) Px}}$
Melingkar		$\lambda = \frac{\mu}{R} + K$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{\left(\frac{\mu}{R} + K\right) Px}}$

Table 2.2 : Lanjutan

Profil tendon	Gambar	$\lambda = \frac{\mu\alpha + kx}{x}$	X jika kurang dari L
Bentuk lain		$\lambda = \left(\frac{Z}{L}\right) \frac{1}{Px}$	$X = \sqrt{\frac{Ep d}{\left(\frac{Z}{L}\right)}}$

#### 2.6.4.4 Rangka 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 rangkakan batas, besarnya kehilangan tegangan pada baja prategang akibat rangkakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$CR = \epsilon_{ce} \cdot f_c \cdot E_s \quad (2.30)$$

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

$$\phi = \frac{\epsilon_{cr}}{\epsilon_{ci}} \quad (2.31)$$

$$\epsilon_{cr} = \phi \cdot \epsilon_{ce} = \phi \frac{f_c}{E_c} \quad (2.32)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.33)$$

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



$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \quad (2.34)$$

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

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} f_{cp} \quad (2.35)$$

#### 2.6.4.5 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:

$$SH = \epsilon_{cs} E_s \quad (2.36)$$

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

$\epsilon_{cs} = \frac{200 \times 10^{-6}}{\log_{10} (t+2)}$  untuk pascatarik, dengan t adalah usia beton pada waktu

transfer gaya prategang dalam hari

susut beton dapat juga ditentukan dengan persamaan:

$$SH = \epsilon_{sh} K_{sh} E_s \quad (2.37)$$

$$\epsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{v}{s}\right) (100 - RH) \quad (2.38)$$

untuk menentukan nilai koefisien susut  $K_{sh}$  susut pada beton bisa dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9: 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

#### 2.6.4.6 Relaksai 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:

$$RE = C [ K_{re} - J (SH + CR + ES)] \quad (2.39)$$

Dimana nilai C didapat dari tabel pembagian  $f_{pi}$  dengan  $f_{pu}$  pada tabel 2.10:

Tabel 2.10: 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
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,28	0,85
0,71	1,09	0,80
0,7	1	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

Table 2.2 : *Lanjutan*

F <sub>pi</sub> /f <sub>pu</sub>	Strand stress-relieved atau kawat	Batang stress relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0,61	0,53	0,37
0,6	0,49	0,33

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

$$RE = R \left( 1 - \frac{2 E_c S}{f_{pi}} \right) \quad (2.40)$$

#### 2.6.4.7 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% rangkai 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% rangkai 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 angkur sehingga angka kehilangan tegangan total di atas dapat dikurangi dengan faktor pengurangan kehilangan tegangan  $\eta$  sebesar:

$$\eta = \frac{f_{pe}}{f_{pi}} \quad (2.41)$$

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

## **2.7 Persyaratan pada Sistem Jembatan**

### **2.7.1 Ketentuan Umum**

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

Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi ekstrim maksimum dan minimum. Dalam kombinasi pembebanan dimana efek salah satu gaya mengurangi gaya lain, maka digunakan faktor beban permanen, harus dipilih faktor beban yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Jika terpengaruhi beban permanen adalah meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan, maka perencanaan harus memperhitungkan pengaruh faktor beban terkurangi (minimum).

### **2.7.2 Keadaan Batas Layanan**

Keadaan batas layanan disyaratkan dalam perencanaan dengan melakukan pembatasan tegangan, deformasi, dan lebar retak pada kondisi pembebanan layanan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencana.

### **2.7.3 Keadaan Batas Fatik dan Fraktur**

Keadaan batas fatik disyaratkan agar jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana. Untuk tujuan ini, perencanaan harus membatasi rentangan tegangan akibat satu beban rencana pada jumlah siklus pembebanan yang dianggap dapat terjadi selama umur rencana jembatan. Keadaan batas fraktur disyaratkan dalam perencanaan dengan menggunakan persyaratan kekuatan material sesuai spesifikasi keadaan batas fatik dan fraktur dimaksudkan untuk membatasi penjalaran akibat beban siklik yang ada pada akhirnya yang akan menyebabkan terjadinya kegagalan fraktur selama umur rencana.

## 2.7.4 Keadaan Batas Kekuatan

Keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan untuk memastikan adanya kekuatan dan stabilitas jembatan yang memadai, baik yang bersifat lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statik mempunyai kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama masa layanan jembatan. Pada keadaan batas ini, dapat terjadi kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktur, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih terjaga.

## 2.7.5 Keadaan Batas Ekstrim

Keadaan batas ekstrim diperhitungkan untuk memastikan struktur jembatan dapat bertahan akibat gempa besar. Keadaan batas ekstrim merupakan kejadian dengan frekuensi kemunculan yang unik dengan periode ulang yang lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan umur rencana jembatan.

## 2.8 Persyaratan Pembebanan pada Sistem Jembatan Kereta Api

### 2.8.1 Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 18 ton. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada kelas jalur maksimum sebesar 22.5 ton.

### 2.8.2 Lendutan

Lendutan didefinisikan sebagai besaran penyimpangan (*deflection*) yang tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis.

1. Koefisien lendutan maksimum jembatan baja, sebagaimana tersebut dalam Tabel 2.11.

Tabel 2.11: Koefisien lendutan maksimum jembatan baja.

Jenis Kereta	Gelagar		Rangka Batang
	L(m)		
Lokomotif	L < 50	L ≥ 50	Seluruh rangka
	L/800	L/700	L/1000

Tabel 2.11: Lanjutan.

Jenis Kereta	Gelagar				Rangka Batang
	L(m)				
Kereta listrik Atau Kereta disel	V (km/h)	V < 100	L/700		
		100 < V ≤ 130	L/800	L/700	
		100 < V ≤ 160	L/1100	L/900	

2. Koefisien lendutan maksimum jembatan beton, sebagaimana tersebut dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.12: Koefisien lendutan maksimum jembatan beton.

Beban lokomotif	Bentang L (m)			L < 50		L ≥ 50
				L / 800		L/700
	Bentang L (m)			L ≤ 20	20 < L < 50	L ≥ 50
Kereta penumpang dan kereta disel	Untuk satu kereta	Kecepatan maksimum V (km/jam)	V < 100	L/700		
			100 < V ≤ 130	L/800		L/700
			100 < V ≤ 160	L/1100		L/900
	Untuk dua rangkaian atau lebih	Kecepatan maksimum V (Km/ jam)	V < 100	L/ 800	L/ 850	L/ 700
			100 < V ≤ 130	L/ 1000	L/ 1100	L/ 900
			100 < V ≤ 160	L/ 1300	L/ 1400	L/ 1200

3. Koefisien lendutan maksimum jembatan komposit adalah 1/1000 panjang teoritis.

### **2.8.3 Stabilitas Konstruksi**

Stabilitas untuk jembatan bagian atas adalah kekuatan konstruksi yang diperhitungkan dari jumlah pembebanan dan kombinasi pembebanan. Stabilitas konstruksi untuk jembatan bagian bawah adalah kapasitas daya dukung tanah dan kekuatan konstruksi yang diperhitungkan dari jumlah kombinasi pembebanan yang terdiri dari beban-beban vertikal jembatan bagian atas, beban horisontal (gempa, angin, tekanan tanah, tekanan air), dan momen guling.

Metode perhitungan desain struktur jembatan dapat menggunakan salah satu dari 2 (dua) metode berikut:

1. Metode desain tegangan izin (*Allowable Stress Design*).
2. Metode faktor beban (*Limit State Design*).

### **2.8.4 Tinggi Jagaan (Tiang Tepi)**

Untuk perencanaan jembatan di atas sungai, harus memperhitungkan tinggi jagaan minimal 1,00 meter dibawah gelagar jembatan paling bawah terhadap muka air banjir rencana.

## **2.9 Pembebanan pada Jembatan Kereta Api**

Pembebanan yang digunakan pada perencanaan jembatan ini yaitu peraturan pembebanan kereta api. Standar pembebanan yang digunakan berdasarkan pada (SNI 1725-2016) Tentang Pembebanan untuk Jembatan dan (Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 tentang Perencanaan Teknis Jalur Kereta Api. Standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan teknis jalur kereta api.

### **2.9.1 Beban Primer**

Beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan:

1. Beban mati (MS)

Beban mati atau beban sendiri adalah beban yang berasal dari jembatan itu sendiri yang ditinjau dan termaksud segala unsur tambahan tetap yang merupakan

satu kesatuan dengan jembatan. Untuk menemukan besar seluruhnya di tentukan berdasarkan berat volume beban. Berdasarkan Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012, berat jenis bahan yang biasanya digunakan dalam perhitungan beban mati dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2.13: Berat jenis bahan.

No.	Bahan	Berat isi (kN/m <sup>3</sup> )	Kerapatan massa (kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25-25,0	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

Berdasarkan SNI 1725-2016 faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dilihat pada tabel 2.14.

Tabel 2.14: Faktor beban akibat berat sendiri.

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma^s MS$ )		Keadaan Batas Limit ( $\gamma^u MS$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,0	1,1	
	Alumunium	1,0	1,1	0,90
Tetap	Beton Pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7



Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, konstruksi jalan rel adalah spesifikasi bahan penyusun badan jalan jembatan rel kereta api menggunakan PM NO.60 Tahun 2012 beserta peraturan lain yang memberikan detail spesifik bahan penyusun badan jalan rel kereta api.

## 2. Beban mati tambahan (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 perencanaan. Beban mati tambahan pada jembatan jalan rel umumnya terdiri dari berat rel, bantalan, *ballast*, kerikil dll.

Dalam hal ini tentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.15 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati pada jembatan sehingga tidak melampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.15: Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 1725:2016).

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma^{sMA}$ )		Keadaan Batas Limit ( $\gamma^{uMS}$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,0	2,0	0,7
	Khusus (Terawasi)	1,0	1,4	0,8

Catatan : faktor beban sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

## 3. Pengaruh tetap pelaksanaan (PL)

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai Tabel 2.16.

Tabel 2.16: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan.

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{PL}$ )		
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma^s_{PL}$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^u_{PL}$ )	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

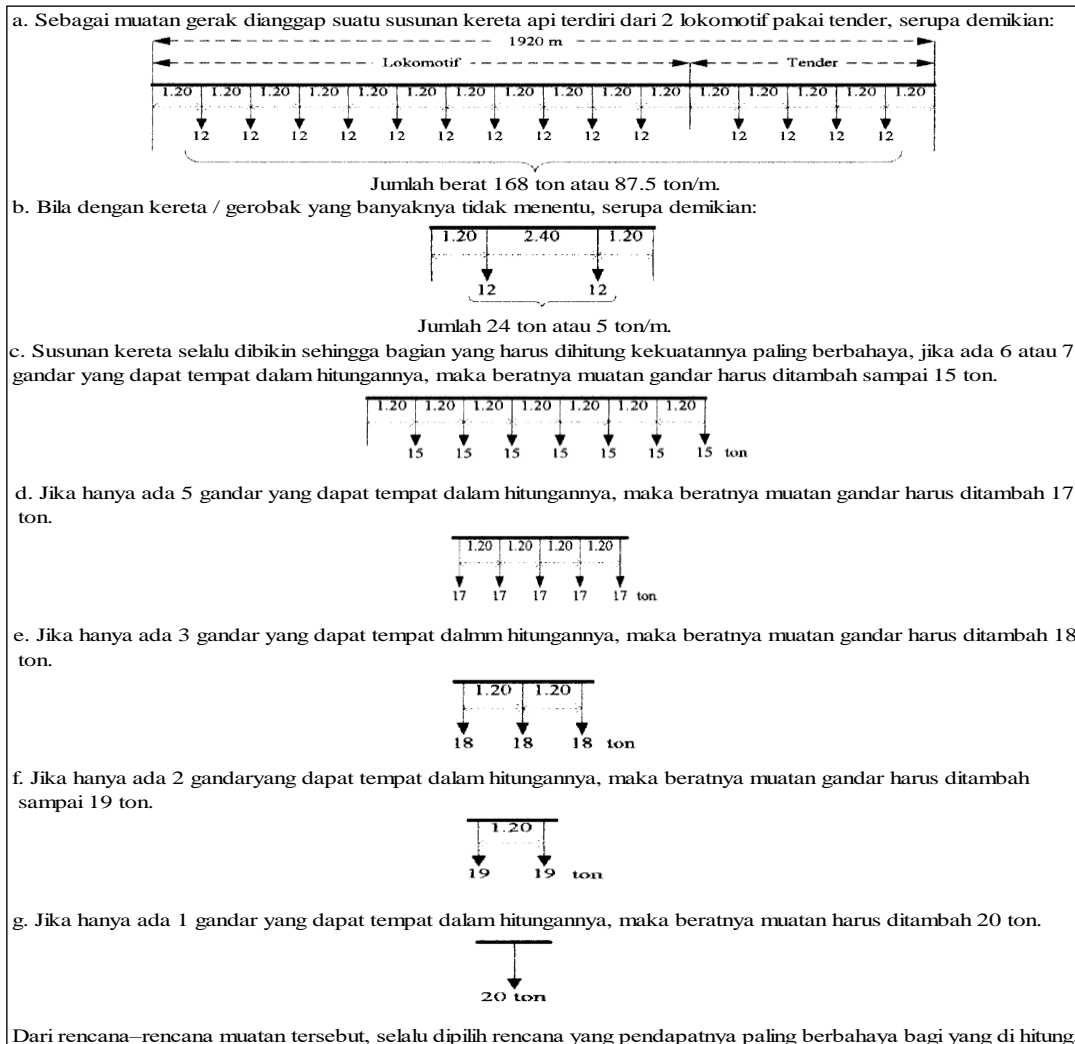
#### 4. Beban kendaraan kereta api (beban gandar)

Semua beban yang berasal dari kereta api harus berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012. Perencanaan jalan rel merupakan suatu konstruksi yang direncanakan sebagai perasarana atau infrastuktur perjalanan kereta api. Struktur jalan rel merupakan suatu rangkaian yang menjadi suatu komponen yang saling mendukung sehingga mampu mendistribusikan beban kereta api secara menyeluruh dan rata terhadap tanah dasar tanpa merubah bentuk tanah (Rosyidi, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012. Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar, untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum 18 ton dan beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 22.5 ton.

Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan 1991 (RM 21).

Untuk beban gandar sampai dengan 18 ton dapat digunakan skema rencana muatan 1921 (RM 21) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9 untuk beban gandar yang lebih besar dari 18 ton, rencana muatan disesuaikan dengan kebutuhan tekanan gandar.



Gambar 2.17: Skema pembebanan rencana muatan 1921 (RM 21).

## 5. Beban kejut (*i*)

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor *i* terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor *i* adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Untuk rel pada balas,  $i = 0.1 + \frac{25}{50+L}$  (2.42)

b. Untuk rel pada perletakan kayu,  $i = 0.2 + \frac{25}{50+L}$  (2.43)

c. Untuk rel secara langsung pada baja,  $i = 0.3 + \frac{25}{50+L}$  (2.44)

## 6. Beban horizontal

### a. Beban sentrifugal

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor  $\alpha$  terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horisontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 R} \quad (2.45)$$

dimana:

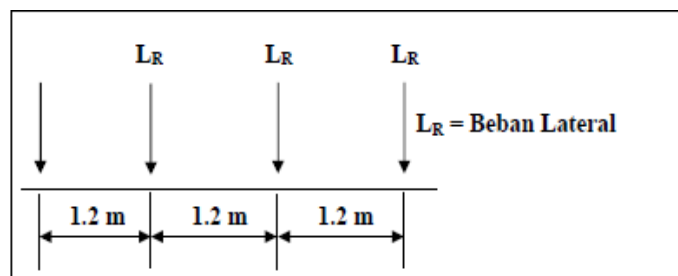
$\alpha$  = koefisien beban sentrifugal.

$V$  = kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam).

$R$  = radius tikungan (m).

b. Beban lateral kereta ( $L_R$ )

Beban bekerja pada bagian atas tegak lurus arah rel, secara horisontal. Besarnya adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing – masing lokomotif atau kereta listrik/diesel.



Gambar 2.18: Beban lateral kereta (PM. Nomor 60 Tahun 2012).

c. Beban Pengereman dan Traksi

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

d. Beban Rel Panjang longitudinal (LF)

Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, maksimum 2000 kN.

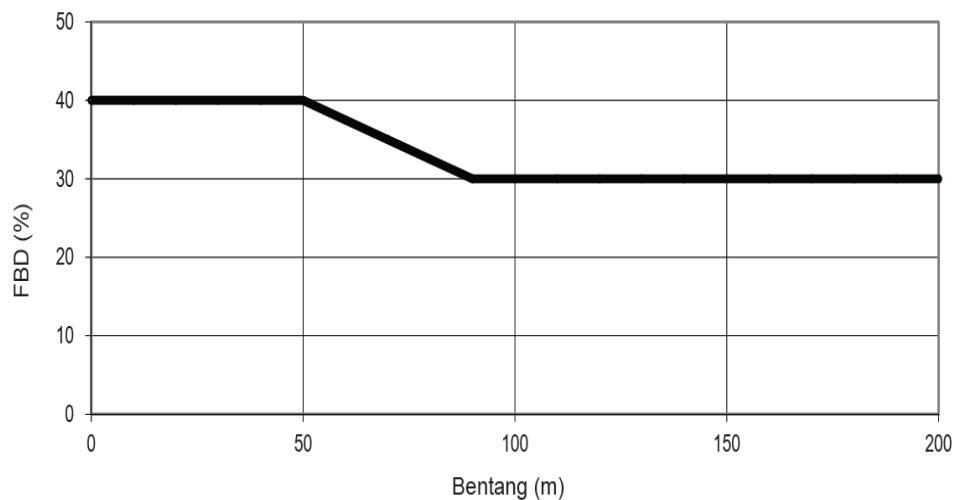
7. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan. Biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan

frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Faktor beban dinamis tidak perlu ditetapkan untuk:

- a. Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan.
- b. Komponen pondasi yang seluruhnya berada diwilayah permukaan tanah.



Gambar 2.19: Faktor beban dinamis untuk beban hidup kendaraan (SNI 1725:2016).

## 2.9.2 Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah:

1.  $3.0 \text{ kN/m}^2$  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.
2.  $1.5 \text{ kN/m}^2$  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

### 2.9.3 Beban Akibat Tumbukan Kendaraan

Menurut buku perencanaan teknik jembatan Direktorat Jendral Bina Marga beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan ditentukan sebesar 1000 kN pada arah tegak lurus jembatan sebesar 500 kN pada arah memanjang jembatan. Keduanya bekerja pada tinggi 1.8 m dari permukaan jalan dibawah jembatan.

### 2.9.4 Beban Gempa

Standar perencanaan jembatan terhadap beban gempa pada (SNI 2833:2016), standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan. Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlakukan 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 Pers. 2.46 sebagai berikut:

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} W_t \quad (2.46)$$

Keterangan:

$EQ$  = Gaya gempa horizontal statis (kN).

$C_{sm}$  = Koefisien respon gempa elastic.

$R_d$  = Faktor modifikasi respon.

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

Koefisien respon elastik  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan pada peta gempa dikalikan dengan satu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan.

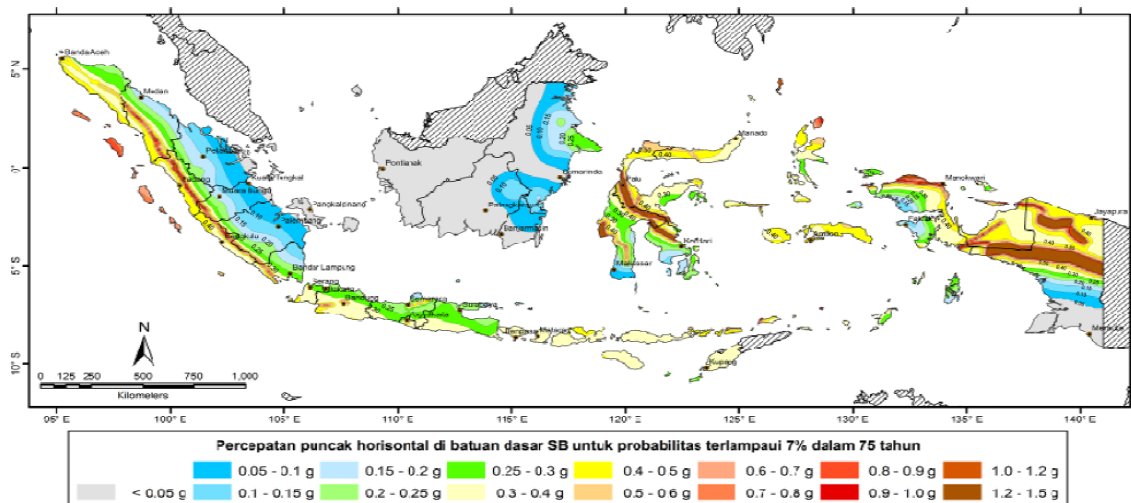
## 1. Bahaya Gempa

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

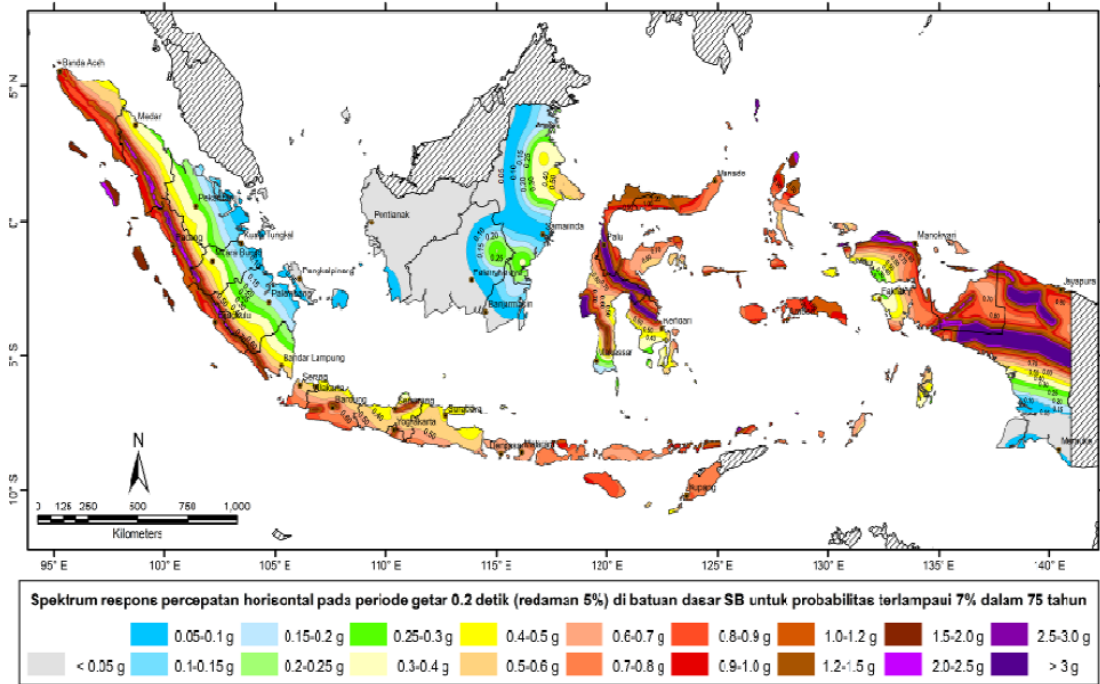
- a. Jembatan berada dalam jarak 10 km dari patahan aktif.
- b. Situs termasuk dalam kategori kelas F yaitu kelas situs lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik. Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:
  - 1) Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung, sangat sensitif, tanah tersementasi lemah.
  - 2) Lempung organik tinggi atau gambut (dengan ketebalan  $> 3$  m).
  - 3) Plastisitas tinggi (ketebalan  $H > 7,5$  m dengan  $PI > 75$ ).
  - 4) Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan  $H > 35$  m).

## 2. Prosedur Umum

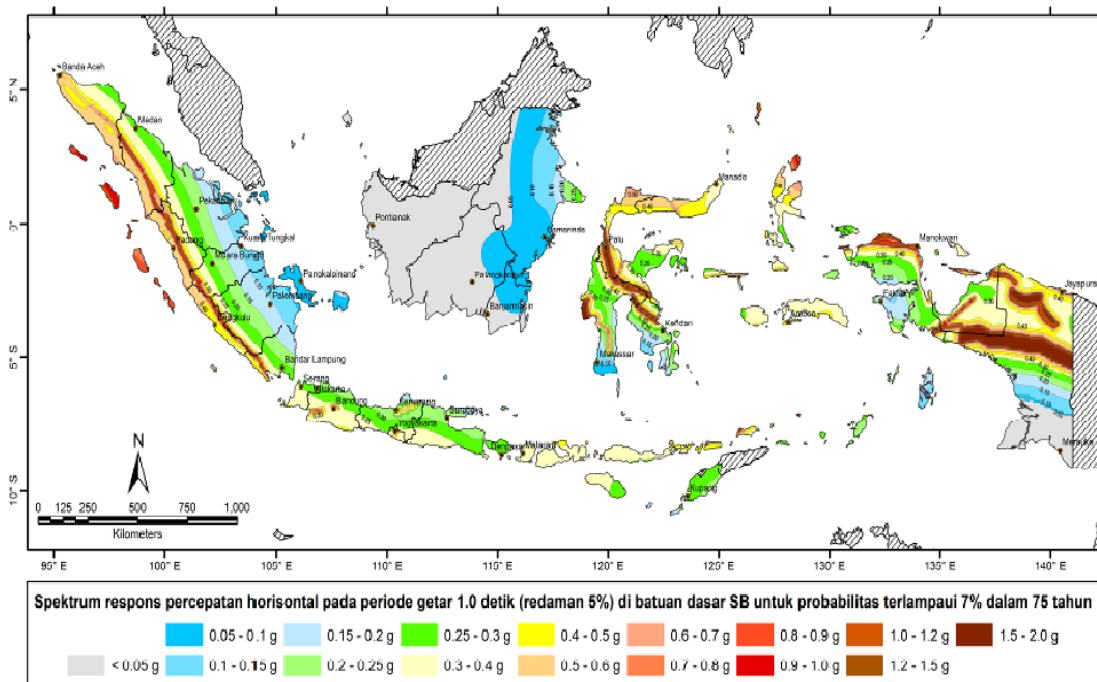
Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak di batuan dasar (*PGA*) dan respon spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili *level hazard* (potensi bahaya gempa) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.



Gambar 2.20: Peta percepatan pucuk di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.21:  $S_s$ , Peta respon spektrum percepatan 0.2 detik di batuan dasar  $S_B$  untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.22:  $S_1$ , Peta respon spektrum percepatan 1 detik di batuan dasar  $S_B$  untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



### 3. Penentuan faktor situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periode nol detik, periode pendek ( $T = 0,2$  detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik ( $F_{PGA}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Tabel 2.10-2.11 memberikan nilai  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ ,  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi kelas situs berdasarkan jenis tanah.

Tabel 2.17: Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0.2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ ).

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

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

Tabel 2.18: Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ).

Kelas situs	S1 $\leq$ 0,1	S1 $\leq$ 0,2	S1 $\leq$ 0,3	S1 $\leq$ 0,4	S1 $\leq$ 0,5
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

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

Keterangan:

PGA = Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.12)

S1 = Parameter respon spectra percepatan gempa periode pendek

( $T=0.2$  detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.13)

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisa respon spesifik spesifik percepatan tanah puncak.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA.$$

dimana:

$PGA_M$  = Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

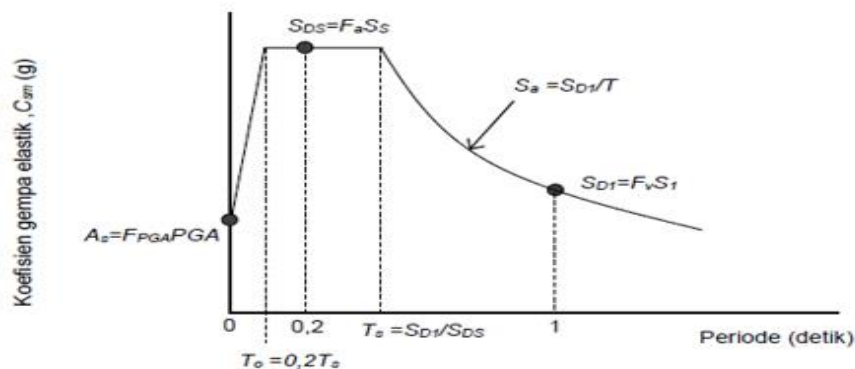
$F_{PGA}$  = Nilai koefisien situs untuk PGA.

#### 4. Karakteristik bahaya gempa

##### a. Respon spektrum rencana

Menurut teori dinamika struktur (*structural dynamics*) salah satu cara untuk menghitung/menentukan simpangan gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*) adalah dengan menggunakan respon spektrum.

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat goyangan tanah disajikan dalam bentuk plot/grafik antara periode getar struktur  $T$ , lawan respons-respons maksimumnya untuk rasio redaman dan beban gempa tertentu. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.23: Respon spektrum desain (SNI 2833:2016).

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun ( $PGA$ ,  $S_s$ ,  $S_1$ ), serta nilai faktor amplifikasi  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$ . Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (2.47)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2.48)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (2.49)$$

b. Koefisien respon gempa elastic

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

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \quad (2.50)$$

$$T_0 = 0.2 \times T_s \quad (2.51)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.52)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = adalah nilai spektra permukaan tanah dasar periode pendek ( $T = 0.2$  detik).

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

5. Kategori kinerja seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu dari ke empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) sesuai Tabel 2.17. kategori tersebut menggambarkan variasi resiko seismik dan digunakan untuk penentuan zona gempa, dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19: Zona gempa (SNI 2833:2016).

Koefisien percepatan ( $S_{D1}$ )	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0.15$	1
$0.15 < S_{D1} \leq 0.30$	2
$0.30 < S_{D1} \leq 0.50$	3
$S_{D1} > 0.50$	4

Catatan:

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$

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

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

$S_1$  = adalah parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.14).

#### 6. 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 ( $R$ ). Sebagai alternatif penggunaan faktor  $R$  untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke fondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom, atau kolom majemuk yang berhubungan.

Struktur jembatan kereta api diklasifikasikan dalam kategori jembatan lainnya (*other bridge*). Berdasarkan tabel nilai  $R$  yang digunakan untuk *pier* (struktur atas) dapat diambil 1.5, baik untuk arah longitudinal maupun transversal. Sedangkan untuk desain pondasi (struktur bawah) nilai  $R$  diambil 1.

Tabel 2.20: Faktor modifikasi respon ( $R$ ).

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0

Tabel 2.20: *Lanjutan.*

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

Tabel 2.21: Faktor modifikasi respon (R) untuk antar elemen struktur (SNI 2833:2016).

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

## 2.9.5 Gaya Akibat Temperatur

### 1. Temperatur Seragam (*Eun*)

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar yang terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.22. perbedaan antara temperatur minimum dengan temperatur maksimum dengan temperatur normal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.22 Harus digunakan sebagai  $T_{\text{mindesign}}$  dan  $T_{\text{maxdesign}}$  pada Pers. 2.55.

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

$$\Delta T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}}) \quad (2.53)$$

Tabel 2.22: Temperatur jembatan rata-rata nominal.

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton diatas gelagar atau boks beton.	15 °C	40 °C
Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton diatas gelagar , boks atau rangka baja	15 °C	40 °C
Lantai pelat baja diatas gelagar, boks atau rangka baja	15 °C	40 °C
Catatan: Temperature jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5 °C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

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

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu ( $\alpha$ )	Modulus Elastis (MPa)
Baja	$12 \times 10^{-6}$ per °C	200.000
Beton		
Kuat tekan < 30 MPa	$10 \times 10^{-6}$ per °C	$4700\sqrt{f'c}$
Kuat tekan > 30 Mpa	$11 \times 10^{-6}$ per °C	$4700\sqrt{f'c}$

## 2. Temperatur Gradien

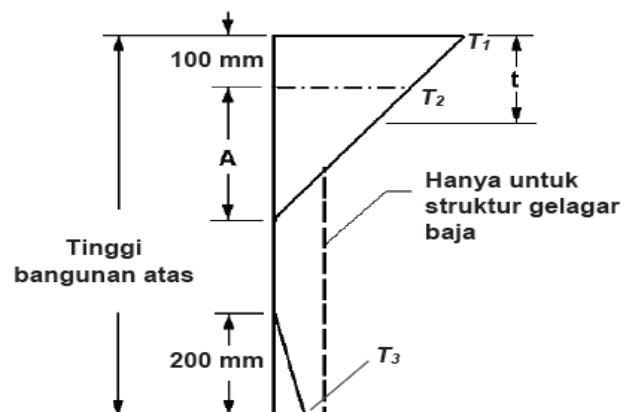
Variasi temperatur (*EG*) di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertical untuk bangunan atas beton dan baja diberikan dalam Gambar 2.16. parameter yang digunakan mencakup  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$  dengan nilai sesuai pada Tabel 2.24. untuk tipe jembatan yang lebar diperlukan perhitungan untuk meninjau gradien perbedaan temperatur dalam arah melintang. Nilai  $A$  dapat diambil sebagai berikut:

- Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar sebesar 400 mm atau lebih nilai  $A$  sama dengan 200 mm.
- Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar lebih rendah dari 400 mm 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 2.24: Parameter  $T_1$  dan  $T_2$ .

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

Nilai  $T_3$  dapat diambil sebesar 0 kecuali bila dilakukan kajian spesifikasi situs tetapi nilai  $T_3$  diambil tidak melebihi  $5^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 2.24: Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja.

## 2.10 Faktor Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1725-2016 jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, aspek layanan, dengan memperhatikan kemudah inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi persamaan 1 untuk kombinasi beban-beban ekstrim seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung menggunakan Pers. 2.54 berikut ini:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (2.54)$$

Keterangan :

$\gamma_i$  = faktor beban.

$\eta_i$  = faktor pengubah respons.

$Q_i$  = gaya atau beban yang bekerja pada jembatan.

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Pers. 2.54 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas berikut:

- Kuat I = kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
- Kuat II = kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- Kuat III = kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenal beban angin berkecepatan 90 km/jam.
- Kuat IV = kombinasi pembebanan memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan hidup yang besar.
- Kuat V = kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.



- Ekstrem I = kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $Y_{EQ}$  yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
- Ekstrem II = kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasi dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- Layan I = kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhatikan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam/kombinasi ini juga digunakan untuk lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur bertulang, dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- Layan II = kombinasi pembebanan yang ditunjukkan untuk investigasi stabilitas lereng.
- Layan III = kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
- Layan IV = kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan mengontrol besarnya retak.
- Fatik = kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Faktor beban untuk setiap beban setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti terlihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.25: Kombinasi beban dan faktor beban (SNI 1725:2016).

Keadaan Batas	MS MA TA PR SL SH	TT TD TB TR TP	EU	E <sub>Ws</sub>	E <sub>Wl</sub>	BF	EU <sub>n</sub>	TG	ES	GUNAKAN SALAH SATU		
										EQ	TC	TV
Kuat I	Y <sub>P</sub>	1,8	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Kuat II	Y <sub>P</sub>	1,4	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Kuat III	Y <sub>P</sub>	-	1,0	1,4	-	1,0	0,5/1,2	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Kuat IV	Y <sub>P</sub>	-	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	-	-	-	-	-
Kuat V	Y <sub>P</sub>	-	1,0	0,4	1,0	1,0	0,5/1,2	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Extrem I	Y <sub>P</sub>	Y <sub>EQ</sub>	1,0	-	-	1,0	-	-	-	1,0	-	-
Extrem II	Y <sub>P</sub>	0,5	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-	1,0	1,0
Daya layan I	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0/1,2	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Daya layan II	1,0	1,3	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,0	0,8	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Daya layan IV	1,0	-	1,0	0,7	-	1,0	1,0/1,2	-	1,0	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan =  $\gamma_P$  dapat berupa  $\gamma_{MS}$ ,  $\gamma_{MA}$ ,  $\gamma_{TA}$ ,  $\gamma_{PR}$ ,  $\gamma_{PL}$ ,  $\gamma_{SH}$  Tergantung beban yang ditinjau.

$\gamma_{EQ}$  adalah faktor beban hidup kondisi gempa.

#### 1. Evaluasi pada keadaan batas kekuatan

Perencanaan harus menyelidiki semua kombinasi pembebanan pada keadaan batas kekuatan yang diatur pada Tabel 2.23 yang dimodifikasi pada pasal ini. Faktor beban untuk berat sendiri struktur dan kelengkapan *MS* dan *MA*, tidak boleh diambil kurang dari 1,25 pada waktu melakukan pemeriksaan keadaan batas kekuatan kombinasi I, III, dan V selama masa konstruksi. Kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan, faktor beban untuk beban pelaksanaan dan setiap efek dinamis yang terkait harus diambil kurang dari 1,5 untuk keadaan batas kekuatan kombinasi I. Faktor beban untuk beban angin pada Keadaan Batas Kekuatan Kombinasi III tidak boleh kurang dari 1,25.

#### 2. Evaluasi lendutan pada keadaan batas layan

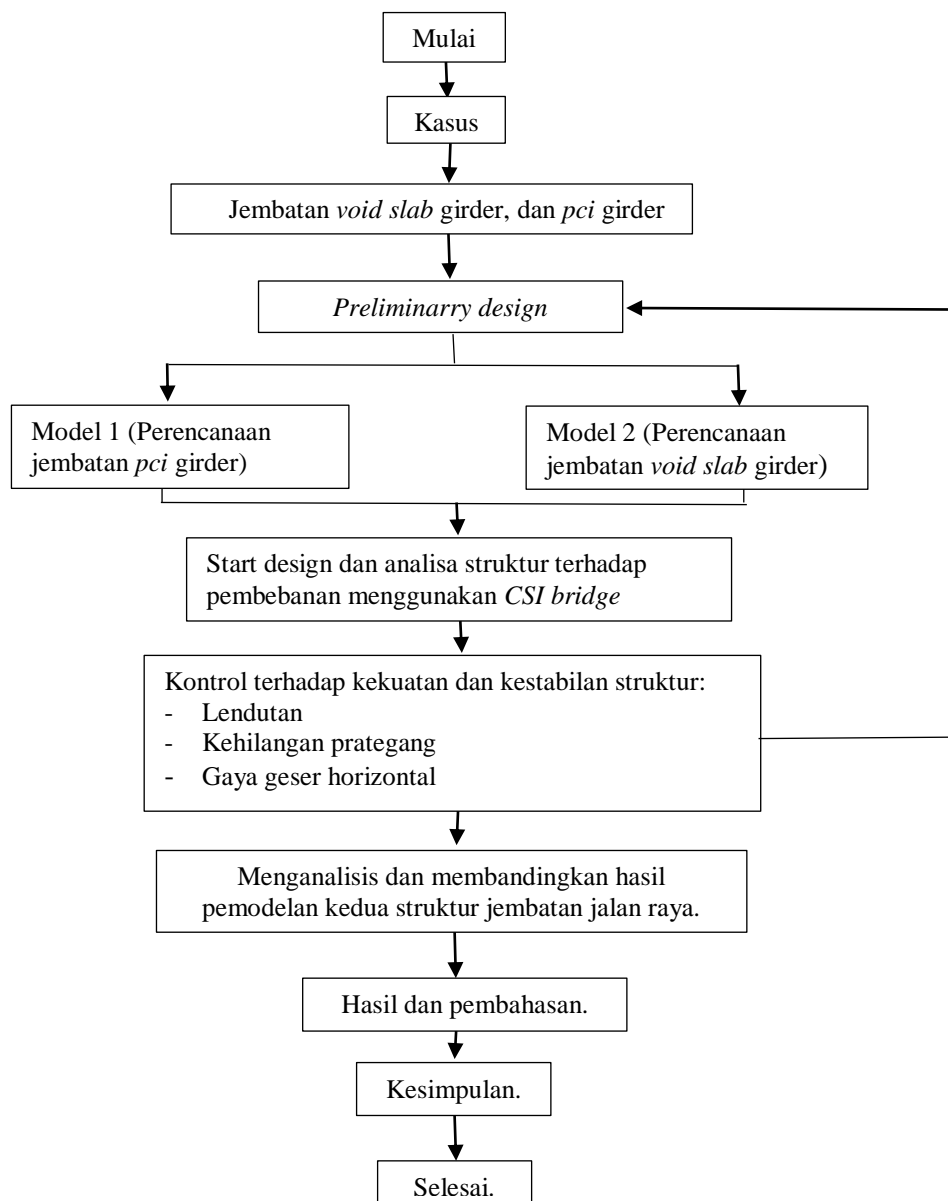
Jika di dalam kotak disebutkan bahwa harus dilakukan evaluasi lendutan selama masa pembangunan, maka harus digunakan keadaan batas daya layan kombinasi I untuk menghitung besarnya lendutan yang terjadi, kecuali ada ketentuan khusus yang merubah ketentuan ini. Beban mati akibat peralatan konstruksi harus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

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bagan Alir

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisa struktur jembatan kereta api pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan , seperti dari perencanaan struktur jembatan hingga pemodelan atau pendesain struktur jembatan. Langkah-langkah dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan alir perencanaan.

### 3.2 Model struktur jembatan dan properti penampang

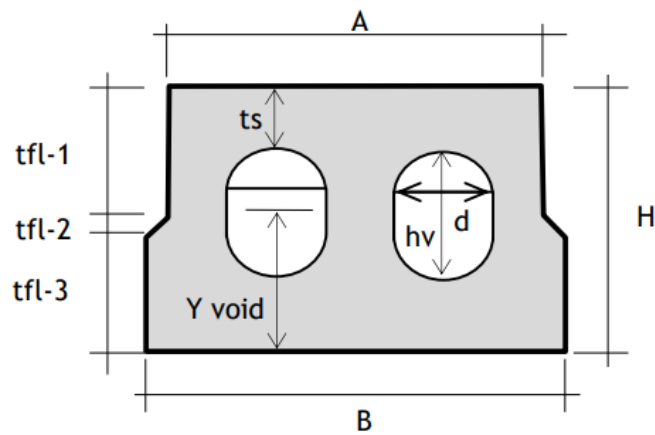
#### 3.2.1 Data umum Pada pemodelan jembatan

1. Data umum dan material struktur jembatan yang digunakan dalam analisis struktur girder *void slab* antara lain:

- Panjang struktur jembatan = 77 m.
- Lebar struktur jembatan = 9,7 m.
- Lantai kendaraan = 2 jalur kereta api.
- Tinggi tiang pembatas = 1 m.
- Tipe rel = R54.
- Kondisi tanah = sedang.
- Letak geografis = kota Tebing Tinggi.
- Berat jenis baja =  $78,5 \text{ kN/m}^3$
- Berat jenis beton =  $24 \text{ kN/m}^3$
- Tegangan leleh baja ( $f_y$ ) = 400 MPa (ref.wika)
- Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 45 MPa (ref.wika)
- Modulus elastisitas ( $E_c$ ) = 36056,6 MPa

Data Dimensi yang digunakan dalam rancangan struktur girder *void slab* (ref wika)

- H = 850 mm
- A = 910 mm
- B = 970 mm
- tweb = 310 mm
- ts = 200 mm
- tfl-1 = 510 mm
- tfl-2 = 40 mm
- tfl-3 = 300 mm
- d = 300 mm
- hv = 450 mm
- Y void = 425 mm



Gambar 3.2: Dimensi void slab girder.

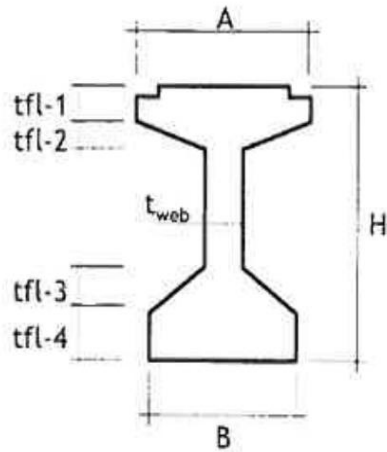
2. Data struktur jembatan yang digunakan dalam analisis struktur *pci* girder antara lain:

- Panjang struktur jembatan = 77 m.
- Lebar struktur jembatan = 12,12m.
- Tebal slab = 0,25 m.
- Jumlah girder = 10
- Lantai kendaraan = 2 jalur kereta api.
- Tinggi tiang pembatas = 1 m.
- Tipe rel = R54.
- Kondisi tanah = sedang.
- Letak geografis = kota Tebing Tinggi.
- Berat jenis baja =  $78,5 \text{ kN/m}^3$
- Berat jenis beton =  $24 \text{ kN/m}^3$
- Tegangan leleh baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa (ref.wika)
- Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 60 Mpa
- Modulus elastisitas ( $E_c$ ) = 41634,6 Mpa

Data Dimensi yang digunakan dalam rancangan struktur *Pci* girder (ref wika)

- $H$  = 1700 mm
- $A$  = 850 mm
- $B$  = 750 mm

- $t_{web} = 250 \text{ mm}$
- $t_{fl-1} = 200 \text{ mm}$
- $t_{fl-2} = 120 \text{ mm}$
- $t_{fl-3} = 250 \text{ mm}$
- $t_{fl-4} = 250 \text{ mm}$



Gambar 3.3: Dimensi *PCI* girder.

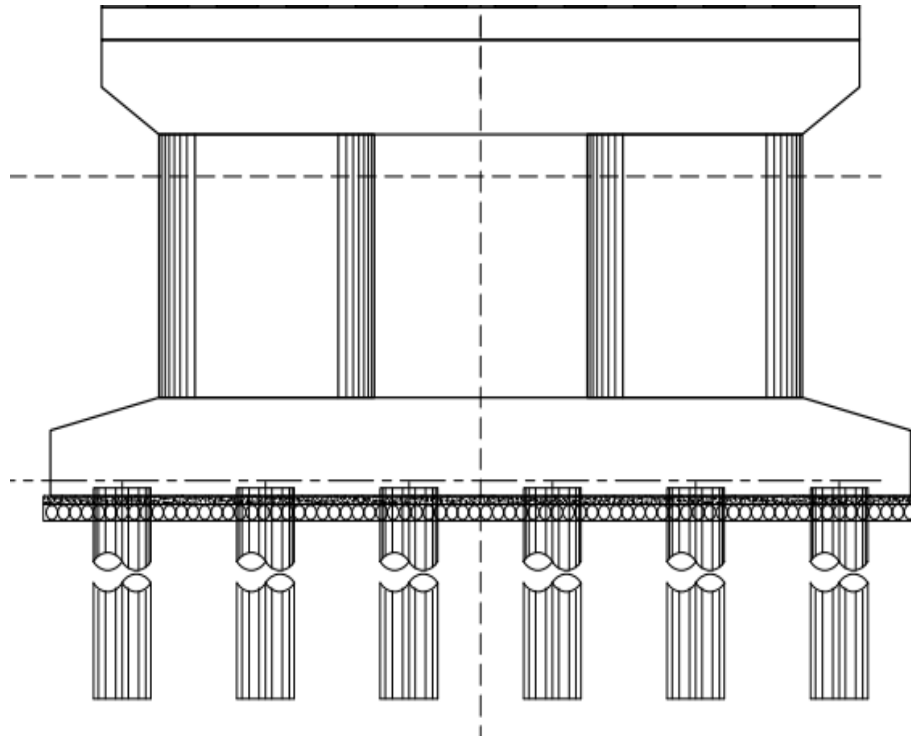
3. Pada Tugas Akhir ini digunakan *pier* berbentuk persegi dan memiliki *pier head* yang berbentuk trapesium seperti gambar 3.4. berikut dimensi kolom *pier* dan *pier head* yang direncanakan.

a. Dimensi *pier*:

- $H_1 = 4,75 \text{ m.}$
- $H_2 = 3,2 \text{ m.}$
- Tebal =  $1,22 \text{ m.}$
- Lebar =  $3 \text{ m.}$

b. Dimensi *pier head*:

- $H_3 = 1,55 \text{ m.}$
- Bentang =  $9,18 \text{ m.}$
- Lebar bawah =  $2 \text{ m.}$
- Lebar atas =  $3 \text{ m.}$



Gambar 3.4: Potongan melintang *pier*.

4. Pada perencanaan ini digunakan spesifikasi perletakan (bearing yang mengacu pada *bridge bearing* bs 5400, seperti pada Tabel 3.1 dibawah in

Tabel 3.1: Spesifikasi *elastomeric bearing pad* (CCL Bridge Bearings).

Dimensi	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Kc (kN/mm)	Ks (kN/mm)	SLS Vertical loads (kN )
600 × 450	24	21,19	9658	15,19	7181

### 3.2.2 Pemodelan Struktur

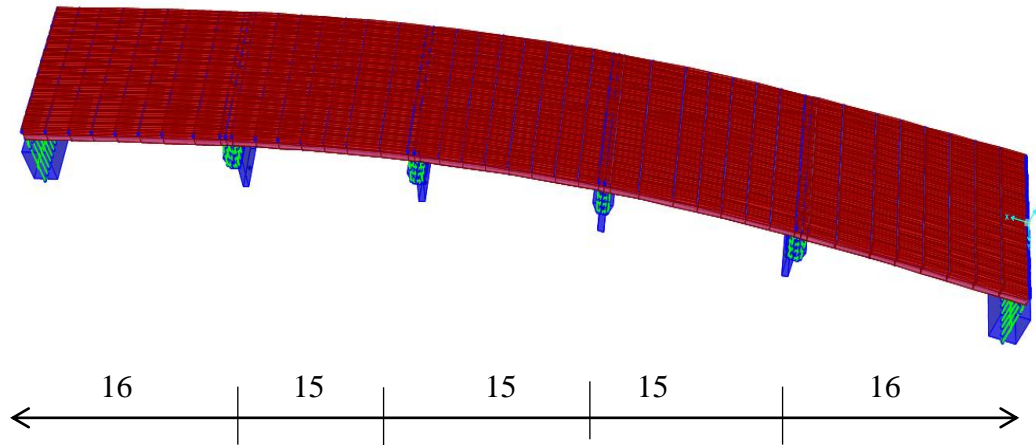
Pemodelan struktur menggunakan bantuan program *software* pada komputer. Pada tugas akhir ini dilakukan dua pemodelan sebagai pembandingan kekuatan dan aspek aspek lain yang di tinjau sesuai tujuan dari tugas akhir ini.

#### 1. Pemodelan I

Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan menggunakan *void slab* sebagai struktur atas dengan bentang 77 m, *elastomeric bearing pads* sebagai tumpuannya dan *pier* persegi dengan ketinggian total 3,2 m dengan geometri tikungan FC ini



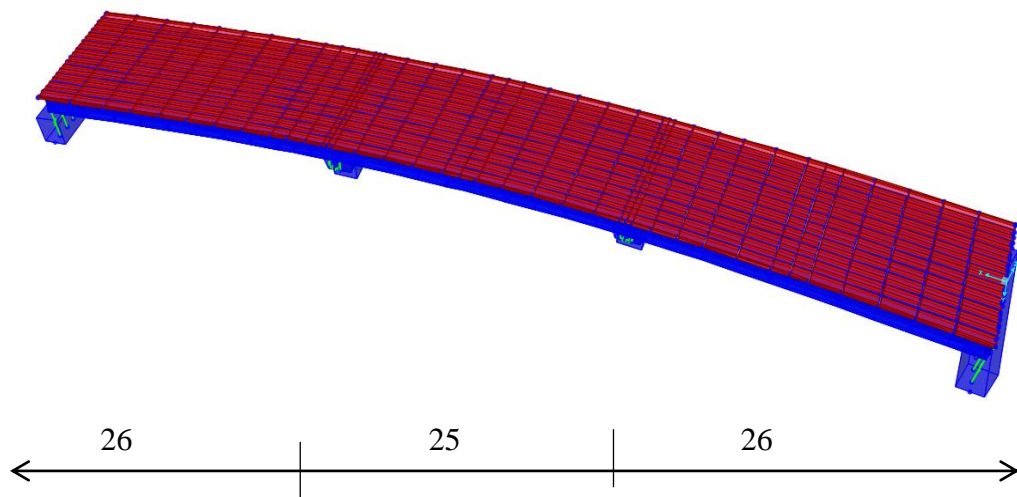
hanya menggunakan nilai  $k$  (panjang lurus) dan  $L_s$  (lengkung peralihan) seperti terlihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5: Tampak 3D struktur jembatan kereta api *void slab*.

## 2. Pemodelan II

Pemodelan ke dua yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah jembatan dengan menggunakan menggunakan *pci girder* sebagai struktur atas dengan bentang 77 m penampang geometri tikungan dan memiliki bentuk *pier* yang sama dengan pemodelan 1 seperti terlihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.6: Tampak 3D struktur jembatan kereta api *pci girder*.

### 3.3 Analisa Pembebanan

Pembebanan pada jembatan terdiri dari:

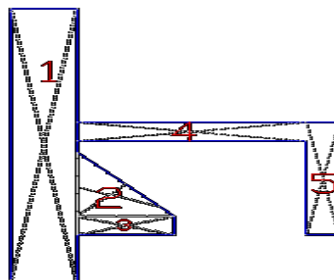
1. Beban sendiri (beban mati).
  - a. Dinding tepi/pembatas.
2. Beban mati tambahan
  - a. Bantalan.
  - b. Rel.
  - c. *Ballast*.
  - d. Genangan Air.
3. Beban Lajur
4. Beban Kejut
5. Beban Pengereman
6. Beban Angin
  - a. Beban angin struktur.
  - b. Beban angin kendaraan.
7. Beban Gempa

### 3.4 Perhitungan Beban

Pembebanan dalam perencanaan jembatan komposit box girder baja ini dihitung dengan pedoman PM 60 Tahun 2012 dan AASHTO 2012.

#### 3.4.1 Beban Sendiri (MS)

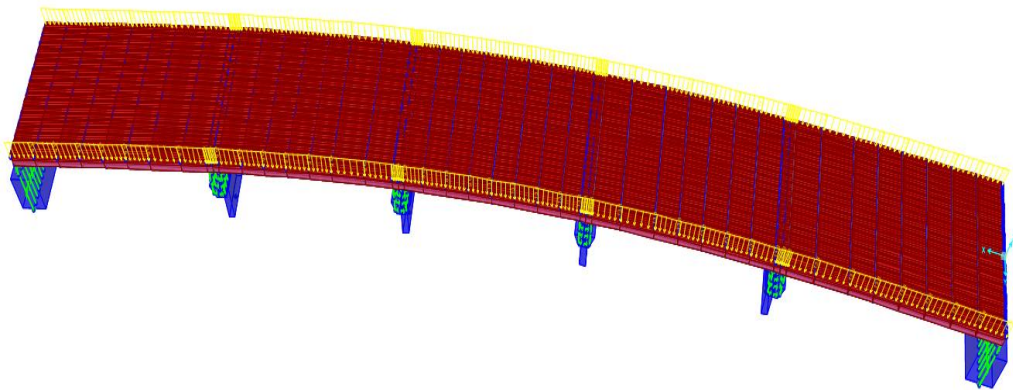
1. Dinding pembatas/tepi.



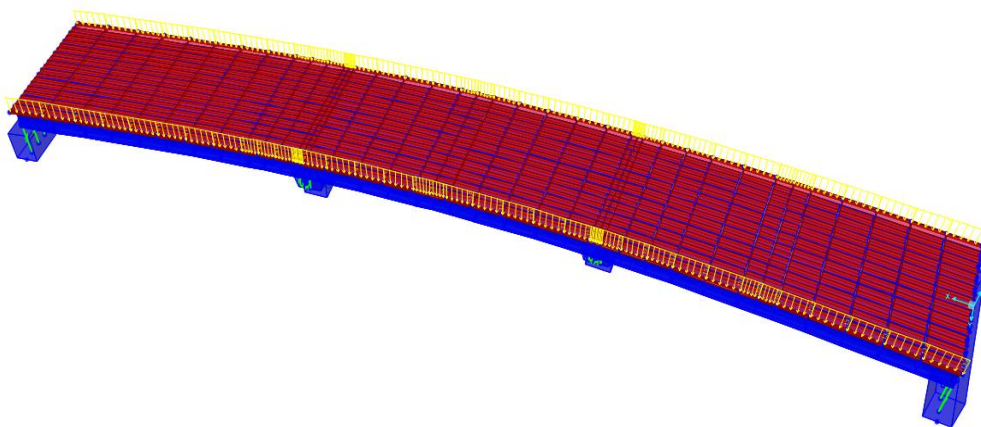
Gambar 3.7: Dimensi dinding pembatas.

Tabel 3.2: Berat dinding tepi atau pembatas.

No	Ukuran			BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Berat (kN/m)
	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m <sup>2</sup> )		
1	0.2	1.45	0.29	24	6,96
2	0.3	0.34	0.102	24	2,448
3	0.3	0.1	0.03	24	0,72
4	0.7	0,1	0.07	24	1,68
5	0.1	0.6	0.06	24	1,44
Barat Total 1 Penampang (kg/m)					13.24
2 Penampang (kg/m)					27.60



Gambar 3.8: beban dinding tepi pada *void slab* di *software*.



Gambar 3.9: beban dinding tepi pada *pci girder software*.

### 3.4.2 Beban Mati Tambahan (MA)

#### 1. Berat bantalan

Dimensi bantalan untuk lebar jalan rel 1067 mm:

- a. Panjang = 2 m.
- b. Lebar = 0.26 m.
- c. Tinggi max = 0.22 m.
- d. Bj. Beton = 24 kN/m<sup>3</sup>.
- e. Berat bantalan = t x p x t x berat jenis.  
= 0.22 x 0.26 x 2 x 24 = 2.746 kN/m.
- f. Jarak antar bantalan = 0,5 m.
- g. Banyak bantalan = 77/0,5 = 154 bantalan.

Untuk jarak bantalan 0,5 m dan lebar bantalan 0,26 m dapat digunakan 2 bantalan permeter nya. Maka didapat berat bantalan permeternya adalah 2 x 2.746 = 5.491 kN/m.

#### 2. Berat rel

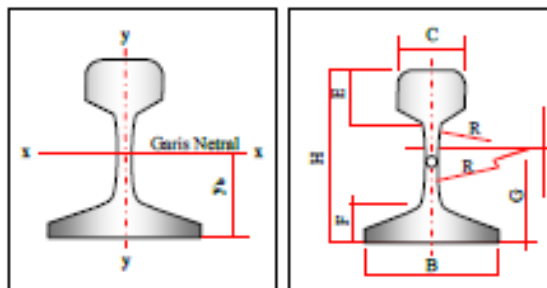
Berat rel tipe R54 diperoleh sesuai dari PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Tipe rel dan dimensi penampang rel (PM. Nomor 60 Tahun 2012).

Besaran Geometrik Rel	Tipe Rel			
	R42	R50	R54	R60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm <sup>2</sup> )	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34

Tabel 3.3: Lanjutan.

$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	169	1960	2346	3055
$Y_b$ (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
$A$ (cm <sup>2</sup> )	= luas penampang			
$W$ (kg/m)	= berat rel permeter			
$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	= momen inersia terhadap sumbu x			
$A$ (cm <sup>2</sup> )	= luas penampang			
$Y_b$ (mm)	= jarak tepi bawah rel ke garis netral			



Gambar 3.9: Dimensi rel (PM Nomor 60 Tahun 2012).

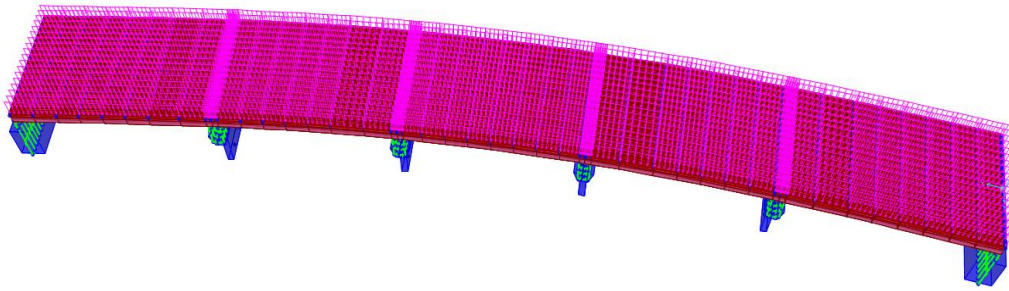
Didapat untuk berat rel tipe R54 adalah 54,34 kg/m untuk satu penampang, dalam perencanaan satu jalur memiliki 2 penampang rel maka berat rel  $54.34 \times 2 = 108.68$  kg/m atau 1.0658 kN/m untuk rel satu jalur. Untuk berat rel 2 jalur adalah  $= 1,0658 \times 2 = 2.1316$  kN/m.

3. Berat balas krikil

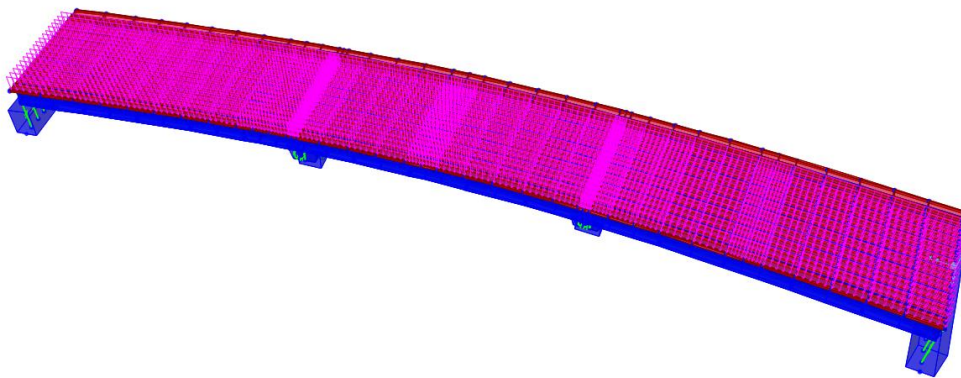
- a. Tebal = 0.5 m.
- b. Lebar = 8 m.
- c.  $B_j$  kerikil =  $20 \text{ kN/m}^3$ .
- d. Berat kerikil ( $t \times l \times B_j$ ) =  $80 \text{ kN/m}^3$ .

4. Berat genangan air

- a.  $B_j$  Air = 9.8.
- b. Tinggi genangan air = 0.05 m.
- c. Lebar = 9.6.
- d. Berat genangan air ( $t \times l \times B_j$ ) = 4.704 kN/m.



Gambar 3.10: Beban genangan air pada *void slab* di *software*.



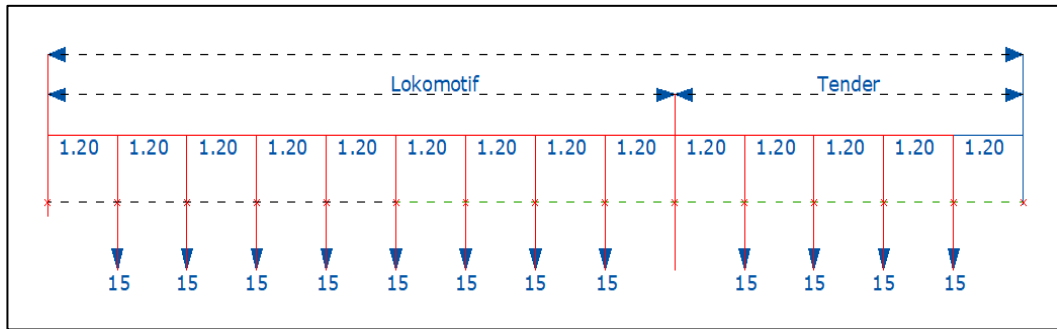
Gambar 3.11: Beban genangan air pada *void slab* di *software*.

Dari perhitungan di dapat total berat akibat beban mati tambahan yaitu:

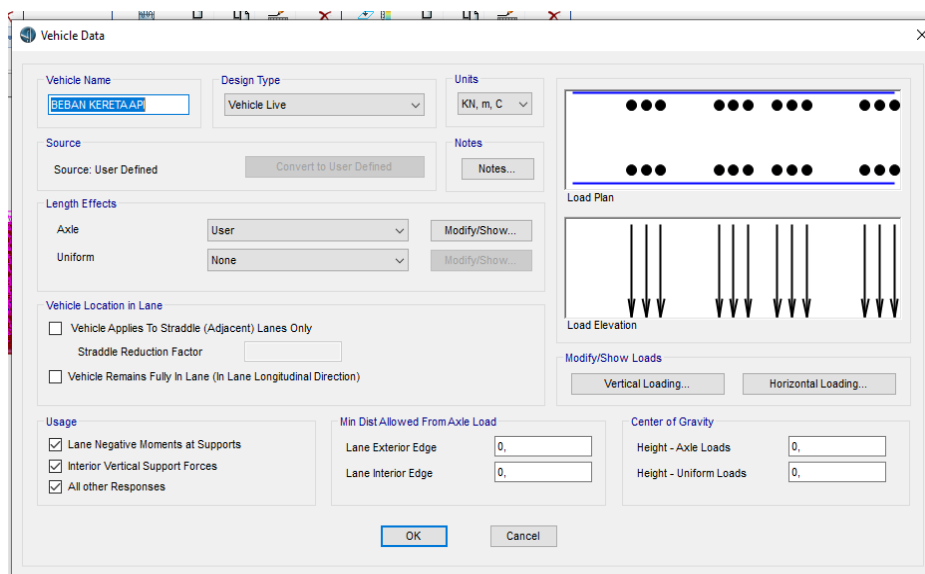
$$\begin{aligned}
 \text{Total B.M tambahan} &= \text{berat bantalan} + \text{berat rel} + \text{ballast} \\
 &= 5.491 + 2.1316 + 80 \\
 &= 87.6228 \text{ kN/m.}
 \end{aligned}$$

### 3.4.3 Beban Hidup (TD)

Dilihat dari skema pembebanan rencana muatan 1921 PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api untuk beban gandar sampai 22,5 ton. Dimensi kereta api dan dalam perencanaan ini digunakan beban gandar sebagai berikut:



Gambar 3.12: Rencana muatan kereta api yang disesuaikan dengan tekanan gandar maksimum 22,5 ton.



Gambar 3.13: Pemodelan beban hidup kereta pada software.

### 3.4.4 Beban kejut

Sesuai dengan peraturan pembebanan muatan 1921 PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor  $i$  terhadap beban kereta.

$$i = 0.1 + \frac{22,5}{50+L}$$

$$= 0.1 + \frac{22,5}{50+77} = 0.2772.$$

$$\text{Beban kejut} = (\text{koef. faktor } i \times \frac{\text{beban kereta api}}{\text{pjjg. bentang kereta api}} \times \text{banyak jalur}$$

$$= 0.2772 \times \frac{18}{77} \times 2$$

$$= 0.12 \text{ ton.}$$

### 3.4.5 Beban Pengereman (TB)

Berdasarkan PM No. 69 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

$$25\% \times \text{beban kereta} = 25\% \times 18 \text{ ton}$$

$$= 4.5 \text{ ton}$$

Untuk mendapatkan nilai beban rem maka nilai :

$$\text{beban kejut} + \text{beban rem} = 0.12 + 4.5$$

$$= 4.630 \text{ ton untuk 2 kereta}$$

$$= 2.315 \text{ ton untuk 1 kereta.}$$

### 3.4.6 Gaya sentrifugal

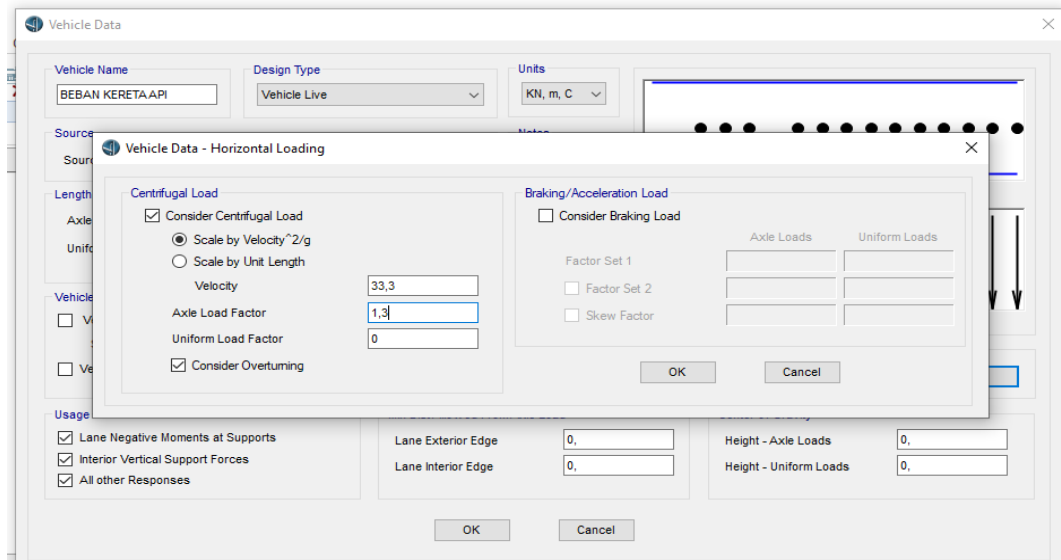
Dalam perencanaan jembatan geometri tikungan sangat penting untuk memperhitungkan nilai dari gaya sentrifugal agar tidak terjadi guling dari beban roda dan untuk kenyamanan pengguna jalan. Pada perencanaan tikungan ini digunakan kecepatan kereta api 120 km/jam yang ditentukan dalam Peraturan Menteri No.60 tahun 2012. Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1,8m diatas permukaan jembatan seperti terlihat pada Gambar 3.12. Pengaruh superelevasi yang mengurangi momen guling akibat gaya sentrifugal akibat beban roda dapat dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar kereta api rencana dengan faktor C sebagai berikut:

$$C = f \frac{V^2}{gR_1}$$

$$= (4/3) \times (120^2 / (9,8 \times 210))$$

$$= 5,124$$



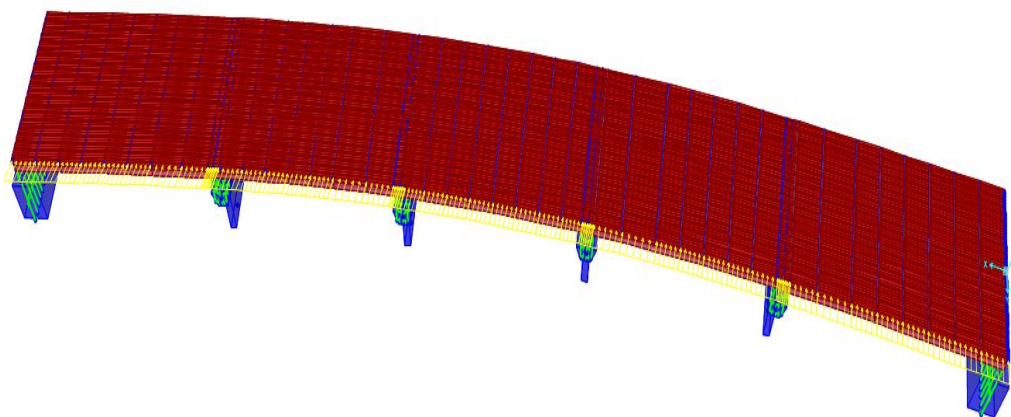


Gambar 3.14: Input gaya sentrifugal pada software.

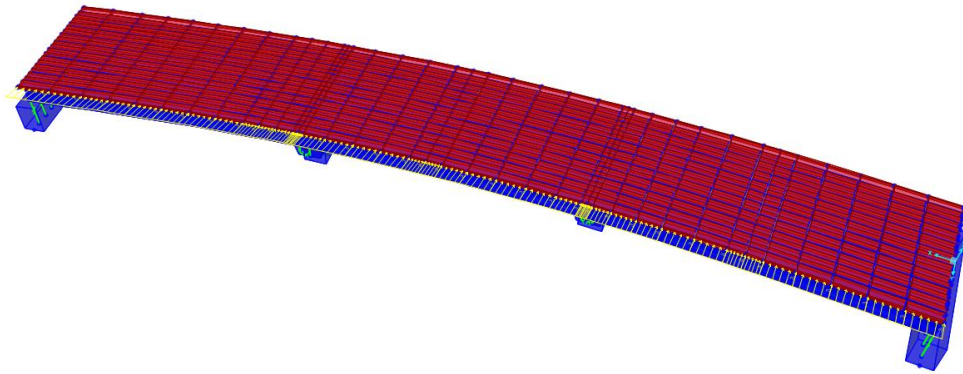
### 3.4.7 Beban Angin

#### 1. Beban angin pada struktur ( $E_{ws}$ )

Sesuai peraturan pembebanan muatan 1921 PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api beban angin pada struktur  $3.0 \text{ kN/m}^2$  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. Seperti terlihat pada Gambar 3.12.



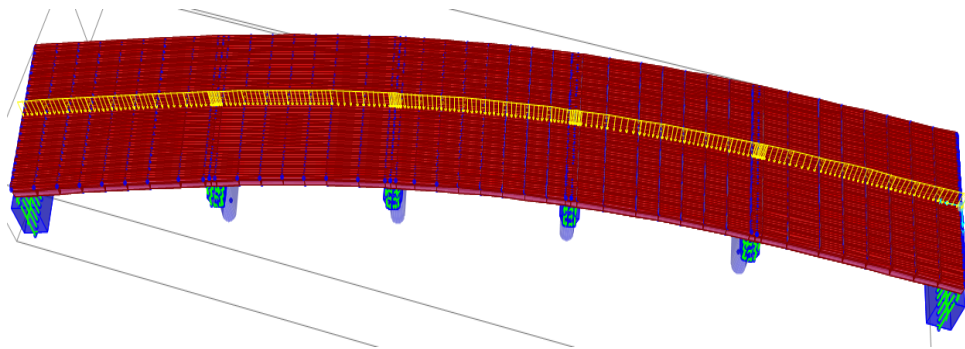
Gambar 3.15: Input beban angin struktur pada void slab di software.



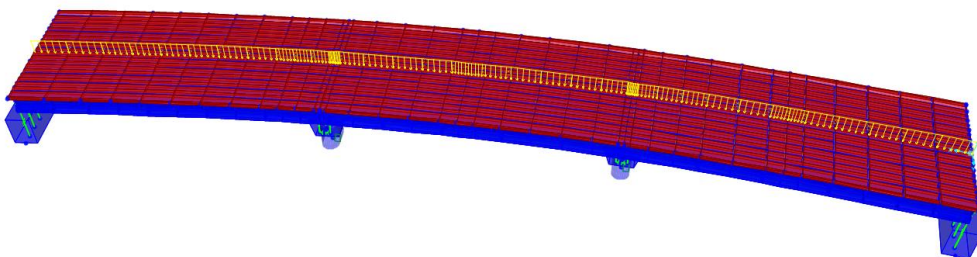
Gambar 3.16: *Input* beban angin struktur pada *pci* girder di *software*.

## 2. Beban angin pada kendaraan (*E<sub>wl</sub>*)

Sesuai peraturan pembebanan muatan 1921 PM. 60 tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api beban angin bekerja pada struktur secara merata sebesar  $1,5 \text{ kN/m}^2$  pada areal kereta jembatan dengan kereta di atasnya, pengecualian  $1,2 \text{ kN/m}^2$  untuk jembatan selain gelagar, seperti terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.17: *Input* beban angin kendaraan pada *void slab* di *software*.



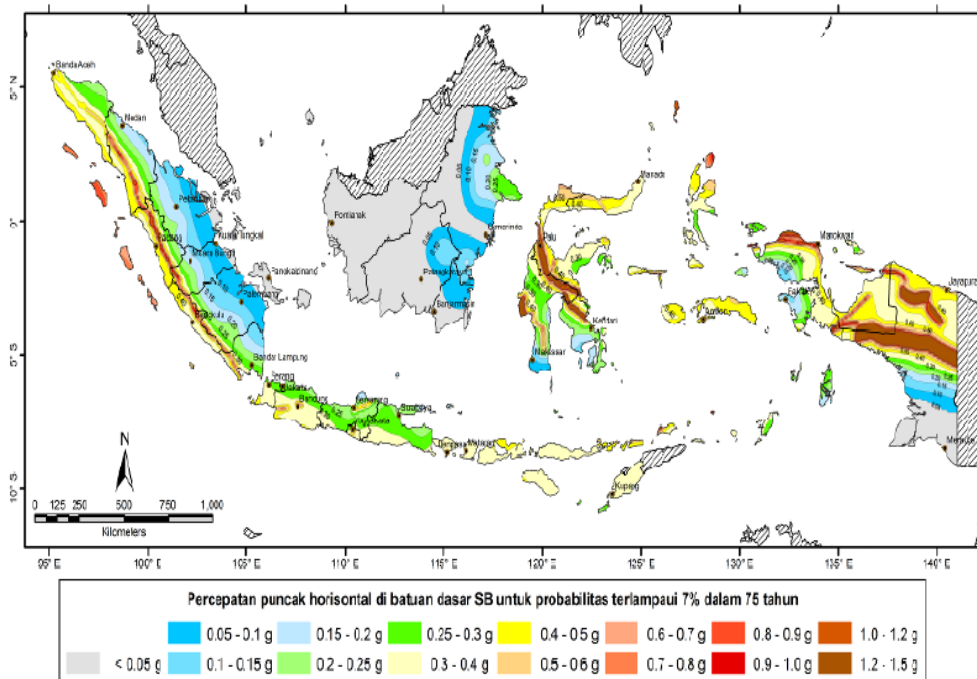
Gambar 3.18: *Input* beban angin kendaraan pada *pci* girder *software*.

### 3.4.8 Analisis Respon Spektrum

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini yaitu metode analisis respon spektrum. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan SNI 1726-2016 dengan probabilitas 7% dalam 75 tahun periode ulang 1000 tahun. Berdasarkan peraturan SNI 1726-2016 Perencanaan Jembatan untuk Beban Gempa, perencanaan beban rencana akibat gempa minimum ditentukan beberapa hal:

1. Lokasi desain : Tebing Tinggi
2. Penentuan kelas situs : diasumsikan struktur berada di atas tanah sedang
3. Penentuan beban gempa
  - a. Nilai PGA

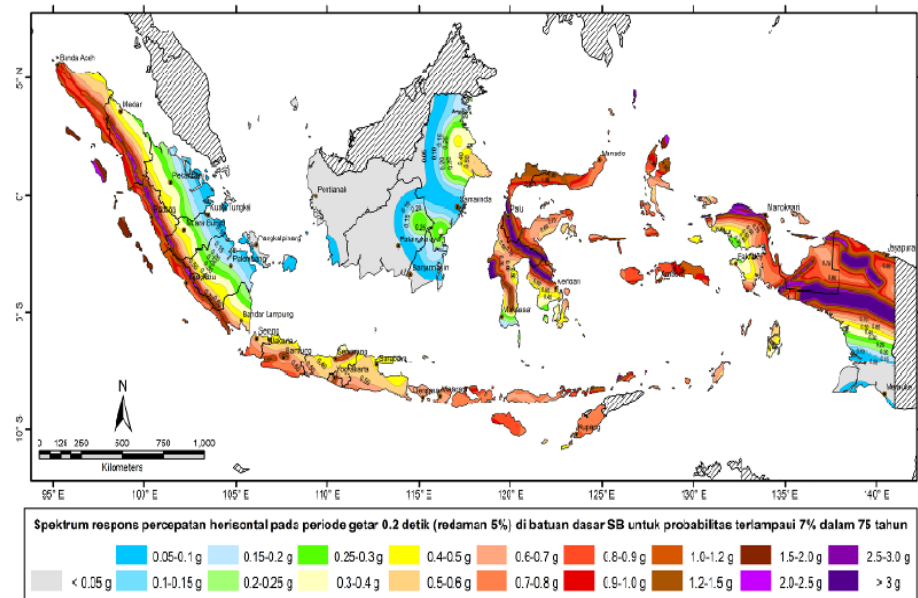
Berdasarkan Gambar 3.19 peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai PGA adalah 0,213g.



Gambar 3.19: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

b. Nilai SS (respon spektra 0.2 detik)

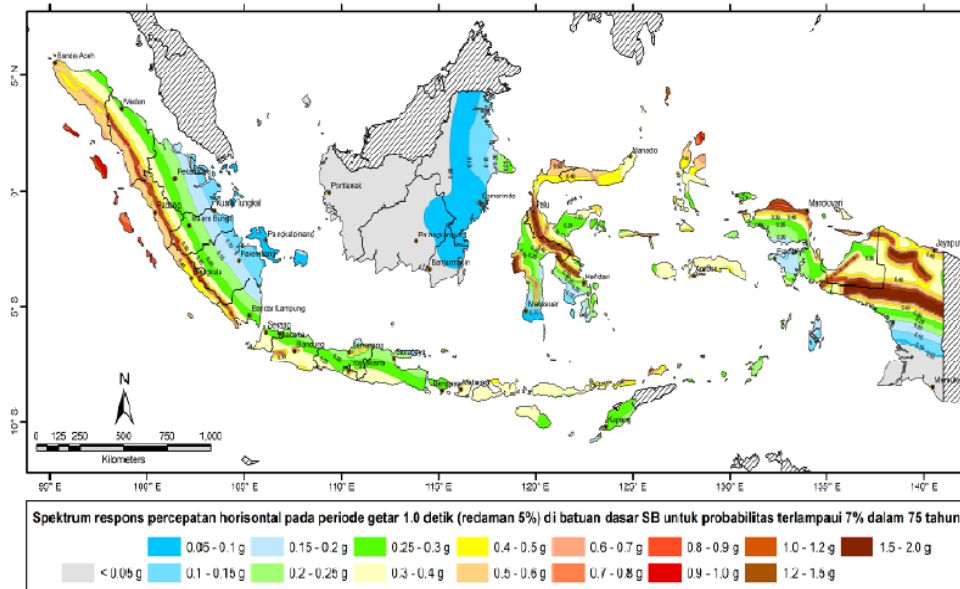
Berdasarkan Gambar 3.15 menentukan lokasi yaitu di kota tebing tinggi pada peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai SS adalah 0.461 g.



Gambar 3.20: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

c. Nilai S1 (respon spektra 1 detik)

Berdasarkan Gambar peta 3.17 menentukan lokasi yaitu di kota tebing tinggi respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai S1 adalah 0.301 g.



Gambar 3.21: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

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

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

- Nilai  $F_{pga}$  = 1,37
- Nilai  $F_a$  = 1,4312
- Nilai  $F_v$  = 1,798

5. Menentukan parameter respon spektra untuk tanah sedang:

- $$A_S = F_{PGA} \times PGA$$

$$= 1,37 \times 0,213 = 0,2927$$
- $$S_{DS} = F_a \times S_s$$

$$= 1,4312 \times 0,461 = 0,6598$$
- $$S_{D1} = F_v \times S_1$$

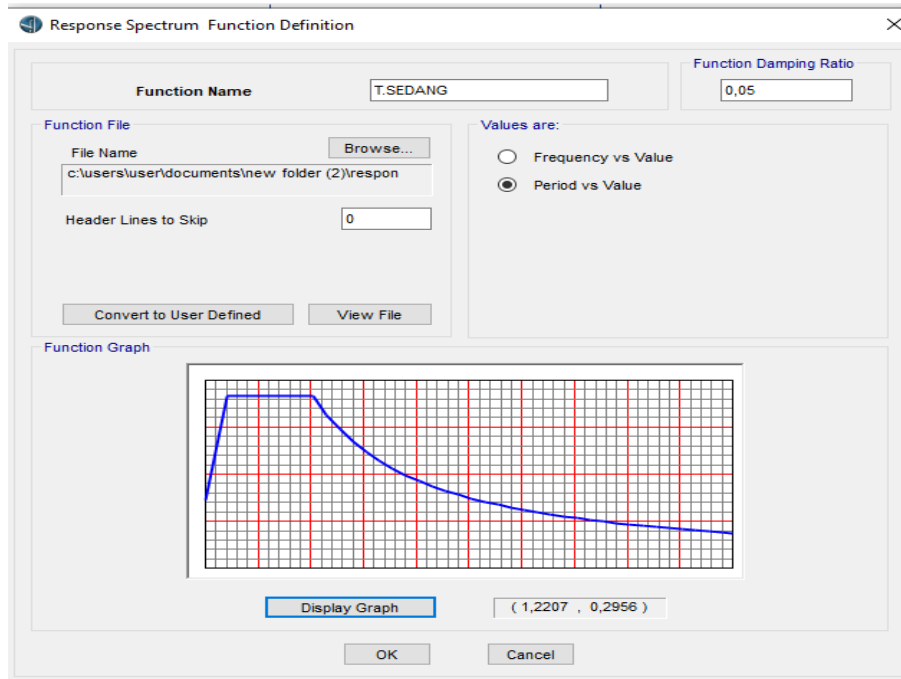
$$= 1,798 \times 0,301 = 0,5412$$
- $$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= 0,2 \times \frac{0,5412}{0,6598} = 0,1641$$

- $$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

$$= \frac{0,5412}{0,6598} = 0,8203$$

Dari hasil perhitungan parameter spektra dapat digambarkan dalam sebuah grafik respon spektrum seperti dalam Gambar 3.22 dibawah ini.



Gambar 3.22: Pemodelan respon spektrum pada software.

### 3.5. Perencanaan prategang

Dalam tugas akhir ini perletakan tendon dibuat sesuai data yang direncanakan Prategang direncanakan menggunakan tendon/kabel jenis strand *seven wire stress relieved* (7 kawat untaian) dengan mengacu pada tabel seperti terlihat dibawah ini.

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

Gambar 3.23: Tabel jenis dan karakteristik tendon.

### 3.5.1. Pengaruh Prategang PCI girder

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,  $Y_b = 0,833$  m

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

- $Z_o = 0,35$  m
- $F_{ci} = 0.8 f_c = 0,8 \times 60 = 48000$  kPa
- Eksentrisitas Tendon,  $e_s = Y_b - Z_o = 0,833 - 0,35 = 0,483$  m
- Tahanan momen sisi atas:  $W_a = 0,306$
- Tahanan momen sisi bawah  $W_b = 0,319$
- MMS = momen maksimum pada seluruh bentang akibat beban sendiri hasil analisis Csi bridge = 714,709 KNm

Tegangan pada serat atas:

$$0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = - p_t / A + P_t \times e_s / W_a - M_{ms} / W_a$$

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

Besarnya gaya prategang awal ditentukan sebagai berikut:

Dari pers

$$\begin{aligned} P_t &= (0,25 \times \sqrt{f_{ci}} + M_{ms} / W_a) / (e_s / W_{ba} - 1 / A) \\ &= (0,25 \times \sqrt{48000} + 714,709 / 0,306) / (0,483 / 0,306 + 1 / 0,755) \\ &= 9489,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari pers

$$\begin{aligned} P_t &= (0,6 \times f_{ci} + M_{ms} / W_b) / (e_s / W_b - 1 / A) \\ &= (0,6 \times 48000 + 714,709 / 0,314) / (0,488 / 0,134 + 1 / 0,755) \\ &= 12425,694 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Pers. 3.1 dan 3.2 diambil gaya prategang awal,  $P_t = 8080,697 \text{ kN}$   
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" = 12,7 mm
- Luas Nominal penampang strand ( $A_s$ ) = 98,78 mm<sup>2</sup>
- Beban putus minimal satu strand ( $P_{bs}$ ): 183,7 kN  $\approx$  18370 Kgf (100 % UTS atau 100% beban putus)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah strand minimal yang diperlukan: } n_s &= P_t / 0,8 \times p_{bs} \\ &= 9489,98 / 0,8 \times 183,7 \\ &= 65 \text{ strand} \end{aligned}$$

Direncanakan jumlah kawat untaian (strand cable) = 19 kawat untaian tiap tendon.

$$\text{Jumlah strands, } n_s = 4 \times 19 = 72 \text{ strands.}$$

Beban satu strands:

$$P_{bs1} = P_t / n_s = 9489,98 / 76 = 124,868 \text{ kN}$$

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

$$P_o = P_t / (n_s \times P_{bs}) = 9489,98 / (72 \times 183,7) = 67,97 \% < 85 \% \text{ (OK)}$$

sesuai pasal 4.4.3.2.2 RSNI-T-12-2004.

Gaya prestress yang terjadi akibat jacking:

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs1} = 67,97 \times 76 \times 124,868 = 6450,72,081 \text{ kN}$$

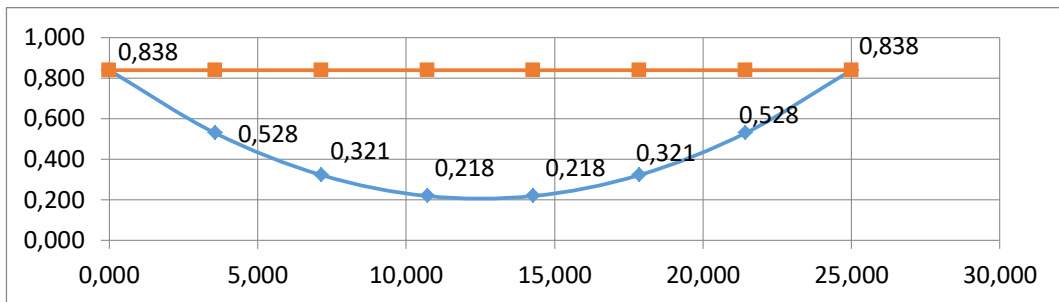
Untuk tegangan satu strand, diambil nilai  $p_{bs}$  yang paling besar dibagikan

$$\text{luas nominal} = 106,352 / 98,78 = 1076,381 \text{ MPa}$$

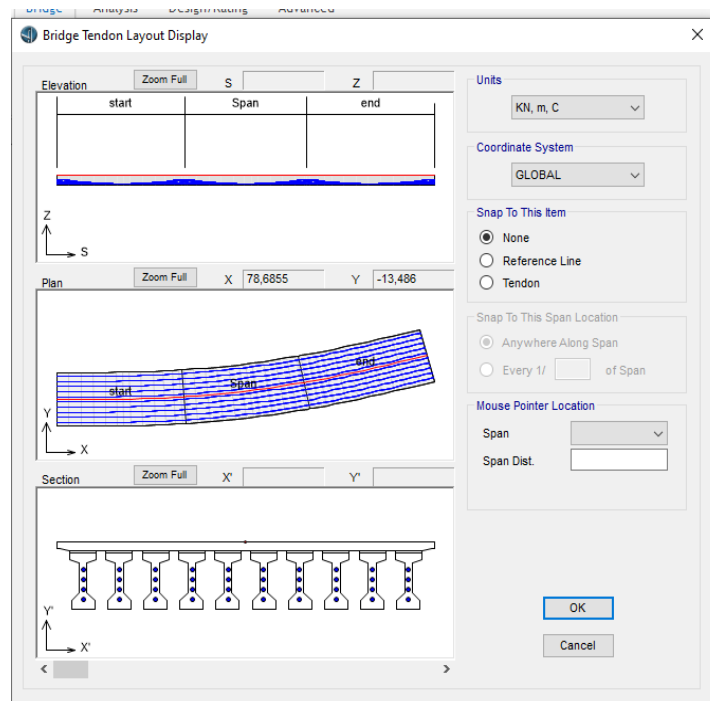


Tabel 3.4: perletakan tendon pada *pci* girder.

X	0,000	3,571	7,143	10,714	14,286	17,857	21,429	25,000
Y	0,000	0,310	0,517	0,620	0,620	0,517	0,310	0,000
y <sub>b</sub>	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838
y <sub>b</sub>	0,838	0,528	0,321	0,218	0,218	0,321	0,528	0,838
H	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700



Gambar 3.24: Lintasan tendon.



Gambar 3.25: Lintasan tendon.pada *PCI* girder *csi* bridge.

### 3.5.2. Pengaruh Prategang *void slab* girder

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,  $Y_b = 0,423$  m  
Direncanakan jarak titik berat tendon terhadap sisi bawah *box girder* adalah,

- $Z_o = 0,123$  m
- $f_{ci} = 0.8 f_c = 0,8 \times 45 = 36000$  kPa
- Eksentrisitas Tendon,  $e_s = Y_b - Z_o = 0,423 - 0,123 = 0,3$  m
- Tahanan momen sisi atas:  $W_a = 0,102$
- Tahanan momen sisi bawah  $W_b = 0,103$
- $M_{MS}$  = momen maksimum pada seluruh bentang akibat beban sendiri hasil analisis *Csi bridge* = 474,461 KNm

Tegangan pada serat atas:

$$0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = - p_t / A + P_t \times e_s / W_a - M_{ms} / W_a$$

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

Besarnya gaya prategang awal ditentukan sebagai berikut:

Dari pers

$$\begin{aligned} P_t &= (0,25 \times \sqrt{f_{ci}} + M_{ms} / W_a) / (e_s / W_a - 1 / A) \\ &= (0,25 \times \sqrt{36000} + 474,461 / 0,102) / (0,3 / 0,102 + 1 / 0,525) \\ &= 4538,113 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari pers

$$\begin{aligned} P_t &= (0,6 \times f_{ci} + M_{ms} / W_b) / (e_s / W_b - 1 / A) \\ &= (0,6 \times 36000 + 474,461 / 0,103) / (0,3 / 0,103 + 1 / 0,525) \\ &= 4701,002 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Pers. 3.1 dan 3.2 diambil gaya prategang awal,  $P_t = 4644,885$  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" = 15,2 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)

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

$$= 4538,113 / 0,8 \times 260,07$$

$$= 22$$

Direncanakan jumlah kawat untai (*strand cable*) = 2 kawat untai untuk tendon atas, 8 kawat untai untuk tendon tengah, dan 14 kawat untai untuk tendon di bawah, .

Jumlah *strands*,  $n_s = 24 \text{ strands}$ .

Beban satu *strands*

$$P_{bs1} = P_t / n_s = 4538,113 / 24 = 189,088 \text{ kN}$$

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

$$P_o = P_t / (n_s \times P_{bs}) = 4538,113 / (24 \times 260,7) = 72,53 \% < 85 \% \text{ (OK)}$$

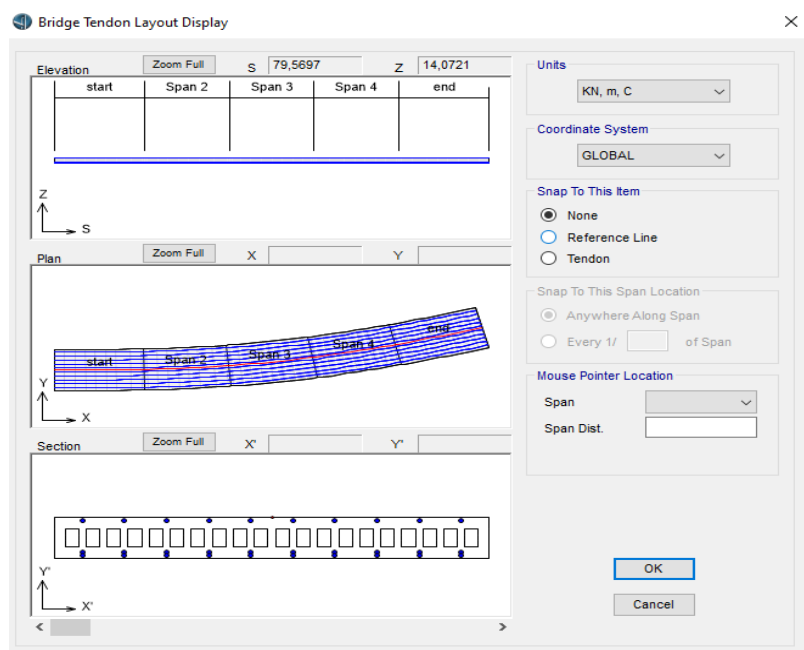
sesuai pasal 4.4.3.2.2 RSNI-T-12-2004.

Gaya *prestress* yang terjadi akibat *jacking*:

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs1} = 72,53 \times 24 \times 189,088 = 3291,534 \text{ kN}$$

Untuk tegangan satu *strand*, diambil nilai  $p_{bs}$  dibagikan

$$\text{luas nominal} = \frac{189,088}{140} = 1350,629 \text{ MPa}$$



Gambar 3.26: Lintasan tendon *void slab* pada *csi bridge*.

### 3.10 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan pada perencanaan jembatan kereta api *box girder* baja, yaitu:

Kuat I	= 1,25 MS + 2 MA + 1,8 TB + 1,8 TT + 1 PL.
Kuat II	= 1,25 MS + 2 MA + 1,4 TB + 1,4 TT + 1 PL.
Kuat III	= 1,25 MS + 2 MA + 1,4 EWs + 1 PL.
Kuat IV	= 1,25 MS + 2 MA + 1 PL.
Kuat V	= 1,25 MS + 2 MA + 0,4 EWs + 1 EW <sub>L</sub> + 1 PL.
Ekstrem I X	= 1,10 MA + 1,10 MA + 0,5 TB + 0,5 TT + 1 EQ <sub>x</sub> + 0,3 EQ <sub>y</sub> + 1 PL.
Ekstrem I X	= 1,10 MA + 1,10 MA + 0,5 TB + 0,5 TT + 0,3 EQ <sub>x</sub> + 1 EQ <sub>y</sub> + 1 PL.
Ekstrem II	= 1 MS + 1 MA + 1 TC + 1 PL.
Layan I	= 1 MS + 1 MA + 1 TB + 1 TT + 0,3 EWs + 1 EW <sub>L</sub> + 1 PL.
Layan II	= 1 MS + 1 MA + 1,3 TB + 1,3 TT + 1 PL.
Layan III	= 1 MS + 1 MA + 0,8 TB + 0,8 TT + 1 PL.
Layan IV	= 1 MS + 1 MA + 0,7 EWs + 1 PL.
Fatik	= 0,75 TT + 0,75 TB.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Tinjauan umum

Pada Bab ini akan membahas tentang hasil studi dan membandingkan hasil analisis dari *software* yang digunakan sebagai alat bantu dalam merencanakan girder jembatan dengan dua pemodelan yaitu, jembatan *void slab girder* (pemodelan 1) dan jembatan *pci girder*.

#### 4.2 Hasil analisis

Dari hasil analisa jembatan kereta api menggunakan profil *void slab girder* dan *pci girder* akan dilakukan pengecekan lendutan yang dibatasi dengan Peraturan Menteri No.60 tahun 2012. Pembatasan deformasi pada kondisi kondisi batas layan yang mengacu pada standar pembebanan SNI 1725-2016 akan didapat nilai perioda getar yang berbeda..

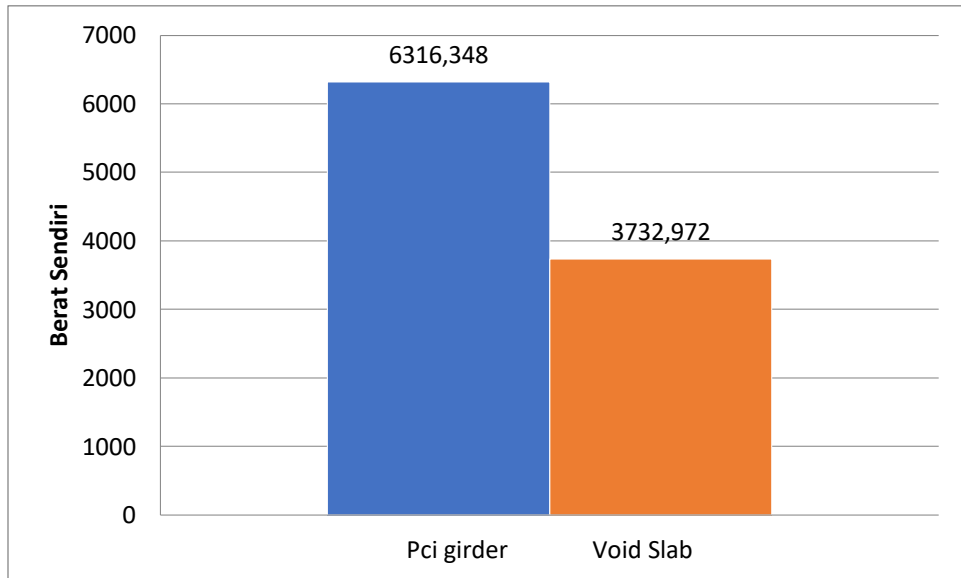
##### 4.2.1 Hasil pemeriksaan berat sendiri

Hasil pemeriksaan terhadap berat sendiri girder dari pemodelan *Pci*, dan *void slab girder* dengan panjang jembatan 77 m yang di lakukan dengan menggunakan *software CSI bridge* maka di dapat data output yang dapat di lihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1: Data berat sendiri girder.

model	Berat sendiri (KN)
<i>Pci</i>	6316,348
<i>Void slab</i>	3533,947

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai berat sendiri girder dari pemodelan *pci*, dan *void slab girder* yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai berat sendiri girder pada jembatan yang menggunakan *Pci girder*, dan *Void slab* girder.

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai berat sendiri girder pada jembatan yang menggunakan *pci girder* lebih kecil dibandingkan dengan jembatan yang menggunakan *void slab*, dengan selisih berat sebesar 146360,82 kg.

#### 4.2.2 Hasil analisis perioda getar

Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan dengan menggunakan *pci girder* dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

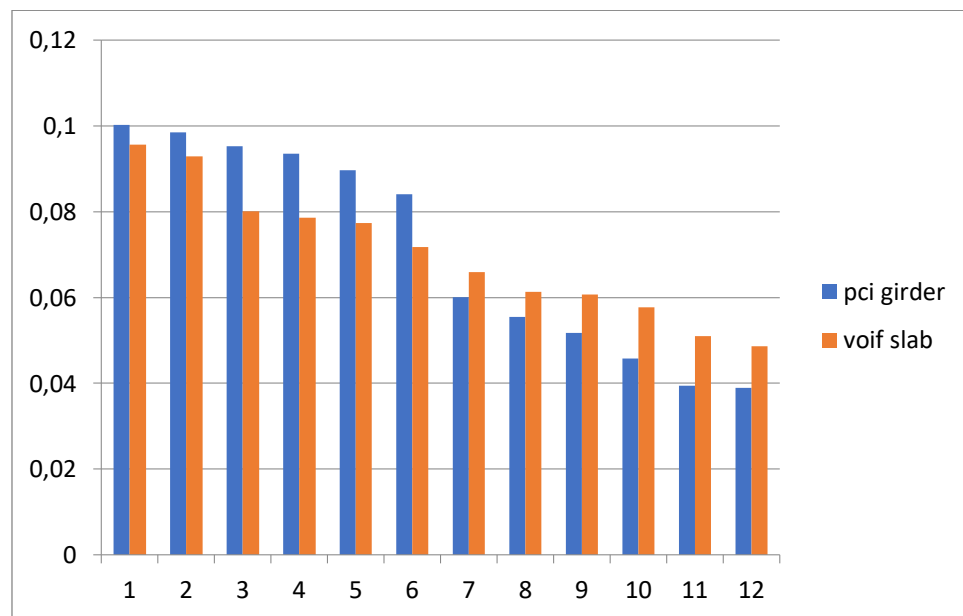
Tabel 4.2: Nilai perioda getar (T) pada jembatan *pci girder* .

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,100227
Modal	Mode 2	0,098408
Modal	Mode 3	0,09521
Modal	Mode 4	0,093467
Modal	Mode 5	0,089627
Modal	Mode 6	0,084032
Modal	Mode 7	0,060034
Modal	Mode 8	0,055456
Modal	Mode 9	0,051731
Modal	Mode 10	0,045811
Modal	Mode 11	0,03947
Modal	Mode 12	0,038885

Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan dengan menggunakan *void slab* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3: Nilai perioda getar (T) pada jembatan *void slab*.

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,095556
Modal	Mode 2	0,092825
Modal	Mode 3	0,080075
Modal	Mode 4	0,078632
Modal	Mode 5	0,077347
Modal	Mode 6	0,071681
Modal	Mode 7	0,065862
Modal	Mode 8	0,061282
Modal	Mode 9	0,060698
Modal	Mode 10	0,05765
Modal	Mode 11	0,050934
Modal	Mode 12	0,048588



Gambar 4.2: Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada jembatan yang menggunakan *Pci girder*, dan *Void slab girder*.

### 4.2.3 Hasil analisis besarnya momen (M3)

Dari hasil program analisa struktur terhadap pemodelan struktur Jembatan dengan menggunakan *void slab* girder, didapatkan hasil data output momen maksimum akibat kombinasi pembebanan yang ditinjau pada setiap balok girder tertera pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Hasil *output CSI Bridge 2017* Momen (M3) maksimum pada setiap girder *void slab* girder.

Komponen	Kombinasi pembebanan				
	Kuat I (KN.M)	Kuat II (KN.M)	Kuat III (KN.M)	Kuat IV (KN.M)	Kuat V (KN.M)
Span 1	20768,4778	19921,0502	16956,057	16955,0533	16982,4137
Span 2	14926,2476	14223,8095	11766,6371	11765,2761	11785,9935
Span 3	15270,6625	14568,4236	12112,7968	12110,5874	12131,978
Span 4	14930,216	14227,6984	11771,8746	11768,8871	11790,0759
Span 5	20712,1233	19864,6565	16904,0676	16898,5228	16927,1816

Pada Tabel 4.4 didapatkan nilai momen maksimum terjadi pada balok girder 1 akibat kombinasi Kuat I sebesar 20768,4778 KN.m. Hal tersebut terjadi dikarenakan momen maksimum pada balok girder satu memikul beban trotoar, beban pejalan kaki dan railing, sehingga pada balok yang berada pada ujung bentang jembatan yaitu Girder 1 dan Girder 5 lebih dominan memikul beban lebih dibanding balok girder lainnya.

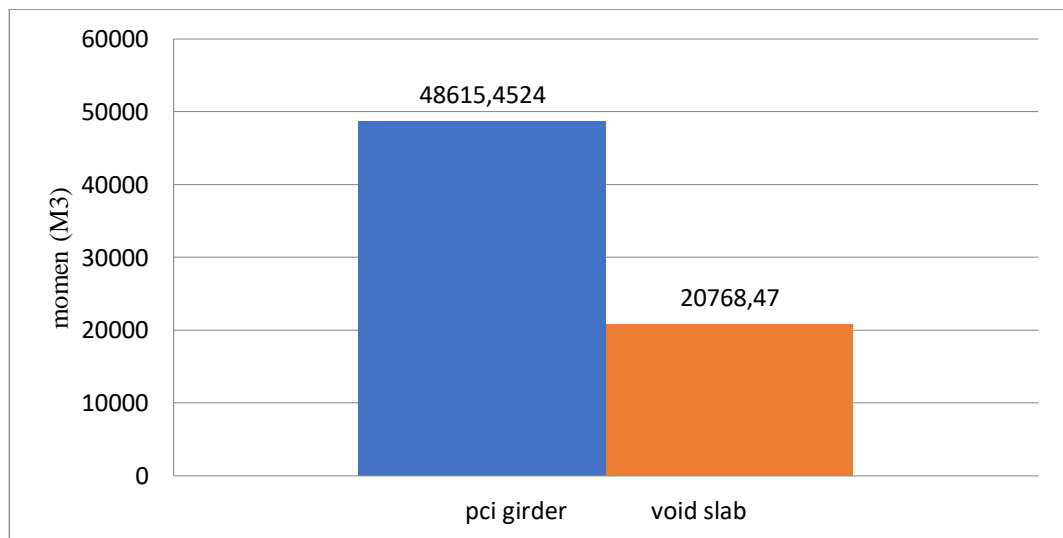
Dari hasil program analisa struktur terhadap pemodelan struktur Jembatan dengan menggunakan *pci* girder, didapatkan hasil data output momen maksimum akibat kombinasi pembebanan yang ditinjau pada setiap balok girder tertera pada Tabel 4.5.



Tabel 4.5: Hasil *output CSI Bridge 2017* Momen (M3) maksimum pada setiap girder *Pci girder*.

Komponen	Kombinasi pembebanan				
	Kuat I (KN.M)	Kuat II (KN.M)	Kuat III (KN.M)	Kuat IV (KN.M)	Kuat V (KN.M)
Span 1	48615,45	47512,64	43656,82	43652,82	43694,47
Span 2	42442,06	41404,74	37778,89	37774,13	37811,03
Span 3	48507,16	47406,25	43555,88	43553,05	43594,06

Pada Tabel 4.5 didapatkan nilai momen maksimum terjadi pada balok girder 1 akibat kombinasi Kuat I sebesar 48615,45 KN.m. Hal tersebut terjadi dikarenakan momen maksimum pada balok girder satu memikul beban trotoar, beban pejalan kaki dan railing, sehingga pada balok yang berada pada ujung bentang jembatan yaitu Girder 1 dan Girder 3 lebih dominan memikul bebanberlebih dibanding balok girder lainnya.



Gambar 4.3: Grafik perbandingan nilai kuat momen pada jembatan *pci girder*, dan *void slab*.

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai kuat momen pada jembatan yang menggunakan *pci girder* lebih besar dibandingkan dengan jembatan yang menggunakan *void slab*

#### 4.2.4 Hasil analisis lendutan

Hasil analisis terhadap pemodelan struktur jembatan *void slab*, dan *pci girder* menghasilkan nilai lendutan yang mana nilai lendutan tersebut tidak boleh melampaui lendutan yang di ijin. Berdasarkan peraturan Menteri No.60 Tahun 2016, koefisien lendutan maksimum jembatan beton adalah  $L/1100$ .

$$L/1100 = 77/1100 = 0,07$$

Tabel 4.6: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan *pci girder*.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,000221

Dari hasil analisa dengan menggunakan *software CSI bridge* untuk jembatan menggunakan *pci girder* didapat lendutan maksimum saat *service* berada pada spam II yaitu sebesar 0,000221 m diakibatkan oleh kondisi layan 1 seperti terlihat pada Tabel 4.1 diatas.

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

$$0,000221 \text{ m} < 0,07 \text{ m (memenuhi syarat).}$$

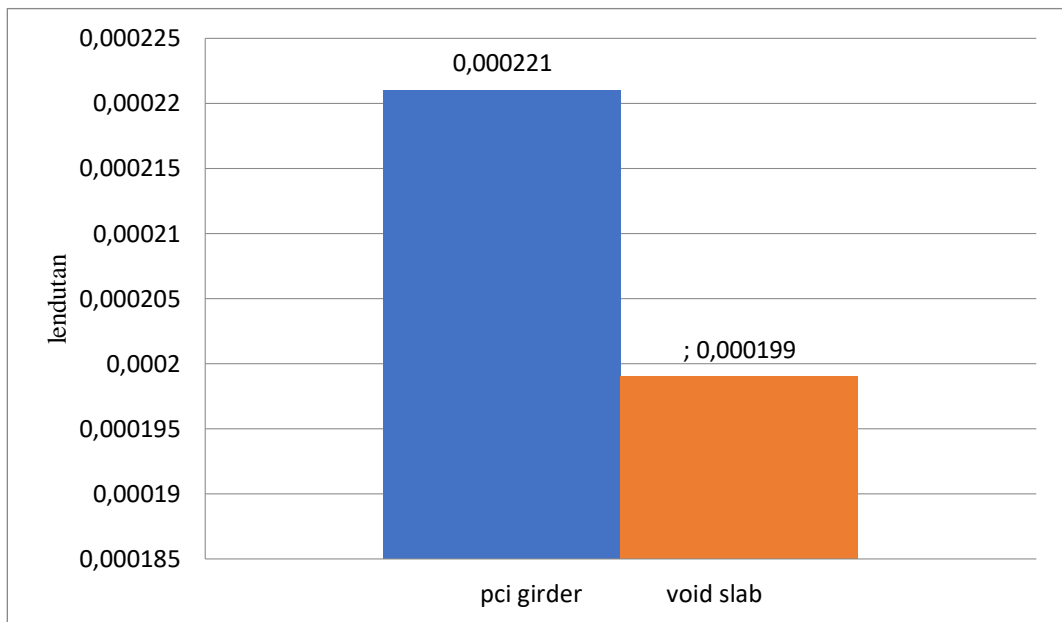
Tabel 4.7: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan *void slab*.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,000119

Dari hasil analisa dengan menggunakan *software CSI bridge* untuk jembatan menggunakan *void slab girder* didapat lendutan maksimum saat *service* berada pada spam IV yaitu sebesar 0,000119 m diakibatkan oleh kondisi layan 1 seperti terlihat pada Tabel 4.1 diatas

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

$$0,000119 \text{ m} < 0,07 \text{ m (memenuhi syarat)}$$



Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai lendutan pada jembatan *pci girder*, dan *void slab*.

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai lendutan pada jembatan yang menggunakan *pci girder* lebih besar dibandingkan dengan jembatan yang menggunakan *void slab*.

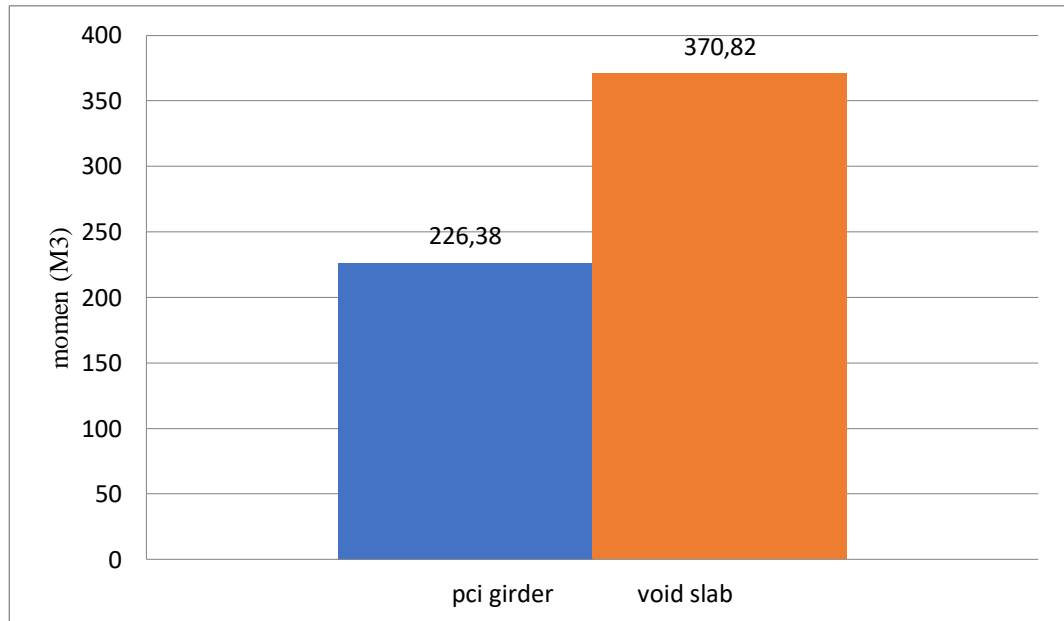
#### 4.2.5 Hasil analisa kekuatan gelagar terhadap gaya geser

Hasil analisis nilai gaya geser arah X (V3) dengan menggunakan *software Csi bridge* pada jembatan dengan menggunakan *void slab* girder, dan jembatan geometri tikungan untuk kombinasi ekstrim I seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Nilai gaya geser (V3) maksimum.

Gaya Geser	Kombinasi Ekstrim I (kN)
<i>Void slab</i>	370,82
<i>Pci girder</i>	226,38

Dari hasil analisa dengan menggunakan *software CSI bridge* untuk jembatan menggunakan *void slab* girder didapat nilai gaya geser arah X saat *service* berada pada span IV, dan *pci girder* didapat nilai gaya geser arah X saat *service* berada pada span II



Gambar 4.5: Grafik perbandingan nilai gaya geser pada jembatan *pci girder*, dan *void slab*.

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai gaya geser arah x pada jembatan yang menggunakan *pci girder* lebih kecil dibandingkan dengan jembatan yang menggunakan *void slab*

#### 4.2.6 Kehilangan Gaya Prategang

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)

#### 4.2.6.1 Kehilangan Gaya Prategang *Pci* Girder

##### 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.

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

$$E_s = 193000$$

$$E_{ci} = 4700 \times \sqrt{60} \\ = 36406,04$$

$$f_{cir} = \text{tegangan awal/luas penampang} \\ = 1,26 \text{ MPa}$$

$$N = 0,5 \text{ (poat tension)}$$

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

$$\Delta ES = \frac{193000}{36406,04} \times 1,26 \times 0,5 \\ = 3,334 \text{ MPa}$$

##### 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.

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

Dengan mengambil nilai pada tabel 2.31 untuk strand dengan untaian 7 kawat, didapat nilai  $k = 0,003$  dan nilai  $\mu = 0,2$

$$\begin{aligned}\frac{F_2 - F_1}{F_1} &= -kL - \mu\alpha \\ \frac{F_2 - F_1}{F_1} &= -0,003 \times (25/2) - 0,2 \times 0 \\ &= -0,0375 \\ F_{pi} &= (9489,98 / 98,78) \times 1000 \\ &= 1264,104 \text{ Mpa} \\ \Delta f_{s1} &= \frac{F_2 - F_1}{F_1} \times f_{cir} \times n \\ \Delta f_{s1} &= -0,0375 \times 1264,104 \\ &= -47,404 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### 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.

$$\begin{aligned}ANC &= \Delta L f_c / E_s \times L \\ \Delta L &= 1264,104 / 193000 \times 25000 \\ &= 163,744 \\ ANC &= 2,5 / 139,43 \times 100\% \\ &= 1,527\%\end{aligned}$$

Maka, besarnya kehilangan prategang yang terjadi adalah :

$$\Delta f_{ANC} = 1,793\% \times 1076,381 = 19,3 \text{ MPa}$$

### 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 rangkai untuk komponen struktur dengan tendon terikat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (untuk beton).

$$\begin{aligned}
 CR &= K_{cr} \times E_s/E_c \times (f_{cir} - f_{c,d,s}) \\
 K_{cr} &= 1,6 \text{ untuk struktur pasca tarik} \\
 f_{c,d,s} &= 0,991 \\
 f_{cir} &= 1,258 \\
 E_s &= 193000 \\
 E_c &= 36406 \\
 CR &= K_{cr} \times E_s/E_c \times (f_{cir} - f_{c,d,s}) \\
 &= 1,6 \times 19300/36406,04 \times (1,258 - 0,991) \\
 &= 2,267 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

#### 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 prategang akibat susut pada beton adalah:

$$\begin{aligned}
 SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s (1 - 0,06 \times v/s) \times (100\% - RH) \\
 K_{sh} &= 0,64 \text{ (Tabel 2.) dengan asumsi dilakukan 20 hari setelah selesai perawatan basah)} \\
 V &= \text{Panjang} \times \text{Luasan girder} \\
 &= 25 \times 0,755 \\
 &= 19,2125 \text{ m} \\
 S &= 5,09 \text{ m} \\
 RH &= 70\% \\
 V/S &= 3,706 \\
 SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,64 \times 193000 (1 - 0,06 \times 3,706) \times (100\% - 70\%) \\
 &= 0,236
 \end{aligned}$$

#### 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:

$$Kre = 130$$

$$J = 0,15$$

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

$$= 0,68$$

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

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

$$= (130 - 0,15 \times (0,236 + 2,267 + 3,334)) \times 0,89$$

$$= 114,921 \text{ MPa}$$

#### 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%.

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

$$= 3,334 + 2,267 + 0,236 + 114,921$$

$$= 120,758 \text{ MPa}$$

$$\% \text{ kehilangan total} = 120,758/1076,381 \times 100\%$$

$$= 10\% < 20\% \text{ (memenuhi syarat)}$$



#### 4.2.6.2 Kehilangan Gaya Prategang *Void Slab Girder*

##### 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.

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

$$E_s = 193000$$

$$E_{ci} = 4700 \times \sqrt{45} \\ = 31528,56$$

$$f_{cir} = \text{tegangan awal/luas penampang} \\ = 0,864 \text{ MPa}$$

$$N = 0,5 \text{ (poat tension)}$$

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

$$\Delta ES = \frac{193000}{31528,56} \times 0,864 \times 0,5 \\ = 2,6457 \text{ MPa}$$

##### 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.

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

Dengan mengambil nilai pada tabel 2.31 untuk strand dengan untaian 7 kawat, didapat nilai  $k = 0,003$  dan nilai  $\mu = 0,2$

$$\begin{aligned}\frac{F_2 - F_1}{F_1} &= -kL - \mu\alpha \\ \frac{F_2 - F_1}{F_1} &= -0,003 \times (15/2) - 0,2 \times 0 \\ &= -0,0225 \\ F_{pi} &= (189,0881/140) \times 1000 \\ &= 1350,629 \text{ MPa} \\ \Delta f_{s1} &= \frac{F_2 - F_1}{F_1} \times f_{cir} \times n \\ \Delta f_{s1} &= -0,0225 \times 1350,629 \\ &= -430,389 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### 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.

$$\begin{aligned}ANC &= \Delta L f_c / ES \times L \\ \Delta L &= 1350,629 / 193000 \times 15000 \\ &= 104,97 \\ ANC &= 2,5 / 104,97 \times 100\% \\ &= 2,382\%\end{aligned}$$

Maka, besarnya kehilangan prategang yang terjadi adalah :

$$\Delta f_{ANC} = 2,382\% \times 1350,629 = 32,16 \text{ Mpa}$$

### 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 rangkai untuk komponen struktur dengan tendon terikat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (untuk beton).

$$\begin{aligned}
 CR &= K_{cr} \times E_s/E_c \times (f_{cir} - f_{c,d,s}) \\
 K_{cr} &= 1,6 \text{ untuk struktur pasca tarik} \\
 f_{c,d,s} &= 0,326 \\
 f_{cir} &= 0,864 \\
 E_s &= 193000 \\
 E_c &= 31528,56 \\
 CR &= K_{cr} \times E_s/E_c \times (f_{cir} - f_{c,d,s}) \\
 &= 1,6 \times 19300/31528,56 \times (0,864 - 0,326) \\
 &= 5,268 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

#### 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 prategang akibat susut pada beton adalah:

$$\begin{aligned}
 SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s (1 - 0,06 \times v/s) \times (100\% - RH) \\
 K_{sh} &= 0,64 \text{ (Tabel 2.) dengan asumsi dilakukan 20 hari setelah selesai perawatan basah)} \\
 V &= \text{Panjang} \times \text{Luasan girder} \\
 &= 15 \times 0,525 \\
 &= 7,875 \\
 S &= 5080 \text{ mm} \\
 RH &= 70\% \\
 V/S &= 0,0015 \\
 SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,64 \times 193000 (1 - 0,06 \times 0,0015) \times (100\% - 70\%) \\
 &= 0,303
 \end{aligned}$$

#### 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:

$$Kre = 138$$

$$J = 0,15$$

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

$$= 0,79$$

$$C = 1,22 \text{ (Tabel 2.30)}$$

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

$$= (138 - 0,15 \times (0,303 + 5,268 + 2,6457)) \times 0,89$$

$$= 166,856 \text{ MPa}$$

#### 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%.

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

$$= 2,6457 + 5,268 + 0,303 + 166,856$$

$$= 175,073 \text{ MPa}$$

$$\% \text{ kehilangan total} = 175,073/1350,629 \times 100\%$$

$$= 13\% < 20\% \text{ (memenuhi syarat)}$$

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur jembatan beton berdasarkan pembebanan sesuai dengan peraturan terkait menghasilkan perubahan pada setiap gaya-gaya yang bekerja pada kedua model struktur jembatan
2. Dari hasil analisa yang dilakukan dengan menggunakan software pada jembatan kereta api dengan luas penampang dan bentuk yang berbeda memiliki perilaku struktur yang berbeda, Dengan hasil perbandingan antara lain:
  - a. Nilai lendutan maksimum
    - *Void slab* girder : 0,000119 m
    - Pci girder : 0,000221 m
  - b. Kuat momen maksimum (M3)
    - *Void slab* girder : 20768,4778 KNm
    - Pci girder : 47512,64 KNm
  - c. Gaya geser maksimum yang terjadi arah X (V3)
    - *Void slab* girder : 370,82KN
    - Pci girder : 226,384 KN
3. Pada pemodelan yang membedakan hanya bentuk girder saja. Dari analisis Model girder *void slab* lebih efisien dan lebih kuat untuk menahan daya lendutan,,dan memiliki berat yang lebih ringan denga berat *void slab*:3533,97, dan Pci girder: 6316,348

#### 5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang akurat perlu dilakukan analisa terhadap struktur bagian bawah jembatan.

2. Dalam pendesainan struktur di Indonesia, diharap mengacu pada peraturan yang lebih baru agar terdapat korelasi yang lebih baik dalam mendesaian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional No.T-14. (2004). *Geometri Jalan Perkotaan*, 1–60. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Perencanaan struktur beton untuk jembatan beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bambang, S., Muntohar, A.S. 2007. *Jembatan, Beta Offset*, Yogyakarta.
- Budiadi,A. (2008) *DesainPraktisBetonPrategang*.Yogyakarta:Andi.
- Dista, A. R. (2019). *Efisiensi pemilihan jenis retrofiting dan perkuatan struktur (strengthening) antara sistem portal dengan sistem prategang eksternalpada jembatan plat berongga (voided slab)*. Lampung: UNILA.
- Hanalip, A. H. (2018). *Perencanaan balok girder profil I pada jembatan prestressed dengan variasi bentang*. Manado: UNSRAT.
- Nawy,E.G. (2001) *BetonPrategangSuatupendekatanMendasarJilid I Edisi Ketiga*. Jakarta:Erlangga.
- PM. No. 60. 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Menteri Perhubungan. Jakarta. Indonesia.
- Prestressed concrete institute. 200. *Pci bridge design manual*.
- Pricilia, Y., koespiadi. (2019).*Analisa prestress metode post tension pada balok proyek supermall pakuwon indah phase-3 Surabaya*. Surabaya: Universitas Noeratama.
- Soetoyo,ir, 2002. *Konstruksi beton pratekan*. Institut teknologi sepuluh november.

# LAMPIRAN



## A. Perhitungan untuk *Section Properties* Model 1

### 1. Diketahui:

- Lebar = 0,65 m
- Tinggi = 0,07 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 1,665 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\ &= 0,65 \text{ m} \times 0,07 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,046 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,046 \text{ m}^2 \times 1,665 \text{ m} \\ &= 0,075 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 0,65 \text{ m} \times 0,07^3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,00005 \text{ m}^4\end{aligned}$$

### 2. Diketahui:

- Lebar = 0,85 m
- Tinggi = 0,13 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 1,635 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\ &= 0,85 \text{ m} \times 0,13 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,11 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,117 \text{ m}^2 \times 1,635 \text{ m} \\ &= 0,181 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 0,85 \text{ m} \times 0,13^3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,00016 \text{ m}^4\end{aligned}$$

3. Diketahui:

- Lebar = 0,3 m
- Tinggi = 0,12 m
- Shape factor = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 1,44 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\ &= 0,3 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\ &= 0,036 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,036 \text{ m}^2 \times 1,44 \text{ m} \\ &= 0,052 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{36} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,3 \text{ m} \times 0,12^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,00003 \text{ m}^4\end{aligned}$$

4. Diketahui:

- Lebar = 0,25 m
- Tinggi = 1,25 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 0,875 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\ &= 0,25 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,3125 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,3125 \text{ m}^2 \times 0,875 \text{ m} \\ &= 0,273 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= \frac{1}{12} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 0,25 \text{ m} \times 1,25^3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,04069 \text{ m}^4\end{aligned}$$

5. Diketahui:

- Lebar = 0,25 m
- Tinggi = 0,25 m
- Shape factor = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 0,375 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\ &= 0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\ &= 0,0625 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,0625 \text{ m}^2 \times 0,375 \text{ m} \\ &= 0,023 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= x \text{ Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{36} \times 0,25 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,00022 \text{ m}^4\end{aligned}$$

6. Diketahui:

- Lebar = 0,75 m
- Tinggi = 0,25 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 0,125 m

$$\begin{aligned}\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\ &= 0,75 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \times 1 \\ &= 0,188 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\ &= 0,188 \text{ m}^2 \times 0,125 \text{ m} \\ &= 0,023 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Momen} &= x \text{ Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\ &= \frac{1}{12} \times 0,75 \text{ m} \times 0,25^3 \text{ m} \times 1 \\ &= 0,00098 \text{ m}^4\end{aligned}$$

## B. Perhitungan Letak Titik Berat Model 1

Tinggi *box girder prestress* (H) = 2,4 m

Luas penampang *box girder prestress* (A) = 5,29 m<sup>2</sup>

$$- y_b = \frac{\Sigma A x Y}{\Sigma A} = \frac{0,629}{0,755} = 0,833$$

$$- y_a = H - Y_b = 0,85 - 0,833 = 0,017 \text{ m}$$

## C. Perhitungan Momen Tahanan Model

- Momen inersia terhadap alas balok

$$I_b = \Sigma A x Y^2 + \Sigma I_o$$

$$= 0,747 + 0,042$$

$$= 0,789 \text{ m}^4$$

- Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_x = I_b - (A x y_b^2)$$

$$= 0,789 - (0,755 x 0,833^2)$$

$$= 0,266 \text{ m}^4$$

- Tahanan momen sisi atas

$$W_a = I_x / y_a$$

$$= 0,266 / 0,867$$

$$= 0,306 \text{ m}^3$$

$$W_b = I_x / y_b$$

$$= 0,266 / 0,833$$

$$= 0,319 \text{ m}^3$$

## D. Perhitungan untuk *Section Properties* Model 1

### 1. Diketahui:

- Lebar = 0,91 m
- Tinggi = 0,51 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 0,595 m

$$\begin{aligned}
\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\
&= 0,91 \text{ m} \times 0,51 \text{ m} \times 1 \times 1 \\
&= 0,4641 \text{ m}^2 \\
\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\
&= 0,4641 \text{ m}^2 \times 0,595 \text{ m} \\
&= 0,276 \text{ m}^3 \\
\text{Inersia Momen} &= x \text{ Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\
&= \frac{1}{12} \times 0,91 \text{ m} \times 0,51^3 \text{ m} \times 1 \\
&= 0,01006 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

2. Diketahui:

- Lebar = 0,3 m
- Tinggi = 0,04 m
- Shape factor = 0,5
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 0,32 m

$$\begin{aligned}
\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\
&= 0,3 \text{ m} \times 0,04 \text{ m} \times 0,5 \times 2 \\
&= 0,0012 \text{ m}^2 \\
\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\
&= 0,0012 \text{ m}^2 \times 0,32 \text{ m} \\
&= 0,00038 \text{ m}^3 \\
\text{Inersia Momen} &= x \text{ Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\
&= \frac{1}{36} \times 0,3 \text{ m} \times 0,04^3 \text{ m} \times 2 \\
&= 0,0000001 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

3. Diketahui:

- Lebar = 0,97 m
- Tinggi = 0,3 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 1
- Jarak terhadap alas y = 0,15 m

$$\begin{aligned}
\text{Luas tampang (A)} &= \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Shape Factor} \times \text{Jumlah tampang} \\
&= 0,91 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1 \times 1
\end{aligned}$$

$$= 0,291 \text{ m}^2$$

Statis momen = Luas tampang (A) x jarak alas terhadap y  
 $= 0,291 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m}$   
 $= 0,043 \text{ m}^3$

Inersia Momen = x Lebar x Tinggi<sup>3</sup> x Jumlah Tampang  
 $= \frac{1}{12} \times 0,97 \text{ m} \times 0,3^3 \text{ m} \times 1$   
 $= 0,00218 \text{ m}^4$

#### 4. Diketahui:

- Jari - jari = 0,15 m
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 0,575 m

Luas tampang (A) =  $(\pi \times r^2)/2 \times$  Jumlah tampang  
 $= (3,14 \times 0,15 \text{ m})/2 \times 2$   
 $= 0,0706 \text{ m}^2$

Statis momen = Luas tampang (A) x jarak alas terhadap y  
 $= 0,0706 \text{ m}^2 \times 0,575 \text{ m}$   
 $= 0,0406 \text{ m}^3$

Inersia Momen = x  $\pi \times$  jari jari<sup>4</sup> x Jumlah Tampang  
 $= \frac{1}{8} \times 3,14 \text{ m} \times 0,15^4 \text{ m} \times 2$   
 $= 0,00039 \text{ m}^4$

#### 5. Diketahui:

- Lebar = 0,3 m
- Tinggi = 0,15 m
- Shape factor = 1
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 0,425 m

Luas tampang (A) = Lebar x Tinggi x *Shape Factor* x Jumlah tampang  
 $= 0,3 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 1 \times 2$   
 $= 0,09 \text{ m}^2$

Statis momen = Luas tampang (A) x jarak alas terhadap y  
 $= 0,09 \text{ m}^2 \times 0,425 \text{ m}$   
 $= 0,038 \text{ m}^3$

$$\begin{aligned}
\text{Inersia Momen} &= x \text{ Lebar} \times \text{Tinggi}^3 \times \text{Jumlah Tampang} \\
&= \frac{1}{12} \times 0,3 \text{ m} \times 0,15^3 \text{ m} \times 2 \\
&= 0,00017 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

6. Diketahui:

- Jari - jari = 0,15 m
- Jumlah tampang = 2
- Jarak terhadap alas y = 0,275 m

$$\begin{aligned}
\text{Luas tampang (A)} &= (\pi \times r^2)/2 \times \text{Jumlah tampang} \\
&= (3,14 \times 0,15 \text{ m})/2 \times 2 \\
&= 0,0706 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Statis momen} &= \text{Luas tampang (A)} \times \text{jarak alas terhadap y} \\
&= 0,0706 \text{ m}^2 \times 0,275 \text{ m} \\
&= 0,0194 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Inersia Momen} &= x \pi \times \text{jari jari}^4 \times \text{Jumlah Tampang} \\
&= \frac{1}{8} \times 3,14 \text{ m} \times 0,15^4 \text{ m} \times 2 \\
&= 0,00039 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

### E. Perhitungan Letak Titik Berat Model 1

$$\text{Tinggi box girder prestress (H)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang box girder prestress (A)} = 0,53 \text{ m}^2$$

$$- y_b = \frac{\Sigma A \times Y}{\Sigma A} = \frac{0,2218}{0,53} = 0,423 \text{ m}$$

$$- y_a = H - Y_b = 0,85 - 0,423 = 0,427 \text{ m}$$

### F. Perhitungan Momen Tahanan Model

- Momen inersia terhadap alas balok

$$\begin{aligned}
I_b &= \Sigma A \times Y^2 + \Sigma I_o \\
&= 0,126 + 0,0118 \\
&= 0,138 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

- Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_x = I_b - (A \times y_b^2)$$

$$= 0,138 - (0,53 \times 0,423^2)$$
$$= 0,044 \text{ m}^4$$

- Tahanan momen sisi atas

$$W_a = I_x / y_a$$
$$= 0,044 / 0,427$$
$$= 0,103 \text{ m}^4$$

$$W_b = I_x / y_b$$
$$= 0,044 / 0,423$$
$$= 0,104 \text{ m}^4$$



Tabel L.1: Lendutan Layan 1 Pci girder

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>Sect Vert</b>	<b>Sect Tran</b>	<b>Sect Long</b>	<b>Sect RLong</b>
m		m	m	m	Degrees
0	Max	-5,E-05	-3,E-05	8,E-03	-5,E-06
0	Min	-5,E-05	-8,E-04	3,E-03	-5,E-06
2,5	Max	-0,00149	0,000131	0,000409	-2,E-01
2,5	Min	-0,001703	0,0001	0,00036	-2,E-01
5	Max	-0,003928	0,00031	0,000496	-4,E-01
5	Min	-0,004505	0,000239	0,000438	-4,E-01
7,5	Max	-0,006313	0,000464	0,000434	-7,E-01
7,5	Min	-0,007238	0,000357	0,000381	-7,E-01
10	Max	-0,00812	0,000621	0,000262	-9,E-01
10	Min	-0,009327	0,000478	0,000223	-9,E-01
12,33333	Max	-0,008785	0,000635	0,000059	-9,E-01
12,33333	Min	-0,010105	0,000484	0,000016	-1,E+00
13,66667	Max	-0,008735	0,000629	-0,000053	-9,E-01
13,66667	Min	-0,010066	0,000476	-0,000112	-1,E+00
15	Max	-0,008374	0,000614	-0,000166	-9,E-01
15	Min	-0,009682	0,000461	-0,000246	-9,E-01
17,5	Max	-0,006781	0,000446	-0,000334	-7,E-01
17,5	Min	-0,007889	0,000323	-0,000448	-7,E-01
20	Max	-0,00453	0,000269	-0,000407	-5,E-01
20	Min	-0,005326	0,000182	-0,000545	-5,E-01
22	Max	-0,002583	0,000093	-0,000377	-3,E-01
22	Min	-0,003068	0,000047	-0,000526	-3,E-01
24	Max	-0,000952	-0,000045	-0,000241	-1,E-01
24	Min	-0,00115	-0,000059	-0,000386	-1,E-01
25,5428	Max	-0,000251	-0,000133	6,E-03	-4,E-02
25,5428	Min	-0,00029	-0,000148	-0,000125	-4,E-02
26	Max	-0,000234	-0,000146	4,E-03	-4,E-02
26	Min	-0,000263	-0,000161	-0,000129	-4,E-02
26	Max	-0,000234	-0,000146	4,E-03	-4,E-02
26	Min	-0,000263	-0,000161	-0,000129	-4,E-02
26,4572	Max	-0,000221	-0,000136	3,E-03	-3,E-02
26,4572	Min	-0,000259	-0,00015	-0,000129	-4,E-02
28,5	Max	-0,001063	-0,000063	0,000287	-1,E-01
28,5	Min	-0,00132	-0,000083	0,000143	-1,E-01
31	Max	-0,002938	0,000057	0,000393	-3,E-01
31	Min	-0,003544	-3,E-03	0,000252	-3,E-01

Tabel L.1:*Lanjutan*

33,5	Max	-0,004867	0,000165	0,000357	-5,E-01
36,	Min	-0,007456	0,000165	0,000112	-7,E-01
3816667	Max	-0,006814	0,000293	0,000057	-7,E-01
3816667	Min	-0,007976	0,000165	-0,000032	-7,E-01
3958333	Max	-0,006743	0,000291	-0,000037	-7,E-01
3958333	Min	-0,007889	0,000164	-0,000129	-7,E-01
41,	Max	-0,006359	0,000284	-0,000132	-6,E-01
41,	Min	-0,007462	0,000161	-0,000234	-7,E-01
43,5	Max	-0,004894	0,000153	-0,000251	-5,E-01
43,5	Min	-0,005779	0,000067	-0,000374	-5,E-01
46,	Max	-0,002967	0,000041	-0,000274	-3,E-01
46,	Min	-0,00355	-1,E-02	-0,000409	-3,E-01
48,5	Max	-0,001086	-0,000081	-0,000167	-1,E-01
48,5	Min	-0,001327	-0,000094	-0,000303	-1,E-01
505428	Max	-0,000229	-0,000155	0,000102	-4,E-02
505428	Min	-0,000265	-0,000167	-0,000022	-4,E-02
51,	Max	-0,000236	-0,000166	0,000087	-4,E-02
51,	Min	-0,000265	-0,000179	-0,000038	-4,E-02
51,	Max	-0,000235	-0,000172	0,000146	-4,E-02
51,	Min	-0,000264	-0,000186	0,000002	-4,E-02
514572	Max	-0,000254	-0,000156	0,000127	-4,E-02
514572	Min	-0,000292	-0,000168	2,E-03	-4,E-02
53,	Max	-0,000958	-0,000065	0,000384	-1,E-01
53,	Min	-0,001144	-0,000007	0,000245	-1,E-01
54,5	Max	-0,002115	0,000028	0,000499	-2,E-01
54,5	Min	-0,002505	0,000015	0,000355	-2,E-01
56,	Max	-0,003512	0,000149	0,000549	-4,E-01
56,	Min	-0,004128	0,000112	0,000403	-4,E-01
58,5	Max	-0,005917	0,000338	0,000514	-6,E-01
58,5	Min	-0,006876	0,000262	0,000376	-6,E-01
61,	Max	-0,00787	0,000534	0,000354	-9,E-01
61,	Min	-0,009092	0,00042	0,000233	-9,E-01
63,5	Max	-0,008771	0,000598	0,000128	-9,E-01
63,5	Min	-0,010079	0,000473	0,000031	-1,E+00
66,	Max	-0,008581	0,000626	-0,000108	-9,E-01
66,	Min	-0,009843	0,000498	-0,000191	-9,E-01
68,5	Max	-0,007169	0,000501	-0,000303	-8,E-01
68,5	Min	-0,008211	0,000403	-0,000381	-8,E-01
71,	Max	-0,004997	0,000368	-0,000411	-6,E-01

Tabel L.1: *Lanjutan*

71,	Min	-0,005726	0,000301	-0,000488	-6,E-01
74,	Max	-0,001959	0,000146	-0,00038	-2,E-01
74,	Min	-0,002235	0,000124	-0,000438	-2,E-01
77,	Max	-4,E-05	-2,E-03	-3,E-03	-4,E-06
77,	Min	-5,E-05	-2,E-03	-0,000012	-4,E-06

Tabel L.2: Lendutan Layan 1 Void slab girder

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>Sect Vert</b>	<b>Sect Tran</b>	<b>Sect Long</b>	<b>Sect RLong</b>
m		m	M	m	Degrees
0	Max	0,000013	0,000041	0,000738	1,E-03
0	Min	2,E-03	-0,000017	0,000551	1,E-03
1,83333	Max	-0,001791	0,000053	0,000742	8,E-03
1,83333	Min	-0,002308	-4,E-03	0,000555	6,E-03
3,66667	Max	-0,003599	0,000076	0,000627	2,E-02
3,66667	Min	-0,004602	8,E-03	0,000461	1,E-02
5,5	Max	-0,004938	0,000104	0,000439	3,E-02
5,5	Min	-0,006285	0,000022	0,000306	2,E-02
7,33333	Max	-0,005557	0,000131	0,000212	3,E-02
7,33333	Min	-0,007055	0,000037	0,000116	3,E-02
9,16667	Max	-0,005354	0,000156	-0,000014	4,E-02
9,16667	Min	-0,006796	0,000053	-0,000077	3,E-02
11	Max	-0,00439	0,000178	-0,000196	3,E-02
11	Min	-0,00558	0,00007	-0,000259	3,E-02
13,5	Max	-0,00226	0,000202	-0,000332	3,E-02
13,5	Min	-0,002885	0,00009	-0,000415	3,E-02
15,5428	Max	-0,000548	0,000224	-0,000306	2,E-02
15,5428	Min	-0,000719	0,000104	-0,000394	2,E-02
16	Max	-0,000201	0,00023	-0,000308	2,E-02
16	Min	-0,000351	0,000106	-0,000395	2,E-02
16	Max	-0,000288	0,000271	0,000547	2,E-02
16	Min	-0,000433	0,000123	0,000342	2,E-02
16,4572	Max	-0,000512	0,000275	0,000545	3,E-02
16,4572	Min	-0,000689	0,000128	0,00034	3,E-02
18,33333	Max	-0,001591	0,0003	0,00056	5,E-02
18,33333	Min	-0,002101	0,00015	0,000351	5,E-02
20,16667	Max	-0,002705	0,000329	0,000473	7,E-02
20,16667	Min	-0,00355	0,000171	0,000275	7,E-02
22	Max	-0,003473	0,000355	0,000323	9,E-02
22	Min	-0,004537	0,000189	0,000143	8,E-02
23,83333	Max	-0,00367	0,000373	0,000154	9,E-02
23,83333	Min	-0,004789	0,000204	-0,000014	8,E-02
25,66667	Max	-0,003245	0,000382	-2,E-03	9,E-02
25,66667	Min	-0,004247	0,000215	-0,000174	8,E-02
28,33333	Max	-0,00178	0,000382	-0,000149	6,E-02
28,33333	Min	-0,00236	0,000223	-0,000342	6,E-02

Tabel L.2: *Lanjutan.*

30,5428	Max	-0,000483	0,000384	-0,000146	4,E-02
30,5428	Min	-0,000673	0,000226	-0,000343	4,E-02
31	Max	-0,000256	0,000386	-0,000148	4,E-02
31	Min	-0,000417	0,000226	-0,000345	4,E-02
31	Max	-0,000256	0,000391	0,000476	4,E-02
31	Min	-0,000416	0,000229	0,000251	4,E-02
31,4572	Max	-0,000488	0,000392	0,000472	4,E-02
31,4572	Min	-0,000678	0,000231	0,000247	4,E-02
33	Max	-0,001399	0,000399	0,000491	6,E-02
33	Min	-0,001857	0,000241	0,000264	6,E-02
34,83333	Max	-0,002583	0,000415	0,000415	8,E-02
34,83333	Min	-0,003389	0,000252	0,000197	8,E-02
36,66667	Max	-0,003456	0,000429	0,000273	1,E-01
36,66667	Min	-0,004508	0,00026	0,000069	9,E-02
38,5	Max	-0,003778	0,000435	0,000106	1,E-01
38,5	Min	-0,004917	0,000265	-0,000092	1,E-01
40,33333	Max	-0,003454	0,00043	-0,000053	1,E-01
40,33333	Min	-0,004506	0,000264	-0,000259	9,E-02
42,16667	Max	-0,002578	0,000415	-0,00018	8,E-02
42,16667	Min	-0,003385	0,00026	-0,000402	8,E-02
44	Max	-0,001395	0,000398	-0,000246	6,E-02
44	Min	-0,001853	0,000251	-0,000478	6,E-02
45,5428	Max	-0,000486	0,000389	-0,000228	4,E-02
45,5428	Min	-0,000676	0,000242	-0,00046	4,E-02
46	Max	-0,000255	0,000388	-0,000232	4,E-02
46	Min	-0,000416	0,00024	-0,000464	4,E-02
46	Max	-0,000256	0,000379	0,00037	4,E-02
46	Min	-0,000415	0,000232	0,000159	4,E-02
46,4572	Max	-0,000484	0,000377	0,000368	4,E-02
46,4572	Min	-0,000674	0,000232	0,000157	4,E-02
48,66667	Max	-0,001788	0,000373	0,000369	6,E-02
48,66667	Min	-0,002367	0,00023	0,000158	6,E-02
51,33333	Max	-0,003257	0,000373	0,000202	9,E-02
51,33333	Min	-0,004259	0,000224	8,E-03	8,E-02
53,16667	Max	-0,003684	0,000365	0,000044	9,E-02
53,16667	Min	-0,004802	0,000217	-0,000149	8,E-02
55	Max	-0,003487	0,000346	-0,000116	9,E-02
55	Min	-0,004551	0,000206	-0,000319	8,E-02
56,83333	Max	-0,002715	0,000318	-0,000249	8,E-02

Tabel L.2: *Lanjutan.*

56,83333	Min	-0,003561	0,000192	-0,000467	7,E-02
58,66667	Max	-0,001595	0,000286	-0,000325	5,E-02
58,66667	Min	-0,002105	0,000173	-0,000555	5,E-02
60,5428	Max	-0,00051	0,000259	-0,000313	3,E-02
60,5428	Min	-0,000688	0,00015	-0,000541	3,E-02
61	Max	-0,000285	0,000255	-0,000315	2,E-02
61	Min	-0,000432	0,000145	-0,000543	2,E-02
61	Max	-0,000199	0,000217	0,000429	2,E-02
61	Min	-0,00035	0,000116	0,000316	2,E-02
61,4572	Max	-0,000547	0,000211	0,000427	2,E-02
61,4572	Min	-0,00072	0,000114	0,000315	2,E-02
63,5	Max	-0,002271	0,00019	0,000449	3,E-02
63,5	Min	-0,002897	0,000101	0,000341	3,E-02
66,	Max	-0,00441	0,000167	0,000293	4,E-02
66,	Min	-0,0056	0,000078	0,000205	3,E-02
67,83333	Max	-0,005379	0,000146	0,000112	4,E-02
67,83333	Min	-0,006818	0,000062	0,000022	3,E-02
69,66667	Max	-0,005581	0,000117	-0,000086	4,E-02
69,66667	Min	-0,007077	0,000049	-0,000202	3,E-02
71,5	Max	-0,004958	0,000086	-0,000279	3,E-02
71,5	Min	-0,006304	0,000037	-0,000424	3,E-02
73,33333	Max	-0,003612	0,000057	-0,000437	2,E-02
73,33333	Min	-0,004615	0,000026	-0,000611	2,E-02
75,16667	Max	-0,001797	0,000032	-0,000532	9,E-03
75,16667	Min	-0,002314	0,000013	-0,000724	7,E-03
77,	Max	0,000013	0,000022	-0,000528	1,E-03
77,	Min	2,E-03	2,E-03	-0,00072	1,E-03

Tabel L.3: output berat sendiri *csi Bridge* pci girder

<b>GroupName</b>	<b>SelfMass</b>	<b>SelfWeight</b>	<b>TotalMass X</b>	<b>TotalMass Y</b>	<b>TotalMass Z</b>
	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	2362,4	23185,922	2362,4	2362,4	2362,4
ALL_BUT_SLAB	1848,53	18146,615	1848,53	1848,53	1848,53
SLAB	513,87	5039,307	513,87	513,87	513,87
GIRDER_DIAPH	1562,39	15321,842	1562,39	1562,39	1562,39
start	653,61	6409,73	653,61	653,61	653,61
Span	644,09	6316,348	644,09	644,09	644,09
end	653,61	6409,73	653,61	653,61	653,61

Tabel L.4: output berat sendiri *csi BridgeVoid Slab* girder

<b>GroupName</b>	<b>SelfMass</b>	<b>SelfWeight</b>	<b>TotalMass X</b>	<b>TotalMass Y</b>	<b>TotalMass Z</b>
	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	2205,69	21678,472	2205,69	2205,69	2205,69
start	384,39	3769,575	384,39	384,39	384,39
Span 2	360,36	3533,947	360,36	360,36	360,36
Span 3	380,66	3732,972	380,66	380,66	380,66
Span 4	360,36	3533,947	360,36	360,36	360,36
end	384,37	3769,343	384,37	384,37	384,37

Tabel L.5: output Priode Getar *csi Bridge* berdasarkan modal pci girder

<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>StepNum</b>	<b>Period</b>	<b>Frequency</b>	<b>CircFreq</b>	<b>Eigenvalue</b>
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,100227	9,977338	62,68946	3929,969
MODAL	Mode	2	0,098408	10,16174	63,84811	4076,581
MODAL	Mode	3	0,09521	10,50315	65,99324	4355,107
MODAL	Mode	4	0,093467	10,69893	67,22336	4518,979
MODAL	Mode	5	0,089627	11,15729	70,10335	4914,48
MODAL	Mode	6	0,084032	11,90024	74,77144	5590,769
MODAL	Mode	7	0,060034	16,65733	104,6611	10953,94
MODAL	Mode	8	0,055456	18,03243	113,3011	12837,14
MODAL	Mode	9	0,051731	19,33069	121,4583	14752,13
MODAL	Mode	10	0,045811	21,82887	137,1548	18811,44
MODAL	Mode	11	0,03947	25,33567	159,1887	25341,04
MODAL	Mode	12	0,038885	25,71692	161,5842	26109,45

Tabel L.6: output Priode Getar *csi Bridge* berdasarkan modal *Void Slab*

<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>StepNum</b>	<b>Period</b>	<b>Frequency</b>	<b>CircFreq</b>	<b>Eigenvalue</b>
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,095556	10,46508	65,75404	4323,594
MODAL	Mode	2	0,092825	10,77298	67,68861	4581,748
MODAL	Mode	3	0,080075	12,48828	78,46616	6156,938
MODAL	Mode	4	0,078632	12,7174	79,90579	6384,935
MODAL	Mode	5	0,077347	12,92874	81,2337	6598,914
MODAL	Mode	6	0,071681	13,9506	87,65423	7683,265
MODAL	Mode	7	0,065862	15,18318	95,39875	9100,921
MODAL	Mode	8	0,061282	16,31792	102,5285	10512,1
MODAL	Mode	9	0,060698	16,47513	103,5163	10715,63
MODAL	Mode	10	0,05765	17,34598	108,988	11878,39
MODAL	Mode	11	0,050934	19,63335	123,36	15217,69
MODAL	Mode	12	0,048588	20,58102	129,3143	16722,2



Tabel L.7: Momen Kuat 1 Pci girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	1093,49	-6203,78	347,495	1922,075	4830,374	-5965,23
2,5	1093,78	-5136,13	343,447	1739,432	4382,307	4799,43
2,5	-349,556	-4584,70	346,569	1825,457	4423,728	4649,12
5	-348,739	-3430,30	335,5	1534,604	3870,672	13298,47
5	-1293,91	-2869,43	339,348	1642,405	3899,478	13194,58
7,5	-1292,66	-1685,42	322,896	1341,058	3360,432	18298,09
7,5	-2192,25	-1133,25	331,569	1392,694	3367,636	18255,72
10	-2190,72	73,23	299,927	1155,051	2837,691	19921,05
10	-2704,43	640,68	320,175	1265,585	2836,759	19914,54
12,33333	-2702,95	1884,35	273,401	1072,952	2346,536	18281,13
12,33333	-2914,03	2470,27	301,279	1235,145	2350,920	18329,21
13,66667	-2913,26	3740,59	249,741	1086,074	1915,891	13223,22
13,66667	-2908,39	4303,65	269,013	1369,921	1911,636	13307,13
15	-2907,72	6320,98	198,595	1244,325	1412,284	941,36
15	-2728,03	6896,73	238,067	1548,572	1380,861	1097,72
17,5	-2727,27	8325,55	160,334	1544,921	1077,712	-12553,33
17,5	-2200,19	-284,40	0,477	223,486	29,358	-792,35
20	-2200,46	-126,46	-0,168	224,292	29,300	-694,23
20	-1,6E+03	299,94	1,22E-10	66,628	-8,E-11	6,E-05
22	-1,6E+03	457,87	1,86E-10	66,299	-9,E-11	-93,35
22	-1,0E+03	-6025,72	258,151	2183,605	1202,520	-9521,83
24	-1051,55	-4843,58	172,722	1799,530	1006,307	901,96
24	-621,843	-4273,49	218,065	1748,816	1040,124	802,35
25,5428	-624,415	-3135,33	135,688	1503,737	833,729	8768,99
25,5428	1411,36	-2595,95	162,593	1450,083	850,693	8681,62
26	1411,14	-1440,56	95,379	1015,466	705,501	13214,10
26	1379,97	-826,00	122,184	1275,451	703,173	13175,42
26,4572	1379,65	364,96	33,226	962,990	649,941	14220,03
26,4572	1583,81	960,86	83,097	1082,094	651,419	14223,81
28,5	1590,36	2190,65	-31,564	839,960	692,284	11916,50
28,5	1253,50	2788,16	45,913	1067,348	688,860	11982,45
31	1259,69	4926,39	-78,482	876,042	842,726	2425,41
31	645,467	5608,97	-29,106	1053,598	817,040	2500,91
33,5	650,799	7099,44	-141,641	1085,297	1014,550	-9841,24
33,5	-40,3460	-284,95	1,999	412,271	52,588	-1005,55
36	-37,0090	-127,09	-0,227	413,813	52,207	-904,34
36	-3,0E+02	125,31	6,87E-11	-0,165	-1,E-11	3,E-04
38,16667	-3,0E+02	283,18	2,54E-10	-0,672	-1,E-12	-93,23

Tabel L.7: Lanjutan.

38,16667	-327,523	-6109,26	253,441	2033,908	1128,800	-9280,30
39,58333	-327,460	-5122,99	164,798	1988,552	920,601	-521,27
39,58333	-180,236	-4648,81	219,768	1821,087	977,979	-674,12
41	-180,802	-3469,39	108,083	1670,017	806,876	7888,62
41	162,031	-2924,10	174,588	1543,228	828,191	7786,34
43,5	159,531	-1733,57	69,797	1346,376	690,974	12951,48
43,5	974,582	-1156,10	110,643	1306,049	697,516	12899,34
46	970,126	1,72	33,598	1121,779	650,117	14568,42
46	1711,31	679,59	61,187	893,331	649,920	14560,94
48,5	1704,93	1856,35	-13,07	736,341	691,775	12878,70
48,5	2373,23	2482,98	27,585	908,665	686,402	12917,63
50,5428	2366,52	3723,74	-73,446	740,395	816,603	7747,28
50,5428	-83,2820	4356,94	-7,016	932,358	797,944	7835,46
51	-83,1960	5610,21	-115,122	840,676	965,567	-726,48
51	-1,3E-12	6196,11	-59,891	994,444	907,929	-585,84
51,4572	3,3E-12	7236,88	-145,89	1064,632	1102,734	-9312,45
51,4572	-1,2E+01	-282,71	5,93E-11	413,685	-4,E-11	-93,15
53	-1,0E+01	-124,85	1,13E-10	413,255	-1,E-10	3,E-04
53	-37,0090	127,57	0,25	-0,536	44,135	-917,72
54,5	-35,2760	285,42	-1,824	1,190	44,517	-1011,98
54,5	-368,652	-6019,35	264,774	1867,556	1037,769	-9835,72
56	-367,494	-4597,44	147,936	1770,610	827,815	2526,07
56	-972,346	-4038,97	197,687	1591,870	853,396	2437,29
58,5	-971,637	-2029,95	68,127	1314,695	694,589	11982,41
58,5	-1661,21	-1501,92	146,601	1159,866	700,861	11905,98
61	-1661,62	-271,87	30,549	1019,412	651,155	14227,70
61	-2077,54	274,51	81,131	936,504	644,977	14217,23
63,5	-2078,65	1525,08	-6,409	834,802	690,062	13191,22
63,5	-2135,71	2142,00	20,742	998,732	692,526	13224,28
66	-2137,16	3389,93	-42,706	867,557	830,634	8704,99
66	-1789,15	4003,88	-15,329	871,661	814,605	8787,83
68,5	-1790,65	5246,91	-94,723	902,925	1014,037	771,90
68,5	-1168,82	5908,96	-48,426	1040,453	981,168	867,32
71	-1170,13	7191,09	-131,547	897,320	1164,621	-9600,57
71	-219,224	-282,96	-3,61E-11	412,437	-2,E-10	-93,25
74	-220,314	-125,02	1,35E-10	412,132	-1,E-10	6,E-05
74	694,930	301,24	0,208	284,278	25,577	-698,93
77	694,546	459,18	-0,419	285,099	25,638	-794,91

Tabel L.8: Momen Kuat 2 Pci girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	940,91	-20160,67	-337,67	-29325,44	-5577,95	-84262,62
2,5	941,19	-17132,21	-337,61	-25133,70	-4607,64	-37667,52
2,5	-502,19	-16086,92	-321,97	-23033,05	-5397,06	-38801,21
5	-501,38	-13059,34	-324,73	-18823,00	-4353,06	-1684,61
5	-1447,17	-11947,38	-290,47	-16712,13	-5419,55	-2553,77
7,5	-1445,93	-8867,75	-298,32	-12615,13	-4425,39	24890,50
7,5	-2346,46	-7886,94	-242,61	-10485,62	-5391,05	23964,24
10	-2344,95	-4788,44	-257,66	-6363,55	-4507,69	41489,37
10	-2859,54	-3471,06	-184,08	-3944,22	-4961,59	40925,42
12,33333	-2858,08	-1109,82	-204,97	-1150,98	-4267,51	47512,64
12,33333	-3069,92	70,30	-135,50	1221,09	-4390,60	47273,95
13,66667	-3069,15	1434,74	-150,16	2786,23	-4062,90	46915,02
13,66667	-3064,82	2275,82	-92,04	4462,17	-3929,14	46921,49
15	-3064,17	3643,46	-107,86	6030,09	-3658,48	43585,14
15	-2885,10	4660,83	-15,35	7883,30	-3291,48	43791,08
17,5	-2884,35	7835,42	-47,25	11989,87	-2955,17	29214,87
17,5	-2357,95	8845,45	88,14	14098,86	-2109,91	29787,14
20	-2358,21	12045,13	57,15	18430,29	-2031,62	4880,50
20	-1794,09	13326,38	188,26	20816,37	-1153,63	5446,25
22	-1795,33	15408,16	165,81	23598,80	-1297,73	-21419,00
22	-1207,08	16516,06	290,56	26276,58	-474,16	-20875,38
24	-1209,43	18596,48	272,90	29364,76	-825,77	-53187,15
24	-779,33	20122,18	379,33	31773,55	-357,61	-52827,33
25,5428	-781,86	21721,67	372,11	34385,75	-769,96	-82337,64
25,5428	1324,66	-729,57	256,23	33,52	548,23	-5109,49
26	1324,44	-588,68	258,30	44,98	468,82	-4784,41
26	1294,50	645,37	299,18	1185,92	271,25	-4840,31
26,4572	1294,18	786,26	301,19	1197,36	204,40	-5069,30
26,4572	1433,47	-18383,44	-653,35	-26910,38	2013,48	-74268,58
28,5	1440,13	-16383,55	-651,34	-23878,79	3384,57	-39021,54
28,5	1102,95	-15440,11	-513,51	-21682,05	2696,46	-39416,13
31	1109,30	-12428,38	-514,00	-17474,03	4015,82	-4017,80
31	494,76	-11354,77	-363,97	-15384,60	3191,91	-4605,18
33,5	500,03	-8284,30	-364,34	-11355,05	4138,21	21339,66
33,5	-192,51	-7328,52	-200,38	-9410,15	3257,96	20601,39
36	-189,21	-4242,83	-205,43	-5548,73	3813,99	36541,79
36	-455,71	-2991,39	-50,77	-3303,79	3448,28	36235,40
38,16667	-454,41	-788,57	-56,23	-929,06	3622,28	41404,74

Tabel L.8: *Lanjutan.*

38,16667	-481,99	341,93	64,69	1286,65	3514,45	41364,37
39,58333	-481,93	1790,64	61,31	2842,59	3528,05	40512,51
39,58333	-335,54	2679,84	156,28	4578,03	3667,58	40671,63
41	-336,10	4132,30	153,87	6171,40	3604,64	36467,55
41	5,87	5181,42	281,42	8052,64	3928,05	36840,48
43,5	3,39	8359,25	281,17	12129,99	3519,62	20997,36
43,5	817,43	9384,58	442,31	14229,82	4391,34	21840,58
46	813,01	12589,84	451,65	18625,93	3593,59	-3964,02
46	1553,87	13762,65	597,55	20803,77	4414,73	-3279,16
48,5	1547,54	16977,07	615,61	25603,34	3241,67	-38532,0
48,5	2216,19	18218,62	748,08	28094,87	4013,91	-37950,0
50,5428	2209,54	20340,06	769,27	31448,02	2761,74	-73520,1
50,5428	-97,85	-1415,75	-38,73	-174,26	-398,03	-718,04
51	-97,76	-1274,85	-39,12	-173,23	-380,20	-102,99
51	-1,E-12	482,01	-7,E-13	886,90	1,E-11	1,E-07
51,4572	3,E-12	622,90	1,E-13	887,13	4,E-11	-172,53
51,4572	-153,03	-20112,08	-242,52	-29627,76	-147,92	-83897,2
53	-150,68	-18598,63	-249,49	-27238,14	235,64	-54124,0
53	-177,93	-17370,54	-168,36	-25418,65	-165,53	-54284,6
54,5	-176,21	-15893,75	-175,06	-23298,95	94,43	-29233,9
54,5	-509,74	-15208,44	-95,82	-21596,71	-421,72	-29558,1
56	-508,59	-13728,89	-104,78	-19545,12	-269,89	-7437,68
56	-1113,29	-12639,17	0,14	-17652,01	-1106,70	-7996,03
58,5	-1112,59	-9573,97	-19,73	-13589,64	-1081,05	21175,27
58,5	-1801,72	-8571,01	103,73	-11602,15	-2030,79	20461,23
61	-1802,12	-5471,96	80,11	-7673,25	-2259,70	39572,58
61	-2217,38	-4361,89	191,55	-5672,13	-2865,38	39112,93
63,5	-2218,47	-1225,19	167,93	-1708,89	-3313,80	47406,25
63,5	-2274,77	-218,85	263,52	333,10	-3490,20	47346,88
66	-2276,20	2943,50	243,56	4394,10	-4122,12	45058,33
66	-1927,34	4075,36	321,15	6500,29	-3782,45	45449,97
68,5	-1928,82	7260,01	307,23	10749,64	-4566,10	32280,11
68,5	-1306,34	8319,14	364,62	12946,48	-3854,85	32947,39
71	-1307,63	11527,61	356,81	17395,56	-4755,05	9314,62
71	-355,95	12831,90	398,14	19915,99	-3611,61	10242,1
74	-357,02	16702,80	395,25	25491,87	-4795,21	-30908,2
74	558,53	18031,78	416,36	28329,95	-3598,10	-30076,7
77	558,15	21892,19	416,33	33965,64	-4685,20	-84792,5

Tabel L.9: Momen Kuat 3 Pci girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	406,31	-20205,66	-341,42	-31764,78	-5613,75	-84637,46
2,5	406,54	-17177,20	-341,15	-27326,40	-4760,43	-37930,03
2,5	-1037,01	-16131,77	-335,94	-25107,59	-5599,79	-39064,35
5	-1036,30	-13104,80	-348,50	-20677,39	-4744,42	-2566,21
5	-1984,26	-12011,92	-314,22	-18458,24	-5890,32	-3414,86
7,5	-1983,19	-8988,24	-320,92	-14117,52	-5096,96	22779,16
7,5	-2886,93	-8032,36	-277,41	-11967,99	-6132,61	21902,33
10	-2885,49	-5010,17	-299,74	-7744,48	-5407,93	38157,68
10	-3403,22	-3740,48	-226,38	-5210,25	-5899,82	37627,03
12,33333	-3401,90	-1447,15	-245,55	-2399,06	-5350,03	43656,82
12,33333	-3616,21	-367,22	-185,96	-99,05	-5486,31	43430,22
13,66667	-3615,48	942,59	-199,54	1474,79	-5229,46	43048,18
13,66667	-3612,96	1727,49	-147,14	3140,17	-5099,09	43050,70
15	-3612,19	3036,79	-167,57	4699,96	-4888,69	39890,17
15	-3435,33	3994,37	-75,38	6544,61	-4503,46	40075,97
17,5	-3434,54	7008,49	-105,55	10578,89	-4278,26	26396,37
17,5	-2910,13	7931,63	17,65	12612,84	-3367,55	26921,25
20	-2909,87	10944,24	-18,70	16778,26	-3365,43	3473,85
20	-2346,81	12124,22	110,64	19066,50	-2421,47	4003,21
22	-2347,72	14083,49	89,33	21717,46	-2621,79	-22020,83
22	-1758,60	15065,14	206,08	24242,78	-1723,77	-21492,02
24	-1760,48	17023,54	189,30	27164,69	-2119,15	-53339,67
24	-1328,39	18429,50	286,37	29413,97	-1599,45	-52982,55
25,5428	-1330,22	19940,28	273,14	31888,39	-2029,63	-82359,90
25,5428	1021,75	-780,32	105,89	-330,84	363,24	-5175,71
26	1021,52	-639,42	108,11	-319,92	314,32	-4851,86
26	996,08	436,99	147,06	868,02	152,69	-4905,02
26,4572	995,76	577,88	149,23	878,95	84,96	-5135,12
26,4572	907,30	-18444,03	-677,43	-29197,37	601,62	-74797,42
28,5	914,18	-16444,14	-672,57	-26026,30	1982,39	-39426,77
28,5	576,87	-15500,38	-546,45	-23700,74	1230,29	-39822,89
31	583,34	-12493,06	-539,54	-19144,81	2587,79	-5083,34
31	-32,18	-11442,40	-391,21	-17082,92	1694,92	-5654,03
33,5	-26,79	-8433,37	-398,32	-12867,17	2686,03	19012,26
33,5	-723,91	-7511,31	-237,89	-10852,34	1733,29	18322,82
36	-720,22	-4502,28	-253,24	-6863,96	2351,89	33234,03
36	-990,53	-3305,40	-102,54	-4556,27	1960,70	32951,73
38,16667	-988,85	-1182,60	-117,13	-2138,36	2202,02	37778,89

Tabel L.9: *Lanjutan.*

38,16667	-1019,64	-138,76	0,15	37,49	2092,52	37744,76
39,58333	-1019,22	1249,23	-9,60	1605,04	2101,54	36963,47
39,58333	-875,43	2076,31	82,50	3327,54	2248,45	37113,50
41	-875,55	3464,30	73,74	4909,85	2140,23	33216,43
41	-536,20	4446,96	198,15	6763,17	2494,42	33565,92
43,5	-537,47	7455,99	185,04	10746,81	2021,58	18790,65
43,5	273,49	8388,40	342,79	12764,40	2971,50	19583,66
46	270,52	11397,43	339,32	16972,72	2125,48	-4972,61
46	1010,49	12464,12	483,51	19038,75	3019,22	-4304,76
48,5	1004,66	15471,44	495,50	23584,99	1795,44	-38973,3
48,5	1677,07	16608,28	613,78	25929,42	2660,39	-38391,8
50,5428	1671,39	18608,17	628,16	29093,37	1394,04	-74099,2
50,5428	-147,72	-1417,77	-37,95	-583,37	-451,01	-743,72
51	-147,64	-1276,88	-38,27	-582,41	-433,59	-128,99
51	0,19	309,79	-0,98	604,63	1,15	-0,12
51,4572	0,19	450,68	-0,98	604,82	1,60	-172,65
51,4572	-638,04	-20114,63	-254,31	-32036,91	-1419,46	-83924,1
53	-635,53	-18604,34	-262,10	-29553,89	-1017,36	-54279,2
53	-662,17	-17381,95	-188,06	-27625,71	-1447,34	-54437,9
54,5	-660,81	-15913,35	-192,79	-25402,99	-1161,69	-29653,5
54,5	-993,63	-15239,74	-119,38	-23497,63	-1717,03	-29969,4
56	-992,77	-13770,37	-126,36	-21437,91	-1532,68	-8368,97
56	-1596,59	-12703,80	-23,16	-19438,67	-2432,94	-8914,38
58,5	-1594,73	-9692,15	-46,88	-15177,06	-2335,86	18896,26
58,5	-2279,70	-8722,89	64,72	-13113,65	-3341,79	18225,97
61	-2280,21	-5709,73	43,46	-9045,69	-3476,36	36164,71
61	-2692,84	-4650,89	152,84	-7000,61	-4116,03	35738,83
63,5	-2692,32	-1634,44	124,67	-2978,26	-4452,26	43555,88
63,5	-2743,16	-693,71	208,23	-935,64	-4607,78	43498,36
66	-2744,48	2324,24	190,06	3128,18	-5104,87	41468,62
66	-2392,71	3380,07	267,38	5209,85	-4734,23	41835,22
68,5	-2391,91	6401,30	246,37	9382,49	-5366,06	29646,74
68,5	-1764,17	7372,27	291,92	11509,85	-4579,48	30268,04
71	-1765,31	10395,00	285,00	15803,36	-5300,13	8113,62
71	-811,00	11599,05	326,29	18227,18	-4072,66	9001,58
74	-809,24	15231,20	313,80	23523,22	-5021,07	-31182,3
74	111,12	16438,22	320,81	26197,11	-3724,21	-30366,1
77	110,80	20071,44	320,92	31522,75	-4686,87	-85100,2

Tabel L.10: Momen Kuat 4 Pci girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	406,86	-20205,48	-397,04	-31803,52	-5867,34	-84639,10
2,5	407,13	-17177,02	-396,76	-27365,13	-4874,98	-37932,14
2,5	-1036,41	-16131,59	-381,08	-25139,67	-5715,04	-39066,45
5	-1035,64	-13104,62	-383,18	-20702,90	-4759,99	-2568,81
5	-1983,57	-12011,74	-348,90	-18483,72	-5906,10	-3417,43
7,5	-1982,38	-8988,06	-355,60	-14142,99	-5026,04	22776,06
7,5	-2886,21	-8032,18	-299,98	-11985,84	-6062,32	21899,26
10	-2884,75	-5009,99	-313,63	-7756,87	-5296,12	38154,14
10	-3402,45	-3740,30	-240,26	-5222,63	-5788,01	37623,52
12,33333	-3401,05	-1446,97	-259,43	-2411,42	-5205,83	43652,82
12,33333	-3615,51	-367,04	-190,22	-105,36	-5343,28	43426,31
13,66667	-3614,78	942,77	-203,77	1468,51	-5080,78	43044,00
13,66667	-3612,36	1727,68	-145,86	3137,34	-4951,28	43046,60
15	-3611,72	3036,98	-160,79	4700,61	-4747,00	39885,90
15	-3434,85	3994,56	-68,61	6545,25	-4362,00	40071,72
17,5	-3434,12	7008,67	-98,78	10579,57	-4153,74	26391,67
17,5	-2910,10	7931,81	36,37	12621,00	-3245,99	26916,80
20	-2910,32	10944,43	6,87	16790,78	-3300,84	3469,20
20	-2347,33	12124,41	137,92	19080,07	-2357,54	3998,62
22	-2348,49	14083,68	116,60	21731,07	-2612,40	-22025,68
22	-1759,78	15065,33	241,48	24261,50	-1716,96	-21496,60
24	-1762,00	17023,73	224,71	27183,48	-2183,16	-53344,46
24	-1330,52	18429,69	331,39	29438,87	-1666,44	-52986,97
25,5428	-1332,92	19940,47	321,61	31915,49	-2170,18	-82364,28
25,5428	1021,23	-780,32	104,40	-331,24	262,82	-5177,16
26	1021,00	-639,42	106,62	-320,32	214,57	-4853,32
26	995,37	436,99	147,56	868,82	52,28	-4906,43
26,4572	995,04	577,88	149,73	879,75	-15,68	-5136,52
26,4572	907,31	-18443,14	-728,70	-29230,11	451,91	-74793,59
28,5	914,35	-16443,25	-719,83	-26056,55	1931,44	-39424,88
28,5	576,03	-15499,49	-581,45	-23723,22	1172,47	-39820,34
31	582,91	-12492,17	-574,55	-19167,30	2617,49	-5083,29
31	-32,72	-11441,50	-424,53	-17104,35	1723,52	-5653,84
33,5	-27,67	-8432,48	-424,89	-12884,34	2785,30	19010,42
33,5	-725,07	-7510,41	-261,08	-10867,40	1830,49	18321,27
36	-721,91	-4501,39	-269,69	-6874,75	2493,97	33230,58
36	-992,64	-3304,51	-115,11	-4564,63	2100,04	32948,63
38,16667	-991,40	-1181,71	-125,35	-2143,93	2360,54	37774,13

Tabel L.10: Lanjutan.

38,16667	-1022,61	-137,87	-4,45	34,20	2248,17	37740,34
39,58333	-1022,55	1250,13	-11,35	1603,57	2259,36	36958,01
39,58333	-879,11	2077,20	83,62	3327,87	2403,81	37108,33
41	-879,65	3465,20	77,68	4912,02	2289,56	33210,25
41	-540,70	4447,86	205,21	6767,28	2640,89	33560,07
43,5	-543,10	7456,89	198,75	10755,22	2135,94	18783,25
43,5	267,39	8389,31	359,86	12774,90	3082,44	19576,64
46	263,09	11398,34	363,02	16987,53	2178,82	-4981,06
46	1002,81	12465,04	508,88	19054,61	3070,89	-4313,00
48,5	996,68	15472,36	520,78	23600,97	1783,80	-38983,6
48,5	1666,55	16609,20	653,20	25954,33	2633,60	-38400,6
50,5428	1660,11	18609,09	669,38	29119,57	1282,71	-74109,3
50,5428	-148,82	-1417,75	-38,93	-583,90	-463,80	-744,52
51	-148,74	-1276,86	-39,25	-582,95	-445,93	-129,79
51	-1,E-12	309,79	-7,E-13	605,24	1,E-11	1,E-07
51,4572	3,E-12	450,68	1,E-13	605,43	4,E-11	-172,53
51,4572	-645,08	-20113,60	-305,09	-32063,93	-1520,75	-83920,2
53	-642,83	-18603,31	-309,82	-29578,98	-1046,41	-54276,6
53	-671,13	-17380,93	-228,31	-27646,02	-1487,77	-54434,9
54,5	-669,48	-15912,32	-233,09	-25423,32	-1141,72	-29651,8
54,5	-1003,54	-15238,71	-153,70	-23514,22	-1704,80	-29966,9
56	-1002,44	-13769,33	-160,75	-21454,51	-1468,91	-8368,12
56	-1606,59	-12702,77	-55,88	-19454,23	-2371,24	-8913,27
58,5	-1605,91	-9691,12	-73,03	-15188,43	-2209,64	18895,58
58,5	-2293,47	-8721,86	50,19	-13117,74	-3231,23	18227,02
61	-2293,84	-5708,70	28,80	-9049,78	-3329,33	36163,14
61	-2706,81	-4649,85	139,86	-7003,67	-3970,99	35737,57
63,5	-2707,84	-1633,41	118,27	-2977,09	-4292,89	43553,05
63,5	-2761,49	-692,67	213,49	-927,15	-4465,52	43497,42
66	-2762,84	2325,28	195,20	3136,68	-4975,60	41465,13
66	-2411,01	3381,12	272,51	5218,36	-4604,76	41831,80
68,5	-2412,41	6402,35	259,80	9396,30	-5269,48	29642,11
68,5	-1787,65	7373,32	317,05	11531,02	-4501,25	30265,38
71	-1788,88	10396,05	310,04	15824,54	-5284,61	8108,41
71	-834,49	11600,12	351,33	18248,39	-4056,86	8996,44
74	-835,51	15232,27	348,89	23550,80	-5106,79	-31188,9
74	81,14	16439,30	370,04	26233,67	-3831,98	-30370,2
77	80,78	20072,52	370,12	31559,31	-4942,24	-85107,6



Tabel L.11: Momen Kuat 5 Pci girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	405,65	-20224,79	-381,06	-31791,73	-5795,08	-84718,93
2,5	405,91	-17192,58	-380,79	-27353,31	-4842,66	-37968,38
2,5	-1038,15	-16147,13	-368,10	-25129,75	-5682,50	-39103,19
5	-1037,39	-13116,41	-373,19	-20694,82	-4756,14	-2571,36
5	-1986,07	-12023,51	-338,91	-18475,65	-5902,15	-3420,67
7,5	-1984,92	-8996,07	-345,62	-14134,95	-5047,06	22797,56
7,5	-2889,42	-8040,18	-293,45	-11979,99	-6083,09	21920,07
10	-2887,97	-5014,24	-309,60	-7752,71	-5328,93	38190,27
10	-3406,02	-3744,56	-236,22	-5218,47	-5820,78	37659,29
12,33333	-3404,64	-1447,73	-255,41	-2407,48	-5247,99	43694,47
12,33333	-3619,16	-367,82	-188,94	-103,16	-5385,09	43467,84
13,66667	-3618,42	944,00	-202,51	1470,55	-5124,27	43085,24
13,66667	-3615,90	1728,89	-146,18	3138,39	-4994,51	43087,89
15	-3615,23	3040,19	-162,69	4700,51	-4788,54	39924,21
15	-3438,11	3997,76	-70,50	6545,15	-4403,49	40110,30
17,5	-3437,36	7015,63	-100,70	10579,18	-4190,47	26417,54
17,5	-2912,61	7938,77	31,04	12618,47	-3281,92	26943,22
20	-2912,69	10955,13	-0,44	16786,86	-3320,52	3473,46
20	-2349,04	12135,14	130,13	19075,85	-2377,08	4003,46
22	-2350,12	14097,41	108,79	21726,92	-2616,34	-22045,33
22	-1760,71	15079,09	231,35	24255,90	-1720,21	-21515,80
24	-1762,84	17040,49	214,56	27178,19	-2166,13	-53394,22
24	-1330,87	18446,45	318,49	29431,84	-1648,57	-53036,54
25,5428	-1333,10	19959,54	307,72	31908,31	-2131,23	-82441,58
25,5428	1022,52	-780,60	104,83	-331,10	290,62	-5181,40
26	1022,29	-639,71	107,06	-320,17	242,17	-4857,42
26	996,62	437,38	147,43	868,62	80,06	-4910,61
26,4572	996,30	578,27	149,60	879,57	12,16	-5140,89
26,4572	908,23	-18461,50	-714,06	-29220,77	493,82	-74865,98
28,5	915,23	-16458,55	-706,34	-26047,39	1945,17	-39462,84
28,5	576,70	-15514,77	-571,46	-23716,28	1188,21	-39858,96
31	583,46	-12503,70	-564,56	-19160,10	2608,25	-5088,31
31	-32,75	-11452,38	-415,02	-17097,45	1714,66	-5659,46
33,5	-27,60	-8440,86	-417,31	-12878,74	2756,27	19028,82
33,5	-725,61	-7517,53	-254,46	-10862,40	1802,16	18338,91
36	-722,30	-4506,00	-265,01	-6871,26	2452,83	33262,81
36	-993,20	-3307,70	-111,52	-4561,85	2059,73	32980,45
38,16667	-991,83	-1183,28	-123,02	-2142,29	2314,77	37811,03

Tabel L.11: *Lanjutan.*

38,16667	-1022,99	-138,10	-3,14	35,18	2203,23	37777,07
39,58333	-1022,83	1250,95	-10,86	1603,80	2213,81	36994,26
39,58333	-879,19	2079,08	83,29	3327,57	2358,95	37144,60
41	-879,62	3468,14	76,54	4910,98	2246,44	33243,02
41	-540,28	4451,95	203,19	6765,68	2598,55	33593,02
43,5	-542,36	7463,48	194,82	10752,09	2102,79	18802,66
43,5	268,95	8397,16	354,98	12771,17	3050,16	19596,61
46	265,03	11408,69	356,24	16982,50	2163,02	-4984,07
46	1005,43	12476,03	501,62	19049,28	3055,50	-4315,52
48,5	999,39	15487,10	513,55	23595,86	1786,52	-39018,4
48,5	1670,54	16623,96	641,93	25946,67	2640,59	-38435,3
50,5428	1664,32	18626,92	657,60	29112,07	1313,86	-74177,5
50,5428	-148,64	-1418,08	-38,64	-583,75	-460,28	-744,56
51	-148,55	-1277,19	-38,97	-582,80	-442,54	-129,69
51	0,05	310,13	-0,28	605,07	0,33	-0,03
51,4572	0,06	451,02	-0,28	605,26	0,46	-172,72
51,4572	-643,94	-20133,03	-290,53	-32056,78	-1492,87	-83999,9
53	-641,61	-18620,42	-296,14	-29571,90	-1039,24	-54328,4
53	-669,69	-17398,04	-216,77	-27640,30	-1477,35	-54486,7
54,5	-668,13	-15927,18	-221,55	-25417,31	-1148,60	-29680,0
54,5	-1002,20	-15253,55	-143,87	-23509,28	-1709,44	-29995,7
56	-1001,17	-13781,92	-150,92	-21449,44	-1488,30	-8376,27
56	-1605,84	-12715,33	-46,52	-19449,46	-2390,00	-8922,05
58,5	-1604,82	-9699,93	-65,57	-15184,90	-2246,83	18913,30
58,5	-2292,34	-8730,66	54,34	-13116,29	-3263,89	18243,57
61	-2292,74	-5713,75	32,96	-9048,57	-3372,36	36197,01
61	-2706,05	-4654,91	143,55	-7002,76	-4013,43	35770,91
63,5	-2706,64	-1634,72	120,05	-2977,68	-4339,33	43594,06
63,5	-2759,58	-694,00	211,95	-929,84	-4507,09	43537,79
66	-2760,92	2327,70	193,67	3133,73	-5013,33	41504,11
66	-2408,84	3383,52	270,99	5215,40	-4642,59	41871,05
68,5	-2409,61	6408,50	255,90	9391,65	-5297,76	29670,27
68,5	-1783,47	7379,47	309,80	11524,26	-4524,34	30293,50
71	-1784,67	10405,95	302,81	15817,72	-5289,61	8116,44
71	-829,48	11610,04	344,10	18241,55	-4062,01	9005,22
74	-829,71	15246,70	338,78	23542,17	-5082,69	-31217,1
74	88,77	16453,76	355,89	26222,47	-3801,62	-30398,5
77	88,43	20091,48	355,98	31548,16	-4869,48	-85185,9

Tabel L.12: Momen Kuat 1 void slab girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-14091,50	-6199,86	397,12	2397,99	5650,54	-5962,04
1,83333	-15274,48	-5128,68	392,99	2179,78	5156,28	5024,05
1,83333	-15566,31	-4571,78	396,11	2233,21	5207,47	4867,97
3,66667	-15804,85	-3406,52	384,76	1914,27	4581,66	13886,37
3,66667	-16002,55	-2832,15	388,61	2000,88	4616,66	13778,23
5,5	-16179,76	-1632,37	371,68	1679,29	4005,46	19085,67
5,5	-16271,70	-1063,64	380,37	1712,11	4014,00	19042,11
7,33333	-16332,34	159,69	348,05	1459,62	3409,40	20768,48
7,33333	-16357,34	749,22	368,34	1566,62	3407,90	20761,87
9,16667	-16332,15	2019,44	320,69	1378,63	2845,59	19093,65
9,16667	-16256,12	2633,18	348,61	1550,79	2851,26	19143,22
11	-16152,59	3937,21	296,03	1420,11	2351,24	13858,87
11	-16013,81	4531,89	315,33	1728,06	2345,71	13946,15
13,5	-15592,94	6609,00	243,24	1646,18	1760,80	1133,45
13,5	-15339,32	7213,88	282,68	1974,76	1720,96	1294,37
15,5428	-14962,40	8677,40	203,41	2011,27	1358,54	-12549,36
15,5428	-358,43	-284,40	0,49	287,00	41,02	-791,91
16	-358,43	-126,46	-0,17	287,82	40,96	-692,59
16	-4,E-11	349,86	1,E-10	85,59	-8,E-11	6,E-05
16,4572	-3,E-11	507,80	2,E-10	85,27	-9,E-11	-93,35
16,4572	-13980,36	-6021,09	281,67	2634,81	1493,99	-9516,37
18,33333	-14752,73	-4835,24	194,72	2213,87	1306,32	1092,91
18,33333	-14929,26	-4258,66	240,05	2130,18	1347,08	990,12
20,16667	-15138,29	-3109,25	155,98	1855,75	1132,94	9281,55
20,16667	-15302,90	-2555,75	182,89	1778,78	1153,74	9190,62
22	-15454,74	-1383,75	113,80	1320,70	1000,18	13891,08
22	-15536,45	-750,36	140,63	1569,25	997,42	13851,49
23,83333	-15572,22	457,98	49,72	1248,23	936,69	14922,47
23,83333	-15572,94	1078,23	99,62	1369,23	938,42	14926,25
25,66667	-15540,85	2336,63	-16,67	1136,77	976,26	12538,05
25,66667	-15429,47	2964,54	60,82	1381,56	972,25	12606,16
28,33333	-15120,81	5170,90	-64,86	1236,60	1119,57	2668,30
28,33333	-14998,22	5887,90	-15,50	1435,33	1089,32	2747,15
30,5428	-14467,13	7416,62	-129,03	1517,91	1268,33	-9836,36
30,5428	-932,30	-284,95	2,04	530,15	70,44	-1004,98
31	-932,30	-127,09	-0,23	531,72	70,05	-901,76
31	-2,E-11	125,42	7,E-11	1,E-02	-1,E-11	3,E-04
31,4572	-5,E-11	283,28	3,E-10	-5,E-01	-1,E-12	-93,23

Tabel L.12: *Lanjutan.*

31,4572	-14097,60	-6105,04	272,93	2494,18	1403,55	-9275,37
33	-14634,68	-5116,45	182,95	2418,19	1196,43	-375,93
33	-14905,44	-4637,82	237,90	2215,53	1265,34	-533,32
34,83333	-15170,41	-3447,47	124,50	2033,95	1094,73	8356,70
34,83333	-15341,39	-2890,26	191,06	1881,68	1120,19	8250,54
36,66667	-15462,70	-1683,58	84,53	1660,26	978,56	13612,14
36,66667	-15549,33	-1088,54	125,44	1606,91	985,46	13558,55
38,5	-15601,39	86,68	46,94	1407,67	934,62	15270,66
38,5	-15604,30	788,30	74,54	1181,29	934,46	15263,15
40,33333	-15559,09	1990,17	-0,37	1028,30	978,64	13537,82
40,33333	-15478,84	2646,83	40,28	1216,13	973,03	13578,22
42,16667	-15364,01	3921,07	-61,39	1066,95	1106,03	8211,40
42,16667	-15200,06	4589,38	5,03	1283,31	1083,53	8303,47
44	-14942,29	5877,99	-103,71	1221,82	1250,06	-585,91
44	-14678,00	6499,05	-48,49	1412,31	1180,90	-440,72
45,5428	-14149,65	7569,04	-135,00	1517,76	1371,88	-9307,94
45,5428	-7,E-12	-282,71	6,E-11	531,39	-4,E-11	-93,15
46	-8,E-12	-124,85	1,E-10	530,98	-1,E-10	0,00
46	-937,41	127,67	3,E-01	-5,E-01	60,48	-916,83
46,4572	-937,41	285,53	-1,81	1,30	60,87	-1011,08
46,4572	-14487,38	-6015,86	287,24	2310,74	1297,23	-9830,64
48,66667	-15030,89	-4589,21	168,23	2169,73	1103,19	2772,00
48,66667	-15161,83	-4021,39	217,97	1964,19	1133,81	2679,93
51,33333	-15499,44	-1986,62	85,72	1635,23	980,47	12606,28
51,33333	-15629,74	-1442,43	164,22	1462,08	987,45	12527,69
53,16667	-15677,46	-194,04	46,33	1306,86	939,62	14930,22
53,16667	-15687,02	372,90	96,94	1222,09	933,29	14919,76
55	-15658,20	1647,60	7,96	1118,49	984,54	13867,52
55	-15583,51	2294,64	35,10	1299,19	987,50	13901,45
56,83333	-15439,27	3573,41	-29,11	1183,69	1132,64	9214,06
56,83333	-15281,36	4222,01	-1,74	1210,66	1112,82	9300,47
58,66667	-15079,72	5500,22	-81,81	1270,16	1318,47	959,66
58,66667	-14910,63	6197,65	-35,52	1441,43	1278,75	1058,28
60,5428	-14145,51	7515,52	-119,26	1339,52	1451,06	-9595,44
60,5428	-3,E-11	-282,96	-4,E-11	530,02	-2,E-10	-93,25
61	-7,E-11	-125,02	1,E-10	529,73	-1,E-10	6,E-05
61	-374,52	351,17	0,21	366,01	36,64	-697,77
61,4572	-374,52	509,11	-0,41	366,85	36,70	-794,33
61,4572	-15115,66	-7036,77	170,44	2029,38	1336,34	-12535,07
63,5	-15505,19	-5794,02	91,17	2095,27	1669,86	1285,26
63,5	-15773,51	-5238,65	131,69	1861,69	1712,86	1116,82

Tabel L.12: *Lanjutan.*

66	-16222,95	-3375,39	59,90	1685,21	2279,84	13955,62
66	-16377,00	-2839,31	79,77	1471,87	2286,24	13860,71
67,83333	-16496,58	-1629,85	27,12	1357,19	2760,10	19122,44
67,83333	-16590,17	-1056,03	55,94	1239,52	2753,66	19065,56
69,66667	-16634,43	175,99	8,09	1197,34	3300,64	20712,12
69,66667	-16627,16	779,86	29,08	1140,60	3299,22	20711,69
71,5	-16582,18	2039,41	-3,22	1208,33	3880,01	18966,25
71,5	-16502,45	2675,88	5,79	1207,22	3863,94	19005,84
73,33333	-16336,75	3954,68	-10,90	1327,03	4459,11	13666,81
73,33333	-16148,39	4601,61	-6,89	1347,87	4424,82	13772,80
75,16667	-15922,44	5872,95	-18,16	1543,85	5035,86	4721,84
75,16667	-15634,38	6543,21	-14,89	1634,21	4983,28	4879,00
77	-14478,35	7798,30	-19,04	1832,60	5459,19	-6180,76

Tabel L.13: Momen Kuat 2 void slab

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-14101,85	-6203,78	347,50	1922,08	4830,37	-5965,23
1,83333	-15284,80	-5136,13	343,45	1739,43	4382,31	4799,43
1,83333	-15576,64	-4584,70	346,57	1825,46	4423,73	4649,12
3,66667	-15815,20	-3430,30	335,50	1534,60	3870,67	13298,47
3,66667	-16012,92	-2869,43	339,35	1642,40	3899,48	13194,58
5,5	-16190,15	-1685,42	322,90	1341,06	3360,43	18298,09
5,5	-16282,11	-1133,25	331,57	1392,69	3367,64	18255,72
7,33333	-16342,77	73,23	299,93	1155,05	2837,69	19921,05
7,33333	-16367,79	640,68	320,18	1265,59	2836,76	19914,54
9,16667	-16342,61	1884,35	273,40	1072,95	2346,54	18281,13
9,16667	-16266,61	2470,27	301,28	1235,14	2350,92	18329,21
11	-16163,08	3740,59	249,74	1086,07	1915,89	13223,22
11	-16024,33	4303,65	269,01	1369,92	1911,64	13307,13
13,5	-15603,49	6320,98	198,60	1244,33	1412,28	941,36
13,5	-15349,90	6896,73	238,07	1548,57	1380,86	1097,72
15,5428	-14973,03	8325,55	160,33	1544,92	1077,71	-12553,33
15,5428	-365,43	-284,40	0,48	223,49	29,36	-792,35
16	-365,43	-126,46	-0,17	224,29	29,30	-694,23
16	-4,E-11	299,94	1,E-10	66,63	-8,E-11	6,E-05
16,4572	-3,E-11	457,87	2,E-10	66,30	-9,E-11	-93,35
16,4572	-13987,60	-6025,72	258,15	2183,60	1202,52	-9521,83
18,33333	-14759,96	-4843,58	172,72	1799,53	1006,31	901,96
18,33333	-14936,53	-4273,49	218,07	1748,82	1040,12	802,35
20,16667	-15145,57	-3135,33	135,69	1503,74	833,73	8768,99
20,16667	-15310,22	-2595,95	162,59	1450,08	850,69	8681,62
22	-15462,08	-1440,56	95,38	1015,47	705,50	13214,10
22	-15543,83	-826,00	122,18	1275,45	703,17	13175,42
23,83333	-15579,61	364,96	33,23	962,99	649,94	14220,03
23,83333	-15580,37	960,86	83,10	1082,09	651,42	14223,81
25,66667	-15548,29	2190,65	-31,56	839,96	692,28	11916,50
25,66667	-15436,97	2788,16	45,91	1067,35	688,86	11982,45
28,33333	-15128,39	4926,39	-78,48	876,04	842,73	2425,41
28,33333	-15006,06	5608,97	-29,11	1053,60	817,04	2500,91
30,5428	-14474,47	7099,44	-141,64	1085,30	1014,55	-9841,24
30,5428	-938,11	-284,95	2,00	412,27	52,59	-1005,55
31	-938,11	-127,09	-0,23	413,81	52,21	-904,34
31	-2,E-11	125,31	7,E-11	-0,17	-1,E-11	3,E-04
31,4572	-5,E-11	283,18	3,E-10	-0,67	-1,E-12	-93,23

Tabel L.13: *Lanjutan*

31,4572	-14106,69	-6109,26	253,44	2033,91	1128,80	-9280,30
33	-14643,84	-5122,99	164,80	1988,55	920,60	-521,27
33	-14914,54	-4648,81	219,77	1821,09	977,98	-674,12
34,83333	-15179,51	-3469,39	108,08	1670,02	806,88	7888,62
34,83333	-15350,49	-2924,10	174,59	1543,23	828,19	7786,34
36,66667	-15471,80	-1733,57	69,80	1346,38	690,97	12951,48
36,66667	-15558,43	-1156,10	110,64	1306,05	697,52	12899,34
38,5	-15610,50	1,72	33,60	1121,78	650,12	14568,42
38,5	-15613,40	679,59	61,19	893,33	649,92	14560,94
40,33333	-15568,19	1856,35	-13,07	736,34	691,77	12878,70
40,33333	-15487,94	2482,98	27,59	908,66	686,40	12917,63
42,16667	-15373,11	3723,74	-73,45	740,40	816,60	7747,28
42,16667	-15209,16	4356,94	-7,02	932,36	797,94	7835,46
44	-14951,40	5610,21	-115,12	840,68	965,57	-726,48
44	-14687,11	6196,11	-59,89	994,44	907,93	-585,84
45,5428	-14158,55	7236,88	-145,89	1064,63	1102,73	-9312,45
45,5428	-7,E-12	-282,71	6,E-11	413,69	-4,E-11	-93,15
46	-8,E-12	-124,85	1,E-10	413,26	-1,E-10	0,00
46	-942,21	127,57	0,25	-0,54	44,13	-917,72
46,4572	-942,21	285,42	-1,82	1,19	44,52	-1011,98
46,4572	-14499,77	-6019,35	264,77	1867,56	1037,77	-9835,72
48,66667	-15043,05	-4597,44	147,94	1770,61	827,82	2526,07
48,66667	-15174,02	-4038,97	197,69	1591,87	853,40	2437,29
51,33333	-15511,62	-2029,95	68,13	1314,70	694,59	11982,41
51,33333	-15641,90	-1501,92	146,60	1159,87	700,86	11905,98
53,16667	-15689,63	-271,87	30,55	1019,41	651,15	14227,70
53,16667	-15699,18	274,51	81,13	936,50	644,98	14217,23
55	-15670,36	1525,08	-6,41	834,80	690,06	13191,22
55	-15595,65	2142,00	20,74	998,73	692,53	13224,28
56,83333	-15451,41	3389,93	-42,71	867,56	830,63	8704,99
56,83333	-15293,48	4003,88	-15,33	871,66	814,60	8787,83
58,66667	-15091,84	5246,91	-94,72	902,92	1014,04	771,90
58,66667	-14922,74	5908,96	-48,43	1040,45	981,17	867,32
60,5428	-14157,50	7191,09	-131,55	897,32	1164,62	-9600,57
60,5428	-3,E-11	-282,96	0,00	412,44	-2,E-10	-93,25
61	-7,E-11	-125,02	0,00	412,13	-1,E-10	6,E-05
61	-381,54	301,24	0,21	284,28	25,58	-698,93
61,4572	-381,54	459,18	-0,42	285,10	25,64	-794,91
61,4572	-15131,69	-7038,77	129,47	1577,54	1057,58	-12539,04
63,5	-14106,69	-6109,26	253,44	2033,91	1128,80	-9280,30
63,5	-14643,84	-5122,99	164,80	1988,55	920,60	-521,27

Tabel L.13: *Lanjutan*

66	-16238,77	-3407,37	21,91	1329,26	1862,86	13315,76
66	-16392,80	-2883,76	41,76	1138,36	1867,97	13224,24
67,83333	-16512,38	-1688,90	-9,94	1045,96	2284,10	18308,10
67,83333	-16605,95	-1132,16	18,83	938,04	2278,92	18252,71
69,66667	-16650,19	79,96	-28,24	903,38	2758,38	19864,66
69,66667	-16642,90	660,36	-7,28	841,66	2756,34	19864,15
71,5	-16597,91	1893,19	-38,99	897,77	3267,17	18179,78
71,5	-16518,16	2499,70	-29,99	877,44	3252,37	18218,17
73,33333	-16352,44	3747,36	-46,28	977,70	3779,85	13083,19
73,33333	-16164,06	4362,48	-42,27	975,97	3751,68	13184,92
75,16667	-15938,09	5601,23	-53,30	1143,50	4294,82	4503,11
75,16667	-15650,04	6238,76	-50,03	1200,41	4252,19	4654,39
77	-14494,09	7461,22	-54,10	1363,34	4685,67	-6184,54



Tabel L.14: Momen Kuat 3 void slab girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-14135,16	-6217,49	224,45	275,17	2283,21	-5975,41
1,83333	-15318,03	-5162,20	220,72	217,00	1907,65	4014,26
1,83333	-15609,88	-4629,92	215,95	414,17	1916,30	3884,11
3,66667	-15848,55	-3513,52	204,61	221,12	1542,25	11241,83
3,66667	-16046,33	-2999,92	202,27	400,78	1550,70	11152,76
5,5	-16223,69	-1871,10	185,73	169,62	1202,18	15542,54
5,5	-16315,72	-1376,84	190,47	285,67	1205,50	15504,34
7,33333	-16376,47	-229,40	157,22	98,49	886,78	16956,06
7,33333	-16401,55	260,78	173,69	220,02	888,52	16949,88
9,16667	-16376,46	1411,53	125,94	9,63	614,53	15438,27
9,16667	-16300,51	1900,11	150,08	135,58	614,98	15481,15
11	-16197,01	3052,42	98,10	-79,40	385,20	10999,39
11	-16058,29	3504,80	113,92	118,81	385,83	11071,51
13,5	-15637,47	5312,93	42,29	-162,41	177,91	269,96
13,5	-15383,92	5786,71	78,13	55,26	176,11	410,30
15,5428	-15007,08	7094,08	1,90	-90,44	92,02	-12566,39
15,5428	-389,74	-284,40	1,40	1,56	-12,12	-793,89
16	-389,74	-126,46	0,79	2,29	-12,62	-699,97
16	0,03	125,19	-1,03	-0,14	0,14	-0,01
16,4572	0,03	283,12	-1,03	-0,50	0,61	-93,36
16,4572	-14009,67	-6042,12	201,68	615,44	181,32	-9540,75
18,33333	-14782,15	-4872,95	121,58	360,37	-91,29	234,30
18,33333	-14958,55	-4325,60	158,90	422,06	-79,80	145,70
20,16667	-15167,76	-3226,82	82,02	279,52	-290,76	6975,97
20,16667	-15332,44	-2736,83	106,05	306,40	-286,30	6901,02
22	-15484,49	-1639,61	45,41	-46,10	-428,59	10846,01
22	-15565,94	-1090,93	62,81	250,39	-426,85	10810,30
23,83333	-15601,55	39,18	-23,29	-33,62	-458,54	11762,91
23,83333	-15602,23	549,88	22,95	77,53	-456,87	11766,64
25,66667	-15569,90	1679,53	-89,96	-199,97	-396,31	9742,70
25,66667	-15458,55	2170,61	-15,96	-34,77	-396,64	9800,97
28,33333	-15149,60	4070,41	-142,78	-390,93	-180,75	1577,11
28,33333	-15027,79	4632,49	-97,73	-289,14	-189,09	1640,74
30,5428	-14493,80	5989,11	-211,59	-437,36	125,07	-9856,46
30,5428	-958,01	-284,95	2,83	0,05	-10,68	-1007,53
31	-958,01	-127,09	0,75	1,51	-11,49	-913,36
31	0,09	124,93	-0,98	-1,16	0,46	-0,03
31,4572	0,10	282,80	-0,98	-1,66	0,90	-93,27

Tabel L.14: *Lanjutan.*

31,4572	-14132,28	-6124,56	214,81	431,58	169,61	-9297,96
33	-14669,43	-5146,40	127,61	492,22	-83,22	-1029,67
33	-14939,60	-4687,76	179,24	446,65	-63,53	-1166,80
34,83333	-15204,37	-3546,62	69,90	400,95	-272,47	6251,30
34,83333	-15374,90	-3043,07	132,20	361,86	-263,19	6162,44
36,66667	-15496,00	-1909,06	30,35	249,77	-408,06	10640,77
36,66667	-15581,98	-1393,09	65,63	253,01	-399,54	10593,42
38,5	-15634,02	-296,15	-7,25	120,74	-445,82	12112,80
38,5	-15635,96	298,57	13,01	-117,67	-441,52	12105,04
40,33333	-15590,77	1387,44	-59,02	-288,73	-405,06	10574,51
40,33333	-15509,51	1909,02	-25,49	-173,38	-404,86	10607,92
42,16667	-15394,45	3032,61	-125,60	-409,01	-266,60	6125,99
42,16667	-15229,63	3542,87	-64,96	-304,62	-267,89	6200,21
44	-14971,49	4672,47	-172,58	-502,68	-65,21	-1214,93
44	-14706,71	5135,31	-120,73	-478,72	-80,80	-1090,42
45,5428	-14177,02	6073,83	-208,19	-533,24	164,07	-9324,36
45,5428	-0,16	-282,71	0,96	2,08	-0,34	-93,09
46	-0,16	-124,85	0,96	1,57	-0,78	0,06
46	-957,92	127,18	-0,75	-1,05	-12,84	-920,98
46,4572	-957,92	285,04	-2,84	0,43	-12,02	-1015,23
46,4572	-14530,11	-6032,33	216,39	321,61	134,74	-9853,96
48,66667	-15072,27	-4627,02	102,66	377,13	-187,08	1666,23
48,66667	-15202,55	-4101,30	148,17	290,60	-174,96	1588,69
51,33333	-15539,13	-2182,38	21,31	192,06	-394,85	9801,00
51,33333	-15668,69	-1710,94	96,13	100,00	-387,58	9731,88
53,16667	-15715,81	-545,08	-17,08	9,81	-457,50	11771,87
53,16667	-15724,61	-70,64	29,78	-67,94	-459,61	11761,09
55	-15695,08	1095,49	-56,31	-164,44	-436,37	10827,97
55	-15618,40	1606,98	-38,29	-62,62	-426,43	10857,21
56,83333	-15474,11	2746,97	-98,93	-248,69	-297,20	6927,55
56,83333	-15315,55	3239,62	-74,31	-325,67	-297,32	6997,67
58,66667	-15113,45	4359,53	-152,96	-393,94	-95,73	120,00
58,66667	-14942,83	4897,77	-113,16	-376,96	-97,93	203,65
60,5428	-14177,38	6054,83	-193,96	-664,42	159,06	-9612,51
60,5428	-0,23	-282,96	0,97	1,28	-0,68	-93,16
61	-0,23	-125,02	0,97	0,92	-1,13	0,09
61	-404,46	126,49	-0,76	-2,12	-12,80	-703,07
61,4572	-404,46	284,43	-1,39	-1,39	-12,31	-797,03
61,4572	-15164,68	-7046,75	0,40	-3,10	84,73	-12552,14
63,5	-15552,59	-5815,93	-77,33	190,18	173,50	401,65
63,5	-15819,95	-5296,12	-40,38	55,29	182,29	253,51

Tabel L.14: *Lanjutan.*

66	-16267,63	-3520,23	-111,90	78,42	395,00	11079,84
66	-16420,76	-3040,29	-95,52	-35,24	399,59	10999,82
67,83333	-16539,36	-1896,53	-147,65	-51,13	629,33	15462,49
67,83333	-16631,97	-1399,59	-122,61	-126,22	632,62	15411,92
69,66667	-16675,19	-257,12	-170,66	-136,03	904,64	16904,07
69,66667	-16666,93	241,17	-153,43	-216,52	904,40	16902,92
71,5	-16620,90	1380,46	-186,77	-202,54	1212,56	15433,65
71,5	-16540,14	1882,13	-181,54	-291,53	1206,25	15467,47
73,33333	-16373,42	3020,76	-199,87	-261,03	1551,61	11048,00
73,33333	-16183,91	3524,55	-199,98	-343,33	1548,93	11134,40
75,16667	-15957,08	4649,27	-213,13	-276,50	1921,59	3746,03
75,16667	-15667,48	5172,24	-215,71	-338,85	1920,08	3876,13
77	-14511,71	6280,45	-219,49	-300,00	2279,73	-6188,11

Tabel L.15: Momen Kuat 4 void slab

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-14138,10	-6217,50	173,80	256,38	1959,78	-5976,41
1,83333	-15320,95	-5162,21	170,07	198,21	1673,41	4013,27
1,83333	-15612,79	-4629,93	173,19	398,34	1680,62	3883,12
3,66667	-15851,43	-3513,52	163,10	205,76	1382,21	11240,84
3,66667	-16049,22	-2999,93	166,94	387,74	1389,34	11151,78
5,5	-16226,53	-1871,11	152,14	157,23	1102,84	15541,54
5,5	-16318,56	-1376,85	160,76	274,74	1105,35	15503,34
7,33333	-16379,27	-229,41	131,48	89,06	836,70	16955,05
7,33333	-16404,36	260,78	151,61	211,95	837,76	16948,89
9,16667	-16379,24	1411,52	107,89	3,08	599,84	15437,28
9,16667	-16303,32	1900,11	135,62	130,38	599,72	15480,17
11	-16199,82	3052,41	87,72	-83,06	392,17	10998,42
11	-16061,13	3504,79	106,92	116,42	392,36	11070,56
13,5	-15640,41	5312,93	42,33	-162,15	192,46	269,06
13,5	-15386,93	5786,70	81,91	56,93	190,50	409,43
15,5428	-15010,23	7094,07	9,58	-87,30	94,81	-12567,20
15,5428	-389,92	-284,40	0,43	1,20	-11,46	-793,90
16	-389,92	-126,46	-0,18	1,93	-11,52	-699,99
16	-4,E-11	125,19	1,E-10	0,25	-8,E-11	6,E-05
16,4572	-3,E-11	283,12	2,E-10	-0,11	-9,E-11	-93,35
16,4572	-14012,96	-6041,92	175,85	604,40	182,38	-9540,97
18,33333	-14785,27	-4872,75	95,72	349,34	-43,73	233,64
18,33333	-14961,96	-4325,40	141,12	414,05	-34,23	145,15
20,16667	-15171,05	-3226,62	64,67	271,69	-213,52	6975,01
20,16667	-15335,83	-2736,63	91,56	299,63	-209,97	6900,11
22	-15487,77	-1639,41	30,89	-52,84	-325,87	10844,68
22	-15569,67	-1090,72	57,62	247,14	-326,68	10809,16
23,83333	-15605,48	39,38	-24,50	-35,36	-353,69	11761,46
23,83333	-15606,37	550,08	25,26	77,11	-353,10	11765,28
25,66667	-15574,33	1679,73	-83,70	-198,87	-301,65	9741,08
25,66667	-15463,21	2170,81	-6,24	-32,38	-303,01	9799,44
28,33333	-15154,93	4070,61	-126,15	-385,90	-126,22	1575,30
28,33333	-15033,49	4632,69	-76,73	-282,47	-135,93	1639,07
30,5428	-14500,16	5989,31	-185,80	-428,85	126,33	-9858,34
30,5428	-958,46	-284,95	1,86	-0,32	-9,88	-1007,53
31	-958,46	-127,09	-0,23	1,14	-10,25	-913,36
31	-2,E-11	124,93	7,E-11	-0,79	-1,E-11	3,E-04
31,4572	-5,E-11	282,80	3,E-10	-1,29	-1,E-12	-93,23

Tabel L.15: *Lanjutan*

31,4572	-14138,52	-6124,05	185,25	422,97	167,17	-9297,57
33	-14675,92	-5145,88	101,25	484,84	-44,82	-1029,97
33	-14946,40	-4687,24	156,31	440,55	-27,77	-1166,93
34,83333	-15211,36	-3546,11	50,63	396,25	-200,62	6250,35
34,83333	-15382,32	-3042,55	116,92	358,66	-193,81	6161,66
36,66667	-15503,67	-1908,54	18,23	247,78	-315,56	10639,18
36,66667	-15590,27	-1392,58	58,84	253,03	-310,29	10592,09
38,5	-15642,37	-295,64	-13,11	121,15	-345,65	12110,59
38,5	-15645,24	299,08	14,47	-114,51	-345,98	12103,20
40,33333	-15600,06	1387,95	-57,51	-285,51	-312,26	10571,78
40,33333	-15519,78	1909,53	-16,83	-167,47	-316,81	10605,58
42,16667	-15404,98	3033,12	-115,64	-402,56	-196,40	6122,85
42,16667	-15241,01	3543,39	-49,18	-295,98	-201,62	6197,41
44	-14983,26	4672,99	-155,06	-493,33	-30,18	-1218,47
44	-14719,01	5135,82	-99,80	-468,09	-47,47	-1093,76
45,5428	-14189,70	6074,34	-184,00	-521,32	160,71	-9328,23
45,5428	-7,E-12	-282,71	6,E-11	1,72	-4,E-11	-93,15
46	-8,E-12	-124,85	1,E-10	1,21	-1,E-10	3,E-04
46	-959,01	127,18	0,23	-0,68	-13,09	-920,85
46,4572	-959,01	285,04	-1,86	0,79	-12,72	-1015,11
46,4572	-14543,14	-6031,55	186,13	316,42	129,67	-9853,50
48,66667	-15085,62	-4626,25	76,90	373,67	-136,01	1665,32
48,66667	-15216,67	-4100,53	126,71	288,76	-128,04	1588,08
51,33333	-15554,25	-2181,61	6,55	192,82	-305,99	9798,84
51,33333	-15684,46	-1710,17	84,93	102,11	-302,19	9729,99
53,16667	-15732,21	-544,31	-24,67	13,34	-358,49	11768,89
53,16667	-15741,71	-69,86	25,81	-63,04	-364,12	11758,39
55	-15712,89	1096,26	-56,68	-158,11	-340,60	10824,21
55	-15638,14	1607,76	-29,53	-52,86	-339,89	10854,19
56,83333	-15493,88	2747,74	-90,31	-238,89	-226,39	6923,22
56,83333	-15335,91	3240,40	-62,91	-314,83	-229,15	6993,59
58,66667	-15134,26	4360,31	-139,93	-382,39	-51,46	114,76
58,66667	-14965,12	4898,54	-93,59	-362,96	-60,38	198,97
60,5428	-14199,47	6055,61	-174,55	-650,38	162,07	-9618,54
60,5428	-3,E-11	-282,96	-4,E-11	0,91	-2,E-10	-93,25
61	-7,E-11	-125,02	1,E-10	0,55	-1,E-10	6,E-05
61	-406,12	126,49	0,19	-1,77	-13,13	-703,00
61,4572	-406,12	284,43	-0,45	-1,03	-13,07	-796,95
61,4572	-15187,81	-7045,78	-13,91	-3,90	81,91	-12552,95
63,5	-15576,67	-5814,97	-86,79	191,26	188,53	399,41
63,5	-15844,89	-5295,16	-46,15	57,76	192,67	251,64

Tabel L.15: *Lanjutan*

66	-16294,15	-3519,27	-111,04	83,46	403,41	11076,27
66	-16448,11	-3039,33	-91,26	-28,92	404,05	10996,59
67,83333	-16567,67	-1895,56	-139,66	-43,36	618,11	15457,91
67,83333	-16661,16	-1398,63	-111,04	-117,11	617,33	15407,71
69,66667	-16705,36	-256,16	-155,38	-125,47	860,49	16898,52
69,66667	-16698,00	242,13	-134,55	-204,62	856,24	16897,75
71,5	-16652,97	1381,42	-164,19	-189,20	1122,22	15427,14
71,5	-16573,15	1883,10	-155,25	-276,80	1111,87	15461,34
73,33333	-16407,35	3021,72	-170,10	-244,96	1402,47	11040,52
73,33333	-16218,91	3525,52	-166,10	-325,71	1395,66	11127,35
75,16667	-15992,86	4650,23	-176,29	-257,76	1701,19	3737,56
75,16667	-15704,86	5173,21	-173,02	-317,91	1693,39	3868,23
77	-14549,19	6281,41	-176,82	-279,06	1978,36	-6197,77

Tabel L.16: Momen Kuat 5 void slab girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-14159,08	-6228,15	188,88	262,21	2058,33	-5990,40
1,83333	-15343,69	-5171,49	185,13	204,05	1745,44	4016,82
1,83333	-15635,95	-4637,83	186,00	403,32	1753,08	3886,47
3,66667	-15874,97	-3520,05	175,53	210,60	1432,03	11257,24
3,66667	-16073,06	-3005,08	177,60	391,91	1439,56	11168,02
5,5	-16250,66	-1874,89	162,26	161,19	1134,36	15565,85
5,5	-16342,83	-1379,25	169,77	278,27	1137,11	15527,59
7,33333	-16403,63	-230,44	139,29	92,10	853,26	16982,41
7,33333	-16428,75	261,12	158,38	214,60	854,52	16976,23
9,16667	-16403,58	1413,24	113,43	5,22	605,52	15462,76
9,16667	-16327,51	1903,20	140,13	132,12	605,57	15505,71
11	-16223,83	3056,88	90,97	-81,84	391,06	11017,13
11	-16084,89	3510,58	109,20	117,27	391,38	11089,37
13,5	-15663,43	5321,21	42,45	-162,12	188,66	270,62
13,5	-15409,50	5796,38	80,95	56,56	186,75	411,21
15,5428	-15032,12	7105,28	7,36	-88,03	94,27	-12586,47
15,5428	-390,43	-284,74	0,71	1,30	-11,66	-795,17
16	-390,43	-126,80	0,10	2,03	-11,84	-701,10
16	0,01	125,53	-0,29	0,14	0,04	0,00
16,4572	0,01	283,46	-0,29	-0,22	0,17	-93,51
16,4572	-14033,37	-6051,84	184,00	607,95	182,40	-9556,37
18,33333	-14806,97	-4881,27	103,72	352,93	-58,25	234,79
18,33333	-14983,85	-4332,52	146,81	416,78	-48,16	146,12
20,16667	-15193,29	-3232,37	70,06	274,32	-237,44	6987,64
20,16667	-15358,29	-2741,00	96,13	301,96	-233,61	6912,60
22	-15510,49	-1642,41	35,28	-50,66	-357,67	10863,84
22	-15592,37	-1092,35	59,35	248,33	-357,75	10828,21
23,83333	-15628,16	39,13	-24,12	-34,78	-386,35	11782,20
23,83333	-15628,97	551,21	24,64	77,32	-385,44	11785,99
25,66667	-15596,77	1682,23	-85,65	-199,27	-331,28	9758,47
25,66667	-15485,38	2174,66	-9,18	-33,15	-332,35	9816,91
28,33333	-15176,36	4077,13	-131,36	-387,55	-143,58	1579,11
28,33333	-15054,61	4640,71	-83,19	-284,58	-152,91	1642,96
30,5428	-14520,19	5998,99	-193,86	-431,42	125,41	-9873,65
30,5428	-959,75	-285,29	2,14	-0,22	-10,17	-1009,19
31	-959,76	-127,44	0,05	1,25	-10,67	-914,86
31	0,03	125,28	-0,28	-0,89	0,13	-0,01
31,4572	0,03	283,14	-0,28	-1,40	0,26	-93,40

Tabel L.16: *Lanjutan.*

31,4572	-14158,06	-6134,17	194,46	425,71	167,39	-9312,65
33	-14696,23	-5154,85	109,39	487,29	-57,32	-1031,04
33	-14967,06	-4694,95	163,46	442,64	-39,50	-1168,27
34,83333	-15232,40	-3552,44	56,53	397,90	-223,56	6261,64
34,83333	-15403,51	-3047,51	121,69	359,88	-216,03	6172,77
36,66667	-15524,98	-1912,12	21,89	248,52	-344,94	10657,98
36,66667	-15611,54	-1394,79	60,98	253,20	-338,74	10610,75
38,5	-15663,70	-296,47	-11,44	121,03	-377,40	12131,98
38,5	-15666,31	299,62	14,05	-115,42	-376,41	12124,49
40,33333	-15621,05	1389,87	-58,14	-286,60	-341,73	10590,83
40,33333	-15540,35	1912,83	-19,50	-169,34	-344,92	10624,58
42,16667	-15425,28	3037,79	-118,89	-404,70	-218,87	6134,61
42,16667	-15260,79	3549,43	-54,09	-298,75	-222,97	6209,20
44	-15002,50	4680,41	-160,67	-496,35	-41,72	-1218,87
44	-14737,65	5144,51	-106,38	-471,47	-58,55	-1094,00
45,5428	-14207,40	6084,19	-191,68	-525,01	161,17	-9342,14
45,5428	-0,05	-283,05	0,28	1,82	-0,10	-93,29
46	-0,05	-125,19	0,28	1,31	-0,22	0,02
46	-960,11	127,53	-0,05	-0,79	-13,09	-922,39
46,4572	-960,11	285,38	-2,14	0,69	-12,59	-1016,80
46,4572	-14561,23	-6041,50	195,48	318,05	130,55	-9869,43
48,66667	-15104,52	-4634,54	84,72	374,87	-152,41	1669,03
48,66667	-15235,56	-4107,32	133,30	289,50	-143,24	1591,58
51,33333	-15573,40	-2185,74	10,93	192,69	-333,99	9816,51
51,33333	-15703,63	-1712,94	88,30	101,58	-329,20	9747,48
53,16667	-15751,28	-545,71	-22,53	12,25	-389,51	11790,08
53,16667	-15760,59	-69,89	26,91	-64,53	-394,13	11779,49
55	-15731,54	1097,61	-56,81	-160,18	-370,46	10844,00
55	-15656,12	1610,48	-32,26	-55,91	-367,11	10873,83
56,83333	-15511,63	2751,84	-93,20	-242,09	-248,51	6936,68
56,83333	-15353,24	3245,87	-66,59	-318,32	-250,53	7007,09
58,66667	-15151,14	4367,16	-144,25	-386,13	-65,09	117,04
58,66667	-14981,31	4906,78	-99,79	-367,40	-72,11	201,24
60,5428	-14214,46	6065,25	-180,86	-654,79	161,45	-9632,32
60,5428	-0,07	-283,30	0,28	1,02	-0,19	-93,38
61	-0,07	-125,37	0,28	0,66	-0,32	0,02
61	-406,20	126,84	-0,08	-1,87	-13,05	-704,14
61,4572	-406,20	284,77	-0,72	-1,13	-12,86	-798,25
61,4572	-15203,92	-7057,26	-9,79	-3,83	82,90	-12572,16
63,5	-15593,15	-5824,91	-84,21	190,85	184,51	401,63
63,5	-15861,55	-5303,71	-44,62	56,95	189,98	253,52



Tabel L.16: *Lanjutan.*

66	-16311,07	-3525,32	-111,56	81,85	401,78	11095,86
66	-16465,04	-3044,07	-92,75	-30,89	403,55	11015,97
67,83333	-16584,51	-1898,93	-142,32	-45,83	622,69	15484,51
67,83333	-16677,89	-1400,61	-114,72	-119,97	623,07	15434,14
69,66667	-16721,86	-256,77	-160,20	-128,82	875,22	16927,18
69,66667	-16714,22	242,90	-140,39	-208,36	872,11	16926,31
71,5	-16668,82	1383,56	-171,16	-193,41	1151,03	15452,97
71,5	-16588,59	1886,61	-163,27	-281,41	1141,83	15487,12
73,33333	-16422,25	3026,61	-179,16	-249,99	1449,03	11058,62
73,33333	-16233,20	3531,78	-176,34	-331,19	1443,39	11145,47
75,16667	-16006,55	4657,87	-187,40	-263,57	1769,12	3743,03
75,16667	-15717,67	5182,22	-185,80	-324,35	1763,10	3873,74
77	-14560,28	6291,80	-189,60	-285,50	2070,41	-6209,32

Tabel L.18: kombinasi extreme 1 arah x void slab

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-14101,85	-6203,78	370,82	945,55	3903,80	-5749,68
1,83333	-15284,80	-5136,13	365,56	839,38	3339,72	4459,10
1,83333	-15576,64	-4584,70	366,35	992,08	3358,60	4317,49
3,66667	-15815,20	-3430,30	352,41	755,41	2775,61	12473,85
3,66667	-16012,92	-2869,43	351,85	901,01	2790,41	12376,27
5,5	-16190,15	-1685,42	330,72	635,59	2280,91	17255,03
5,5	-16282,11	-1133,25	332,82	723,00	2284,88	17214,03
7,33333	-16342,77	73,23	294,78	516,25	1890,88	18835,00
7,33333	-16367,79	640,68	306,37	637,56	1891,75	18828,63
9,16667	-16342,61	1884,35	251,61	440,34	1615,68	17208,35
9,16667	-16266,61	2470,27	269,05	587,21	1617,67	17255,12
11	-16163,08	3740,59	208,32	403,65	1400,47	12334,31
11	-16024,33	4303,65	216,56	638,48	1399,47	12413,68
13,5	-15603,49	6320,98	128,52	421,38	1152,10	577,09
13,5	-15349,90	6896,73	159,44	672,91	1140,26	728,28
15,5428	-14973,03	8325,55	84,64	580,19	965,45	-12151,70
15,5428	-365,43	-284,40	4,18	82,75	25,92	-774,06
16	-365,43	-126,46	3,55	83,54	27,40	-678,97
16	-4,E-11	299,94	3,59	26,21	0,63	0,21
16,4572	-3,E-11	457,87	3,59	25,84	1,37	-93,11
16,4572	-13987,60	-6025,72	313,16	1516,30	1099,43	-9370,50
18,33333	-14759,96	-4843,58	215,50	1200,31	1043,05	546,66
18,33333	-14936,53	-4273,49	245,83	1196,78	1064,31	452,80
20,16667	-15145,57	-3135,33	151,59	978,61	977,32	7874,86
20,16667	-15310,22	-2595,95	163,80	927,81	987,84	7794,05
22	-15462,08	-1440,56	86,37	486,67	911,27	12066,27
22	-15543,83	-826,00	102,16	707,66	909,56	12029,03
23,83333	-15579,61	364,96	15,04	349,45	866,34	13039,80
23,83333	-15580,37	960,86	72,61	489,92	864,17	13043,93
25,66667	-15548,29	2190,65	-25,91	292,65	850,30	10846,31
25,66667	-15436,97	2788,16	63,95	543,01	842,25	10909,13
28,33333	-15128,39	4926,39	-32,81	346,32	828,07	1964,17
28,33333	-15006,06	5608,97	28,95	514,17	804,62	2033,34
30,5428	-14474,47	7099,44	-68,08	455,43	832,04	-9647,47
30,5428	-938,11	-284,95	4,48	149,23	39,81	-991,19
31	-938,11	-127,09	2,34	150,79	40,26	-894,64
31	-2,E-11	125,31	2,63	1,42	2,06	0,13
31,4572	-5,E-11	283,18	2,63	0,89	2,97	-93,13

Tabel L.18: *Lanjutan*

31,4572	-14106,69	-6109,26	288,62	1154,57	838,77	-9221,15
33	-14643,84	-5122,99	201,30	1169,37	569,42	-801,15
33	-14914,54	-4648,81	254,19	1067,99	593,56	-943,00
34,83333	-15179,51	-3469,39	144,46	967,33	376,93	6887,33
34,83333	-15350,49	-2924,10	208,35	876,81	384,36	6793,96
36,66667	-15471,80	-1733,57	105,11	713,07	271,92	11534,53
36,66667	-15558,43	-1156,10	142,82	682,59	277,84	11485,69
38,5	-15610,50	1,72	66,07	522,87	293,44	13064,91
38,5	-15613,40	679,59	90,27	297,52	296,17	13057,59
40,33333	-15568,19	1856,35	14,37	150,09	394,65	11463,95
40,33333	-15487,94	2482,98	52,25	308,57	394,40	11499,71
42,16667	-15373,11	3723,74	-49,04	117,89	567,98	6753,33
42,16667	-15209,16	4356,94	17,27	272,82	562,71	6832,72
44	-14951,40	5610,21	-87,24	128,06	761,17	-995,84
44	-14687,11	6196,11	-27,89	209,54	733,78	-866,21
45,5428	-14158,55	7236,88	-107,03	207,66	934,42	-9252,12
45,5428	0,00	-282,71	3,75	151,48	3,29	-93,06
46	0,00	-124,85	3,75	151,03	1,75	0,11
46	-942,21	127,57	4,05	2,25	42,87	-909,99
46,4572	-942,21	285,42	1,97	3,79	41,80	-1004,18
46,4572	-14499,77	-6019,35	354,15	1334,46	959,52	-9691,64
48,66667	-15043,05	-4597,44	222,52	1303,98	1007,50	2041,54
48,66667	-15174,02	-4038,97	253,48	1134,58	1031,38	1959,39
51,33333	-15511,62	-2029,95	93,85	841,46	1098,14	10831,00
51,33333	-15641,90	-1501,92	153,62	643,66	1109,87	10758,17
53,16667	-15689,63	-271,87	23,31	445,40	1127,29	12953,42
53,16667	-15699,18	274,51	63,01	323,91	1124,22	12942,73
55	-15670,36	1525,08	-12,33	316,29	1150,13	11956,73
55	-15595,65	2142,00	33,43	531,51	1150,41	11988,28
56,83333	-15451,41	3389,93	-7,60	444,70	1189,34	7757,83
56,83333	-15293,48	4003,88	40,53	465,23	1177,18	7833,76
58,66667	-15091,84	5246,91	-16,27	485,79	1208,19	407,10
58,66667	-14922,74	5908,96	50,58	584,46	1184,66	496,35
60,5428	-14157,50	7191,09	-10,53	369,06	1162,26	-9489,04
60,5428	-3,E-11	-282,96	4,72	150,94	1,49	-93,05
61	-7,E-11	-125,02	4,72	150,63	0,96	0,17
61	-381,54	301,24	5,16	103,40	26,91	-684,52
61,4572	-381,54	459,18	4,54	104,13	24,87	-778,90
61,4572	-15131,69	-7038,77	64,23	682,98	1024,35	-12167,72
63,5	-15521,08	-5798,67	-13,82	836,12	1213,85	714,59
63,5	-15789,37	-5251,21	37,43	668,26	1227,74	556,25

Tabel L.18: *Lanjutan*

66	-16238,77	-3407,37	-1,39	623,06	1477,83	12384,89
66	-16392,80	-2883,76	33,10	473,83	1479,48	12298,15
67,83333	-16512,38	-1688,90	-1,45	421,86	1691,25	17183,31
67,83333	-16605,95	-1132,16	41,01	328,04	1688,30	17129,36
69,66667	-16650,19	79,96	8,66	306,16	1975,80	18724,40
69,66667	-16642,90	660,36	40,97	235,27	1971,86	18723,80
71,5	-16597,91	1893,19	20,95	273,35	2393,71	17090,55
71,5	-16518,16	2499,70	38,68	221,91	2382,17	17127,47
73,33333	-16352,44	3747,36	30,88	292,04	2940,50	12233,78
73,33333	-16164,06	4362,48	40,86	252,83	2925,95	12328,96
75,16667	-15938,09	5601,23	35,06	367,70	3568,40	4163,16
75,16667	-15650,04	6238,76	41,57	357,48	3548,47	4305,33
77	-14494,09	7461,22	39,69	444,89	4167,18	-5988,96

Tabel L.17: kombinasi extreme 1 arah x 4 Pci girder

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	600,84	-20875,33	-54,50	-31001,35	-3534,86	-88471,05
2,5	600,00	-17847,56	-54,67	-26650,04	-3346,91	-40071,91
2,5	15,17	-16698,51	-57,43	-24468,51	-4167,70	-40625,07
5	13,88	-13673,99	-59,04	-20114,43	-3895,73	-2319,29
5	-822,12	-12410,66	-63,28	-17928,80	-5019,14	-3077,34
7,5	-823,59	-9370,92	-68,73	-13681,45	-4655,12	24790,19
7,5	-1614,11	-8230,79	-70,47	-11495,36	-5679,52	24011,22
10	-1615,57	-5182,31	-81,64	-7313,31	-5302,17	41422,02
10	-2015,85	-3701,72	-81,26	-4746,80	-5786,70	41011,02
12,33333	-2016,67	-1382,03	-96,34	-1953,13	-5437,71	47414,00
12,33333	-2133,66	-113,94	-93,29	445,64	-5571,65	47293,19
13,66667	-2134,10	1216,12	-103,68	2007,71	-5372,61	46824,87
13,66667	-2055,63	2129,71	-99,77	3734,57	-5239,38	46913,48
15	-2056,09	3460,08	-110,67	5289,67	-5040,04	43468,24
15	-1766,24	4594,31	-100,19	7226,00	-4650,92	43787,06
17,5	-1767,92	7664,59	-119,65	11268,25	-4277,44	29030,93
17,5	-1085,36	8820,04	-105,23	13473,22	-3368,76	29732,59
20	-1087,43	11897,52	-120,35	17693,68	-2986,61	4496,05
20	-391,75	13300,42	-111,78	20168,39	-2047,97	5165,65
22	-392,87	15303,92	-119,12	22871,22	-1730,44	-22579,68
22	239,92	16737,92	-119,30	25594,50	-847,60	-21996,88
24	238,60	18741,03	-120,73	28596,81	-503,88	-56234,99
24	566,06	19984,99	-126,14	30972,64	-10,22	-55906,14
25,5428	564,90	21527,91	-123,57	33526,56	288,68	-86702,94
25,5428	2527,61	-450,42	194,76	-220,30	1688,87	-5081,40
26	2527,31	-309,52	199,77	-209,16	1612,97	-4899,60
26	2414,25	360,97	198,32	970,20	1436,55	-4974,46
26,4572	2413,95	501,86	203,11	981,47	1370,81	-5135,34
26,4572	2729,80	-19423,87	-36,98	-28966,84	2965,44	-78357,37
28,5	2727,05	-17425,31	-16,46	-25818,84	3045,47	-40804,54
28,5	2144,95	-16164,07	-26,67	-23421,30	2288,90	-41317,43
31	2140,02	-13160,35	-8,24	-18983,86	2430,40	-4459,02
31	1419,40	-11915,17	-14,66	-16783,27	1535,11	-5086,60
33,5	1414,82	-8879,66	-2,07	-12643,03	1680,16	21295,49
33,5	622,60	-7701,35	-0,15	-10499,62	712,79	20532,46
36	618,16	-4659,68	4,38	-6572,74	806,93	36444,51
36	272,46	-3231,33	10,97	-4130,92	410,26	36111,32
38,16667	269,70	-1078,55	12,60	-1746,07	441,09	41152,06

Tabel L.17: *Lanjutan.*

38,16667	179,87	145,37	22,00	565,58	334,45	41074,13
39,58333	178,16	1554,73	23,07	2116,39	349,71	40246,54
39,58333	279,09	2514,73	33,81	3937,42	497,29	40353,70
41	278,09	3924,51	35,97	5511,81	509,34	36197,90
41	582,03	5070,58	52,73	7503,01	867,92	36502,28
43,5	586,40	8134,55	60,74	11508,82	837,12	20640,44
43,5	1377,17	9279,39	76,02	13730,52	1799,26	21399,19
46	1382,18	12355,62	93,17	18012,12	1711,02	-4908,29
46	2103,83	13684,18	100,50	20280,53	2606,86	-4281,84
48,5	2108,97	16770,54	125,75	24939,48	2502,71	-41047,42
48,5	2756,67	18100,99	124,30	27456,97	3348,24	-40499,32
50,5428	2759,56	20145,57	150,59	30722,47	3319,58	-77975,86
50,5428	80,34	-432,91	1,51	-431,84	-239,62	-182,13
51	80,33	-292,01	1,60	-431,55	-240,31	-17,02
51	2,67	371,34	0,61	706,62	0,63	1,31
51,4572	2,67	512,23	0,61	706,83	0,56	-171,20
51,4572	530,02	-20837,15	226,19	-31644,88	492,77	-87040,72
53	531,37	-19326,19	226,38	-29175,30	173,51	-56186,77
53	284,73	-18306,27	215,05	-27241,59	-246,57	-56465,31
54,5	285,94	-16835,59	213,24	-25046,73	-448,33	-30135,90
54,5	-109,14	-15798,64	203,54	-23136,72	-1003,50	-30508,91
56	-108,04	-14326,40	198,69	-21079,58	-1169,45	-7816,35
56	-764,40	-13114,57	188,35	-19036,79	-2064,71	-8422,07
58,5	-761,81	-10082,81	172,77	-14855,71	-2341,25	21009,80
58,5	-1521,34	-8920,38	166,77	-12716,20	-3360,10	20249,80
61	-1519,19	-5874,71	145,39	-8714,35	-3648,80	39293,87
61	-1994,54	-4622,51	142,78	-6578,00	-4291,07	38782,91
63,5	-1992,71	-1563,13	122,12	-2587,71	-4605,00	47076,37
63,5	-2099,87	-438,66	142,95	-445,04	-4781,19	46952,55
66	-2098,19	2628,46	128,52	3605,73	-5117,58	44765,86
66	-1782,94	3862,87	151,60	5772,52	-4750,11	45089,64
68,5	-1781,27	6940,61	142,14	9969,95	-5114,63	32035,36
68,5	-1183,92	8109,56	157,72	12196,75	-4352,94	32635,60
71	-1182,21	11201,96	153,21	16547,86	-4732,70	8976,08
71	-247,68	12645,48	164,82	19067,26	-3519,92	9853,31
74	-245,76	16366,83	164,31	24474,94	-3783,91	-32367,47
74	636,94	17820,74	168,64	27246,81	-2524,89	-31568,31
77	638,31	21536,17	169,42	32687,30	-2591,61	-88352,74

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Jordi Zola Ambrisa  
Panggilan : Jordi  
Tempat, Tanggal Lahir : Simber Jaya, 25 Mai 1997  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat : Desa Sumber Jaya, Kec. Timang Gajah, Kab. Bener Meriah, Aceh.  
Agama : Islam  
Nama Orang Tua  
Ayah : Sunaroso  
Ibu : Suminah  
No.HP : 082274205485  
E-Mail : [jordi.zola97@gmail.com](mailto:jordi.zola97@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507210023  
Fakultas : Teknik  
Jurusan : Teknik Sipil  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mughtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Negeri 1 Lampahan	2009
2	SMP	SMP Negeri 2 Timang Gajah	2012
3	SMA	SMA Negeri 2 Timang Gajah	2015
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015 sampai selesai.		

