

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERENCANAAN STRUKTUR ATAS  
JEMBATAN *BOX GIRDER* BAJA BERDASARKAN SNI  
1725-2016 DAN SNI 2833-2016**

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

**Disusun Oleh:**

**DESY LIANSA  
1507210083**



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



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Berprestasi

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 : Desy Liansa

Npm : 1507210083

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan *Box Girder* Baja

Berdasarkan SNI 1725-2016 Dan SNI 2833-2016

Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada  
Panitia Ujian

Medan, 26 September 2019

Pembimbing I

Tondi Amriyah Putera, P, ST,MT

Pembimbing II

Dr. Fahrizal Zulkanain, ST, M.Sc

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Desy Liansa

NPM : 1507210083

Program Studi: Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan *Box Girder* Baja

Berdasarkan SNI 1725-2016 Dan SNI 2833-2016

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, 26 September 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

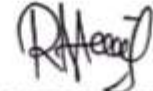
  
Tondi Armitiyanto Putera P, ST, MT.

  
Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc.

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

  
Dr. Ade Faisal, ST, MSc.

  
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 : Desy Liansa  
Tempat /Tanggal Lahir : Tigan Derket/16 Desember 1996  
NPM : 1507210083  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan *Box Girder* Baja Berdasarkan SNI 1725-2016 Dan SNI 2833-2016”.

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada 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, 26 September 2019

Saya yang menyatakan



Desy Liansa

## ABSTRAK

### ANALISIS PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN *BOX GIRDER* BAJA BERDASARKAN SNI 1725-2016 DAN SNI 2833-2016

Desy Liansa

1507210083

Tondi Amirsyah Putera P, ST, MT

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Konstruksi jembatan komposit merupakan suatu konstruksi jembatan yang materialnya terdiri atas baja sebagai bahan dari gelagar dan beton bertulang sebagai bahan dari lantai jembatan. Konstruksi jembatan komposit ini direncanakan sebagai jembatan jalan raya (*highway bridge*). Struktur jembatan direncanakan dengan menggunakan *box girder* baja pada ketinggian 9 meter di atas permukaan tanah. Jembatan memiliki Panjang 40 meter dan lebar 9 meter, direncanakan jembatan tidak menerus dengan dibatasi pier ditengah jembatan. Perencanaan jembatan jalan raya ini mengacu pada *AASHTO* 2012, peraturan pembebanan menggunakan SNI 1725-2016 dan peraturan tentang beban gempa menggunakan SNI 2833-2016. Pada tugas akhir ini, penulis membandingkan kekuatan pembebanan pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan. Analisis struktur kedua model jembatan ini menggunakan program *software* khusus menghitung jembatan. Hasil selisih nilai perbandingan lendutan maksimum sebesar 0,000894 m, selisih perbandingan momen *Ultimate* maksimum sebesar 2824,7089 kN.m, dan selisih perbandingan gaya geser maksimum sebesar 1653,6345 kN. Dari hasil yang diperoleh penulis menyimpulkan bahwa lendutan yang terjadi pada jembatan geometri lurus lebih besar dibandingkan dengan jembatan geometri tikungan hal ini dipengaruhi oleh jumlah pilar di kedua jembatan yang berbeda.

Kata Kunci: jembatan jalan raya, *box girder* baja, geometri tikungan, geometri lurus.

## **ABSTRACT**

### **STRUKTURAL PLANNING ANALYSIS OF STEEL BOX GIRDER BRIDGES BASED ON SNI 1725-2016 AND SNI 2833-2016**

Desy Liansa  
1507210083

Tondi AmirsyahPutera P, ST, MT  
Dr. Fahrizal Zulkarnain

*Composite bridge construction is a bridge construction whose material consists of steel as material from girder and reinforced concrete as material from the bridge floor. This composite bridge construction is planned as a highway bridge. The bridge structure is planned using box girders steel at a height of 9 meters above ground level. The bridge has a length of 40 meters and a width of 9 meters, planned to be a continuous bridge with a limited pier in the middle of the bridge. This highway bridge planning refers to AASHTO 2012, the loading regulation uses SNI 1725-2016 and the earthquake load regulation uses SNI 2833-2016. In this final project, the writer compares the loading strength on a straight geometry bridge and the bend geometry bridge. Analysis of the structure of the two bridge models uses a program to software special calculate bridges. The results of the difference in the maximum deflection ratio of 0,000894 m, the difference in the ratio of the maximum ultimate moment of 2824,7089 kN.m, and the difference in the ratio of the maximum shear force of 1653,6345 kN. From the results obtained by the authors concluded that the deflection that occurs in a straight geometry bridge is greater than the bend geometry bridge this is influenced by the number of pillars on the two different bridges.*

*Keywords: highway bridge, steel box girders, bend geometry, straight geometry.*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillahirabil'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 "Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan *Box Girder* Baja Berdasarkan SNI 1725-2016 Dan SNI 2833-2016" 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 Nurli dan Ibunda tercinta Suwartik yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
9. Terimakasih buat abang saya Andrian, kakak saya Wulan Sri Lestari, S.Kom, M.Kom, adik- adik saya Putra Aidili dan Dinda Laura yang telah manjadi motivasi saya hingga selesainya Tugas Akhir ini.
10. Sahabat-sahabat penulis: Azura, Alprida Ginting, Maimuna Zebua, Inri yani, Ratu Irmil Bilqis, Almaida, Irwansyah Putra ST, Fadhillah Khairul Rizal ST, Rizky Juanda serta keluarga besar Teknik Sipil 2015, Keluarga A1 Pagi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dan seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Keluarga besar PK IMM Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan 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, 26 September 2019

Desy Liansa



## 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	iv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Jembatan	4
2.1.1 Jembatan Komposit	5
2.2 Geometri Jembatan	6
2.2.1 Superelevasi	7
2.3 <i>Box Girder</i> Baja	8
2.3.1 Perencanaan <i>Box Girder</i> Baja	9
2.4 Pembebanan Jembatan Jalan Raya	23
2.4.1 Beban Permanen	23
2.4.2 Beban Lalu Lintas	28
2.4.3 Klasifikasi Pembebanan Lalu Lintas	36
2.4.4 Faktor Beban Dinamis	37
2.4.5 Gaya Rem	38
	ix

2.4.6	Gaya Sentrifugal	38
2.4.7	Pembebanan Untuk Pejalan Kaki	39
2.4.8	Beban Lingkungan	39
2.4.8.1	Beban Angin	40
2.4.8.2	Beban Gempa	44
2.4.8.3	Temperatur Merata (EUn)	52
2.4.9	Pengaruh Getaran	55
2.4.10	Faktor Beban Kombinasi Pembebanan	57
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Metodologi Penelitian	61
3.2	Metode Analisis	62
3.3	Pemodelan Struktur	62
3.3.1	Data Perencanaan Struktur Jembatan	62
3.3.2	Data Material Struktur Jembatan	63
3.4	Konfigurasi Struktur Jembatan	63
3.5	Desain <i>Box Girder</i> Baja	63
3.5.1	Penentuan Dimensi <i>Box Girder</i> Baja	63
3.5.2	Dimensi Kolom ( <i>Pier</i> )	66
3.5.3	Perletakan ( <i>Bearing</i> )	67
3.6	Pemodelan Struktur	67
3.7	Pembebanan	69
3.7.1	Beban Sendiri (MS)	69
3.7.2	Beban Mati Tambahan (MA)	72
3.7.3	Beban Hidup	74
3.7.4	Gaya Rem	76
3.7.5	Gaya Sentrifugal	76
3.7.6	Beban Pejalan Kaki	77
3.7.7	Beban Lingkungan	78
3.7.8	Gaya Akibat Temperatur Seragam (EUn)	81
3.7.9	Beban Akibat Gempa	82
3.7.10	Kombinasi Pembebanan	86

BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Tinjauan Umum	88
4.2	Hasil Analisa	88
4.2.1	Hasil Analisis Lendutan	88
4.2.2	Hasil Analisis Periode Getar	90
4.2.3	Pemeriksaan Konstruksi Kondisi Batas <i>Ultimate</i>	91
4.2.3.1	Perhitungan Kekuatan <i>Girder</i> Terhadap Momen	91
4.2.3.2	Perhitungan Kekuatan Gelagar Terhadap Gaya Geser	95
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	97
5.2	Saran	97
	DAFTAR PUSTAKA	100
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat isi untuk beban mati (Indonesia dan Nasional,2016)	24
Tabel 2.2	Faktor beban untuk berat sendiri (Indonesia dan Nasional,2016)	25
Tabel 2.3	Faktor beban untuk beban mati tambahan (Indonesia dan Nasional,2016)	26
Tabel 2.4	Faktor beban akibat tekanan tanah (Indonesia dan Nasional,2016)	27
Tabel 2.5	Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan (Indonesia dan Nasional,2016)	28
Tabel 2.6	Jumlah lajur lalu lintas rencana (Indonesia dan Nasional,2016)	29
Tabel 2.7	Faktor beban untuk beban lajur "D" (Indonesia dan Nasional,2016)	30
Tabel 2.8	Faktor beban untuk beban "T" (Indonesia dan Nasional,2016)	33
Tabel 2.9	Faktor kepadatan lajur (Indonesia dan Nasional,2016)	35
Tabel 2.10	Nilai V0 dan Z0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu (Indonesia dan Nasional, 2016)	41
Tabel 2.11	Tekanan angin dasar (Indonesia dan Nasional, 2016)	41
Tabel 2.12	Tekanan angin dasar (PB) untuk berbagai sudut serang (Indonesia dan Nasional, 2016)	42
Tabel 2.13	Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan (Indonesia dan Nasional, 2016)	43
Tabel 2.14	Penjelasan peta gempa (SNI 2833:2016)	47
Tabel 2.15	Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (FPGA/Fa) (SNI 2833:2016)	48
Tabel 2.16	Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv) (SNI 2833:2016)	49
Tabel 2.17	Zona gempa (SNI 2833:2016)	51
Tabel 2.18	Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah (SNI 2833:2016)	52
Tabel 2.19	Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833:2016)	52

Tabel 2.20	Temperatur jembatan rata-rata nominal (Indonesia dan Nasional, 2016)	53
Tabel 2.21	Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur (Indonesia dan Nasional, 2016)	53
Tabel 2.22	Parameter T1 dan T2 (Indonesia dan Nasional, 2016)	54
Tabel 2.23	Kombinasi beban dan faktor beban (Indonesia dan Nasional, 2016)	59
Tabel 3.1	Spesikasi <i>elastomeric bearing pad</i>	67
Tabel 4.1	Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan geometri lurus	88
Tabel 4.2	Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan geometri tikungan	89
Tabel 4.3	Nilai perioda getar (T) pada jembatan geometri lurus	90
Tabel 4.4	Nilai perioda getar (T) pada jembatan geometri tikungan	90
Tabel 4.5	Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum jembatan geometri lurus	93
Tabel 4.6	Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum jembatan geometri tikungan	94
Tabel 4.7	Nilai gaya geser (V2) maksimum	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tipe potongan bagian <i>box girder</i> komposit (Chen dan Duan, 2004)	8
Gambar 2.2	Jarak antar <i>box girder</i> (Chen dan Duan, 2004)	8
Gambar 2.3	Beban lajur “D” (Indonesia dan Nasional, 2016)	31
Gambar 2.4	Alternatif penempatan “D” dalam arah memanjang (Indonesia dan Nasional, 2016)	32
Gambar 2.5	Pembebanan truk “T” (500 kN) (Indonesia dan Nasional, 2016)	33
Gambar 2.6	Penempatan beban truk untuk kondisi momen negatif maksimum (Indonesia dan Nasional, 2016)	35
Gambar 2.7	Faktor beban dinamis untuk beban T pada pembebanan lajur “D” (Indonesia dan Nasional, 2016)	38
Gambar 2.8	Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	45
Gambar 2.9	Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	45
Gambar 2.10	Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	46
Gambar 2.11	Bentuk tipikal respons spektra di permukaan tanah (SNI 2833:2016)	50
Gambar 2.12	Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja (Indonesia dan Nasional, 2016)	55
Gambar 2.13	Lendutan akibat getaran jembatan (SNI 1725-2016)	56
Gambar 3.1	Diagram alir perencanaan jembatan jalan raya	61
Gambar 3.2	Perbandingan tinggi <i>box girder</i> dalam bentuk trapesium	64
Gambar 3.3	Potongan melintang <i>pier</i>	67
Gambar 3.4	Tampak 3D struktur jembatan jalan raya geometri lurus	68
Gambar 3.5	Tampak 3D struktur Jembatan jalan raya geometri tikungan	69
Gambar 3.6	Beban trotoar pada jembatan geometri lurus	70
Gambar 3.7	Beban trotoar pada jembatan geometri tikungan	70
Gambar 3.8	Beban tiang sandaran pada jembatan geometri lurus	71

Gambar 3.9	Beban tiang sandaran pada jembatan geometri tikungan	71
Gambar 3.10	Beban aspal pada jembatan geometri lurus	72
Gambar 3.11	Beban aspal pada jembatan geometri tikungan	73
Gambar 3.12	Beban genangan air pada jembatan geometri lurus	73
Gambar 3.13	Beban genangan air pada jembatan geometri tikungan	73
Gambar 3.14	Input beban garis terpusat pada <i>software</i>	75
Gambar 3.15	Pembebanan truk “T” (Indonesia & Nasional, 2016)	75
Gambar 3.16	Input beban rem (TB) pada <i>software</i>	76
Gambar 3.17	Input gaya sentrifugal pada <i>software</i>	77
Gambar 3.18	Beban pejalan kaki pada jembatan geometri lurus	78
Gambar 3.19	Beban pejalan kaki pada jembatan geometri tikungan	78
Gambar 3.20	Beban angin struktur atas pada jembatan geometri lurus	80
Gambar 3.21	Beban angin struktur atas jembatan geometri tikungan	80
Gambar 3.22	Beban angin kendaraan pada jembatan geometri lurus	81
Gambar 3.23	Beban angin kendaraan pada jembatan geometri tikungan	81
Gambar 3.24	Input temperatur gradien pada <i>software</i>	82
Gambar 3.25	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk kota Medan	83
Gambar 3.26	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk kota Medan	84
Gambar 3.27	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk kota Medan	84
Gambar 3.28	Grafik respon spektrum	86
Gambar 3.29	Pemodelan respon spektrum pada <i>software</i>	86
Gambar 4.1	Grafik perbandingan nilai lendutan pada jembatan geometri lurus dan geometri tikungan	89
Gambar 4.2	Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada jembatan geometri lurus dan geometri tikungan	91
Gambar 4.3	Grafik perbandingan nilai momen <i>ultimate</i> (Mu) pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan	94
Gambar 4.4	Grafik perbandingan nilai gaya geser <i>ultimate</i> (Vu) yang terjadi pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan	96

## DAFTAR NOTASI

$E_s$	= Modulus elastisitas baja(MPa)
$E_c$	= Modulus elastis beton (MPa)
$G$	= Modulus geser (MPa)
$t_w$	= Ketebalan pelat badan profil pelat baja (m)
$b_{ff}$	= Lebar pelat sayap profil baja (m)
$t_{ff}$	= Ketebalan pelat sayap profil baja (m)
$H$	= Tinggi total girder (m)
$D$	= Tinggi bersih badan profil baja(m)
$M_p$	= Momen plastis (kN-m)
$M_n$	= Momen nominal (kN.m)
$M_y$	= Momen kapasitas pada saat terjadi leleh (kN-m)
$M_{D1}$	= Momen <i>non</i> -komposit gelagar baja (kN.m)
$M_{D2}$	= Momen komposit jangka panjang (kN.m)
$M_{D3}$	= Momen komposit jangka pendek (kN.m)
$M_{AD}$	= Momen komposit jangka pendek (kN.m)
$M_{CLL}$	= Momen akibat beban konstruksi (kN.m)
$S_{NC}$	= Modulus penampang gelagar ( $m^3$ )
$S_{LT}$	= Modulus penampang komposit untuk beban jangka panjang ( $m^3$ )
$S_{ST}$	= Modulus penampang komposit untuk beban jangka pendek ( $m^3$ )
$\gamma$	= Faktor beban
$\Delta V_v$	= Gaya geser vertikal (kN/m)
$V_v$	= Gaya geser ultimit (kN)
$\Delta V_H$	= Gaya geser horizontal (kN/m)
$M_{LAT}$	= Momen lentur lateral (kN/m)
$s$	= Jarak pengikat (m)
$f_{LAT}$	= Tegangan lentur lateral (MPa)
$S_f$	= Modulus penampang pelat sayap atas ( $m^3$ )
$D_c$	= Tinggi elastis pelat badan (m)
$Y_t$	= Tinggi dari penampang atas sumbu netral (m)
$S$	= Kemiringan pelat badan



$C_b$	= Faktor momen gradient
$R_b$	= Faktor beban pelat badan
$f_{bu}$	= Tegangan total (MPa)
$f$	= Tegangan lentur (MPa)
$(f_{bu})_{CLL}$	= Tegangan akibat beban konstruksi (MPa)
$F_{cr}$	= Tegangan tekuk torsi lateral elastis (MPa)
$AF$	= Faktor amplifikasi
$L_b$	= Panjang antar pengikat lateral (m)
$L_p$	= Batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral (m)
$r_t$	= Jari-jari girasi (m)
$f_i$	= Tegangan lentur lateral akibat beban kantilever (MPa)
$\lambda_f$	= Rasio kelangsingan pelat sayap atas
$\lambda_{rf}$	= Rasio kelangsingan penampang tidak kompak
$\lambda_{pf}$	= Rasio kelangsingan penampang kompak
$L_r$	= Batas panjang minimal pengikat lateral (m)
$k$	= Koefisien tekuk
$F_{crw}$	= Tegangan tekuk pada pelat badan (MPa)
$\phi_f$	= Faktor reduksi kekuatan lentur
$R_h$	= Faktor <i>hybrid</i>
$F_{nc}$	= Tahanan lentur nominal daerah tekan (MPa)
$\Delta$	= Faktor <i>St. Venant</i> (1)
$f_v$	= Tegangan geser <i>St. Venant</i>
$n$	= Nilai rasio modular
$D_{cp}$	= Tinggi garis netral plastis (m)
$D_t$	= Tinggi bagian komposit (m)
$D_p$	= Jarak dari bagian atas slab beton ke garis netral (m)
$M_u$	= Momen ultimit
$V_u$	= Gaya geser ultimit
$V_n$	= Gaya geser nominal
$\phi_v$	= Faktor resistance untuk gaya geser
$C$	= Rasio gaya geser
$V_p$	= Gaya geser plastis

$V_{cr}$	= Gaya geser resistensi
$d_o$	= Jarak pengaku meintang
$w_s$	= Beban baja struktural (kN/m)
$A_{sec}$	= Luas gelagar baja (m <sup>2</sup> )
$\gamma_s$	= Berat satuan baja struktural (kN/m)
$w_{sd}$	= Beban baja pendukung (kN/m)
$f_c'$	= Kekuatan karakteristik beton (MPa)
$f_y$	= Kuat leleh baja (MPa)
$g$	= Gaya gravitasi (9,8 m/s <sup>2</sup> )
$\gamma_i$	= Faktor beban ke-i
$\eta I$	= Faktor pengubah respon berkaitan dengan klasifikasi operasional
$\eta D$	= Faktor pengubah respon berkaitan dengan daktilitas
$\eta R$	= Faktor pengubah respon berkaitan dengan redundansi
$Q_i$	= Pengaruh gaya
$R_n$	= Tahanan nominal
$R_r$	= Tahanan terfaktor
MS	= Beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan
MA	= Beban mati perkerasan dan utilitas
TA	= Gaya akibat tekanan tanah
PL	= Gaya akibat proses pelaksanaan
TB	= Gaya akibat rem
TR	= Gaya sentrifugal
TC	= Gaya akibat tumbukan kendaraan
TD	= Beban lajur "D"
TT	= Beban truk "T"
TP	= Beban pejalan kaki
SE	= Beban akibat penurunan
ET	= Gaya akibat temperatur gradien
EUn	= Gaya akibat temperatur seragam
EF	= Gaya apung
EWS	= Beban angin struktural
EWL	= Beban angin pada kendaraan

- EU = Beban arus dan hanyutan
- q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang (KPa)
- L = Panjang total jembatan yang dibebani (m)
- Pb = Tekanan angin dasar
- EQ = Gaya gempa horizontal (kN)
- Csm = Koefisien respon gempa elastis
- Rd = Faktor modifikasi respon
- Wt = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)
- F<sub>PGA</sub> = Faktor amplikasi getaran percepatan pada batuan dasar
- F<sub>a</sub> = Faktor amplikasi periode pendek
- F<sub>v</sub> = Faktor amplikasi terkait percepatan getaran periode 1 detik

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan luas wilayah yang cukup besar dan memiliki jumlah penduduk yang sangat besar di dunia. Kebutuhan akan infrastruktur untuk transportasi adalah salah satu kebutuhan utama yang harus disediakan oleh pemerintah. Infrastruktur menjadi fokus utama pembangunan saat ini untuk menyediakan akses seluas-luasnya untuk kebutuhan ekonomi. Infrastruktur jalan dan jembatan sebagai salah satu prasarana transportasi darat yang paling umum digunakan, perlu perhatian utama untuk dipercepat pembangunannya (Nugraha dan Chairulloh, 2018).

Jembatan adalah suatu prasarana transportasi darat yang dapat dilalui oleh kendaraan atau pejalan kaki untuk melintasi medan yang sulit seperti sungai, danau, jalan raya, jalan kereta api, dan sebagainya. Pada masa ini fungsi jembatan telah mengalami perkembangan, tidak hanya sebagai struktur penghubung antara ruas jalan, tetapi juga sebagai suatu bangunan monumental yang menjadi kebanggaan atau ciri khas pada daerah itu (Wanarno, dkk, 2013).

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 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 kuat terhadap gaya tarik

dan kuat juga terhadap gaya tekan, tetapi gaya tekan yang dapat dipikul sangat erat kaitannya dengan kelangsingan profil.

Pada penelitian ini, akan diperlihatkan analisis perhitungan dan perencanaan struktur jembatan *box girder* baja sebagai fungsi jalan raya dengan panjang bentang 40 m. Beban-beban yang diperhitungkan adalah beban yang digunakan sesuai fungsi jembatan jalan raya. Metode perhitungan pembebanan mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 dan perhitungan gaya gempa mengacu pada peraturan SNI 2833:2016.

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana menganalisis besar gaya geser *ultimate*, momen lentur *ultimate*, dan besar lendutan sepanjang struktur jembatan.
2. Bagaimana perbandingan jembatan geometri lurus dan geometri tikungan pada jembatan jalan raya.

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merencanakan dimensi *box girder* baja.
2. Menganalisis perbandingan jembatan geometri lurus dan geometri tikungan.
3. Menganalisis besar gaya geser dan momen lentur yang terjadi disepanjang jembatana jalan raya.
4. Menganalisis besar lendutan yang terjadi pada jembatan jalan raya.

## **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Analisis ditinjau pada pelat lantai, dimensi profil *box girder* baja, gelagar komposit dan perletakan.
2. Perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016.

3. Analisis jembatan jalan raya hanya pada bentang 40 m.
4. Perencanaan hanya menghitung struktur atas dan bawah.
5. Tidak melakukan analisa dari segi biaya dan waktu.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

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

### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

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

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

#### **BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN**

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

#### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

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

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Jembatan

Menurut Witriyatna, dkk. (2016) Jembatan bagian dari prasarana transportasi yang berfungsi sebagai penghubung jalan yang terputus karena rintangan seperti sungai, danau, lembah, laut, jalur kereta api yang melintas tidak sebidang. Jembatan juga berfungsi sebagai penghubung antara suatu daerah dengan daerah yang lainnya. Melihat pentingnya fungsi dari suatu jembatan maka, pembuatan jembatan harus memenuhi berbagai standar yang ada. Syarat yang harus terpenuhi dalam pembuatan suatu jembatan salah satunya adalah ketahanan jembatan tersebut dalam menahan beban baik manusia maupun kendaraan yang melintas di jembatan tersebut serta kondisi kesetimbangan statis pada jembatan tersebut (Pratama, dkk, 2013).

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

Struktur jembatan dapat dibedakan menjadi berbagai macam jembatan sesuai dengan fungsi, lokasi, bahan konstruksi, dan tipe strukturnya. Berdasarkan fungsinya jembatan dibedakan menjadi tiga yaitu, jembatan jalan raya (*highway bridge*), jembatan jalan kereta api (*railway bridge*), dan jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*). Namun jika ditinjau berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dibedakan menjadi, jembatan kayu (*log bridge*), jembatan beton (*concrete bridge*), jembatan beton prategang (*prestressed concrete*

*bridge*), jembatan baja (*steel bridge*), dan jembatan komposit (*composite bridge*). Dalam tugas akhir ini, akan dibahas jembatan komposit *box girder* baja untuk jalan raya geometri lurus dan geometri tikungan.

### **2.1.1. Jembatan Komposit**

Konstruksi jembatan komposit merupakan sebuah konstruksi jembatan yang bahan dasarnya terdiri atas dua jenis material yang berbeda sifatnya, yang dibangun sedemikian rupa sehingga menjadi satu kesatuan yang kuat. Pada jembatan komposit umumnya berupa gelagar terbuat dari baja dan lantai jembatan terbuat dari beton bertulang (Agus, 2002).

Jembatan komposit memiliki keuntungan dan kerugian seperti yang akan dijelaskan berikut ini.

a. Keuntungan konstruksi jembatan komposit:

- 1) Profil baja dapat dihemat menjadi 20 – 30 % dibanding dengan sistem balok *non*-komposit.
- 2) Penampang/tinggi profil baja lebih rendah.
- 3) Kekakuan lantai beton bertulang semakin tinggi karena komposit menyatu dengan gelagar memanjang sehingga lendutan plat lantai/komposit semakin kecil.
- 4) Panjang bentang untuk bentang tertentu dapat lebih besar, artinya dengan komposit sistem komposit baja dan beton. Untuk penampang yang sama mempunyai momen pikul yang jauh lebih besar.
- 5) Kapasitas daya pikul bebas bertambah dibandingkan dengan plat beton yang bebas diatas gelagar baja (baja merupakan pemikul pertama).

b. Kerugian konstruksi jembatan komposit:

- 1) Untuk balok komposit statis tak tentu, misalnya balok yang terletak diatas beberapa tumpuan atau pada tumpuan jepit, maka momen negatif hanya dipikul oleh beton saja, dengan demikian aksi komposit pada penampang yang memikul momen negatif.

Dalam buku *Bridge Design and Evaluation* aksi komposit terjadi apabila dua bagian/batang struktur pemikul beban, misalnya konstruksi beton dan balok profil



baja dihubungkan secara komposit menjadi satu, sehingga dapat memikul beban secara menyatu. Aksi komposit dapat terjadi apabila anggapan-anggapan berikut ini dapat dipenuhi atau mendekati keadaan sebenarnya yaitu:

- a. Lantai beton dengan profil baja, dihubungkan dengan penghubung geser secara tepat pada seluruh tulangan.
- b. Gaya geser pada penghubung geser adalah sebanding secara proporsional dengan beban pada penghubung geser.
- c. Distribusi tegangan adalah linear di setiap penampang.
- d. Lantai beton dan balok baja tidak akan terpisah secara vertikal dibagian manapun sepanjang batang.

Penghubung balok dan baja (*shear connector*) akan memikul gaya yang sejajar dengan sumbu balok, yang merupakan gaya geser (Agus, 2002).

## 2.2. Geometri Jembatan

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).

- 1) *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 superelevasi yang besar. Tikungan FC ini tidak memerlukan lengkung peralihan dan hanya berbentuk busur lingkaran saja (Tribhuwana, 2018)
- 2) *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).

- 3) *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).

Dalam tugas akhir ini, akan dibahas tentang perbandingan geometri jembatan lurus dan melengkung. Jembatan melengkung horizontal telah menjadi komponen penting dalam sistem jalan raya, terutama di kota-kota padat penduduk. Jembatan semacam ini cukup sering dibangun menggunakan penampang yang terdiri dari komposit pelat lantai beton dengan banyak balok *box* baja. Jenis penampang ini relatif ringan dan memiliki lentur serta kekakuan torsi yang cukup besar yang memberikan distribusi beban melintang yang efisien (Sennah, Kennedy, dan Nour, 2003).

### **2.2.1. Superelevasi**

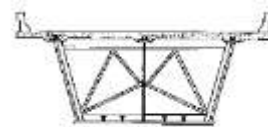
Diagram superelevasi digambar berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol, elevasi tepi perkerasan diberi tanda positif atau negatif ditinjau dari ketinggian sumbu jalan. Pada tikungan tipe SCS (*spiral-circle-spiral*), pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bentuk normal 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. Box Girder Baja

Dalam *Bridge Engineering Handbook 2nd Superstructure Design* (2003), *box girder* digunakan secara luas dalam pembangunan jalan raya perkotaan, jembatan melengkung horizontal dan bentang Panjang. *Box girder* memiliki kapasitas lentur yang lebih tinggi dan kekakuan torsional. Jembatan *box girder* komposit memiliki beberapa jenis yaitu, *box girder* sel tunggal, *box girder* dengan banyak sel dan *box girder* ganda seperti terlihat pada Gambar 2.1. *Box girder* sel tunggal (Gambar 2.1a) mudah untuk dianalisis dan bergantung pada kekakuan torsi untuk membawa beban eksentrik dan kekakuan lentur yang diperlukan tidak tergantung pada kekakuan torsional. *Box girder* dengan banyak sel (Gambar 2.1b) ekonomis untuk rentang yang sangat panjang. Beberapa *web* mengurangi berbagai gaya geser. Kotak-kotak dalam *box* ganda relatif kecil dan berdekatan, hal ini membuat kekakuan lentur dan torsional biasanya sangat tinggi. Kekakuan torsional *box* individual umumnya kurang penting daripada kekakuan lentur relatif, untuk desain *box* ganda (Gambar 2.1c) batasan antar *box* ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Chen & Duan, 2004).



(a) *Box girder* sel tunggal.

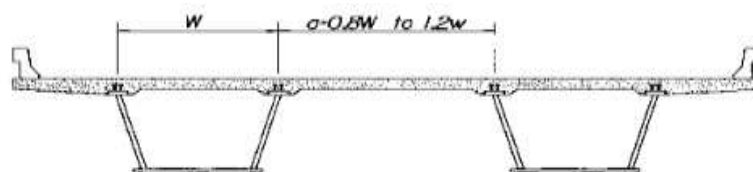


(b) *Box girder* banyak sel.



(c) *Box girder* ganda.

Gambar 2.1: Tipe potongan bagian *box girder* komposit (Chen dan Duan, 2004).



Gambar 2.2: Jarak antar *box girder* (Chen dan Duan, 2004).

### 2.3.1. Perencanaan *Box Girder* Baja

Dalam *AASHTO 2012 6<sup>th</sup> EDITION* perencanaan *box girder* baja memiliki langkah-langkah sebagai berikut ini:

- Menentukan tinggi atau kedalaman *box girder*
- Menentukan dimensi *box girder*
- Menghitung rasio modular
- Menghitung properti potongan melintang gelagar baja dan struktur komposit untuk beban jangka pendek dan jangka Panjang
- Menghitung kondisi batas *Ultimate box girder*
- Menghitung momen lentur yang terjadi pada gelagar dan membandingkan dengan gaya geser *Ultimate* akibat pembebanan
- Menghitung kombinasi dari momen lentur dan gaya geser pada gelagar
- Menghitung lendutan yang terjadi
- Menghitung kondisi batas Lelah atau *fatigue*
- Merencanakan sambungan geser (*shear connector*), sambungan, dan pengikat (*bracing*) pada gelagar

#### a. Penentuan tinggi *box girder*

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

$$D = 0,033 L \quad (2.1)$$

Dengan  $L$  merupakan bentang terpanjang dari jembatan.

#### b. Penentuan dimensi *box girder*

Penentuan dimensi *box girder* dalam *AASHTO 6<sup>th</sup> EDITION 2012* terdapat dalam artikel 6.11.2 yang terpapar di bawah ini:

- Untuk *web* :  
Ketebalan *web* minimal

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (2.2)$$

Dengan:

$D$  = tinggi *web*

$t_w$  = tebal *web*

- Untuk *flange*:

- Lebar *flange* yang digunakan

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

atau digunakan rumus perbandingan yang lain

$$b_{tf} \geq \frac{D}{85} \quad (2.4)$$

Dengan:

$L$  = Panjang bentang terpanjang

- Lebar *flange* minimum yang digunakan

$$t_{tf} \geq 1,1 t_w \quad (2.5)$$

Dengan:

$t_w$  = tebal *web*

Untuk pengecekan struktur gelagar digunakan rumus

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \leq 12 \quad (2.6)$$

Dengan:

$b_f$  = lebar *flange*

$t_f$  = tebal *flange*

### c. Menentukan rasio modular

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

Analisis penampang *box girder* baja dihitung dengan kondisi komposit untuk beban jangka pendek ( $k=1$ ) dan komposit untuk beban jangka Panjang ( $k=3$ ). Aksi komposit dipengaruhi oleh nilai rasio modular yang diperoleh dari perbandingan

antara modulus elastis baja dengan modulus elastis beton. Pada kondisi komposit untuk beban jangka pendek, nilai rasio modular ditentukan dengan Pers. 2.7 sebagai berikut:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.7)$$

Dengan:

$n$  = nilai rasio modular

$E_s$  = modulus elastis baja (MPa)

$E_c$  = modulus elastis beton (MPa)

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

1. Analisis penampang gelagar baja

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

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

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

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

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

- d. Metode pelaksanaan

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

- Metode pelaksanaan dengan penunjang (*shored construction*)

Dalam metode ini dapat mengurangi tegangan beban daya layan, dengan menumpukkan balok-balok baja pada perancah (*shoring*), sehingga berat balok, bekisting, dan beton basah dipikul oleh perancah. Setelah beton

mengeras dan perancah dilepas, penampang akan berperilaku secara komposit dalam mendukung beban.

- Metode pelaksanaan tanpa penunjang (*unshored construction*)

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

#### e. Momen plastis

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

- Menghitung kekuatan elemen pada jembatan untuk menentukan letak sumbu netral plastis.
- Menentukan lokasi sumbu netral plastis dalam elemen.
- Menghitung nilai momen plastis ( $M_p$ ) untuk berbagai lokasi potensial sumbu netral plastis yang disajikan pada pada Pers. 2.8 dan 2.9 berikut.

$$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2}\right) \left[ \frac{P_w + P_t - P_s}{P_c} + 1 \right] \quad (2.8)$$

$$M_p = \left(\frac{P_c}{2}\right) [\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2] + [P_s d_s + P_w d_w + P_t d_t] \quad (2.9)$$

#### f. Momen leleh

Momen leleh adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mencapai kuat leleh yaitu diambil sama dengan kuat leleh dikalikan dengan modulus penampang. Momen leleh diperoleh dari Pers. 2.10 sebagai berikut:

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD} \quad (2.10)$$

Dengan:

$F_y$  = kuat leleh baja (MPa)

$M_y$  = momen leleh (kN.m)

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

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

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

$S_{NC}$  = modulus penampang gelagar ( $m^3$ )

$S_{LT}$  = modulus penampang komposit untuk beban jangka panjang ( $m^3$ )

$S_{ST}$  = modulus penampang komposit untuk beban jangka pendek ( $m^3$ )

g. Kondisi batas *Ultimate box girder* baja

Pemeriksaan struktur gelagar seperti pelat sayap atas, pelat badan dan pelat sayap bawah perlu diperiksa dalam kondisi batas *Ultimate* untuk menghindari kegagalan masing-masing komponen tersebut dalam menahan gaya *Ultimate* yang terjadi. Pemeriksaan tersebut dilakukan dengan mencari tegangan total yang terjadi pada struktur gelagar.

Menurut pedoman AASHTO LRFD 2012, untuk mencari tegangan total pada masing-masing struktur gelagar ditentukan dengan Pers. 2.11a, 2.11b, 2.11c dan Pers. 2.12a, 2.12b, 2.12c sebagai berikut:

1. Pelat sayap atas

$$f = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{D3}}{S_{ST}} \quad (2.11a)$$

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

$$f_{bu} = f + (f_{bu})_{CLL} \quad (2.11c)$$

2. Pelat sayap bawah

$$f = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{D3}}{S_{ST}} \quad (2.12a)$$

$$(f_{bu})_{CLL} = \frac{\gamma M_{CCL}}{S_{ST}} \quad (2.12b)$$

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

Dengan:

$f_{bu}$  = tegangan total (MPa)

$f$  = tegangan lentur (MPa)

$(f_{bu})_{CLL}$  = tegangan akibat beban konstruksi (MPa)

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

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

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

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



- $S_{NC}$  = modulus penampang gelagar baja ( $m^3$ )  
 $S_{LT}$  = modulus penampang komposit untuk beban jangka panjang ( $m^3$ )  
 $S_{ST}$  = modulus penampang komposit untuk beban jangka pendek ( $m^3$ )  
 $\gamma$  = faktor beban

h. Lentur lateral pelat sayap atas

Untuk perhitungan tegangan lentur lateral pada pelat sayap atas dilakukan dengan cara merubah gaya geser vertikal menjadi gaya lateral pada pelat sayap atas dengan menggunakan Pers. 2.13, 2.14, 2.15, 2.16 dan 2.17 sebagai berikut:

Gaya geser vertikal:

$$\Delta V_u = \frac{V_u}{\frac{1}{2}L} \quad (2.13)$$

Gaya geser horizontal setiap pelat badan:

$$\Delta V_H = \frac{1}{2} \Delta V_u \tan(\theta_{web}) \quad (2.14)$$

Momen lentur lateral:

$$M_{LAT} = \frac{\Delta V_H s^2}{12} \quad (2.15)$$

Modulus penampang pelat sayap atas:

$$S_f = \frac{t_f b_f^2}{6} \quad (2.16)$$

Tegangan lentur lateral:

$$f_{LAT} = \frac{M_{LAT}}{S_f} \quad (2.17)$$

Dengan:

- $\Delta V_v$  = gaya geser vertikal (kN/m)  
 $V_v$  = gaya geser *ultimate* (kN)  
 $L$  = panjang bentang (m)  
 $\Delta V_H$  = gaya geser horizontal (kN/m)  
 $M_{LAT}$  = momen lentur lateral (kN/m)  
 $s$  = jarak pengikat (m)

- $S_f$  = modulus penampang pelat sayap atas ( $m^3$ )
- $t_{ff}$  = tebal pelat sayap atas (m)
- $b_{ff}$  = lebar pelat sayap atas (m)
- $f_{LAT}$  = tegangan lentur lateral (MPa)

i. Faktor implifikasi lentur lateral pelat sayap atas

Untuk menentukan faktor amplifikasi lentur lateral pelat sayap atas dijelaskan sebagai berikut. Tinggi elastis pelat badan diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.18 sebagai berikut:

$$D_c = (Y_t - Y_f) \sqrt{\frac{s^2 + I}{s^2}} \quad (2.18)$$

Jari-jari girasi tekuk torsi lateral diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.19 sebagai berikut:

$$r_t = \frac{b_{ff}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{I}{3} \frac{D_c t_w}{b_{ff} t_f}\right)}} \quad (2.19)$$

Batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.20 sebagai berikut:

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.20)$$

Tegangan tekuk torsi lateral elastis pelat sayap atas ditentukan dengan Pers. 2.21 sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \quad (2.21)$$

Faktor amplifikasi ditentukan dengan Pers. 2.22 sebagai berikut:

$$AF = \frac{0,85}{\left(1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}\right)} \geq 1,0 \quad (2.22)$$

Dengan:

- $D_c$  = tinggi elastis pelat badan (m)
- $Y_t$  = tinggi dari penampang atas ke sumbu netral (m)
- $t_f$  = tebal pelat sayap atas (m)

$S$  = kemiringan pelat badan  
 $r_t$  = jari-jari girasi (m)  
 $b_{tf}$  = lebar pelat sayap atas (m)  
 $t_w$  = tebal pelat badan (m)  
 $L_{lp}$  = batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral (m)  
 $L_b$  = panjang antar pengikat lateral (m)  
 $E$  = modulus elastisitas baja (MPa)  
 $F_y$  = tegangan leleh baja (MPa)  
 $C_b$  = faktor momen gradient  
 $R_b$  = faktor beban pelat badan  
 $f_{bu}$  = tegangan total (MPa)  
 $F_{cr}$  = tegangan tekuk torsi lateral elastis (MPa)  
 $AF$  = faktor amplifikasi

Menurut *Steel Bridge Design Handbook* (2012), Tegangan lentur lateral total pada pelat sayap atas dengan nilai faktor amplifikasi sesuai dengan Pers. 2.22 dijelaskan menurut Pers. 2.23 sebagai berikut:

$$f_{lat} = AF (f_{LAT} + f_t) \quad (2.23)$$

Dengan:

$f_{lat}$  = tegangan lentur lateral total (MPa)  
 $AF$  = faktor amplifikasi  
 $f_{LAT}$  = tegangan lentur lateral (MPa)  
 $f_t$  = tegangan lentur lateral akibat beban kantilever (MPa)

j. Pelat sayap atas dalam menerima lentur

Pelat sayap dalam menahan lentur harus memenuhi persyaratan yang dijelaskan dalam Pers. 2.24 sebagai berikut:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.24)$$

Dengan:

$D_c$  = tinggi elastis pelat badan (m)  
 $t_w$  = tebal pelat badan (m)  
 $E_s$  = modulus elastisitas baja (MPa)  
 $f_y$  = tegangan leleh baja (MPa)

### 1. Ketahanan tekuk lokal sayap atas

Tekuk lokal atau *local buckling* dapat terjadi jika perbandingan lebar dengan ketebalan dari elemen yang mengalami tekan terlalu besar, sehingga diperlukan adanya pembatasan rasio antara lebar dengan ketebalan dari elemen yang mengalami tekan tersebut. Perbandingan antara lebar dengan ketebalan pada sayap atas dinyatakan dengan ( $\lambda_f$ ), yang merupakan perbandingan antara lebar sayap atas dengan tebal sayap atas yang mengalami tekan. Untuk menentukan besarnya nilai ( $\lambda_f$ ) digunakan Pers. 2.25 sebagai berikut:

$$\lambda_f = \frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \quad (2.25)$$

Rasio kelangsingan sayap kompak ditentukan dengan Pers. 2.26 sebagai berikut:

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.26)$$

Rasio kelangsingan sayap tidak kompak ditentukan dengan Pers. 2.27 sebagai berikut:

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.27)$$

Dengan:

- $\lambda_f$  = rasio kelangsingan pelat sayap atas
- $\lambda_{pf}$  = rasio kelangsingan sayap kompak
- $\lambda_{rf}$  = rasio kelangsingan sayap tidak kompak
- $E$  = modulus elastisitas baja (MPa)
- $F_y$  = tegangan leleh baja (MPa)
- $b_{tf}$  = lebar pelat sayap atas (m)
- $t_{tf}$  = tebal pelat sayap atas (m)

### 2. Tekuk torsi lateral sayap atas

Pada struktur yang menerima lentur, tekuk global dapat terjadi apabila tidak ada dukungan lateral sehingga struktur akan terpelintir ketika sayap bagian tekan (sayap atas) bergerak secara lateral. Perilaku ini didefinisikan

sebagai tekuk torsi lateral atau *lateral torsional buckling*. Persyaratan gelagar dalam menerima lentur harus juga memperhatikan tekuk torsi lateral yang ditentukan dengan Pers. 2.28 dan 2.29 sebagai berikut:

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (2.28)$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (2.29)$$

Dengan:

- $L_p$  = batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral (m)
- $L_r$  = batas panjang minimal tanpa pengikat lateral (m)
- $r_t$  = jari-jari girasi (m)
- $F_y$  = tegangan leleh baja (MPa)
- $F_{yr}$  = tegangan tekan pelat sayap (MPa)
- $E$  = modulus elastisitas baja (MPa)

### 3. Ketahanan tekuk pada pelat badan

Selain pada bagian pelat sayap, nilai kelangsingan juga harus ditinjau pada pelat badan karena akibat lentur pelat badan akan mengalami tekan. Untuk menentukan besarnya nilai tegangan yang terjadi akibat tekuk pada bagian pelat badan, digunakan Pers. 2.30 dan 2.31 sebagai berikut:

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2} \quad (2.30)$$

$$F_{crw} = \frac{0,9 E k}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \quad (2.31)$$

Dengan:

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

#### 4. Konstruksi pelat sayap atas

Konstruksi pelat sayap atas harus memenuhi persyaratan dengan Pers. 2.32a, 2.32b, 2.32c sebagai berikut:

- a. Tegangan tekuk lokal

$$f_{bu} + f_{lat} \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (2.32a)$$

- b. Tahanan tekuk torsi lateral

$$f_{bu} + \frac{I}{3} f_{lat} \leq \phi_f F_{nc} \quad (2.32b)$$

- c. Tegangan tekuk lentur pada pelat badan

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (2.32c)$$

Dengan:

$f_{bu}$  = tegangan total sayap atas (MPa)

$f_l$  = tegangan lentur lateral akibat beban kantilever (MPa)

$\phi_f$  = faktor reduksi kekuatan lentur

$R_h$  = faktor *hybrid*

$F_{yc}$  = tegangan leleh baja (MPa)

$F_{nc}$  = tahanan lentur nominal daerah tekan (MPa)

$F_{crw}$  = tegangan tekuk pada pelat badan (MPa)

#### 5. Konstruksi pelat sayap bawah

Konstruksi pelat sayap bawah harus memenuhi persyaratan tegangan leleh nominal pelat daerah tarik sesuai dengan Pers. 2.33 sebagai berikut.

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_y \Delta \quad (2.33)$$

Dengan:

$f_{bu}$  = tegangan total sayap bawah (MPa)

$\phi_f$  = faktor reduksi kekuatan lentur

$R_h$  = faktor *hybrid*

$F_y$  = tegangan leleh baja (MPa)

$\Delta$  = faktor *St. Venant* (1)

$f_v$  = tegangan geser  $d$

k. Kapasitas momen gelagar

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

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

- a. Menentukan persyaratan kelangsingan pelat badan ditentukan dengan Pers.

2.34 sebagai berikut:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.34)$$

Dengan:

$D_{cp}$  = tinggi garis netral plastis (m)

$t_w$  = tebal pelat badan (m)

$f_y$  = tegangan leleh baja (MPa)

$E$  = modulus elastisitas baja (MPa)

- b. Menentukan momen lentur nominal ditentukan dengan Pers. 2.35a dan 2.35b sebagai berikut:

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

$$M_n = M_p \quad (2.35a)$$

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

$$M_n = M_p \left( 1,07 - 0,7 \frac{D_p}{D_t} \right) \quad (2.35b)$$

Dengan:

$D_t$  = tinggi bagian komposit

$D_p$  = jarak dari bagian atas slab beton ke garis netral

$M_p$  = momen plastis

$M_n$  = momen lentur

Kemudian kita membandingkan antara nilai Momen *ultimate* dan Momen nominal yang dihasilkan dengan Pers. 2.36 berikut ini:

$$M_u \leq \phi_f M_n \quad (2.36)$$

Dengan:

$M_u$  = momen *ultimate*

$M_n$  = momen nominal

$\phi_f$  = faktor reduksi kekuatan lentur

### 1. Gaya geser (*shear*)

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

Kekuatan pelat badan dalam menahan gaya geser ditentukan oleh keadaan leleh pelat badan dan tekuk lokal pada pelat badan. Tekuk pada pelat badan (*web*) harus memenuhi persyaratan seperti Pers. 2.37 berikut:

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (2.37)$$

Dengan:

$V_u$  = gaya geser *Ultimate*

$V_n$  = gaya geser nominal

$\phi_v$  = faktor resistansi untuk gaya geser

Dalam menentukan gaya geser nominal yang terjadi pada pelat badan dihitung menggunakan Pers. 2.38a dan 2.38b berikut ini :

$$V_n = V_{cr} = V_p \quad (2.38a)$$

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (2.38b)$$

Dengan:

$C$  = rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi

$V_p$  = gaya geser plastis

$V_{cr}$  = gaya geser resistensi



Nilai C terdiri dari 3 kondisi yaitu :

- Jika

$$\frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}} \text{ maka} \quad (2.39a)$$

$$C = 1,00$$

- Jika

$$1,12 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}} \text{ maka} \quad (2.39b)$$

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

- Jika

$$\frac{D}{t_w} \geq 1,4 \sqrt{\frac{E_k}{F_{yw}}} \text{ maka} \quad (2.39c)$$

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

Dengan:

k = koefisien geser tekuk

$$5 + \frac{5}{\left(\frac{d_o}{D}\right)^2} \quad (2.40)$$

Dalam persyaratan *box girder* menerima gaya geser juga harus diperhatikan gaya geser yang terjadi pada panel *interior* dan ujung panel pada pelat badan (*web*). Untuk menghitung gaya geser yang terjadi pada panel *interior* dan ujung panel digunakan Pers. 2.41a, 2.41b, dan 2.41c berikut :

- Untuk panel *interior web*

$$V_n = V_p \left[ C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \quad (2.41a)$$

Dengan:

$d_o$  = jarak pengaku melintang

C = rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi

$V_p$  = gaya geser plastis

$V_n$  = gaya geser nominal

- Untuk ujung panel *web*

$$V_n = V_{cr} = CV_p \quad (2.41b)$$

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (2.41c)$$

Dengan:

$C$  = rasio gaya geser yang terdiri dari 3 kondisi

$V_p$  = gaya geser plastis

$V_{cr}$  = gaya geser resistensi

## 2.4. Pembebanan Jembatan Jalan Raya

Pedoman pembebanan untuk jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk menghitung tegangan-regangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Penggunaan pedoman ini dimaksudkan untuk mencapai perencanaan ekonomis sesuai kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan, dan syarat teknis lainnya sehingga proses perencanaan menjadi efektif.

Dalam penelitian ini digunakan aturan atau pedoman yang berlaku di Indonesia untuk perancangan jembatan yaitu SNI 1625-2016 dan juga sebagian diambil dari pedoman yang berasal dari Amerika untuk perencanaan jembatan yaitu AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012. Kedua aturan standar dalam perancangan jembatan yang digunakan untuk menentukan spesifikasi dalam desain, evaluasi, dan rehabilitasi untuk jembatan jalan raya yang memperhatikan *safety, serviceability, constructability, economy, bridge aesthetics*.

### 2.4.1. Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi ( $g$ ). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah  $9,81 \text{ m/detik}^2$ . Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Berat isi untuk beban mati (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis. Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan *non*-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencana jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen-komponen tersebut (Nasional, 2016).

#### 1) Berat sendiri (MS)

Menurut SNI 1725-2016, berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen *non*-struktural yang dianggap tetap. Beba mati komponen struktural dan *non*-struktural dibagi menjadi 2 yaitu beban mati yang bekerja

sebelum komposit dan beban mati yang bekerja setelah komposit. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Faktor beban untuk berat sendiri (Indonesia dan Nasional, 2016).

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^s$ )		Keadaan Batas <i>Ultimate</i> ( $\gamma_{MS}^u$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Beban mati sebelum komposit terdiri dari beban sendiri baja struktural dan beban baja pendukung yang ditentukan sebesar 10 % dari beban sendiri baja struktural. Untuk menentukan beban baja struktural digunakan Pers. 2.42a di bawah ini.

$$w_s = 2 A_{sec} \gamma_s \quad (2.42a)$$

Dengan:

$w_s$  = beban baja struktural (kN/m)

$A_{sec}$  = luas gelagar baja (m<sup>2</sup>)

$\gamma_s$  = berat satuan baja struktural (kN/m<sup>3</sup>)

Untuk menentukan beban baja pendukung digunakan Pers. 2.42b sebagai berikut.

$$w_{sd} = 10\% w_s \quad (2.42b)$$

Dengan:

$w_{sd}$  = beban baja pendukung (kN/m)

Beban mati setelah komposit terdiri dari berat beton pelat atas dan beban *barrier* atau tiang sandaran. Untuk menentukan beban beton slab digunakan Pers. 2.43c sebagai berikut.

$$w_{ts} = t_{ts} b_{ts} \gamma_{rc} \quad (2.43c)$$

Dengan:

$w_{ts}$  = beban beton pelat atas (kN/m)

$t_{ts}$  = tebal pelat (m)

$b_{ts}$  = lebar pelat (m)

$\gamma_{rc}$  = berat satuan beton bertulang (kN/m<sup>3</sup>)

Untuk menentukan besarnya nilai *barrier* dihitung berdasarkan desain dimensi yang telah ditentukan.

## 2) Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen *non-structural* dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.3. boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.3: Faktor beban untuk beban mati tambahan (Indonesia dan Nasional, 2016).

Tipe beban	Faktor beban			
	Keadaan batas layan ( $\gamma^u$ ms)		Keadaan batas <i>ultimate</i> ( $\gamma^u$ ms)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

### 1. Ketebalan yang diizinkan untuk pelapisan kembali permukaan

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

### 2. Sarana lain di jembatan

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

3) Beban akibat tekanan tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari  $\gamma_s$ ,  $c$  dan  $\phi_f$ .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari  $\gamma_s$  dan nilai rencana dari  $c$  serta  $\phi_f$ . Nilai-nilai rencana  $c$  serta  $\phi_f$  diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Faktor beban akibat tekanan tanah (Indonesia dan Nasional, 2016).

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{TA}^S$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Kondisi Batas <i>Ultimate</i> ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	<sup>(1)</sup>	

Catatan<sup>(1)</sup> : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas *Ultimate*.

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang

telah ditentukan dalam menghitung tekanan tanah arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu diperhitungkan. Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam umumnya tidak diperhitungkan pada keadaan batas kekuatan. Apabila keadaan demikian timbul, maka faktor beban untuk keadaan batas kekuatan yang digunakan untuk menghitung nilai rencana dari tekanan tanah dalam keadaan diam harus sama seperti untuk tekanan tanah dalam keadaan aktif. Faktor beban pada keadaan batas daya layan untuk tekanan tanah dalam keadaan diam adalah 1,0 tetapi harus hati-hati dalam pemilihan nilai nominal yang memadai pada waktu menghitung tekanan tanah.

#### 4) Pengaruh tetap pelaksanaan

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-penengangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasi 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 *Ultimate* menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.5.

Tabel 2.5: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan (Indonesia dan Nasional, 2016).

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{PL}$ )		
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{PL}^S$ )	Keadaan Batas <i>Ultimate</i> ( $\gamma_{PL}^U$ )	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

#### 2.4.2. Beban lalu lintas

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

kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

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

a. Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebih bersih jembatan ( $w$ ) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.6. lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.6: Jumlah lajur lalu lintas rencana (Indonesia dan Nasional, 2016).

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana ( $n$ )
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6



Tabel 2.6: *Lanjutan.*

Catatan (1) : untuk jembatan tipe lain jumlah lajur lalu lintas rencana harus di tentukan oleh instansi yang berwenang.  
 Catatan (2) : lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.

Berdasarkan Tabel 2.6, bila lebar bersih jembatan berkisar antara 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

b. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.3. Adapun faktor yang digunakan untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7: Faktor beban untuk beban lajur “D” (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

➤ intensitas beban “D”

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  Kpa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang di bebani  $L$  yaitu pada Pers. 2.44a dan Pers. 2.44b berikut ini.

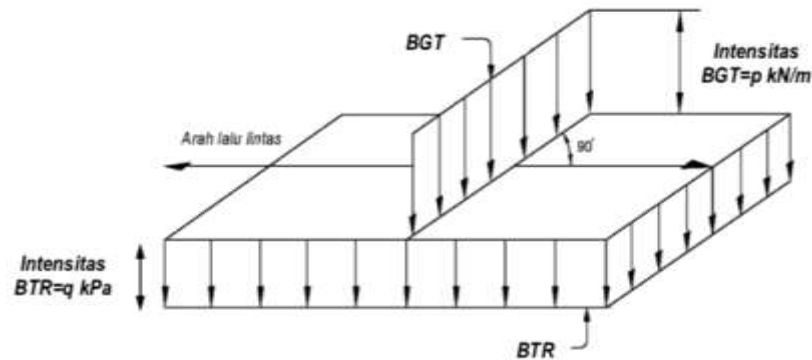
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2.44a)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (2.44b)$$

Keterangan :

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

$L$  = adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

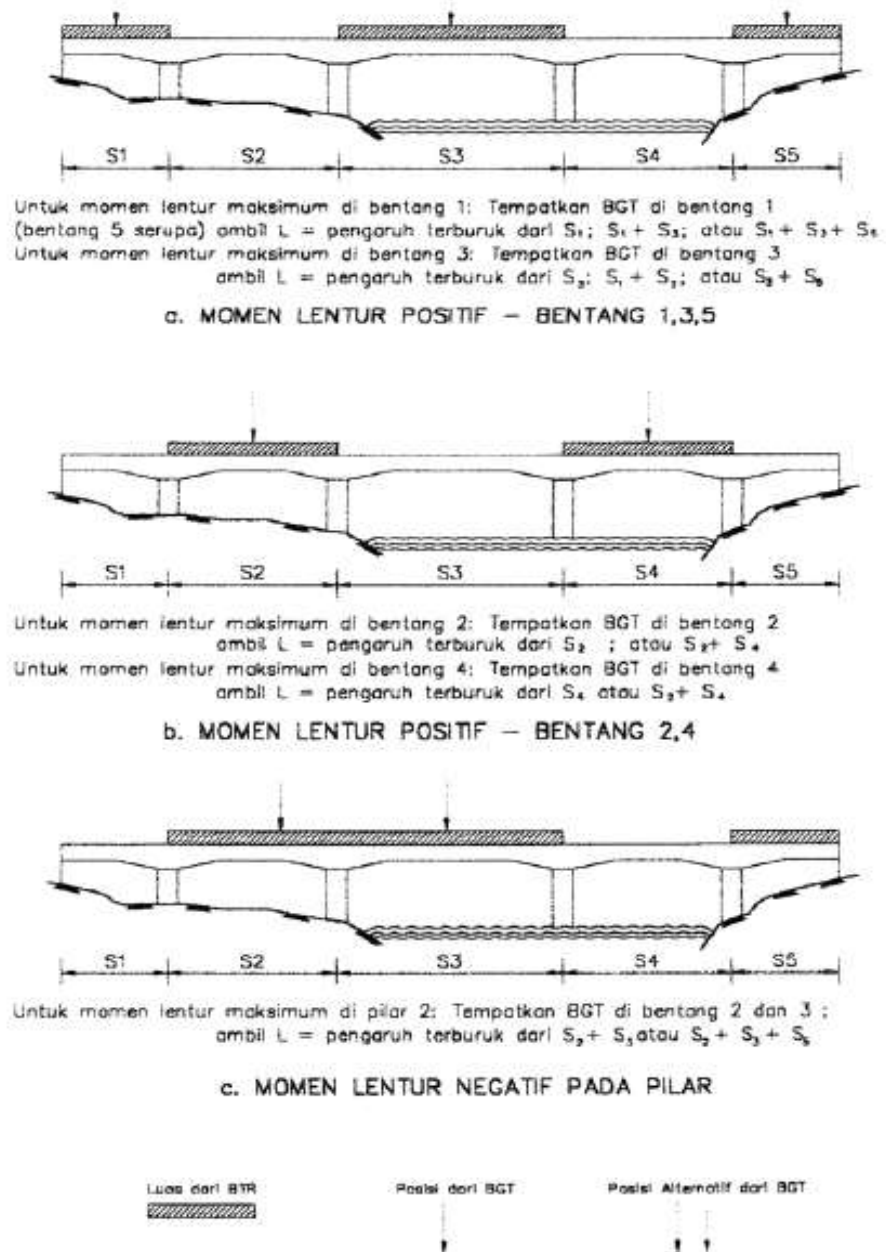


Gambar 2.3: Beban lajur “D” (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

➤ Distribusi beban “D”

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.3. kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Alternatif penempatan beban “D” dalam arah memanjang (Indonesia dan Nasional, 2016).

➤ Respons terhadap beban lajur “D”

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

c. Beban truk “T” (TT)

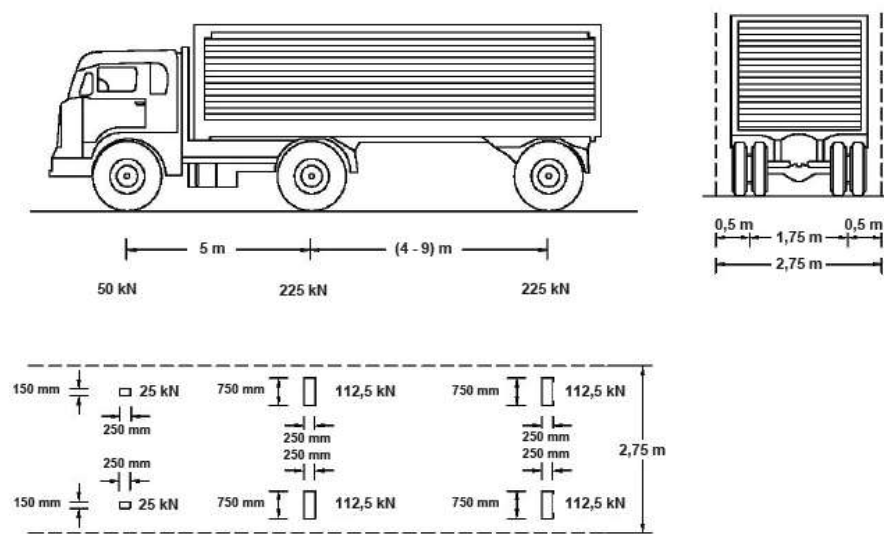
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Faktor beban untuk beban “T” (Indonesia & Nasional, 2016).

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma^S_\pi$ )	Keadaan Batas <i>Ultimate</i> ( $\gamma^V_\pi$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

➤ Besarnya pembebanan truk “T”

Pembebanan truk ”T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada Gambar 2.5. berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antar roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2.5: Pembebanan truk “T” (500kN) (Indonesia dan Nasional, 2016).

- Posisi dan penyebaran pembebanan truk “T” dalam arah melintang  
Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lalu lintas rencana seperti terlihat pada Gambar 2.5. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat pada Tabel 2.8, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.
  
- Kondisi faktor kepadatan lajur  
Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fatik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencana menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika perencana menggunakan *liver rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi. Kecuali ditentukan lain pada pasal ini, pengaruh beban hidup harus ditentukan dengan mempertimbangkan setiap kemungkinan kombinasi jumlah jalur yang terisi dikalikan dengan faktor kepadatan lajur yang sesuai untuk memperhitungkan kemungkinan terisinya jalur rencana oleh beban hidup. Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai yang dapat digunakan terlihat pada Tabel 2.9 (Indonesia dan Nasional, 2016).
  - Dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi.
  - Boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih lajur terisi.

Tabel 2.9: Faktor kepadatan lajur (Indonesia & Nasional, 2016).

Jumlah lajur yang dibebani	Faktor kepadatan lajur
1	1,2
$\geq 2$	1

Faktor-faktor yang ditentukan pada Tabel 2.9 tidak boleh digunakan untuk menentukan faktor distribusi beban kendaraan. Dalam hal ini perencana harus menggunakan *lever rule* untuk menentukan beban yang bekerja pada balok eksterior.

➤ Bidang kontak roda kendaraan

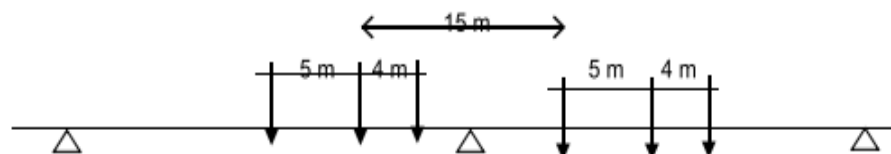
Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi Panjang dengan Panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak (Indonesia dan Nasional, 2016).

➤ Penerapan beban hidup kendaraan

Pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari:

- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- Pengaruh beban terdistribusi “D” dan beban garis KEL dikalikan FBD.

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m terlihat pada Gambar 2.6, dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



Gambar 2.6: Penempatan beban truk untuk kondisi momen negatif maksimum (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

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

➤ **Beban hidup untuk evaluasi lendutan**

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

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

### **2.4.3. Klasifikasi Pembebanan Lalu Lintas**

a. **Pembebanan lalu lintas yang dikurangi**

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

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

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

#### 2.4.4. Faktor Beban Dinamis

Beban statik truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 2.7. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk:

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

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

Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari Pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas *Ultimate*. BTR dari pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan “D”: FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.7. untuk bentang tunggal Panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan Panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  dengan formulasi Pers. 2.45.

$$L_E = \sqrt{L_{max}L_{av}} \quad (2.45)$$

Keterangan:

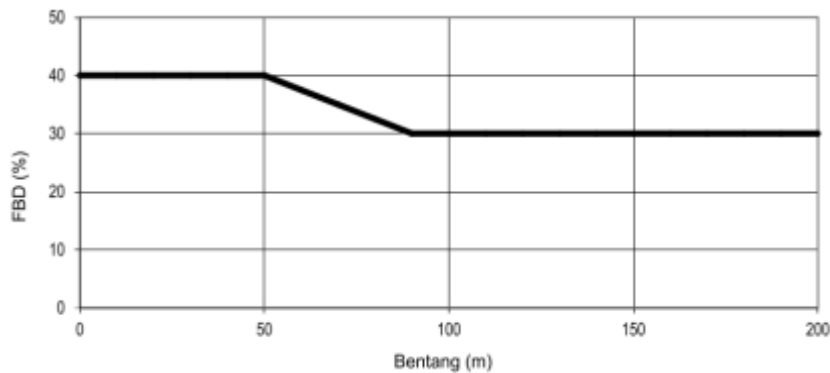
$L_{av}$  = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambung secara menerus

$L_{max}$  = panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis



permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bias diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2.7: Faktor beban dinamis untuk beban T pada pembebanan lajur “D” (Indonesia dan Nasional, 2016).

#### 2.4.5. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

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

#### 2.4.6. Gaya Sentrifugal

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari

berat gandar truk rencana dengan faktor C dengan formulasi Pers. 2.46.

$$C = f \frac{V^2}{gR_1} \quad (2.46)$$

Keterangan:

V = kecepatan rencana jalan raya (m/detik)

F = faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik.

g = percepatan gravitasi 9.8 (m/detik<sup>2</sup>)

R<sub>1</sub> = jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

Kecepatan rencana jalan raya harus diambil tidak kurang dari nilai yang ditentukan dalam perencanaan geometrik jalan Bina Marga. Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm di atas permukaan jalan. Dalam hal ini, perencanaan harus menyediakan mekanisme untuk meneruskan gaya sentrifugal dari permukaan jembatan menuju struktur bawah jembatan. Pengaruh superelevasi yang mengurangi momen guling akibat gaya sentrifugal akibat beban roda dapat dipertimbangkan dalam perencanaan.

#### **2.4.7. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki**

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

#### **2.4.8. Beban Lingkungan**

Beban lingkungan termasuk pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Yang termasuk dalam beban lingkungan antara lain:

### 2.4.8.1. Beban Angin

a. Tekanan angin horizontal

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

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$  harus dihitung dengan Pers. 2.47 sebagai berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \frac{V_{10}}{V_B} \ln \frac{Z}{Z_o} \quad (2.47)$$

Keterangan:

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

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

$V_B$  : kecepatan angin rencana 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan.

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

$V_o$  : kecepatan gesekan angin yang merupakan karakteristik meteorology, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.10, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_o$  : Panjang gesekan di hulu jembatan yang merupakan karakteristik meteorologi yang ditentukan pada Tabel 2.10 (mm)

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
- Survei angin pada lokasi jembatan.

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

Tabel 2.10: Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

b. Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam SNI 1725-2016. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin dasar dapat dilihat pada Tabel 2.11. Tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan Pers. 2.48:

$$P_D = P_B \left( \frac{VDZ}{V_B} \right)^2 \quad (2.48)$$

Keterangan:

$P_B$  : tekanan angin dasar

Tabel 2.11: Tekanan angin dasar (Indonesia & Nasional, 2016).

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

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

c. Beban dari struktur atas

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar  $P_B$  untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.12 dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus menghasilkan pengaruh yang pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 2.12: Tekanan angin dasar ( $P_B$ ) untuk berbagai sudut serang (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

d. Gaya angin yang langsung bekerja pada struktur bawah

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

e. Gaya angin pada kendaraan ( $EW_1$ )

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, makam komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.13. Dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.13: Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan (Indonesia dan Nasional, 2016)

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

f. Tekanan angin vertikal

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

#### 2.4.8.2. Beban Gempa

Berdasarkan peraturan SNI-2833-2016 Perancangan Gempa Terhadap Beban Jembatan, jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ) dengan formulasi Pers. 2.49 sebagai berikut.

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (2.49)$$

Keterangan:

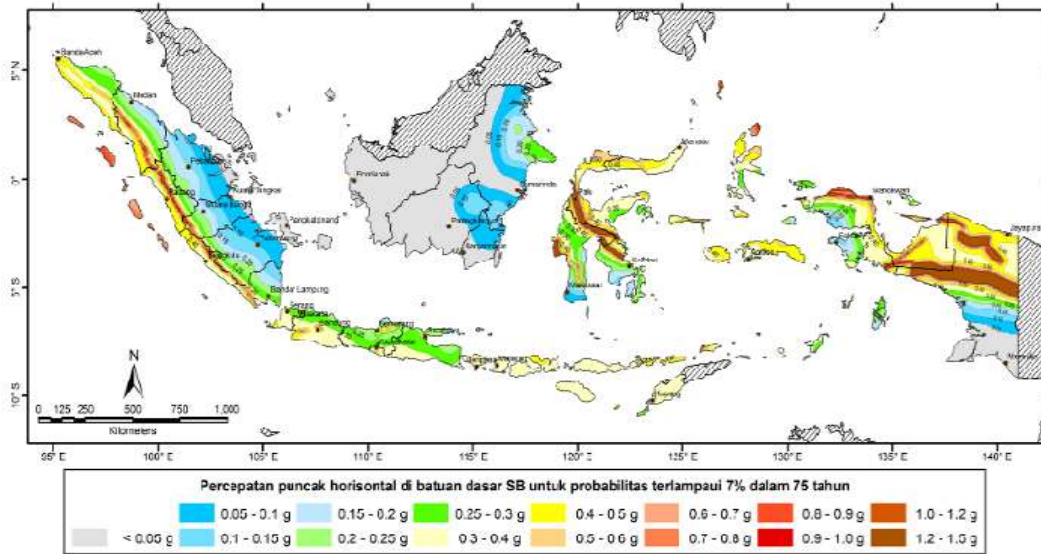
EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN).

$C_{sm}$  = Koefisien respons gempa elastik.

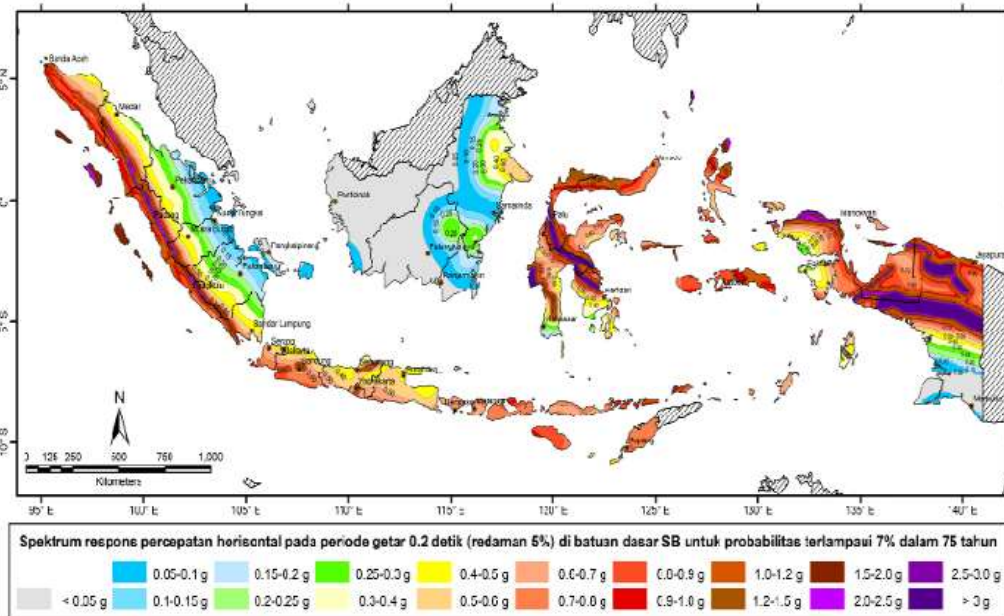
$R_d$  = Faktor modifikasi respons.

$W_t$  = 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 yang terlihat pada Gambar 2.8 , Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi dengan kondisi tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional.

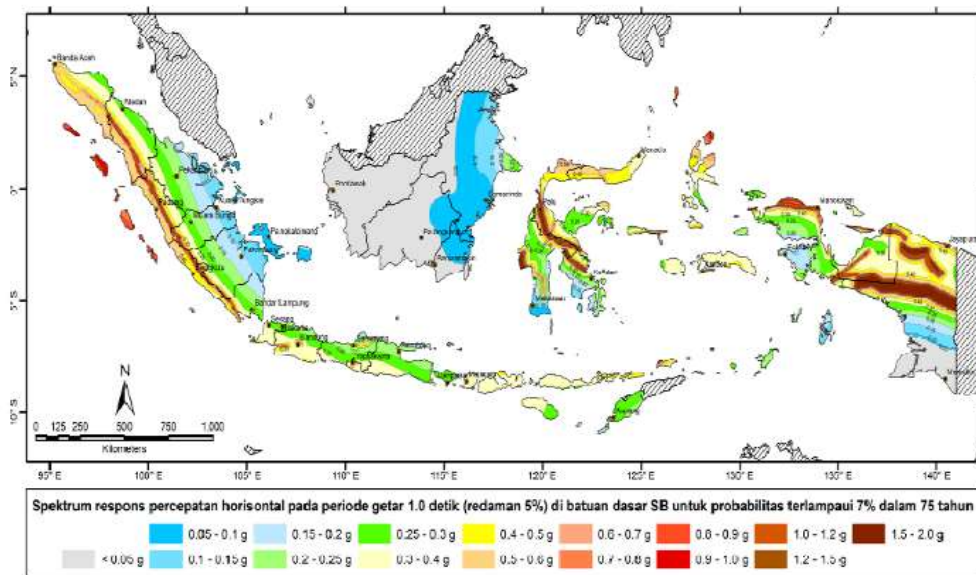


Gambar 2.8: Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.9: Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).





Gambar 2.10: Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).

Koefisien respons elastik  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan pada peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30m dibawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan *non*-konvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan. Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan kondisi tanah (misalnya: likuifaksi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan (SNI 2833, 2016).

### 1. Bahaya gempa

Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakterisasi dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai. Respon spektra percepatan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum atau

berdasarkan prosedur spesifik-situs. Prosedur spesifik-situs dilakukan jika terdapat kondisi sebagai berikut:

- Jembatan berada dalam jarak 10 km dari patahan aktif.
- Situs termasuk dalam kategori situs kelas F sesuai Tabel 2.14.

a. Prosedur umum

Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) dan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili *level hazard* (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Penjelasan peta gempa (SNI 2833, 2016).

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

b. Prosedur spesifik situs

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

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

- Hubungan panjang runtuh patahan untuk tiap patahan yang berkontribusi.

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

c. Faktor situs

Untuk penentuan respons spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ( $T = 0,2$  detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar ( $F_{PGA}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Nilai  $F_{PGA}$ ,  $F_a$  dan  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.15. dan 2.16.

Tabel 2.15: Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ ) (SNI 2833:2016).

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

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

Keterangan:

PGA: Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.8)

$S_s$  : Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ( $T=0.2$  detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 (Gambar 2.9)

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

Tabel 2.16: Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) (SNI 2833, 2016).

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

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

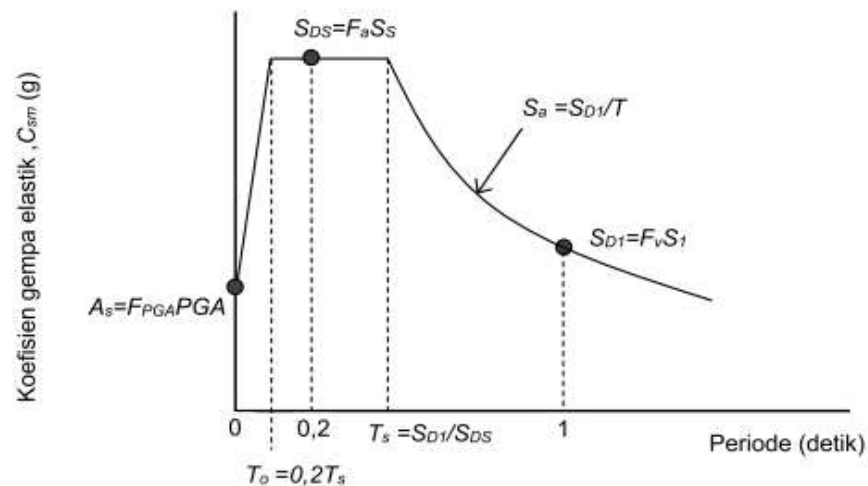
Keterangan:

$S_1$  : Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.10).

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

#### 1. Respons spektrum rencana

Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Bentuk tipikal respons spektra dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11: Bentuk tipikal respons spektra di permukaan tanah (SNI 2833:2016).

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 ( $PGA$ ,  $S_S$  dan  $S_I$ ), serta nilai faktor amplifikasi  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$ . Perumusan respons spektra dapat dilihat pada Pers. 2.50a sampai Pers. 2.50c sebagai berikut.

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (2.50a)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2.50b)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_I \quad (2.50c)$$

## 2. Koefisien respon gempa elastik

Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , koefisien respon gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari Persamaan 2.51 sebagai berikut.

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad (2.51)$$

Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_S$ , respons spektra percepatan,  $C_{sm}$  adalah sama dengan  $S_{DS}$ . Dan untuk periode lebih besar dari  $T_S$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari Persamaan 2.52a. sampai Persamaan 2.52c sebagai berikut.

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.52a)$$

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (2.52b)$$

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

Keterangan:

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

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

### 3. Kategori kerja seismik

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

Tabel 2.17: Zona gempa (SNI 2833:2013).

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

Catatan :  $S_{DI} = F_v \times S_I$

Keterangan:

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

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

$S_I$  adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.10).

### 4. Faktor modifikasi respon

Untuk penggunaan faktor modifikasi respons pada pasal ini maka *detailing* struktur harus sesuai dengan ketentuan pada Pasal 7 dan Pasal 7.5 SNI 2833:2016. Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ) sesuai dengan Tabel 2.18 dan Tabel 2.19. Sebagai alternatif penggunaan faktor  $R$  pada Tabel

2.19 untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke fondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan. Apabila digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respons ( $R$ ) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 2.18: Faktor modifikasi respons ( $R$ ) untuk bangunan bawah (SNI 2833:2016).

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

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

Tabel 2.19: Faktor modifikasi respons ( $R$ ) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833:2016).

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

#### 2.4.8.3. Temperatur Merata ( $E_{u_n}$ )

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal 9.3.1 dalam SNI 1625:2016. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang

menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.20. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan amksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.20 harus digunakan sebagai  $T_{mindesign}$  dan  $T_{maxdesign}$  pada Pers. 2.53 berikut ini.

$$\Delta T = \alpha L (T_{maxdesign} - T_{mindesign}) \quad (2.53)$$

Keterangan:

$L$  = panjang komponen jembatan (mm)

$\alpha$  = koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Tabel 2.20: Temperatur jembatan rata-rata nominal (Indonesia dan Nasional, 2016).

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
Catatan (1): temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut		

Tabel 2.21: Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperature (Indonesia dan Nasional, 2016).

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu ( $\alpha$ )	Modulus elastisitas (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	$4700\sqrt{f'_c}$

Pengaruh temperatur dibagi menjadi:

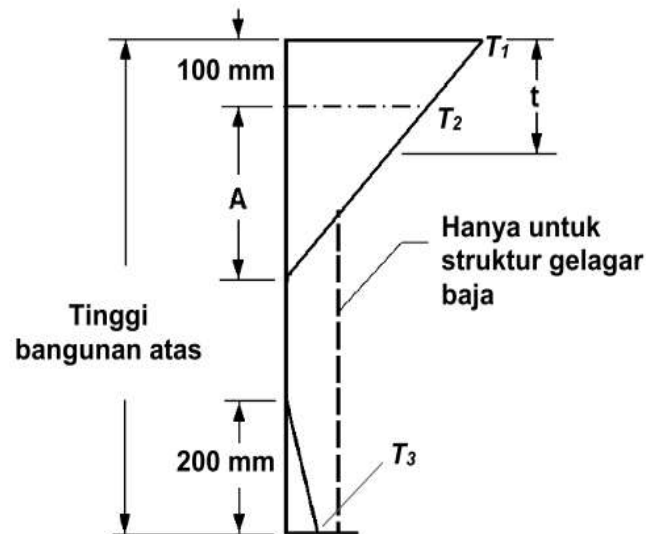


- 1) Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan pada temperatur dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut (EUn). Variasi temperatur rata-rata berbagai tipe bangunan jembatan diberikan dalam *Error! Reference source not found.* 18. Besarnya nilai koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk menghitung besarnya pergerakan dan gaya terjadi diberikan dalam Tabel 2.21. Perencanaan harus menentukan besarnya temperatur jembatan rata-rata yang diperlukan untuk memasang sambungan sinar muai, perletakan dan lain sebagainya, dan harus memastikan bahwa temperatur tersebut tercantum dalam gambar rencana.
- 2) Variasi temperatur (EG) di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk bangunan atas beton dan baja siberikan pada Gambar 2.12. Parameter yang digunakan mencakup  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$  dengan nilai sesuai pada Tabel 2.22. 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 actual
  - Untuk bangunan atas terbuat dari baja, nilai A diambil lebih besar 200 mm dan jarak t diambil sebagai ketebalan pelat lantai.

Tabel 2.22: Parameter  $T_1$  dan  $T_2$  (Indonesia dan Nasional, 2016).

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

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



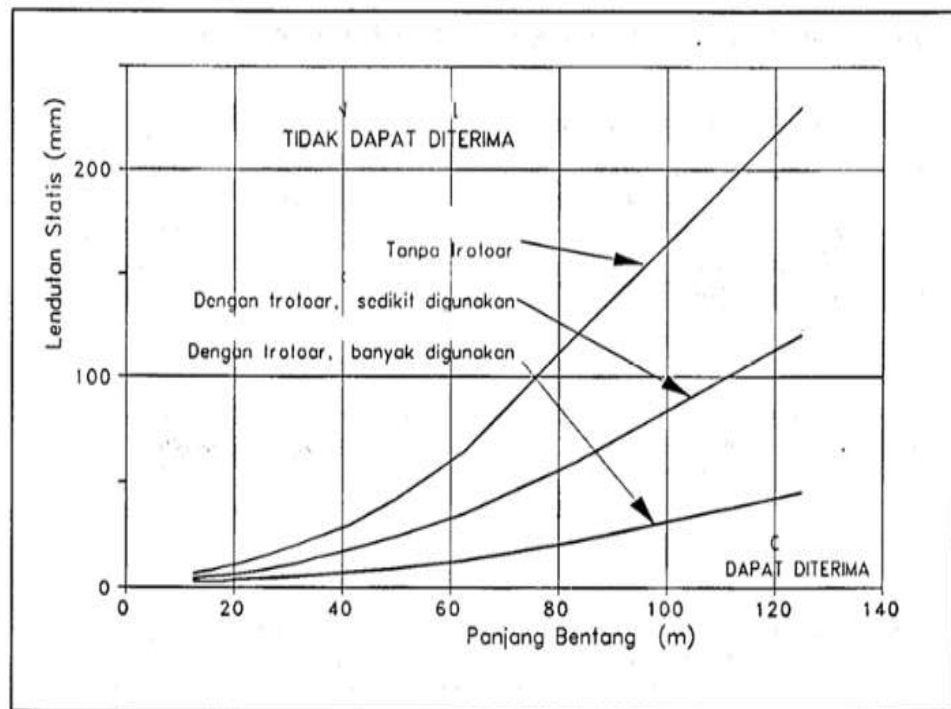
Gambar 2.12: Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja (Indonesia dan Nasional, 2016).

#### 2.4.9. Pengaruh Getaran

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

##### a. Jembatan standar tanpa trotoar

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D”, dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada jembatan. Lendutan ini tidak boleh melampaui apa yang terlihat pada Gambar 2.13 untuk mendapatkan tingkat kegunaan pada pejalan kaki. Walaupun pasal ini mengizinkan terjadinya lendutan statis yang relatif besar akibat beban hidup, perencana harus menjamin bahwa syarat-syarat untuk kelelahan bahan dipenuhi.



Gambar 2.13: Lendutan akibat getaran jembatan (SNI 1725-2016).

b. Jembatan standar dengan trotoar dan jembatan penyeberangan orang

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

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

#### 2.4.10. Faktor Beban Kombinasi Pembebanan

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan 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 sesuai Persamaan 2.2 atau 2

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

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan 2.1 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas berikut ini:

- Kuat I : kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
- Kuat II : kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- Kuat III : kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenal beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- Kuat IV : kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan hidup yang besar.
- Kuat V : kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- Esktrem I : kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\gamma_{EQ}$  yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

- Ekstrem II : kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- Layan I : kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang, dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- Layan II : kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- 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 kolo 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 untuk setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.23. perencana harus menyelidiki bagian parsial dari kombinasi pembebanan yang dapat terjadi harus diinvestigasi

dimana setiap beban yang diindikasikan untuk diperhitungkan dalam kombinasi pembebanan harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi ekstrem akibat beban yang bekerja. Untuk setiap kombinasi pembebanan harus diselidiki kondisi ekstrem maksimum dan minimum. Dalam kombinasi pembebanan dimana efek salah satu gaya mengurangi efek gaya yang lain, maka harus digunakan faktor beban berkurang untuk gaya yang mengurangi tersebut. Untuk beban permanen, harus dipilih faktor beban yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Jika pengaruh beban permanen adalah meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan, maka perencana harus memperhitungkan pengaruh faktor beban berkurang (minimum). Untuk jembatan boks girder baja yang memenuhi ketentuan pada Peraturan Perencanaan Jembatan Baja, faktor beban untuk beban kendaraan  $TT$  dan  $TD$  harus diambil sebesar 2,0.

Tabel 2.23: Kombinasi beban dan faktor beban (Indonesia dan Nasional, 2016).

Keadaan Batas	MS MA TA PR SL SH	TT TD TB TR TP	EU	$E_{ws}$	$E_{wl}$	BF	EU <sub>n</sub>	T G	E S	GUNAKAN SALAH SATU		
										E Q	T C	T V
Kuat I	$\gamma_P$	1,8	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_P$	1,4	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_P$	-	1,0	1,4	-	1,0	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_P$	-	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_P$	-	1,0	0,4	1,0	1,0	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_P$	$\gamma_{EQ}$	1,0	-	-	1,0	-	-	-	1,0	-	-
Ekstrem II	$\gamma_P$	0,5	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-	1,0	1,0

Tabel 2.23: Lanjutan.

Daya layan I	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya layan II	1,0	1,3	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,0	0,8	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
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

Perencana harus menyelidiki semua kombinasi pembebanan pada keadaan batas kekuatan yang diatur pada Tabel 2.20 yang dimodifikasi pada pasal ini. Faktor beban untuk berat sendiri struktur dan kelengkapannya *MS* dan *MA*, tidak boleh diambil kurang dari 1,25 pada waktu melakukan pemeriksaan keadaan batas kekuatan kombinasi I, III, dan V selama 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

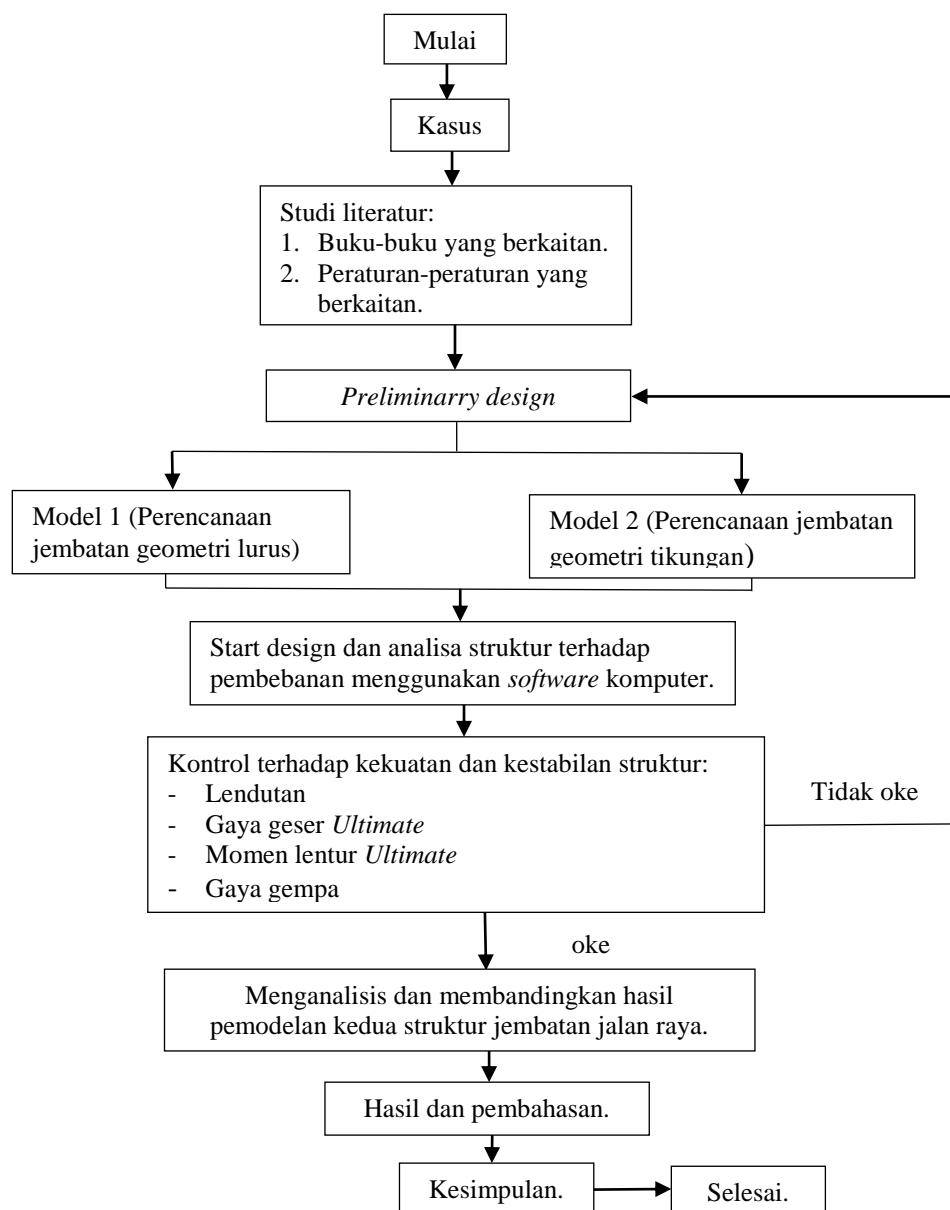
Jika di dalam kontak disebutkan bahwa harus dilakukan evaluasi lendutan selama masa pembangunan, maka harus digunakan keadaan batas daya layan kombinasi I untuk menghitung besarnya lendutan yang terjadi, kecuali ada ketentuan khusus yang merubah ketentuan ini. Beban mati akibat peralatan konstruksi harus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

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan struktur jembatan pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir perencanaan jembatan jalan raya.



### 3.2. Metode Analisis

#### a. Start analisis

Start analisis merupakan langkah awal dari analisis struktur jembatan komposit *box girder* baja. Dalam langkah awal ini kita akan merencanakan struktur jembatan *box girder* baja komposit beton dengan mempertimbangkan berbagai peraturan yang harus dilaksanakan dalam desain suatu struktur jembatan.

#### b. Analisis awal

Langkah selanjutnya setelah poin a, maka kita akan melanjutkan dengan analisis awal yaitu: pemilihan bahan struktur, tipe struktur jembatan, dimensi struktur dan pembebanan yang harus diterima struktur tersebut sesuai peraturan dan ketentuan yang berlaku.

#### c. Analisis komposit struktur

Analisis komposit struktur merupakan langkah selanjutnya dari perhitungan awal yang sudah dilakukan untuk menentukan tipe struktur komposit yang tepat dan aman dengan di bantu aplikasi analisis.

#### d. Hasil akhir analisis jembatan komposit

Langkah akhir dalam analisis ini adalah menyusun hasil analisis yang ada dalam bentuk tabel yang menunjukkan hasil akhir analisis.

### 3.3. Pemodelan Struktur

#### 3.3.1. Data Perencanaan Struktur Jembatan

Data struktur jembatan yang direncanakan dalam analisis ini antara lain:

- Panjang struktur jembatan = 40 m
- Lebar struktur jembatan = 9 m
- Jarak antar gelagar = 1.1 m
- Tebal slab = 0,2 m
- Tebal lapisan aspal = 0,07 m
- Lebar jalur lalu lintas = 7 m
- Lebar trotoar = 1 m
- Tebal trotoar = 0,2 m

- Kondisi tanah = sedang
- Letak geografis = kota Medan

### 3.3.2. Data Material Struktur Jembatan

Data material yang digunakan dalam struktur jembatan ini antara lain:

- Berat jenis baja = 78,5 kN/m<sup>3</sup>
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- Berat jenis aspal = 22 kN/m<sup>3</sup>
- Tegangan leleh baja ( $f_y$ ) = BJ 50
- Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 40 MPa

### 3.4. Konfigurasi Struktur Jembatan

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

1. Jembatan geometri lurus.
2. Jembatan geometri tikungan.

### 3.5. Desain *Box Girder* Baja

Dalam perhitungan kekuatan gelagar *box girder* baja dilakukan dalam berbagai tahap yang dapat dilihat dalam uraian berikut ini.

#### 3.5.1. Penentuan Dimensi *Box Girder* Baja

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

##### a. Ketinggian *girder*

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

$$D_w = 0,33 L$$

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

Dengan:

$D$  = kedalaman girder

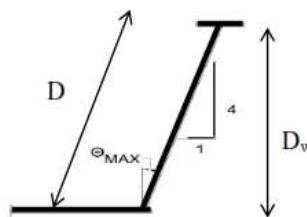
$L$  = panjang bentang jembatan

Ketinggian girder yang digunakan,  $D_w = 1,5$

Untuk menentukan ketebalan minimal pelat badan ( $t_w$ ) digunakan persamaan

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

Dengan  $D$  adalah ketinggian pelat badan, dikarenakan *box girder* dalam bentuk trapesium yang pelat badannya memiliki kemiringan maksimal 1:4 seperti terlihat pada Gambar 3.2 dibawah ini, sehingga digunakan  $D = 1,55$  m.



Gambar 3.2: Perbandingan tinggi *box girder* dalam bentuk trapesium.

Ketebalan minimal pelat badan:

$$t_w = \frac{D}{150} = 0,0103 \text{ mm}$$

Menurut *AASHTO/NSBA Steel Bridge Collaboration Guidelines for Design and Constructibility* menyarankan minimal ketebalan pelat badan sebesar 1/16 inch, namun ketebalan pelat yang digunakan  $t_w = 25$  mm.

Cek syarat:

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1,55}{0,25} = 61,85 \leq 150$$

b. Pelat sayap atas

Untuk menentukan dimensi lebar pelat sayap atas digunakan persamaan:

1) Lebar sayap atas

Sesuai dengan pedoman *AASHTO* dalam artikel 6.11.2.2 digunakan persamaan:

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

$$b_{tf} = \frac{1,55}{6} = 0,258$$

Digunakan persamaan yang lain:

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

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

Dengan  $L$  adalah panjang bentang jembatan, dalam kajian ini digunakan lebar sayap atas,  $b_{tf} = 0,55$  m.

2) Tebal pelat sayap atas

Ketebalan minimal pelat sayap atas digunakan persamaan:

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

$$t_{tf} = 1,1 t_w = 1,1 \times 25 = 27,5 \text{ mm}$$

menurut *AASHTO/NSBA Steel Bridge Collaboration Guidelines for Design and Constructibility* menyarankan minimal ketebalan pelat sayap atas sebesar 1 inch atau 25,4 mm namun tebal pelat sayap yang digunakan  $t_{tf} = 28$  mm.

cek syarat:

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

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} = \frac{0,55}{2 \times 0,028} = 9,821 \leq 12$$

Data dimensi *box girder*:

$$\text{Kedalaman } web, \quad D_w = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Sudut inklasi } web, \quad \theta = 14,03^\circ$$

$$\text{Kedalaman } web \text{ inklasi,} \quad D = 1,55 \text{ m}$$

$$\text{Ketebalan pelat } web, \quad t_w = 0,025 \text{ m}$$

Luas pelat <i>web</i> ,	$A_w = 0,077 \text{ m}^2$
Ketebalan sayap atas,	$t_{tf} = 0,028 \text{ m}$
Lebar sayap atas,	$b_{tf} = 0,55 \text{ m}$
Luas sayap atas,	$A_{tf} = 0,0308 \text{ m}^2$
Ketebalan sayap bawah,	$t_{bf} = 0,028 \text{ m}$
Lebar sayap bawah,	$b_{bf} = 1,95 \text{ m}$
Luas sayap bawah,	$A_{bf} = 0,0546 \text{ m}^2$
Tinggi total <i>girder</i> ,	$H_G = 1,556 \text{ m}$
Lebar pelat atas,	$b_{ts} = 9 \text{ m}$
Ketebalan pelat atas,	$t_{tf} = 0,2 \text{ m}$
Luas total <i>girder</i> baja,	$A_s = 0,163 \text{ m}^2$

#### Design parameter

Kuat tekan beton,	$f'_c = 40 \text{ MPa}$
Modulus elastisitas beton,	$E_c = 29725,41 \text{ MPa}$
Tegangan leleh baja,	$f_y = 290 \text{ MPa}$
Modulus elastisitas baja,	$E_s = 200000 \text{ Mpa}$

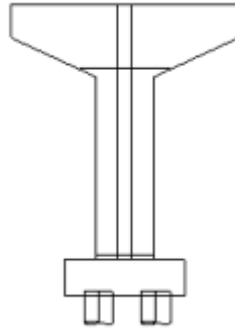
Untuk perhitungan kekuatan dan keamanan dari *box girder* baja dapat dilihat dalam lampiran.

### 3.5.2. Dimensi Kolom (*Pier*)

Pada tugas akhir ini akan digunakan *pier* yang sama untuk kedua geometri jembatan yang akan dibandingkan. Kedua pemodelan ini menggunakan *pier* berbentuk persegi dan memiliki *pier head* yang berbentuk trapesium seperti Gambar 3.3. Berikut dimensi kolom *pier* dan *pier head* yang direncanakan.

- Dimensi *pier*:
  - H1 = 9 m
  - H2 = 6,5 m
  - Tebal = 2,5 m
  - Lebar = 3,2 m
- Dimensi *pier head*:

- H1 = 9 m
- H3 = 2,5 m
- Tebal = 2,5 m
- Lebar bawah = 3,2 m
- Lebar atas = 6,45 m



Gambar 3.3: Potongan melintang *pier*.

Setelah dilakukan pengecekan terhadap *pier* dengan menggunakan bantuan *software*, maka didapat keamanan *pier* yang digunakan dalam kedua pemodelan jembatan ini dalam kategori aman.

### 3.5.3. Perletakan (*Bearing*)

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

Tabel 3.1: Spesifikasi *elastomeric bearing pad*.

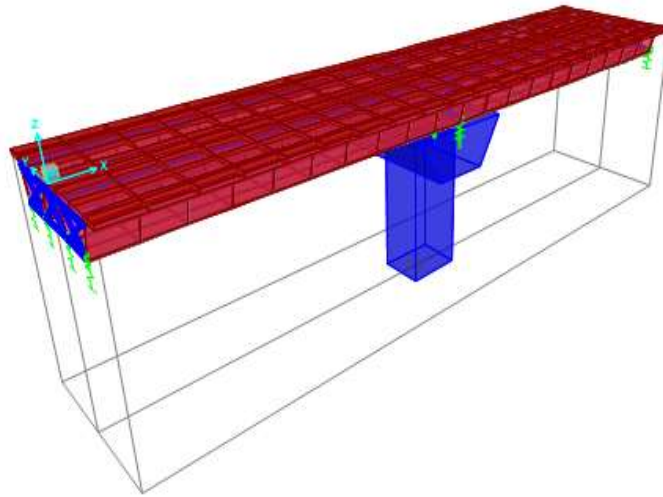
Dimensi	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Kc (kN/mm)	Ks (kN/mm)	SLS Vertikal loads (kN )
600 × 450	24	21,19	9658	15,19	7181

### 3.6. Pemodelan Struktur

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

a. Pemodelan I

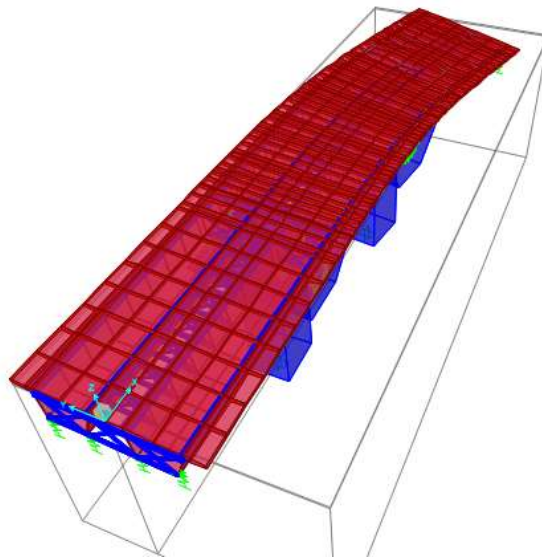
Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan menggunakan *box girder* sebagai struktur atas dengan bentang 40 m, *elastomeric bearing pads* sebagai tumpuannya dan *pier* persegi dengan ketinggian total 9 m dengan geometri lurus seperti terlihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4: Tampak 3D struktur jembatan jalan raya geometri lurus.

b. Pemodelan II

Pemodelan ke dua yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah jembatan dengan penampang geometri tikungan dan memiliki bentuk *pier* yang sama dengan pemodelan 1 seperti terlihat pada Gambar 3.5. Dalam pemodelan penampang geometri tikungan ini menggunakan bentuk lengkung *spiral-circle-spiral* (SCS). Dimana SCS merupakan bentuk lengkung teraman terutama pada jembatan. Pada desain geometri tikungan SCS ini hanya menggunakan nilai  $k$  (panjang lurus) dan  $L_s$  (lengkung peralihan) disebabkan bentang yang digunakan adalah 40 m. Lengkung peralihan ( $L_s$ ) merupakan lengkung untuk tempat peralihan penampang melintang dari jalan lurus ke jalan dengan superelevasi. Untuk perhitungan mencari nilai tikungan SCS (*spiral-circle-spiral*) dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 3.5: Tampak 3D struktur jembatan jalan raya geometri tikungan.

### 3.7. Pembebanan

Pembebanan dalam perencanaan jembatan komposit *box girder* baja ini dihitung dengan pedomanan SNI 1625-2016 dan AASHTO 2012 seperti yang terlihat di bawah ini.

#### 3.7.1. Beban Sendiri (MS)

- a. Berat sendiri *Box girder*

Berat beban baja struktural *box girder* baja :

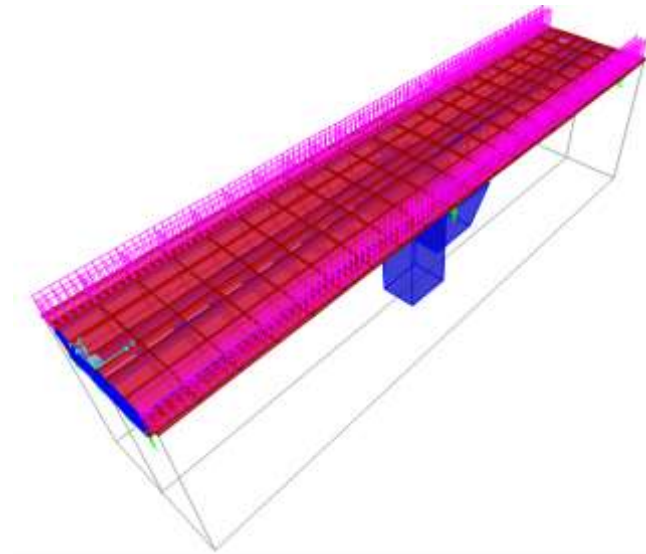
$$\begin{aligned}
 w_s &= 2 A_{sec} \gamma_s \\
 &= 2 \times 0,1627 \times 78,5 \\
 &= 25,5439 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- b. Berat sendiri trotoar

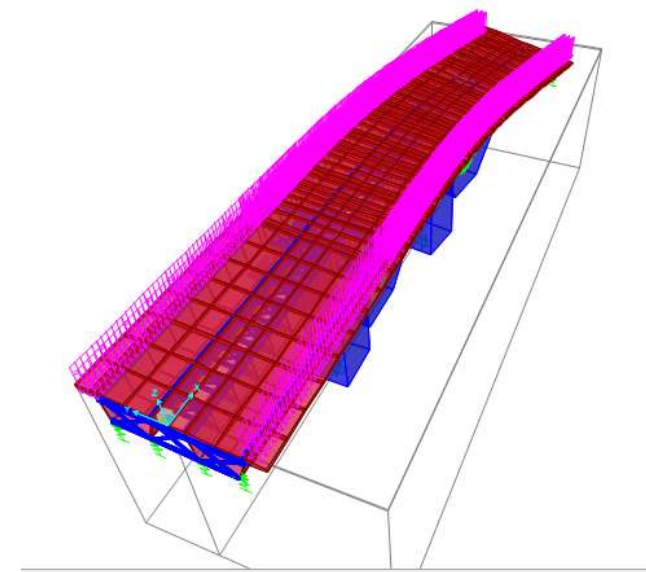
- Lebar = 1 m
- Tebal = 0,20 m

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





Gambar 3.6: Beban trotoar pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.7: Beban trotoar pada jembatan geometri tikungan.

c. Berat tiang sandaran

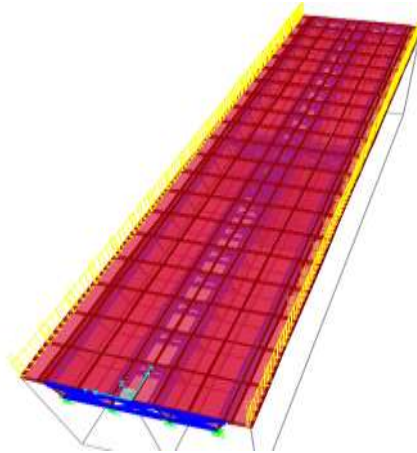
1. Berat tiang

- Lebar = 0,25 m
- Panjang = 0.25 m
- Tinggi = 1,2 m

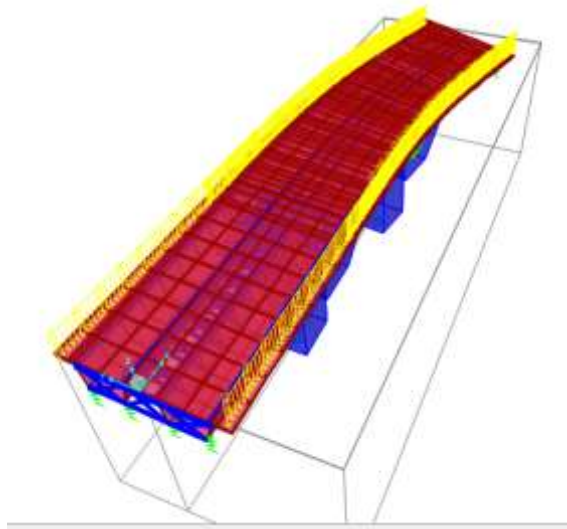
Berat sendiri tiang beton = lebar x panjang x tinggi x berat jenis beton

$$= 0,25 \times 0,25 \times 1,2 \times 24$$

$$= 1,8 \text{ Kn}$$



Gambar 3.8: Beban tiang sandaran pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.9: Beban tiang sandaran pada jembatan geometri tikungan.

2. Berat pipa circular hollow section D76,3.

- Berat pipa = 5,08 kg/m

- Panjang pipa = 3 m

- Diameter pipa = 76,3 m

Berat sendiri pipa = panjang pipa x berat pipa

$$= 3 \times 5,08$$

$$= 15,24 \text{ kg} = 0,149 \text{ kN}$$

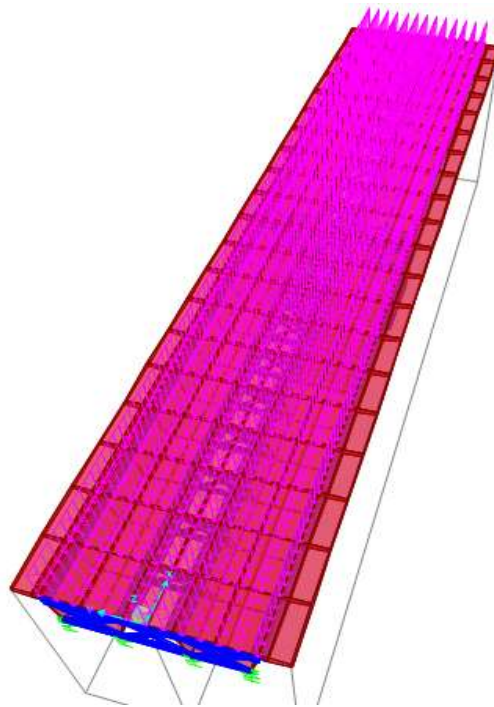
$$\begin{aligned} \text{Berat total tiang sandaran} &= ((1,8 \times 28) + (0,149 \times 3 \times 26))/40 \\ &= 1,55 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, total beban mati} &= \text{berat } \textit{box girder} + \text{berat trotoar} + \text{berat tiang} \\ &= 25,54 + 4,8 + 1,55 \\ &= 31,89 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

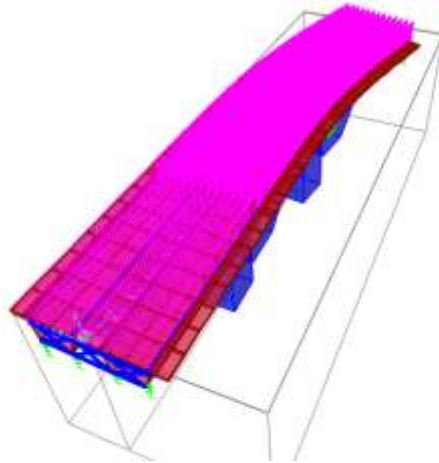
### 3.7.2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang ada pada struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.10 – 3.13 seperti dibawah ini.

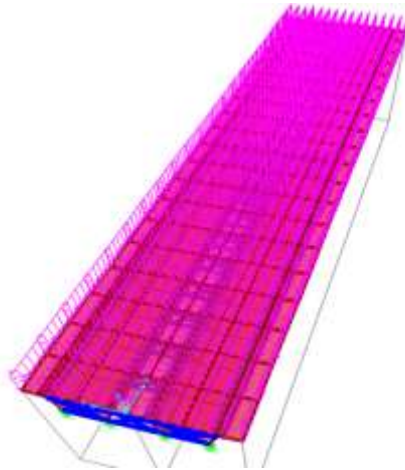
- |                                     |              |             |
|-------------------------------------|--------------|-------------|
| a. Lapisan aspal dengan tebal 0,1 m | = 0,1 x 22   | = 2,2 kN/m  |
| b. Lapisan genangan air             | = 0,05 x 9,8 | = 0,49 kN/m |



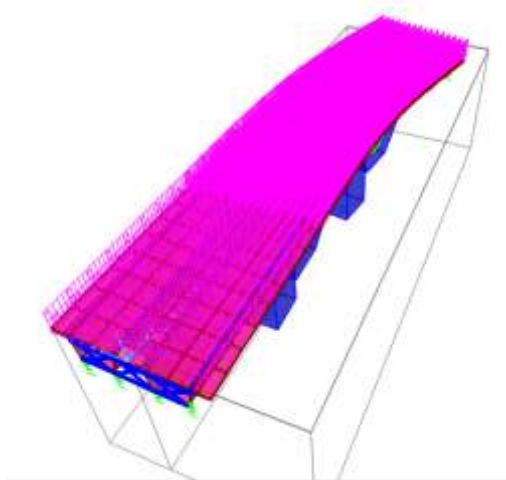
Gambar 3.10: Beban aspal pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.11: Beban aspal pada jembatan geometri tikungan.



Gambar 3.12: Beban genangan air pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.13: Beban genangan air pada jembatan geometri tikungan.

### 3.7.3. Beban Hidup

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

#### 1. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas terdiri dari:

##### a. Beban lajur (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) dan beban terbagi terpusat (BGT) terlihat pada Gambar 3.14 berikut ini dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

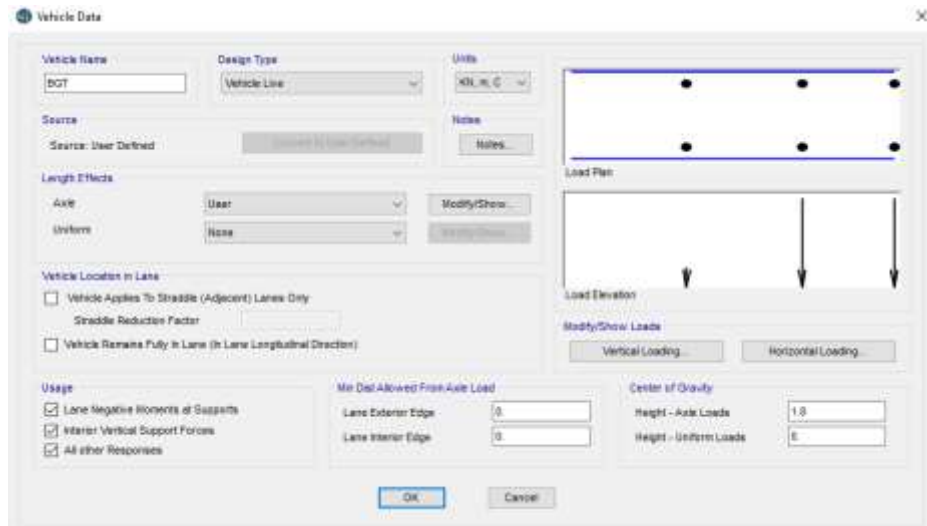
- $q = 9,0 \cdot (0,5 + 15/L)$  kPa, untuk  $L > 30$  m  
 $= 9,0 \cdot (0,5 + 15/40)$   
 $= 7,875$  kN/m
- $p = 49$  kN/m
- faktor dinamis untuk BGT = 40% = 0,4

##### 1) Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= [(5,5 \times q \times 100\%) + (b_1 - 5,5) \cdot q(50\%) / b_1] \\ &= [(5,5 \cdot 7,875 \cdot 100\%) + (7 - 5,5) \cdot 7,875(50\%) / 7] \\ &= 7,031 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

##### 2) Beban garis terpusat (BGT)

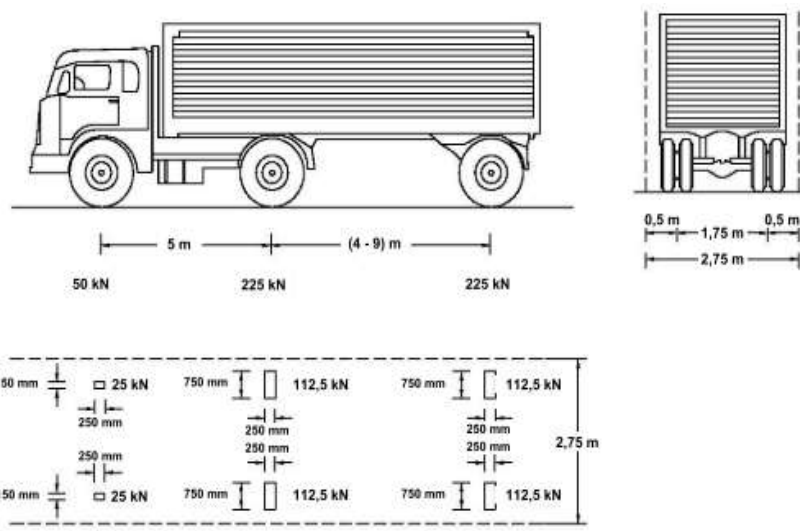
$$\begin{aligned} \text{BGT} &= [(5,5 \cdot p \cdot 100\%) + (b_1 - 5,5) \cdot p(50\%) / b_1] \\ &= [(5,5 \cdot 49 \cdot 100\%) + (7 - 5,5) \cdot 49(50\%) / 7] \\ &= 43,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Gambar 3.14: *Input beban garis terpusat pada software.*

b. Beban truk

Pembebanan truk terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3.15. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4-9 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

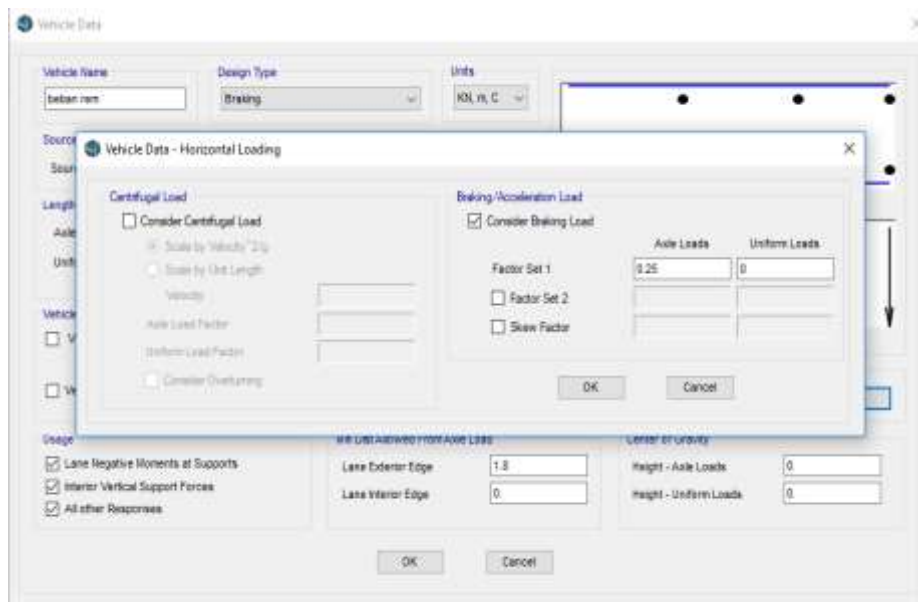


Gambar 3.15: Pembebanan truk “T” (Indonesia dan Nasional, 2016).

### 3.7.4. Gaya Rem

Pengaruh gaya rem pada lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada jarak 1,8 m di atas permukaan lantai jembatan sesuai Gambar 3.16. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truck desain.  
 $= 0,25 \times (225 + 225)$   
 $= 112,5 \text{ kN}$
- 5% dari berat truk rencana + BTR  
 $= 0,05 \times (50 + 225 + 225) + (7,031 \times 40)$   
 $= 306,24 \text{ kN}$



Gambar 3.16: *Input* beban rem (TB) pada *software*.

### 3.7.5. Gaya Sentrifugal

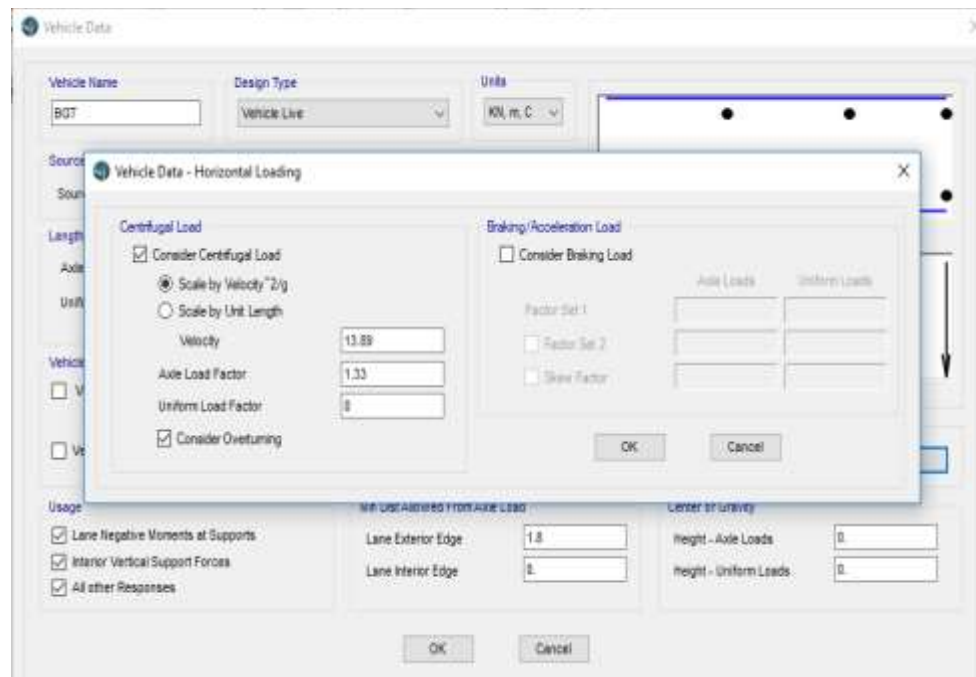
Dalam perencanaan jembatan geometri tikungan sangat penting untuk memperhitungkan nilai dari gaya sentrifugal agar tidak terjadi guling dari beban roda dan untuk kenyamanan pengguna jalan. Pada perencanaan tikungan ini digunakan kecepatan rencana jalan raya 50 km/jam yang ditentukan dalam Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga. Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1,8 m diatas permukaan jembatan seperti terlihat pada Gambar 3.17. 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 truk rencana dengan faktor C sebagai berikut:

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

$$= (4/3) \times (50^2 / (9,8 \times 286))$$

$$= 1,19$$

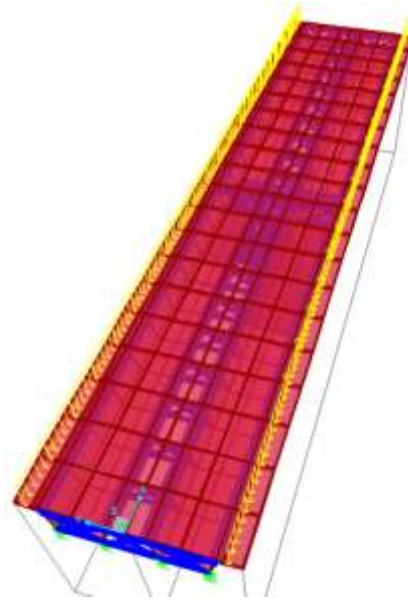


Gambar 3.17: *Input* gaya sentrifugal pada *software*.

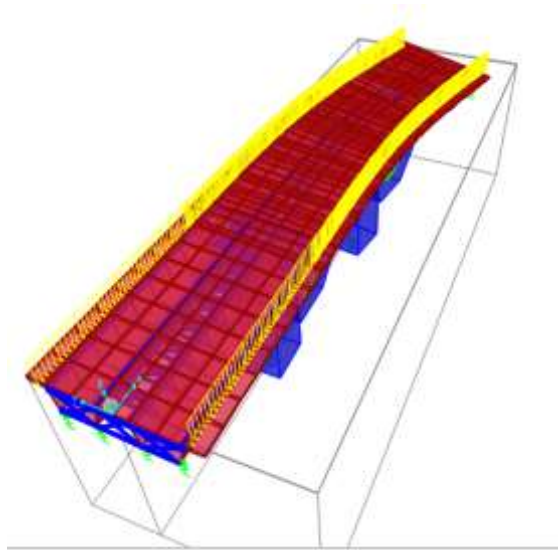
### 3.7.6. Beban Pejalan Kaki

Berdasarkan SNI 1725-2016, semua komponen trotoar yang lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa (5 kN/m<sup>2</sup>) dan diasumsikan diletakkan pada gelagar yang berada di ujung seperti terlihat pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.19.





Gambar 3.18: Beban pejalan kaki pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.19: Beban pejalan kaki pada jembatan geometri tikungan.

### **3.7.7. Beban Lingkungan**

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

1. Beban angin

Beban angin terdiri dari:

a. Tekanan angin horizontal

Kecepatan angin rencana berdasarkan lokasi jembatan diasumsikan berada pada daerah kota, untuk menentukan nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  dapat dilihat pada tabel 2.10 yang tertera pada bab 2. Data angin pada perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.20 sampai 3.23 berikut ini.

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

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 \times 19,3 \left( \frac{100}{100} \right) \ln \left( \frac{15}{70} \right) \\ &= 86,452 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Tekanan angin horizontal di atas struktur ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_D &= P_B \frac{V_{DZ}^2}{1000} \\ &= 0,0024 \frac{100^2}{1000} = 1,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan

$P_D$  = tekanan angin horizontal

$P_B$  = tekanan angin dasar

Tinggi total stuktur atas diperoleh,  $h = 3,15$  m.

Beban angin horizontal:

$$\begin{aligned} WS &= P_D \times 1 \text{ m} \\ &= 1,8 \times 1 \\ &= 1,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban angin horizontal yang diubah menjadi beban angin arah vertikal:

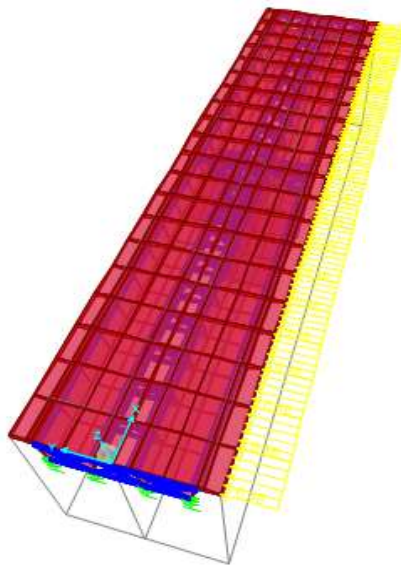
$$\begin{aligned} WS_1 &= 1,8 \frac{h}{b_{eff}} \\ &= 1,8 \times \frac{3,15}{4,5} = 1,26 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban vertikal di atas struktur menurut AASHTO 2012 adalah:

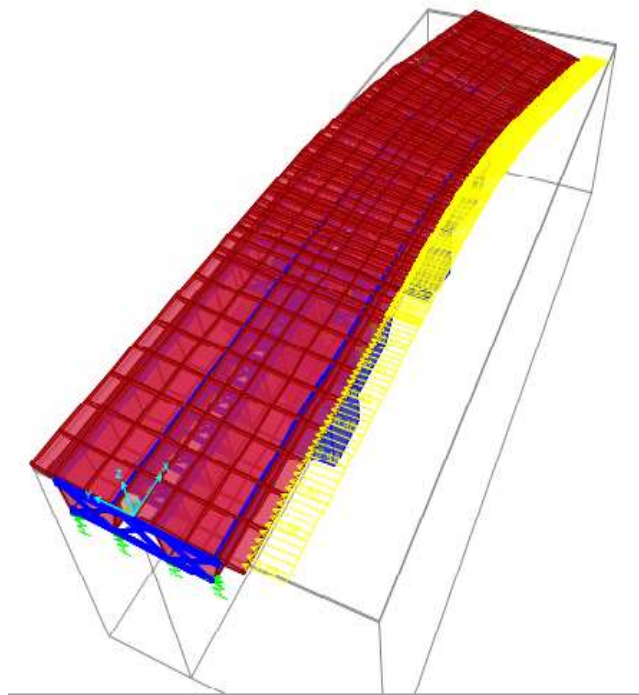
$$\begin{aligned} WS_2 &= 0,96 \frac{w}{2} \\ &= 6,48 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

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

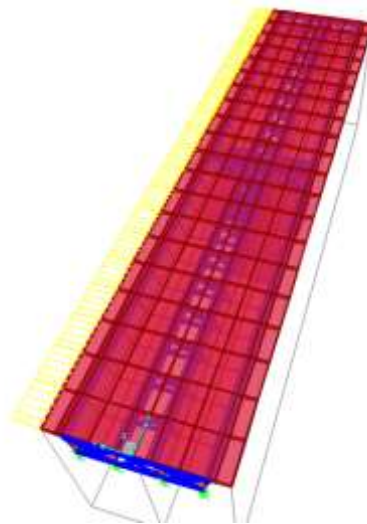
$$\begin{aligned} Q_{wl} &= \frac{0,5 h}{x} \times T_{wl} \\ &= ((0,5 \times 1,8)/1,83) \times 1,46 \\ &= 0,718 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



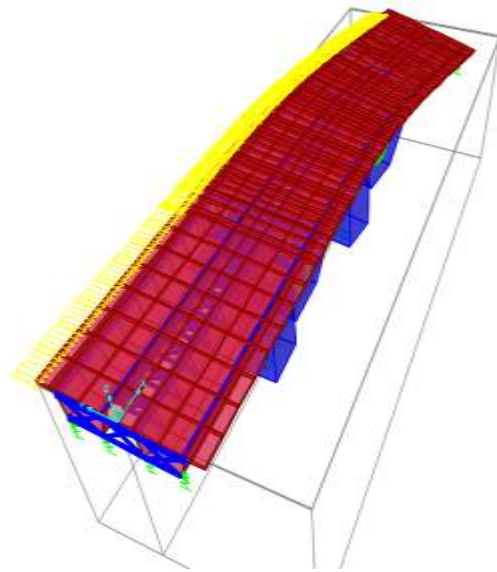
Gambar 3.20: Beban angin struktur atas pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.21: Beban angin struktur atas jembatan geometri tikungan.



Gambar 3.22: Beban angin kendaraan pada jembatan geometri lurus.



Gambar 3.23: Beban angin kendaraan pada jembatan geometri tikungan.

### 3.7.8. Gaya Akibat Temperatur Seragam (EUn)

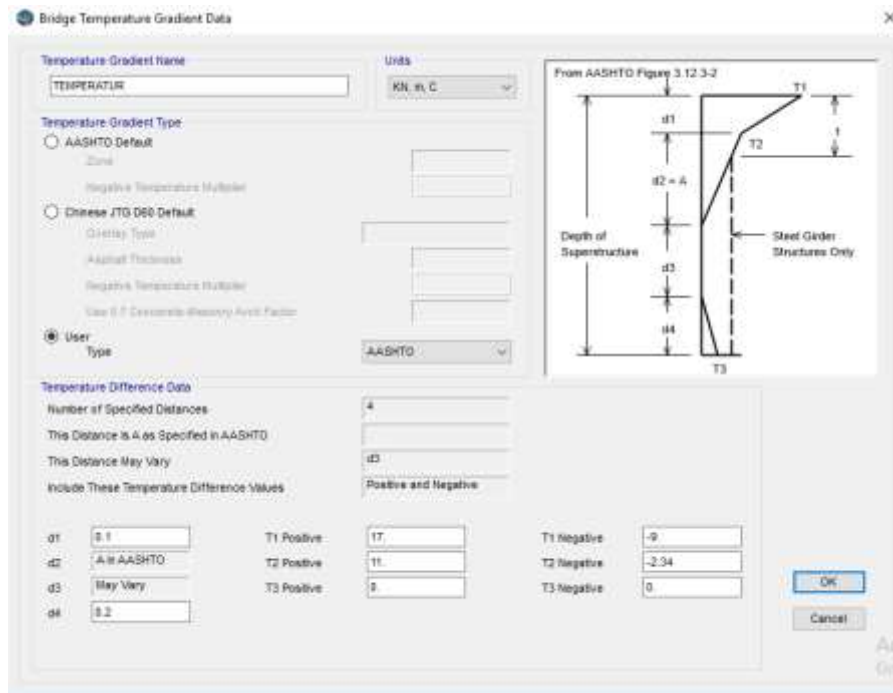
Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur ( $\Delta T$ ) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned} \Delta_T (\text{beton}) &= \alpha L (T_{\text{max desain}} - T_{\text{min desain}}) \\ &= (0,0000011 \times 40.000 (40-15)) = 11^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_T (\text{baja}) &= \alpha L (T_{\text{max desain}} - T_{\text{min desain}}) \\ &= (0,0000012 \times 40.000 (40-15)) = 12^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2.22 dengan lokasi jembatan berada > 500 m di atas permukaan laut maka *input* temperatur gradien dapat dilihat seperti Gambar 3.24 dibawah ini.



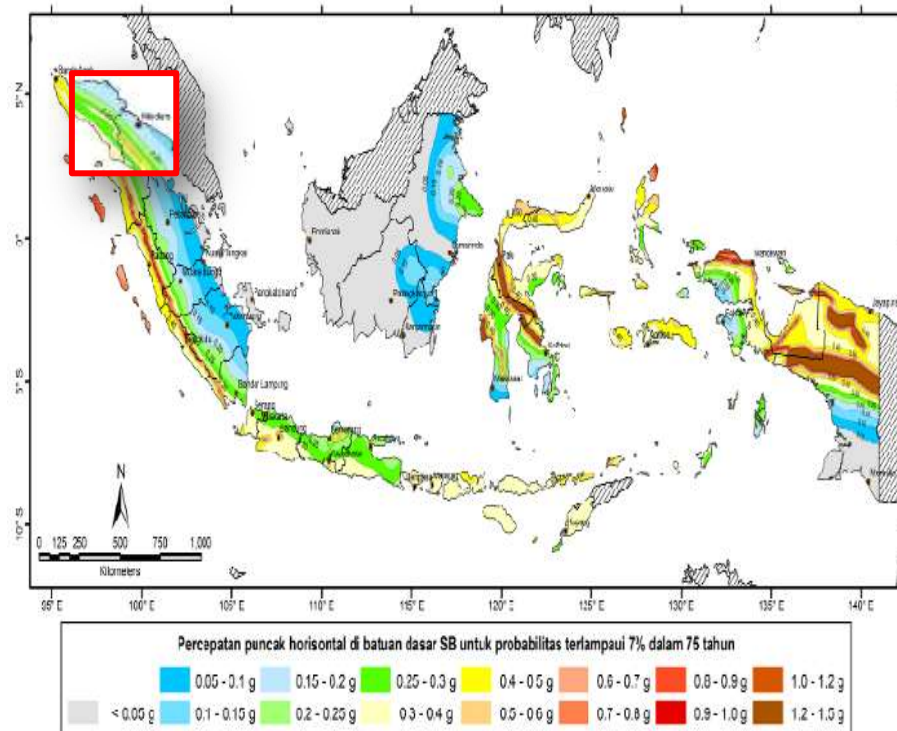
Gambar 3.24: *Input temperatur gradien pada software.*

### 3.7.9. Beban Akibat Gempa

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini yaitu metode analisis statik ekuivalen. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan SNI 2833-2016 dengan probabilitas 7% dalam 75 tahun atau periode ulang 1000 tahun. Berdasarkan peraturan SNI-2833-2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, perencanaan beban akibat gempa minimum ditentukan beberapa hal:

- a. Lokasi desain : Medan
- b. Penentuan kelas situs : Diasumsikan struktur berada di atas tanah sedang
- c. Penentuan beban gempa :
  - Nilai PGA

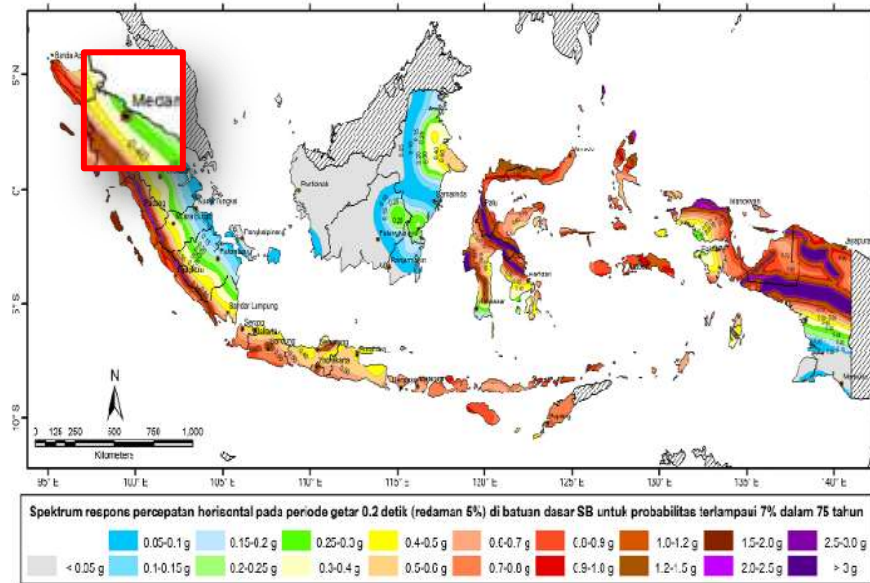
Berdasarkan Gambar 3.25 peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai PGA adalah 0,18g.



Gambar 3.25: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk kota Medan.

- Nilai  $S_s$  (respons spektra 0,2 detik)

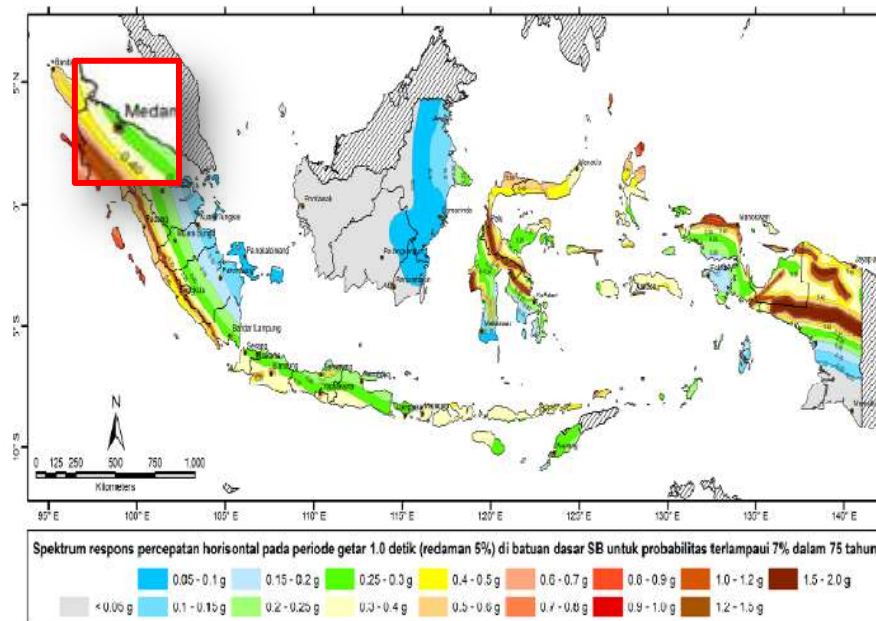
Berdasarkan Gambar 3.26 peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7 % dalam 75 tahun maka nilai  $S_s$  adalah 0,36g.



Gambar 3.26: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk kota Medan.

- Nilai S1 (respons spektra 1 detik)

Berdasarkan Gambar 3.27 peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun ditentukan nilai S1 adalah 0,27g.



Gambar 3.27: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk kota Medan.



d. Menentukan koefisien situs FPGA, Fa dan Fv.

Berdasarkan nilai PGA, Ss dan S1 yang telah diperoleh pada Tabel 2.15 faktor amplifikasi periode percepatan puncak batuan dasar dan 0,2 detik (Fpga/Fa) dan Tabel 2.16 nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv) untuk situs tanah sedang (SD) diperoleh hasil sebagai berikut:

- Nilai Fpga = 1,46
- Nilai Fa = 1,172
- Nilai Fv = 1,84

e. Menentukan parameter respon spektra As, SDs, dan SD<sub>1</sub>.

- $A_s = F_{pga} \times PGA$   
 $= 1,46 \times 0,18$   
 $= 0,2628$

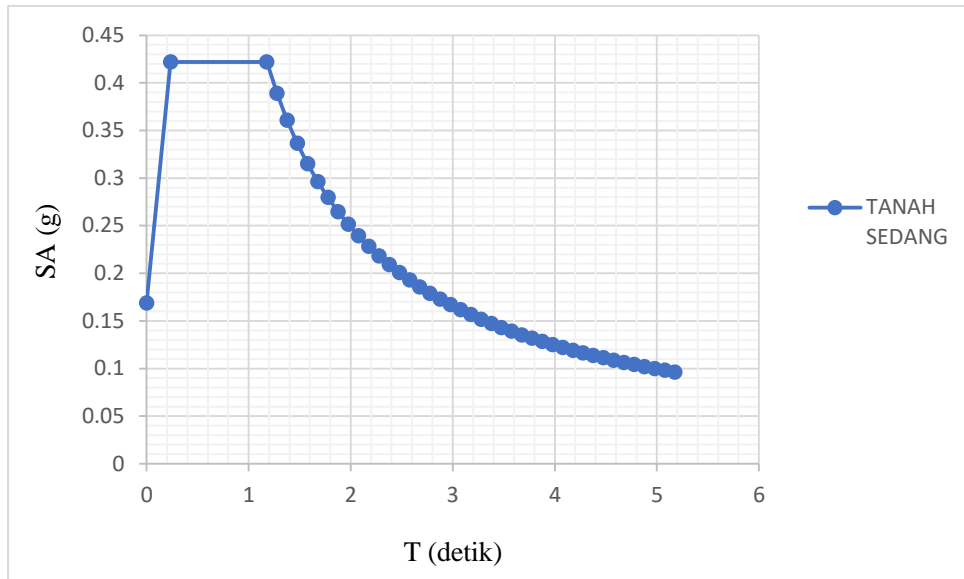
- $SD_s = F_a \times S_s$   
 $= 1,172 \times 0,36$   
 $= 0,4219$

- $SD_1 = F_v \times S_1$   
 $= 1,84 \times 0,27$   
 $= 0,4968$

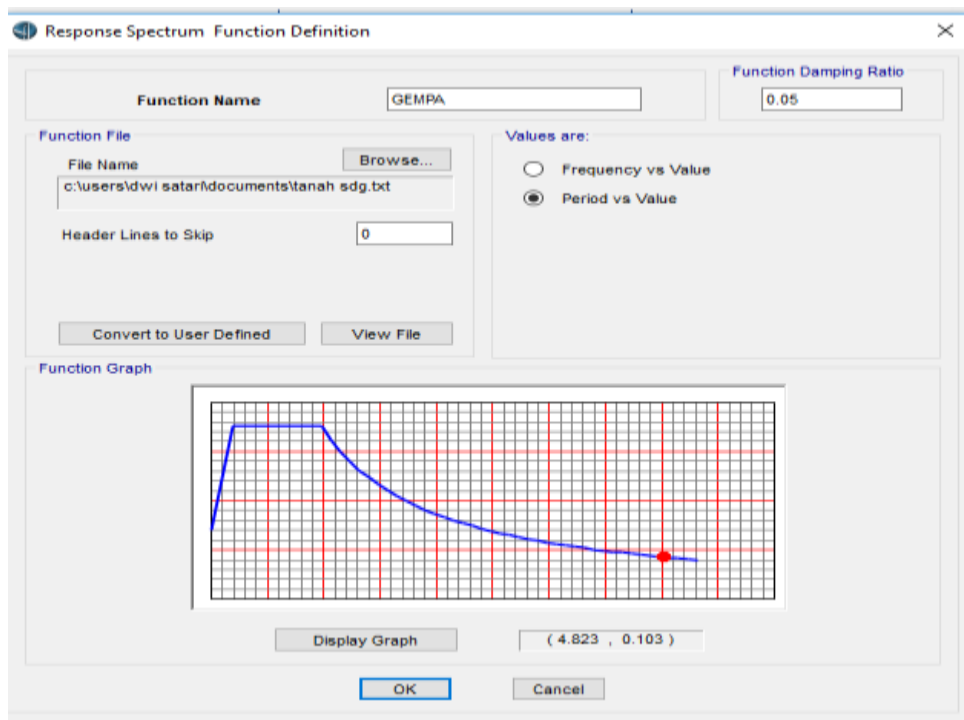
- $T_s = \frac{SD_1}{SD_s}$   
 $= \frac{0,4968}{0,4219}$   
 $= 1,1775$

- $T_0 = 0,2 T_s$   
 $= 0,2 \times 1,1775$   
 $= 0,2355$

Dari hasil perhitungan parameter spektra dapat digambarkan dalam sebuah grafik respon spektrum seperti dalam Gambar 3.22 dan Gambar 3.23 seperti dibawah ini.



Gambar 3.28: Grafik respon spektrum.



Gambar 3.29: Pemodelan respon spektrum pada *software*.

### 3.7.10. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan pada perencanaan jembatan jalan raya *box girder* baja, yaitu.

$$\text{Kuat I} = 1,25 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1,8 \text{ TB} + 1,8 \text{ TT} + 1 \text{ PL}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kuat II} &= 1,25 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1,4 \text{ TB} + 1,4 \text{ TT} + 1 \text{ PL} \\
\text{Kuat III} &= 1,25 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1,4 \text{ EWs} + 1 \text{ PL} \\
\text{Kuat IV} &= 1,25 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1 \text{ PL} \\
\text{Kuat V} &= 1,25 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 0,4 \text{ EWs} + 1 \text{ EW}_L + 1 \text{ PL} \\
\text{Ekstrem I X} &= 1,10 \text{ MA} + 1,10 \text{ MA} + 0,5 \text{ TB} + 0,5 \text{ TT} + 1 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y + 1 \\
&\quad \text{PL} \\
\text{Ekstrem I X} &= 1,10 \text{ MA} + 1,10 \text{ MA} + 0,5 \text{ TB} + 0,5 \text{ TT} + 0,3 \text{ EQ}_x + 1 \text{ EQ}_y + 1 \\
&\quad \text{PL} \\
\text{Ekstrem II} &= 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 1 \text{ TC} + 1 \text{ PL} \\
\text{Layan I} &= 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 1 \text{ TB} + 1 \text{ TT} + 0,3 \text{ EWs} + 1 \text{ EW}_L + 1 \text{ PL} \\
\text{Layan II} &= 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 1,3 \text{ TB} + 1,3 \text{ TT} + 1 \text{ PL} \\
\text{Layan III} &= 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 0,8 \text{ TB} + 0,8 \text{ TT} + 1 \text{ PL} \\
\text{Layan IV} &= 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 0,7 \text{ EWs} + 1 \text{ PL} \\
\text{Fatik} &= 0,75 \text{ TT} + 0,75 \text{ TB}
\end{aligned}$$

## 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 jembatan *box girder* baja dengan dua pemodelan yaitu, jembatan *box girder* baja geometri lurus (pemodelan 1) dan jembatan *box girder* baja geometri tikungan (pemodelan 2).

#### 4.2. Hasil Analisis

Dari hasil analisis terhadap struktur jembatan komposit akibat pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016 dilakukan pengecekan kekuatan pada kondisi batas kekuatan, deformasi dan lendutan pada kondisi batas layan akan didapatkan nilai perioda getar yang berbeda. Dari hasil perhitungan dengan perbandingan geometri jembatan lurus dan tikungan maka, di dapat perbedaan yang cukup signifikan dari segi kestabilan struktur jembatan.

##### 4.2.1. Hasil Analisis Lendutan

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

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

Tabel 4.1: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan geometri lurus.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,001921

Dari hasil analisa dengan *software* untuk jembatan geometri lurus didapat lendutan maksimum saat *service* yaitu sebesar 0,001921 m seperti terlihat pada Tabel 4.1 diatas.

Lendutan terjadi < Lendutan ijin

0,001921 m < 0,05 m (memenuhi syarat).

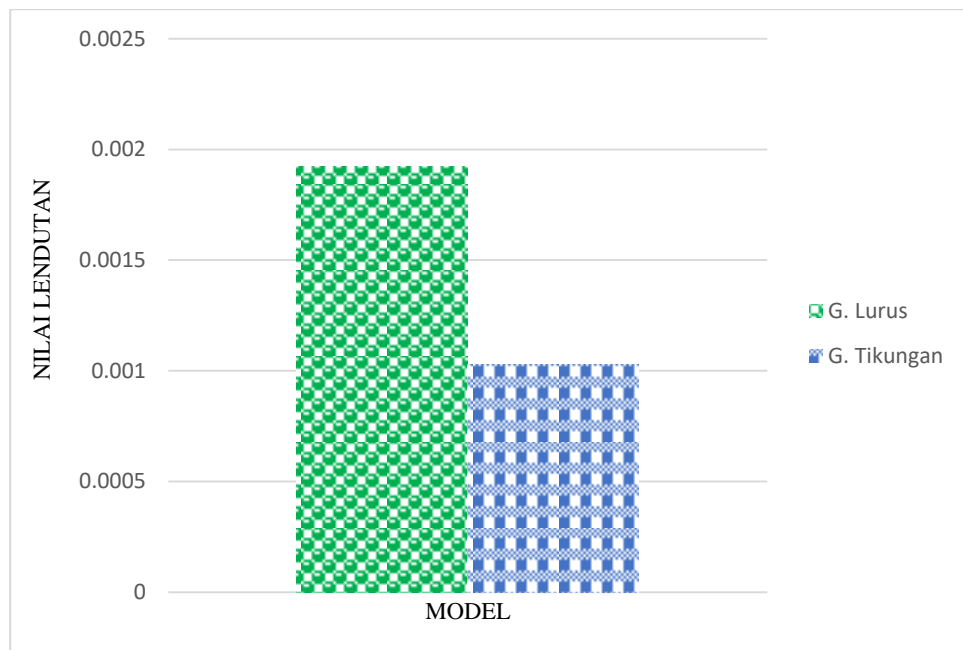
Tabel 4.2: Nilai lendutan akibat kombinasi pada jembatan geometri tikungan.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Lendutan (m)
Desain	0,001027

Dari hasil analisa dengan *software* untuk jembatan geometri tikungan didapat lendutan maksimum saat *service* yaitu sebesar 0,001027 m seperti terlihat pada Tabel 4.2 diatas.

Lendutan terjadi < Lendutan ijin

0,001027 m < 0,05 m (memenuhi syarat)



Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai lendutan pada jembatan geometri lurus dan geometri tikungan.

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai lendutan pada geometri lurus lebih besar dibandingkan dengan geometri tikungan.

#### 4.2.2. Hasil Analisis Perioda Getar

Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan komposit *box girder* baja pada geometri lurus dan satu *pier* kotak dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

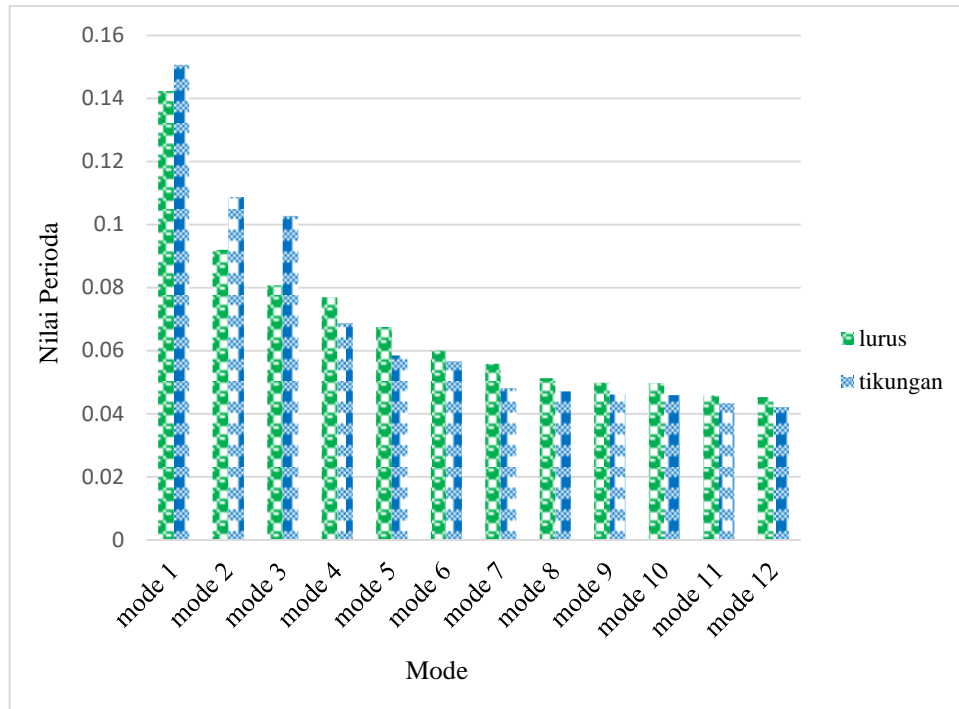
Tabel 4.3: Nilai perioda getar (T) pada jembatan geometri lurus .

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,14227
Modal	Mode 2	0,09193
Modal	Mode 3	0,08073
Modal	Mode 4	0,07695
Modal	Mode 5	0,06754
Modal	Mode 6	0,05997
Modal	Mode 7	0,05583
Modal	Mode 8	0,05122
Modal	Mode 9	0,04984
Modal	Mode 10	0,04973
Modal	Mode 11	0,0458
Modal	Mode 12	0,04527

Hasil analisis perioda getar menggunakan *software* pada struktur jembatan komposit *box girder* baja pada geometri tikungan dan dua *pier* kotak dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4: Nilai perioda getar (T) pada jembatan geometri tikungan.

Case	Mode	Perioda (T) (detik)
Modal	Mode 1	0,15026
Modal	Mode 2	0,1087
Modal	Mode 3	0,10274
Modal	Mode 4	0,06874
Modal	Mode 5	0,0585
Modal	Mode 6	0,05661
Modal	Mode 7	0,04811
Modal	Mode 8	0,04706
Modal	Mode 9	0,04606
Modal	Mode 10	0,04589
Modal	Mode 11	0,04331
Modal	Mode 12	0,04211



Gambar 4.2: Grafik perbandingan nilai perioda getar (T) pada jembatan geometri lurus dan geometri tikungan.

Dari grafik diatas diperoleh perbedaan nilai perioda getar (T) antara jembatan geometri lurus dan geometri tikungan dimana nilai perioda getar geometri lurus lebih kecil dibandingkan dengan nilai perioda getar geometri tikungan pada mode 1, mode 2 dan mode 3. Sedangkan pada mode 4 sampai mode 12 nilai perioda getar geometri lurus lebih besar dibandingkan nilai perioda getar geometri tikungan.

#### 4.2.3. Pemeriksaan Konstruksi Kondisi Batas *Ultimate*

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

##### 4.2.3.1. Perhitungan Kekuatan *Girder* Terhadap Momen

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

yang digunakan untuk menentukan nilai resistensi terhadap momen lentur yang bekerja.

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

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

- Untuk sayap atas

Kelangsingan ditentukan dengan

$$\lambda_f = \frac{0,55}{2 \times 0,028} = 9,821$$

Nilai kelangsingan untuk penampang kompak dinyatakan

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

Nilai kelangsingan untuk penampang tidak kompak dinyatakan

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

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

$$F_{nc} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_y} \right) \left( \frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc}$$

$$= 340,2508 \text{ MPa}$$

- Untuk web

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

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

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

- b. Momen nominal dan resistensi penampang



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

Jika  $D_p < 0,1 D_t$  digunakan persamaan

$$M_n = M_p$$

Jika tidak memenuhi maka digunakan persamaan

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

$$D_p < 0,1 D_t$$

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

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

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

Hasil analisis nilai momen maksimum menggunakan software pada jembatan geometri lurus dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.5: Hasil analisis nilai momen ( $M_3$ ) maksimum jembatan geometri lurus.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Momen ( $M_u$ ) (kN.m)
Kombinasi kuat 1	6081,3153
Kombinasi kuat 2	5914,9127
Kombinasi kuat 3	5360,1987
Kombinasi kuat 4	5332,5037
Kombinasi kuat 5	5338,3074

Hasil analisis diatas maka, didapat nilai momen ( $M_3$ ) maksimum yaitu sebesar: 6081,3153 kN.m.

Cek:

$$M_u = 6081,3153 \text{ kN.m} = 620121,5789 \text{ Kgf.m}$$

Syarat:  $M_u \leq \phi_f M_n$

$$6081,3153 \leq 57898,71$$

Oke!

Hasil analisis momen maksimum menggunakan *software* pada jembatan geometri tikungan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.6: Hasil analisis nilai momen (M3) maksimum jembatan geometri tikungan.

<i>Output Case</i> (Kombinasi)	Momen (Mu) (kN.m)
Kombinasi kuat 1	3256,6064
Kombinasi kuat 2	3089,5907
Kombinasi kuat 3	2553,5659
Kombinasi kuat 4	2505,0359
Kombinasi kuat 5	2514,9818

Hasil analisis diatas maka, didapat nilai momen (M3) maksimum yaitu sebesar: 3256,6064 kN.m.

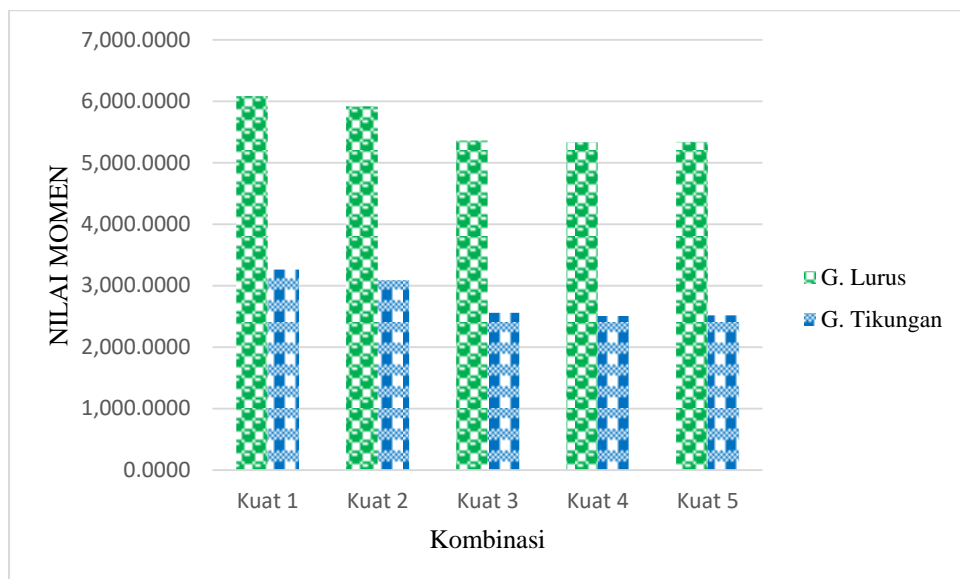
Cek:

$$Mu = 3256,6064 \text{ kN.m} = 332081,4335 \text{ Kgf.m}$$

Syarat:  $Mu \leq \phi_f Mn$

$$3256,6064 \leq 57898,71$$

Oke!



Gambar 4.3: Grafik perbandingan nilai momen *Ultimate* (Mu) pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan.

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai momen *Ultimate* (Mu) pada jembatan geometri lurus lebih besar dibandingkan dengan momen *Ultimate* (Mu) pada jembatan geometri tikungan.

#### 4.2.3.2. Perhitungan Kekuatan Gelagar Terhadap Gaya Geser

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

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

Digunakan  $k_{sh} = 5$

$$\frac{1,55}{0,023} > 1,12 \sqrt{\frac{200000 \times 5}{290}}$$

$$67,2245 > 65,7687$$

(memenuhi)

Maka, nilai  $C_w = 1$

$$\begin{aligned} V_p &= 0,58 \times F_y \times D \times t_w \\ &= 0,58 \times 290 \times 1,55 \times 0,023 \\ &= 5981,492 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= C_w \times V_n \\ &= 1 \times 5981,492 = 5996,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hasil analisis nilai gaya geser *Ultimate* arah X (V2) dengan menggunakan *software* pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan untuk kombinasi ekstrim I seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Nilai gaya geser (V2) maksimum.

Gaya Geser	Kombinasi Ekstrim I (kN)
Geometri Lurus	3528,5845
Geometri Tikungan	1874,95

Cek terhadap kuat geser geometri lurus:

$$\text{Syarat : } V_{ui} \leq \phi_v V_n$$

$$3528,5845 < 5996,33$$

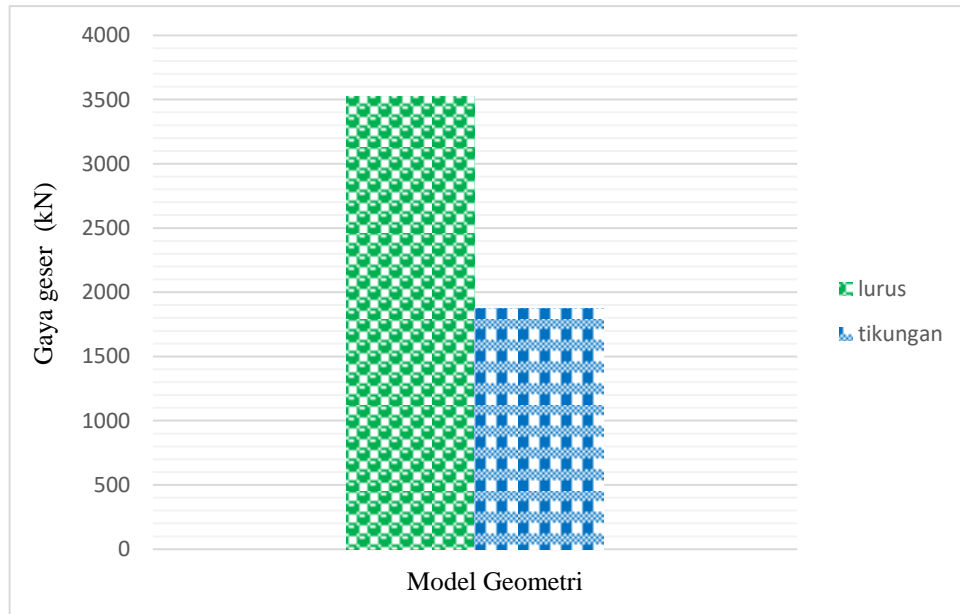
Oke!

Cek terhadap kuat geser geometri tikungan:

$$\text{Syarat : } V_{ui} \leq \phi_v V_n$$

$$1874,95 < 5996,33$$

Oke!



Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai gaya geser *Ultimate* ( $V_u$ ) yang terjadi pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan.

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan nilai gaya geser *Ultimate* ( $V_u$ ) pada jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

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

1. Dari hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software* pada jembatan jalan raya geometri lurus dan geometri tikungan maka di dapat hasil sebagai berikut:
  - Nilai gaya geser
    - Geometri lurus : 3528,5845 kN
    - Geometri tikungan : 1874,95 kN
  - Nilai momen lentur
    - Geometri lurus : 6081,3153 kN.m
    - Geometri tikungan : 3256,6064 kN.m
  - Nilai lendutan
    - Geometri lurus : 0,001921 m
    - Geometri tikungan : 0,001027 m
2. Hasil perbandingan yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah tumpuan atau *pier* mempengaruhi nilai pembebanan yang dihasilkan karena pada jembatan geometri lurus hanya menggunakan satu *pier* kotak sehingga lendutan dan momen yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan lendutan dan momen pada jembatan geometri tikungan yang menggunakan dua *pier* kotak.

#### 5.2. Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis memberikan saran yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan memodelkan struktur jembatan yang lebih kompleks.

2. Pada tugas akhir ini, Analisa beban struktur gempa hanya menggunakan analisis static ekivalen. Penulis menyarankan agar dilakukan peninjauan lebih dalam lagi menggunakan analisis lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2012, *AASHTO LRFD Bridge Design Specification*. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Anonim, *Standar Jembatan Gelagar Komposit*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum
- Agus. (2002). *Perbandingan Desain Gelagar Baja Konvensional dan Castella Pada Perencanaan Jembatan Komposit*, 1–8. Padang: Institut Teknologi Padang.
- Badan Standarisasi Nasional No.T-14. (2004). *Geometri Jalan Perkotaan*, 1–60. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- 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.
- Barrung, D. J. (2013). *Perancangan Struktur Atas Jembatan Komposit Box Girder Baja Berdasarkan Pembebanan Menurut AASHTO 2010 Dan RSNI T-02-2005*. Yogyakarta: UGM.
- Chen, W. F., dan Duan, L. (2004). *Bridge Engineering Handbook* (p. 734). London: Taylor & Francis Group.
- Chen, W. F. (2003). *Bridge Engineering Handbook 2nd- Superstructure Design. Civ. Eng. (N.Y.)* (Vol. 73). ). London: Taylor & Francis Group.
- Fu, G. (2013). *Bridge Design and Evaluation*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Nugraha, W., dan Chairulloh, R. (2018). *Modular Untuk Jembatan Lintas Atas Sungai (Ereksi Method Analysis Of Modular Steel Box Girder For Bridge Over The River)*, 2(2), 84–98. Semarang: UNDIP.
- Pratama, R. A., Kahar, S., Suprayogi, A. (2013). *Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode Terrestrial Laser Scanner*. (Vol. 2). Semarang:UNDIP.
- Sennah, K., Kennedy, J. B., & Nour, S. (2003). *Design for Shear in Curved Composite Multiple Steel Box Girder Bridges. Journal of Bridge Engineering*, 8(3), 144–152. Inggris: University of Leeds.
- Shirley, H. L. (2000). *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Steudle, K. T., & Horsley, J. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Edition - June 2012 Errata, 20001(202)*.

- Suryanita, R., Djauhari, Z., & Wijaya, A. (2016). *Respons Spektrum Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Wilayah Sumatera*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Tribhuwana, A. (2018). *Analisis Kelayakan Alinyemen Horizontal Ruas Jalan Munjul-Jatigede*. *LOGIKA*, XXII No. 1. Cirebon: Universitas Swadaya Gunung Jati.
- Wanarno, A. N., Pakpahan, A. N., Tadjono, I. S. & Nuroji, I. (2013). *Perencanaan Jembatan Leho Kawasan Pesisir Kabupaten Karimun , Kepulauan Riau , dengan Struktur Jembatan Pelengkung ( Arch Bridge )*. Semarang: UNDIP.
- Witriyatna, C., Purnomo, D. A. W., Agung, B., & Marinda, M. (2016). *Analisis Perbandingan Modul Jembatan Gelagar I Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya*. Tangerang Selatan: Laboratorium Teknologi Prasarana Transportasi Pusat Teknologi Sistem dan Prasarana Transportasi.



# LAMPIRAN

Analisis perhitungan keamanan *box girder* baja yang digunakan:

c. Rasio modular

Pada kondisi komposit untuk beban jangka pendek nilai rasio modular ditentukan dengan persamaan:

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

$$n = \frac{200000}{29725,41}$$

$$n = 6,728$$

d. Momen leleh

Menentukan momen leleh dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} M_y &= M_{D1} + M_{D2} + M_{AD} \\ &= 3512,46 + 13618,2 + 39416,37 \\ &= 56547,04 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

e. Kondisi batas ultimit *box girder* baja

Dalam kondisi batas ultimit perlu dilakukan pemeriksaan struktur gelagar seperti pelat sayap atas, pelat badan dan pelat sayap bawah untuk menghindari kegagalan masing-masing komponen. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mencari tegangan total yang terjadi pada struktur gelagar dan dapat menggunakan persamaan berikut:

1. Pelat sayap atas

$$\begin{aligned} \bullet \quad f &= \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{D3}}{S_{ST}} \\ f &= \frac{3512,46}{0,0708} + \frac{13618,2}{0,16535} + \frac{14782,32}{0,26897} \\ f &= 186,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad (f_{bu})_{CLL} &= \frac{\gamma M_{CLL}}{S_{ST}} \\ (f_{bu})_{CLL} &= \frac{1,75 \times 598,5}{0,26897} \\ (f_{bu})_{CLL} &= 3,894 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 f_{bu} &= f + f_{bu} \\
 &= 186,92 + 3,894 \\
 &= 190,81 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

## 2. Pelat sayap atas

- $$\begin{aligned}
 \bar{f} &= \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{D3}}{S_{ST}} \\
 f &= \frac{3512,46}{0,0935} + \frac{13618,2}{0,11238} + \frac{14782,32}{0,11939} \\
 f &= 282,54 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 (f_{bu})_{CLL} &= \frac{\gamma M_{CLL}}{S_{ST}} \\
 (f_{bu})_{CLL} &= \frac{1,75 \times 598,5}{0,11939} \\
 (f_{bu})_{CLL} &= 8,773 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 f_{bu} &= f + f_{bu} \\
 &= 282,54 + 8,773 \\
 &= 291,32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

## f. Lentur lateral pelat sayap atas

Untuk menghitung tegangan lentur lateral pada pelat sayap atas dapat dilakukan dengan cara merubah gaya geser vertikal menjadi gaya lateral pada pelat sayap atas dengan menggunakan persamaan berikut:

- Gaya geser vertikal

$$\begin{aligned}
 \Delta V_u &= \frac{V_u}{\frac{1}{2}L} \\
 &= \frac{3476,96}{\frac{1}{2} 40} \\
 &= 173,85 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser horizontal setiap pelat badan

$$\begin{aligned}
 \Delta V_H &= \frac{1}{2} \Delta V_u \tan(\theta_{web}) \\
 &= \frac{1}{2} 173,85 \tan(14,04)
 \end{aligned}$$

$$= 21,73 \text{ kN/m}$$

- Momen lentur lateral

$$\begin{aligned} M_{LAT} &= \frac{\Delta V_H s^2}{12} \\ &= \frac{21,73 \times 5^2}{12} \\ &= 45,27 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Modulus penampang pelat sayap atas

$$\begin{aligned} S_f &= \frac{t_f b_f^2}{6} \\ &= \frac{0,028 \times 0,55^2}{6} \\ S_f &= 0,00142 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Tegangan lentur lateral

$$\begin{aligned} f_{LAT} &= \frac{M_{LAT}}{S_f} \\ &= \frac{45,2729}{0,00142} \\ &= 32,071 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- g. Faktor implifikasi lentur lateral pelat sayap atas

Beberapa langkah untuk menentukan faktor amplifikasi lentur lateral pelat sayap atas berikut ini:

Menentukan tinggi elastis pelat badan diperoleh menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} D_c &= (Y_t - Y_f) \sqrt{\frac{s^2 + I}{s^2}} \\ &= (0,88 - 0,028) \sqrt{\frac{5^2 + 1}{5^2}} \\ &= 0,869 \text{ m} \end{aligned}$$

Jari-jari girasi tekuk torsi lateral diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$r_t = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_f t_f} \right)}}$$

$$= \frac{0,55}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{3} \frac{0,869 \times 0,025}{0,55 \times 0,028})}}$$

$$= 0,131$$

Menentukan batas panjang maksimal tanpa pengikat lateral dapat menggunakan persamaan berikut:

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1,0 \times 0,131 \sqrt{\frac{200000}{390}}$$

$$= 2,965$$

Tegangan tekuk torsi elastis pelat sayap atas ditentukan dengan persamaan:

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

$$= \frac{1 \times 1 \times 3,14^2 \times 200000}{\left(\frac{5}{0,1309}\right)^2}$$

$$= 1353,879$$

Jadi faktor amplifikasi ditentukan dengan menggunakan persamaan:

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

$$AF = \frac{0,85}{\left(1 - \frac{285,883}{1353,879}\right)} \geq 1,0$$

$$AF = 1,0775 \geq 1,0$$

Tegangan lentur lateral total pada pelat sayap atas dengan nilai amplifikasi disesuaikan dengan nilai diatas dan ditentukan dengan persamaan:

$$f_{lat} = AF (f_{LAT} + f_t)$$

$$f_{lat} = 1,0775 (35,378 + 65,459)$$

$$= 100,8377 \text{ MP}$$

h. Pelat sayap atas dalam menerima lentur

Pelat sayap dalam menahan lentur harus memenuhi persyaratan yang ada dibawah ini:

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

$$\frac{2 \times 0,869}{0,025} \leq 5,7 \sqrt{\frac{200000}{390}}$$

$$69,503 \leq 129,0796 \quad (\text{memenuhi})$$

i. Ketahanan tekuk lokal sayap atas

Tekuk lokal dapat terjadi jika perbandingan lebar dengan ketebalan dari elemen yang mengalami tekan terlalu besar, sehingga diperlukan adanya pembatasan rasio antara lebar dengan ketebalan dari elemen yang mengalami tekan. Perbandingan antara lebar dengan ketebalan pada sayap atas dinyatakan dengan  $(\lambda_f)$ . Untuk menentukan besarnya nilai  $(\lambda_f)$  digunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \lambda_{pf} &= \frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \\ &= \frac{0,55}{2 \times 0,028} \\ &= 9,821 \end{aligned}$$

Rasio kelangsingan sayap kompak ditentukan dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \lambda_{pf} &= 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,38 \sqrt{\frac{200000}{390}} \\ &= 8,605 \end{aligned}$$

Rasio kelangsingan sayap tidak kompak ditentukan dengan persamaan:

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 0,56 \sqrt{\frac{200000}{390}}$$

$$= 12,6815$$

j. Tekuk torsi lateral sayap atas

Persyaratan gelagar dalam menerima lentur harus juga memperhatikan tekuk torsi lateral yang ditentukan dengan persamaan:

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_p = 1,0 \times 0,1309 \sqrt{\frac{200000}{390}}$$

$$= 2,965 \text{ m}$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$= 3,14 \times 0,1309 \sqrt{\frac{200000}{390}}$$

$$= 11,135 \text{ m}$$

k. Ketahanan tekuk pada pelat badan

Untuk menentukan besarnya nilai tegangan yang terjadi akibat tekuk pada bagian pelat badan digunakan persamaan:

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

$$= \frac{9}{\left(\frac{0,869}{1,55}\right)^2}$$

$$= 28,505$$

$$F_{crw} = \frac{0,9 E k}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2}$$

$$= \frac{0,9 \times 200000 \times 28,505}{\left(\frac{1,55}{0,025}\right)^2}$$

$$= 1341,424 \text{ MPa}$$

1. Konstruksi pelat sayap atas

Konstruksi pelat sayap atas harus memenuhi persyaratan, yaitu:

1. Tegangan tekuk lokal

$$f_{bu} + f_{lat} \leq \phi_f R_h F_{yc}$$

$$190,81 + 32,071 \leq 1 \times 1 \times 390$$

$$222,881 \leq 390 \quad (\text{oke})$$

2. Tahanan tekuk torsi lateral

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_{lat} \leq \phi_f F_{nc}$$

$$190,81 + \frac{1}{3} 100,838 \leq 1 \times 390$$

$$224,423 \leq 390 \quad (\text{oke})$$

3. Tegangan tekuk lentur pada pelat badan

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw}$$

$$190,81 \leq 1 \times 1341,424$$

$$190,81 \leq 1341,424 \quad (\text{oke})$$

m. Konstruksi pelat sayap bawah

Pemeriksaan konstruksi pelat sayap bawah harus memenuhi persyaratan tegangan leleh nominal pelat daerah tarik berikut:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_y \Delta$$

$$291,316 \leq 1 \times 1 \times 390 \times 1$$

$$291,316 \leq 390 \quad (\text{oke})$$

n. Kapasitas momen gelagar (*girder*)

Pada *box girder* perlu dilakukan pengecekan terhadap momen yang dihasilkan dari lentur. Syarat yang harus dipenuhi agar gelagar *box girder* baja memenuhi lentur yaitu:

1. Menentukan persyaratan kelngsingan pelat badan



$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{2 \times 0,0383}{0,025} \leq 3,76 \sqrt{\frac{200000}{390}}$$

$$3,0635 < 85,147 \quad (\text{aman})$$

2. Menentukan momen lentur nominal

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

$$M_n = 59383,28 \left( 1,07 - 0,7 \frac{0,238}{1,756} \right)$$

$$= 57899,19 \text{ kN.m}$$

Kemudian membandingkan antara nilai momen ultimate dan momen nominal yang dihasilkan dengan persamaan:

$$M_u \leq \phi_f M_n$$

$$35473,24 \leq 1 \times 57899,19$$

$$35473,24 \leq 57899,19 \quad (\text{aman})$$

o. Gaya geser

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

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

Dalam menentukan gaya geser nominal yang terjadi pada pelat badan dihitung dengan persamaan:

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w$$

$$= 0,58 \times 390 \times 1,55 \times 0,025$$

$$= 8743,561 \text{ kN}$$

Nilai C diambil dari kondisi ke 3 sesuai uraian pada Bab 2:

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

$$= \frac{1,57}{\left(\frac{1,55}{0,025}\right)^2} \left(\frac{200000}{390}\right)$$

$$= 1,0525$$

Untuk menghitung gaya geser yang terjadi pada panel interior dan ujung panel digunakan persamaan:

$$V_n = C_w \cdot V_p$$

$$= 1,0525 \times 8743,561$$

$$= 9202,206 \text{ kN}$$

➤ Perhitungan perencanaan tikungan *spiral-circle-spiral* (SCS)

Pada tugas akhir ini direncanakan tikungan yang berbentuk SCS, yang mana merupakan tikungan teramana yang dapat digunakan terutama untuk jembatan.

Direncanakan:

- $V_{ren} = 50 \text{ km/jam} = 13,89 \text{ m/s}$
- $R_{batas} = 205 \text{ m}$
- $R_{ren} = 286 \text{ m}$
- $t = 2 \text{ detik}$

maka,

- $L_s = V \cdot t = 13,89 \times 2 = 27,78 \text{ m}$
- $\theta_s = \frac{90 L_s}{\pi R_c} = \frac{90 \times 27,78}{\pi \times 286}$   
 $= 2,784063$   
 $= 2^\circ 47' 2,63''$
- $k = L_s - \frac{L_s^3}{40 R_c^2} - R_c \sin \theta_s$   
 $= 40 - \frac{27,78^3}{40 \times 286^2} - 286 \times \sin 2^\circ 47' 2,63''$   
 $= 12,35 \text{ m}$

Maka dari perhitungan diatas dapat direncanakan Panjang jembatan lurus diawal 12,35 m kemudian Panjang tikungan peralihan didapat 27,78 m.

Untuk gaya sentrifugal yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} C &= f \frac{V^2}{gRl} \\ &= \frac{4}{3} \times \frac{50^2}{9,81 \times 286} \\ &= 1,19 \end{aligned}$$

➤ **Perbedaan jembatan lurus dan jembatan tikungan**

Secara teknis dalam perencanaan jembatan geometri lurus dan jembatan geometri tikungan terdapat beberapa perbedaan. Pada perencanaan pembebanan jembatan geometri lurus yang harus dihitung adalah beban sendiri (MS), beban mati tambahan (MA), beban hidup terdiri dari beban truk (TT) dan beban lajur (TD), faktor beban dinamis, beban pejalan kaki, beban rem, beban lingkungan terdiri dari beban angin, temperature, pengaruh getaran, beban gempa, dan kombinasi pembebanan. Sedangkan pada jembatan geometri tikungan selain menghitung beban-beban diatas, ada penambahan perhitungan beban sentrifugal untuk meminimalisir efek guling dari beban roda pada saat melalui jembatan tikungan tersebut. Perencanaan jembatan geometri tikungan juga harus menghitung nilai superelevasi untuk lantai jembatan.

Tabel L.1: Lendutan Layan 1 Geometri Lurus

<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	-0.00019	0.000265	3.98E-06	2.16E-05
0	Min	-0.00032	0.000086	-7.6E-05	1.27E-05
1.5	Max	-0.00059	0.000288	-2.98E-06	2.64E-05
1.5	Min	-0.0008	0.000093	-8.1E-05	1.74E-05
3	Max	-0.00095	0.000281	-3.3E-05	2.66E-05
3	Min	-0.00126	0.000079	-0.00011	1.83E-05
4.5	Max	-0.00119	0.000267	-7.4E-05	2.46E-05
4.5	Min	-0.00155	0.000059	-0.00014	1.72E-05
6	Max	-0.00128	0.00025	-0.00012	2.14E-05
6	Min	-0.00167	0.00004	-0.00019	1.46E-05
7.5	Max	-0.00124	0.000232	-0.00016	1.65E-05
7.5	Min	-0.00161	0.000019	-0.00023	1.04E-05
9	Max	-0.00106	0.000216	-0.00019	9.97E-06
9	Min	-0.00137	-1.22E-06	-0.00028	4.73E-06
10.5	Max	-0.00076	0.000196	-0.00021	2.11E-06
10.5	Min	-0.00098	-2.6E-05	-0.00031	-1.85E-06
12	Max	-0.00041	0.000175	-0.00021	-7.32E-06
12	Min	-0.00051	-5.5E-05	-0.0003	-8.91E-06
12.45	Max	-0.00032	0.00017	-0.0002	-1.00E-05
12.45	Min	-0.00041	-6.6E-05	-0.00029	-1.04E-05
13.3	Max	-0.00016	0.000182	-0.0002	-1.23E-05
13.3	Min	-0.00026	-7.7E-05	-0.00029	-1.30E-05
13.3	Max	-0.00017	0.000141	5.93E-06	-8.14E-06
13.3	Min	-0.00025	-0.00011	-6.6E-05	-1.04E-05
14.05	Max	-0.00028	0.000135	7.65E-06	-1.16E-05
14.05	Min	-0.00037	-0.00011	-6.4E-05	-1.24E-05
14.15	Max	-0.0003	0.000133	8.03E-06	-1.19E-05
14.15	Min	-0.00038	-0.00011	-6.3E-05	-1.29E-05
14.8	Max	-0.00041	0.000137	9.85E-06	-1.42E-05
14.8	Min	-0.00052	-0.00011	-6.2E-05	-1.67E-05
15.3625	Max	-0.00052	0.000139	7.56E-06	-1.66E-05
15.3625	Min	-0.00066	-0.00011	-6.3E-05	-2.01E-05
15.83125	Max	-0.0006	0.00014	4.02E-06	-1.85E-05
15.83125	Min	-0.00077	-0.00011	-6.5E-05	-2.29E-05
16.3	Max	-0.00068	0.00014	-7.20E-08	-2.03E-05
16.3	Min	-0.00088	-0.00012	-6.8E-05	-2.55E-05

Tabel L.1:*Lanjutan*

17.00417	Max	-0.0008	0.000141	-9.75E-06	-2.39E-05
17.00417	Min	-0.00103	-0.00012	-7.6E-05	-3.00E-05
17.40208	Max	-0.00085	0.00014	-1.7E-05	-2.58E-05
17.40208	Min	-0.0011	-0.00013	-8.1E-05	-3.26E-05
17.8	Max	-0.0009	0.000139	-2.3E-05	-2.76E-05
17.8	Min	-0.00117	-0.00013	-8.6E-05	-3.49E-05
18.55	Max	-0.00098	0.000138	-3.6E-05	-3.14E-05
18.55	Min	-0.00126	-0.00014	-9.6E-05	-3.95E-05
19.3	Max	-0.00102	0.000135	-5.2E-05	-3.42E-05
19.3	Min	-0.00132	-0.00014	-0.00011	-4.30E-05
19.84167	Max	-0.00104	0.000134	-6.3E-05	-3.64E-05
19.84167	Min	-0.00133	-0.00015	-0.00012	-4.57E-05
20.32083	Max	-0.00104	0.000133	-7.3E-05	-3.80E-05
20.32083	Min	-0.00133	-0.00015	-0.00013	-4.74E-05
20.8	Max	-0.00103	0.000132	-8.3E-05	-3.91E-05
20.8	Min	-0.00132	-0.00016	-0.00014	-4.86E-05
21.48333	Max	-0.001	0.000132	-9.7E-05	-4.07E-05
21.48333	Min	-0.00128	-0.00016	-0.00015	-5.00E-05
21.89167	Max	-0.00096	0.000132	-0.00011	-4.11E-05
21.89167	Min	-0.00124	-0.00016	-0.00016	-5.04E-05
22.3	Max	-0.00092	0.000131	-0.00011	-4.13E-05
22.3	Min	-0.00119	-0.00017	-0.00017	-5.04E-05
23.05	Max	-0.00083	0.000131	-0.00013	-4.15E-05
23.05	Min	-0.00106	-0.00017	-0.00018	-4.97E-05
23.8	Max	-0.00071	0.000128	-0.00014	-4.03E-05
23.8	Min	-0.0009	-0.00018	-0.00019	-4.70E-05
24.32083	Max	-0.00061	0.000128	-0.00015	-3.91E-05
24.32083	Min	-0.00078	-0.00019	-0.00019	-4.43E-05
24.81042	Max	-0.00052	0.000127	-0.00015	-3.70E-05
24.81042	Min	-0.00066	-0.00019	-0.0002	-4.08E-05
25.3	Max	-0.00042	0.000125	-0.00015	-3.37E-05
25.3	Min	-0.00054	-0.0002	-0.0002	-3.64E-05
25.75833	Max	-0.00034	0.000128	-0.00015	-2.72E-05
25.75833	Min	-0.00044	-0.0002	-0.00019	-2.92E-05
25.85	Max	-0.00032	0.000129	-0.00015	-2.60E-05
25.85	Min	-0.00042	-0.0002	-0.00019	-2.78E-05
26.21667	Max	-0.00026	0.000133	-0.00016	-2.38E-05
26.21667	Min	-0.00036	-0.00021	-0.00019	-2.59E-05
26.7	Max	-0.00018	0.000138	-0.00016	-2.02E-05

Tabel L.1: *Lanjutan*

26.7	Min	-0.0003	-0.00022	-0.00019	-2.26E-05
26.7	Max	-0.00012	0.000246	0.00046	-3.00E-05
26.7	Min	-0.00021	-0.00015	0.000377	-3.20E-05
27.45	Max	-0.0003	0.000236	0.000459	-2.93E-05
27.45	Min	-0.0004	-0.00014	0.000379	-3.03E-05
27.55	Max	-0.00032	0.000234	0.00046	-2.94E-05
27.55	Min	-0.00042	-0.00014	0.000379	-3.03E-05
28.2	Max	-0.00049	0.000224	0.000459	-3.65E-05
28.2	Min	-0.00062	-0.00014	0.00038	-3.86E-05
28.75	Max	-0.00064	0.000221	0.000455	-3.86E-05
28.75	Min	-0.0008	-0.00013	0.000378	-4.15E-05
29.225	Max	-0.00075	0.000218	0.000449	-3.96E-05
29.225	Min	-0.00096	-0.00013	0.000374	-4.34E-05
29.7	Max	-0.00087	0.000216	0.000443	-4.01E-05
29.7	Min	-0.0011	-0.00013	0.000369	-4.46E-05
30.39167	Max	-0.00102	0.000215	0.000429	-4.03E-05
30.39167	Min	-0.0013	-0.00012	0.000359	-4.53E-05
30.79583	Max	-0.00109	0.000214	0.00042	-4.00E-05
30.79583	Min	-0.0014	-0.00012	0.000351	-4.53E-05
31.2	Max	-0.00115	0.000212	0.000412	-3.94E-05
31.2	Min	-0.00148	-0.00011	0.000345	-4.50E-05
31.95	Max	-0.00125	0.000212	0.000394	-3.79E-05
31.95	Min	-0.00161	-0.00011	0.000331	-4.31E-05
32.7	Max	-0.00132	0.00021	0.000374	-3.52E-05
32.7	Min	-0.00169	-9.7E-05	0.000314	-3.95E-05
33.22917	Max	-0.00134	0.00021	0.000359	-3.30E-05
33.22917	Min	-0.00172	-9.2E-05	0.000302	-3.65E-05
33.71458	Max	-0.00135	0.00021	0.000345	-3.05E-05
33.71458	Min	-0.00173	-8.6E-05	0.000291	-3.37E-05
34.2	Max	-0.00134	0.000211	0.000332	-2.77E-05
34.2	Min	-0.00173	-8.1E-05	0.00028	-3.07E-05
34.87083	Max	-0.0013	0.000214	0.000314	-2.38E-05
34.87083	Min	-0.00168	-7.3E-05	0.000266	-2.60E-05
35.28542	Max	-0.00127	0.000216	0.000303	-2.10E-05
35.28542	Min	-0.00164	-6.8E-05	0.000258	-2.24E-05
35.7	Max	-0.00122	0.000217	0.000292	-1.82E-05
35.7	Min	-0.00159	-6.4E-05	0.000249	-1.85E-05
36.45	Max	-0.00111	0.000221	0.000274	-1.18E-05
36.45	Min	-0.00145	-5.7E-05	0.000233	-1.30E-05

Tabel L.1: *Lanjutan.*

37.2	Max	-0.00097	0.000222	0.00026	-4.11E-06
37.2	Min	-0.00127	-4.9E-05	0.000222	-7.70E-06
37.70833	Max	-0.00086	0.000223	0.000253	1.22E-06
37.70833	Min	-0.00113	-4.5E-05	0.000215	-4.11E-06
38.20417	Max	-0.00074	0.000224	0.000245	6.14E-06
38.20417	Min	-0.00098	-4.1E-05	0.000209	-7.39E-07
38.7	Max	-0.00061	0.000224	0.000238	1.09E-05
38.7	Min	-0.00083	-3.6E-05	0.000203	2.49E-06
39.35	Max	-0.00044	0.000223	0.000234	1.62E-05
39.35	Min	-0.00061	-3.2E-05	0.000198	6.01E-06
40	Max	-0.00028	0.000216	0.000234	1.92E-05
40	Min	-0.00045	-2.7E-05	0.000197	7.59E-06

Tabel L.2: Lendutan Layan 2 Geometri Lurus

Layout Line Distance	Item Type	Sect Vert	Sect Tran	Sect Long	Sect RLong
m		m	M	m	Degrees
0	Max	-0.00018	0.000319	0.000767	3.60E-05
0	Min	-0.00032	-0.000024	0.000498	4.82E-06
2	Max	-0.00168	0.000285	0.000759	9.27E-05
2	Min	-0.00217	-4.71E-06	0.000494	1.75E-06
4	Max	-0.0031	0.00025	0.000651	1.61E-04
4	Min	-0.004	-5.15E-06	0.000407	4.29E-06
6	Max	-0.0042	0.000226	0.000496	2.09E-04
6	Min	-0.0054	-7.08E-06	0.00028	7.11E-06
8	Max	-0.00484	0.000213	0.000314	2.30E-04
8	Min	-0.0062	-9.75E-06	0.000131	9.93E-06
10	Max	-0.00497	0.000212	0.000121	2.33E-04
10	Min	-0.00636	-9.36E-06	-2.7E-05	1.26E-05
12	Max	-0.00458	0.00022	-5.7E-05	2.20E-04
12	Min	-0.00587	-6.68E-06	-0.00018	1.51E-05
14	Max	-0.00372	0.000237	-0.0002	1.89E-04
14	Min	-0.00477	-4.57E-06	-0.00031	1.74E-05
16	Max	-0.00251	0.000257	-0.0003	1.33E-04
16	Min	-0.0032	-2.71E-06	-0.0004	1.87E-05
18	Max	-0.00112	0.000288	-0.00031	6.45E-05
18	Min	-0.00141	-2.74E-06	-0.00041	1.77E-05
19.15	Max	-0.00041	0.000308	-0.00026	3.71E-05
19.15	Min	-0.00055	-3.50E-06	-0.00036	1.55E-05
20	Max	0.000056	0.000328	-0.00026	4.31E-05
20	Min	-0.00018	-0.000014	-0.00036	8.17E-06
20	Max	0.000056	0.000328	0.000361	2.87E-05
20	Min	-0.00014	-5.23E-06	0.000255	8.17E-06
20.85	Max	-0.00041	0.000308	0.000361	3.71E-05
20.85	Min	-0.00055	-3.03E-06	0.000256	1.59E-05
22	Max	-0.00112	0.000288	0.000414	6.45E-05
22	Min	-0.00141	-2.55E-06	0.000307	1.74E-05
24	Max	-0.00251	0.000257	0.000404	1.33E-04
24	Min	-0.0032	-2.71E-06	0.000297	1.84E-05
26	Max	-0.00372	0.000237	0.000311	1.89E-04
26	Min	-0.00477	-4.57E-06	0.0002	1.71E-05
28	Max	-0.00458	0.00022	0.000179	2.20E-04
28	Min	-0.00587	-6.68E-06	0.000057	1.51E-05



Tabel L.1: *Lanjutan.*

30	Max	-0.00497	0.000212	0.000027	2.33E-04
30	Min	-0.00636	-9.36E-06	-0.00012	1.26E-05
32	Max	-0.00484	0.000213	-0.00013	2.30E-04
32	Min	-0.0062	-9.75E-06	-0.00031	9.93E-06
34	Max	-0.0042	0.000226	-0.00028	2.09E-04
34	Min	-0.0054	-7.08E-06	-0.0005	7.11E-06
36	Max	-0.0031	0.00025	-0.00041	1.61E-04
36	Min	-0.004	-5.15E-06	-0.00065	4.29E-06
38	Max	-0.00168	0.000285	-0.00049	9.27E-05
38	Min	-0.00217	-4.71E-06	-0.00076	1.75E-06
40	Max	-0.00018	0.000319	-0.0005	3.60E-05
40	Min	-0.00032	-0.000024	-0.00077	4.82E-06

Tabel L.3: Lendutan Layan 1 Geometri Tikungan

<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	-0.00019	0.000265	3.98E-06	2.16E-05
0	Min	-0.00032	0.000086	-7.6E-05	1.27E-05
1.5	Max	-0.00059	0.000288	-2.98E-06	2.64E-05
1.5	Min	-0.0008	0.000093	-8.1E-05	1.74E-05
3	Max	-0.00095	0.000281	-3.3E-05	2.66E-05
3	Min	-0.00126	0.000079	-0.00011	1.83E-05
4.5	Max	-0.00119	0.000267	-7.4E-05	2.46E-05
4.5	Min	-0.00155	0.000059	-0.00014	1.72E-05
6	Max	-0.00128	0.00025	-0.00012	2.14E-05
6	Min	-0.00167	0.00004	-0.00019	1.46E-05
7.5	Max	-0.00124	0.000232	-0.00016	1.65E-05
7.5	Min	-0.00161	0.000019	-0.00023	1.04E-05
9	Max	-0.00106	0.000216	-0.00019	9.97E-06
9	Min	-0.00137	-1.22E-06	-0.00028	4.73E-06
10.5	Max	-0.00076	0.000196	-0.00021	2.11E-06
10.5	Min	-0.00098	-2.6E-05	-0.00031	-1.85E-06
12	Max	-0.00041	0.000175	-0.00021	-7.32E-06
12	Min	-0.00051	-5.5E-05	-0.0003	-8.91E-06
12.45	Max	-0.00032	0.00017	-0.0002	-1.00E-05
12.45	Min	-0.00041	-6.6E-05	-0.00029	-1.04E-05
13.3	Max	-0.00016	0.000182	-0.0002	-1.23E-05
13.3	Min	-0.00026	-7.7E-05	-0.00029	-1.30E-05
13.3	Max	-0.00017	0.000141	5.93E-06	-8.14E-06
13.3	Min	-0.00025	-0.00011	-6.6E-05	-1.04E-05
14.05	Max	-0.00028	0.000135	7.65E-06	-1.16E-05
14.05	Min	-0.00037	-0.00011	-6.4E-05	-1.24E-05
14.15	Max	-0.0003	0.000133	8.03E-06	-1.19E-05
14.15	Min	-0.00038	-0.00011	-6.3E-05	-1.29E-05
14.8	Max	-0.00041	0.000137	9.85E-06	-1.42E-05
14.8	Min	-0.00052	-0.00011	-6.2E-05	-1.67E-05
15.3625	Max	-0.00052	0.000139	7.56E-06	-1.66E-05
15.3625	Min	-0.00066	-0.00011	-6.3E-05	-2.01E-05
15.83125	Max	-0.0006	0.00014	4.02E-06	-1.85E-05
15.83125	Min	-0.00077	-0.00011	-6.5E-05	-2.29E-05
16.3	Max	-0.00068	0.00014	-7.20E-08	-2.03E-05
16.3	Min	-0.00088	-0.00012	-6.8E-05	-2.55E-05

Tabel L.3: *Lanjutan*

17.00417	Max	-0.0008	0.000141	-9.75E-06	-2.39E-05
17.00417	Min	-0.00103	-0.00012	-7.6E-05	-3.00E-05
17.40208	Max	-0.00085	0.00014	-1.7E-05	-2.58E-05
17.40208	Min	-0.0011	-0.00013	-8.1E-05	-3.26E-05
17.8	Max	-0.0009	0.000139	-2.3E-05	-2.76E-05
17.8	Min	-0.00117	-0.00013	-8.6E-05	-3.49E-05
18.55	Max	-0.00098	0.000138	-3.6E-05	-3.14E-05
18.55	Min	-0.00126	-0.00014	-9.6E-05	-3.95E-05
19.3	Max	-0.00102	0.000135	-5.2E-05	-3.42E-05
19.3	Min	-0.00132	-0.00014	-0.00011	-4.30E-05
19.84167	Max	-0.00104	0.000134	-6.3E-05	-3.64E-05
19.84167	Min	-0.00133	-0.00015	-0.00012	-4.57E-05
20.32083	Max	-0.00104	0.000133	-7.3E-05	-3.80E-05
20.32083	Min	-0.00133	-0.00015	-0.00013	-4.74E-05
20.8	Max	-0.00103	0.000132	-8.3E-05	-3.91E-05
20.8	Min	-0.00132	-0.00016	-0.00014	-4.86E-05
21.48333	Max	-0.001	0.000132	-9.7E-05	-4.07E-05
21.48333	Min	-0.00128	-0.00016	-0.00015	-5.00E-05
21.89167	Max	-0.00096	0.000132	-0.00011	-4.11E-05
21.89167	Min	-0.00124	-0.00016	-0.00016	-5.04E-05
22.3	Max	-0.00092	0.000131	-0.00011	-4.13E-05
22.3	Min	-0.00119	-0.00017	-0.00017	-5.04E-05
23.05	Max	-0.00083	0.000131	-0.00013	-4.15E-05
23.05	Min	-0.00106	-0.00017	-0.00018	-4.97E-05
23.8	Max	-0.00071	0.000128	-0.00014	-4.03E-05
23.8	Min	-0.0009	-0.00018	-0.00019	-4.70E-05
24.32083	Max	-0.00061	0.000128	-0.00015	-3.91E-05
24.32083	Min	-0.00078	-0.00019	-0.00019	-4.43E-05
24.81042	Max	-0.00052	0.000127	-0.00015	-3.70E-05
24.81042	Min	-0.00066	-0.00019	-0.0002	-4.08E-05
25.3	Max	-0.00042	0.000125	-0.00015	-3.37E-05
25.3	Min	-0.00054	-0.0002	-0.0002	-3.64E-05
25.75833	Max	-0.00034	0.000128	-0.00015	-2.72E-05
25.75833	Min	-0.00044	-0.0002	-0.00019	-2.92E-05
25.85	Max	-0.00032	0.000129	-0.00015	-2.60E-05
25.85	Min	-0.00042	-0.0002	-0.00019	-2.78E-05
26.21667	Max	-0.00026	0.000133	-0.00016	-2.38E-05
26.21667	Min	-0.00036	-0.00021	-0.00019	-2.59E-05
26.7	Max	-0.00018	0.000138	-0.00016	-2.02E-05

Tabel L.3: *Lanjutan*

26.7	Min	-0.0003	-0.00022	-0.00019	-2.26E-05
26.7	Max	-0.00012	0.000246	0.00046	-3.00E-05
26.7	Min	-0.00021	-0.00015	0.000377	-3.20E-05
27.45	Max	-0.0003	0.000236	0.000459	-2.93E-05
27.45	Min	-0.0004	-0.00014	0.000379	-3.03E-05
27.55	Max	-0.00032	0.000234	0.00046	-2.94E-05
27.55	Min	-0.00042	-0.00014	0.000379	-3.03E-05
28.2	Max	-0.00049	0.000224	0.000459	-3.65E-05
28.2	Min	-0.00062	-0.00014	0.00038	-3.86E-05
28.75	Max	-0.00064	0.000221	0.000455	-3.86E-05
28.75	Min	-0.0008	-0.00013	0.000378	-4.15E-05
29.225	Max	-0.00075	0.000218	0.000449	-3.96E-05
29.225	Min	-0.00096	-0.00013	0.000374	-4.34E-05
29.7	Max	-0.00087	0.000216	0.000443	-4.01E-05
29.7	Min	-0.0011	-0.00013	0.000369	-4.46E-05
30.39167	Max	-0.00102	0.000215	0.000429	-4.03E-05
30.39167	Min	-0.0013	-0.00012	0.000359	-4.53E-05
30.79583	Max	-0.00109	0.000214	0.00042	-4.00E-05
30.79583	Min	-0.0014	-0.00012	0.000351	-4.53E-05
31.2	Max	-0.00115	0.000212	0.000412	-3.94E-05
31.2	Min	-0.00148	-0.00011	0.000345	-4.50E-05
31.95	Max	-0.00125	0.000212	0.000394	-3.79E-05
31.95	Min	-0.00161	-0.00011	0.000331	-4.31E-05
32.7	Max	-0.00132	0.00021	0.000374	-3.52E-05
32.7	Min	-0.00169	-9.7E-05	0.000314	-3.95E-05
33.22917	Max	-0.00134	0.00021	0.000359	-3.30E-05
33.22917	Min	-0.00172	-9.2E-05	0.000302	-3.65E-05
33.71458	Max	-0.00135	0.00021	0.000345	-3.05E-05
33.71458	Min	-0.00173	-8.6E-05	0.000291	-3.37E-05
34.2	Max	-0.00134	0.000211	0.000332	-2.77E-05
34.2	Min	-0.00173	-8.1E-05	0.00028	-3.07E-05
34.87083	Max	-0.0013	0.000214	0.000314	-2.38E-05
34.87083	Min	-0.00168	-7.3E-05	0.000266	-2.60E-05
35.28542	Max	-0.00127	0.000216	0.000303	-2.10E-05
35.28542	Min	-0.00164	-6.8E-05	0.000258	-2.24E-05
35.7	Max	-0.00122	0.000217	0.000292	-1.82E-05
35.7	Min	-0.00159	-6.4E-05	0.000249	-1.85E-05
36.45	Max	-0.00111	0.000221	0.000274	-1.18E-05
36.45	Min	-0.00145	-5.7E-05	0.000233	-1.30E-05

Tabel L.3: *Lanjutan*

37.2	Max	-0.00097	0.000222	0.00026	-4.11E-06
37.2	Min	-0.00127	-4.9E-05	0.000222	-7.70E-06
37.70833	Max	-0.00086	0.000223	0.000253	1.22E-06
37.70833	Min	-0.00113	-4.5E-05	0.000215	-4.11E-06
38.20417	Max	-0.00074	0.000224	0.000245	6.14E-06
38.20417	Min	-0.00098	-4.1E-05	0.000209	-7.39E-07
38.7	Max	-0.00061	0.000224	0.000238	1.09E-05
38.7	Min	-0.00083	-3.6E-05	0.000203	2.49E-06
39.35	Max	-0.00044	0.000223	0.000234	1.62E-05
39.35	Min	-0.00061	-3.2E-05	0.000198	6.01E-06
40	Max	-0.00028	0.000216	0.000234	1.92E-05
40	Min	-0.00045	-2.7E-05	0.000197	7.59E-06

Tabel L.4: Lendutan Layan 2 Geometri tikungan

<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	-0.00019	0.000319	0.000015	2.56E-05
0	Min	-0.00035	0.000086	-8.8E-05	1.40E-05
1.5	Max	-0.00058	0.000349	8.04E-06	3.13E-05
1.5	Min	-0.00085	0.000096	-9.3E-05	1.96E-05
3	Max	-0.00093	0.000348	-2.3E-05	3.25E-05
3	Min	-0.00133	0.000084	-0.00012	2.17E-05
4.5	Max	-0.00116	0.000337	-6.5E-05	3.12E-05
4.5	Min	-0.00163	0.000067	-0.00016	2.16E-05
6	Max	-0.00126	0.000323	-0.00011	2.86E-05
6	Min	-0.00175	0.000049	-0.0002	1.98E-05
7.5	Max	-0.00121	0.000308	-0.00015	2.40E-05
7.5	Min	-0.00169	0.000032	-0.00025	1.60E-05
9	Max	-0.00103	0.000296	-0.00018	1.75E-05
9	Min	-0.00144	0.000014	-0.00029	1.07E-05
10.5	Max	-0.00074	0.000279	-0.0002	9.34E-06
10.5	Min	-0.00102	-9.11E-06	-0.00032	4.19E-06
12	Max	-0.00039	0.000262	-0.0002	-7.46E-07
12	Min	-0.00053	-3.7E-05	-0.00032	-2.81E-06
12.45	Max	-0.00031	0.000259	-0.00019	-3.72E-06
12.45	Min	-0.00042	-4.7E-05	-0.00031	-4.20E-06
13.3	Max	-0.00014	0.000278	-0.00019	-6.36E-06
13.3	Min	-0.00028	-5.9E-05	-0.00031	-7.22E-06
13.3	Max	-0.00015	0.000234	0.000015	-2.30E-06
13.3	Min	-0.00026	-9.2E-05	-7.8E-05	-5.23E-06
14.05	Max	-0.00027	0.000227	0.000017	-5.24E-06
14.05	Min	-0.00038	-9.1E-05	-7.6E-05	-6.33E-06
14.15	Max	-0.00028	0.000226	0.000017	-5.49E-06
14.15	Min	-0.0004	-9.1E-05	-7.6E-05	-6.80E-06
14.8	Max	-0.00039	0.00023	0.000019	-7.46E-06
14.8	Min	-0.00054	-8.9E-05	-7.4E-05	-1.07E-05
15.3625	Max	-0.0005	0.000235	0.000017	-9.61E-06
15.3625	Min	-0.00068	-9.1E-05	-7.5E-05	-1.42E-05
15.83125	Max	-0.00058	0.000237	0.000013	-1.13E-05
15.83125	Min	-0.0008	-9.3E-05	-7.7E-05	-1.70E-05
16.3	Max	-0.00066	0.000238	8.69E-06	-1.29E-05
16.3	Min	-0.00092	-9.6E-05	-0.00008	-1.96E-05

Tabel L.4: *Lanjutan.*

17.00417	Max	-0.00078	0.000241	-1.31E-06	-1.62E-05
17.00417	Min	-0.00108	-0.0001	-8.7E-05	-2.42E-05
17.40208	Max	-0.00083	0.000241	-8.71E-06	-1.80E-05
17.40208	Min	-0.00116	-0.0001	-9.3E-05	-2.68E-05
17.8	Max	-0.00088	0.000241	-1.5E-05	-1.96E-05
17.8	Min	-0.00122	-0.00011	-9.7E-05	-2.92E-05
18.55	Max	-0.00095	0.000241	-2.8E-05	-2.33E-05
18.55	Min	-0.00132	-0.00011	-0.00011	-3.38E-05
19.3	Max	-0.001	0.00024	-4.4E-05	-2.59E-05
19.3	Min	-0.00138	-0.00012	-0.00012	-3.74E-05
19.84167	Max	-0.00101	0.00024	-5.5E-05	-2.80E-05
19.84167	Min	-0.00139	-0.00013	-0.00013	-4.01E-05
20.32083	Max	-0.00101	0.00024	-6.5E-05	-2.96E-05
20.32083	Min	-0.0014	-0.00013	-0.00014	-4.18E-05
20.8	Max	-0.001	0.000241	-7.5E-05	-3.07E-05
20.8	Min	-0.00138	-0.00013	-0.00015	-4.30E-05
21.48333	Max	-0.00097	0.000242	-8.9E-05	-3.24E-05
21.48333	Min	-0.00134	-0.00014	-0.00016	-4.45E-05
21.89167	Max	-0.00094	0.000243	-9.6E-05	-3.29E-05
21.89167	Min	-0.00129	-0.00014	-0.00017	-4.50E-05
22.3	Max	-0.0009	0.000243	-0.00011	-3.32E-05
22.3	Min	-0.00124	-0.00015	-0.00017	-4.50E-05
23.05	Max	-0.00081	0.000245	-0.00012	-3.38E-05
23.05	Min	-0.00111	-0.00015	-0.00019	-4.45E-05
23.8	Max	-0.00069	0.000244	-0.00013	-3.31E-05
23.8	Min	-0.00094	-0.00016	-0.0002	-4.19E-05
24.32083	Max	-0.0006	0.000246	-0.00014	-3.24E-05
24.32083	Min	-0.00081	-0.00016	-0.0002	-3.92E-05
24.81042	Max	-0.0005	0.000245	-0.00014	-3.07E-05
24.81042	Min	-0.00068	-0.00017	-0.0002	-3.57E-05
25.3	Max	-0.00041	0.000244	-0.00014	-2.77E-05
25.3	Min	-0.00056	-0.00017	-0.0002	-3.13E-05
25.75833	Max	-0.00032	0.00025	-0.00014	-2.16E-05
25.75833	Min	-0.00045	-0.00018	-0.0002	-2.42E-05
25.85	Max	-0.00031	0.000252	-0.00014	-2.05E-05
25.85	Min	-0.00044	-0.00018	-0.0002	-2.29E-05
26.21667	Max	-0.00024	0.000258	-0.00015	-1.86E-05
26.21667	Min	-0.00038	-0.00019	-0.00019	-2.13E-05
26.7	Max	-0.00016	0.000267	-0.00015	-1.54E-05

Tabel L.4: *Lanjutan*

26.7	Min	-0.00032	-0.0002	-0.00019	-1.85E-05
26.7	Max	-0.0001	0.000373	0.000481	-2.49E-05
26.7	Min	-0.00022	-0.00014	0.000373	-2.76E-05
27.45	Max	-0.00029	0.000356	0.000481	-2.38E-05
27.45	Min	-0.00042	-0.00013	0.000377	-2.51E-05
27.55	Max	-0.00031	0.000354	0.000482	-2.38E-05
27.55	Min	-0.00044	-0.00013	0.000377	-2.50E-05
28.2	Max	-0.00048	0.000338	0.000482	-3.07E-05
28.2	Min	-0.00065	-0.00013	0.000379	-3.34E-05
28.75	Max	-0.00062	0.000332	0.000477	-3.26E-05
28.75	Min	-0.00084	-0.00013	0.000377	-3.65E-05
29.225	Max	-0.00074	0.000328	0.000472	-3.35E-05
29.225	Min	-0.001	-0.00012	0.000374	-3.84E-05
29.7	Max	-0.00084	0.000323	0.000465	-3.38E-05
29.7	Min	-0.00115	-0.00012	0.000369	-3.96E-05
30.39167	Max	-0.00099	0.000319	0.000452	-3.39E-05
30.39167	Min	-0.00136	-0.00012	0.00036	-4.03E-05
30.79583	Max	-0.00106	0.000315	0.000442	-3.35E-05
30.79583	Min	-0.00146	-0.00011	0.000353	-4.04E-05
31.2	Max	-0.00113	0.000311	0.000433	-3.29E-05
31.2	Min	-0.00155	-0.00011	0.000346	-4.02E-05
31.95	Max	-0.00123	0.000307	0.000415	-3.16E-05
31.95	Min	-0.00169	-0.0001	0.000333	-3.83E-05
32.7	Max	-0.00129	0.000301	0.000394	-2.91E-05
32.7	Min	-0.00178	-9.8E-05	0.000317	-3.47E-05
33.22917	Max	-0.00131	0.000299	0.000379	-2.71E-05
33.22917	Min	-0.00181	-9.3E-05	0.000305	-3.17E-05
33.71458	Max	-0.00132	0.000297	0.000365	-2.48E-05
33.71458	Min	-0.00182	-8.9E-05	0.000295	-2.89E-05
34.2	Max	-0.00131	0.000295	0.000351	-2.22E-05
34.2	Min	-0.00181	-8.4E-05	0.000284	-2.61E-05
34.87083	Max	-0.00128	0.000296	0.000333	-1.86E-05
34.87083	Min	-0.00177	-7.7E-05	0.000271	-2.16E-05
35.28542	Max	-0.00124	0.000296	0.000322	-1.61E-05
35.28542	Min	-0.00172	-7.3E-05	0.000262	-1.80E-05
35.7	Max	-0.0012	0.000296	0.00031	-1.36E-05
35.7	Min	-0.00167	-0.00007	0.000253	-1.40E-05
36.45	Max	-0.00109	0.000297	0.000291	-7.36E-06
36.45	Min	-0.00153	-6.4E-05	0.000239	-9.01E-06



Tabel L.4: *Lanjutan*

37.2	Max	-0.00095	0.000295	0.000277	3.52E-07
37.2	Min	-0.00134	-5.8E-05	0.000227	-4.31E-06
37.70833	Max	-0.00084	0.000294	0.000269	5.72E-06
37.70833	Min	-0.0012	-5.5E-05	0.000221	-1.21E-06
38.20417	Max	-0.00072	0.000292	0.000262	1.06E-05
38.20417	Min	-0.00104	-5.2E-05	0.000215	1.69E-06
38.7	Max	-0.0006	0.00029	0.000255	1.54E-05
38.7	Min	-0.00087	-4.8E-05	0.000208	4.48E-06
39.35	Max	-0.00043	0.000286	0.00025	2.07E-05
39.35	Min	-0.00065	-4.6E-05	0.000204	7.43E-06
40	Max	-0.00027	0.000274	0.000251	2.37E-05
40	Min	-0.00049	-4.1E-05	0.000203	8.60E-06

Tabel L.5: Momen Kuat 1 Geometri Lurus

<b>Layout Line Distance</b>	<b>Item Type</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	-3740.34	-3094.18	40.398	1295.17	931.443	-4202.934
2	Max	-3740.34	-2656.04	40.398	1210.431	873.909	2328.2212
2	Max	-3740.34	-2375.38	40.398	1125.078	873.909	2334.0565
4	Max	-3740.34	-1919.95	40.398	1040.354	816.375	7409.4875
4	Max	-3740.34	-1637.84	40.398	958.8672	816.375	7415.3227
6	Max	-3740.34	-1165.34	40.398	879.0215	752.671	10818.411
6	Max	-3740.34	-866.861	40.398	801.3852	747.273	10824.246
8	Max	-3740.34	-393.697	40.398	724.7811	693.518	12612.593
8	Max	-3740.34	-94.578	40.398	649.4629	704.907	12618.429
10	Max	-3740.34	379.008	40.398	575.4662	642.314	12801.067
10	Max	-3740.34	681.905	40.398	503.1975	642.314	12806.902
12	Max	-3740.34	1158.96	40.398	437.6356	578.539	11419.691
12	Max	-3740.34	1461.72	40.398	371.5234	578.539	11425.526
14	Max	-3740.34	1938.48	40.398	304.824	521.519	8434.2563
14	Max	-3740.34	2240.68	40.398	241.9421	521.519	8437.1097
16	Max	-3740.34	2716.7	40.398	190.72	459.156	3812.5708
16	Max	-3740.34	3018	40.398	157.4219	459.156	3809.787
18	Max	-3740.34	3493.05	40.398	123.7947	396.792	-2421.563
18	Max	-3740.34	3812.58	40.398	89.5241	396.792	-2427.398
19.15	Max	-3740.34	3914.38	40.398	89.5241	360.933	-6454.394
19.15	Max	1966.71	-157.65	99.661	722.2399	37.4005	-227.1258
20	Max	1966.71	-82.406	99.661	722.2399	24.0324	-110.5959
20	Max	1966.71	154.248	99.661	49.2451	24.0324	-115.8771
20.85	Max	1966.71	229.491	99.661	49.2451	37.4005	-227.1258
20.85	Max	-3733.77	-3326.41	2.221	1331.99	360.933	-6417.605
22	Max	-3733.77	-3224.61	2.221	1331.99	396.792	-2427.398
22	Max	-3733.77	-2925.06	2.221	1257.528	396.792	-2421.563
24	Max	-3733.77	-2471.18	2.221	1183.131	459.156	3809.787
24	Max	-3733.77	-2189.93	2.221	1108.244	459.156	3812.5708
26	Max	-3733.77	-1733.81	2.221	1033.029	521.519	8437.1097
26	Max	-3733.77	-1439.07	2.221	957.0266	521.519	8434.2563
28	Max	-3733.77	-968.824	2.221	880.0261	578.539	11425.526
28	Max	-3733.77	-671.799	2.221	801.8002	578.539	11419.691
30	Max	-3733.77	-199.865	2.221	722.9994	642.314	12806.902
30	Max	-3733.77	98.472	2.221	641.8317	642.314	12801.067
32	Max	-3733.77	574.17	2.221	558.2969	704.907	12618.429

Tabel L.5: *Lanjutan.*

32	Max	-3733.77	876.275	2.221	481.1178	693.518	12612.593
34	Max	-3733.77	1352.94	2.221	403.2287	747.273	10824.246
34	Max	-3733.77	1655.68	2.221	326.0958	752.671	10818.411
36	Max	-3733.77	2132.75	2.221	246.8169	816.375	7415.3227
36	Max	-3733.77	2435.76	2.221	162.7739	816.375	7409.4875
38	Max	-3733.77	2912.87	2.221	121.4884	873.909	2334.0565
38	Max	-3733.77	3215.63	2.221	82.5398	873.909	2328.2212
40	Max	-3733.77	3692.23	2.221	42.6374	931.443	-4195.551

Tabel L.6: Momen Kuat 3 Geometri Lurus.

<b>Layout Line Distance</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-3756.981	-3111.98	-113.347	-94.1799	-357.8945	-4221.6303
2	-3756.981	-2673.845	-104.275	-88.9515	-140.2726	1564.1944
2	-3756.981	-2409.908	-95.203	-83.7231	-140.2726	1564.1944
4	-3756.981	-1971.773	-86.131	-78.4947	41.0614	5945.875
4	-3756.981	-1707.836	-77.059	-73.2663	41.0614	5945.875
6	-3756.981	-1269.701	-67.987	-68.0379	186.1074	8923.4116
6	-3756.981	-1005.764	-58.915	-62.8095	186.1074	8923.4116
8	-3756.981	-567.629	-49.843	-57.5811	294.8654	10496.8042
8	-3756.981	-303.691	-40.771	-52.3527	294.8654	10496.8042
10	-3756.981	134.443	-31.699	-47.1243	367.3354	10666.0527
10	-3756.981	398.381	-22.627	-41.8959	367.3354	10666.0527
12	-3756.981	836.515	-13.555	-36.6675	403.5174	9431.1573
12	-3756.981	1100.453	-4.483	-31.439	403.5174	9431.1573
14	-3756.981	1538.587	4.589	-26.2106	403.4114	6792.1178
14	-3756.981	1802.525	13.661	-20.9822	403.4114	6792.1178
16	-3756.981	2240.659	22.733	-15.7538	367.0174	2748.9343
16	-3756.981	2504.597	31.805	-10.5254	367.0174	2748.9343
18	-3756.981	2942.731	40.877	-5.297	294.3353	-2698.3932
18	-3756.981	3226.25	50.629	0.3235	294.3353	-2698.3932
19.15	-3756.981	3328.051	50.629	0.3235	236.1115	-6467.1164
19.15	1780.047	-186.467	-3.856	-2.2221	197.2602	-245.2895
20	1780.047	-111.223	-3.856	-2.2221	200.5374	-118.7713
20	1780.047	111.223	3.856	2.2221	200.5374	-118.7713
20.85	1780.047	186.467	3.856	2.2221	197.2602	-245.2895
20.85	-3756.981	-3328.051	-50.629	-0.3235	236.1115	-6467.1164
22	-3756.981	-3226.25	-50.629	-0.3235	294.3353	-2698.3932
22	-3756.981	-2942.731	-40.877	5.297	294.3353	-2698.3932
24	-3756.981	-2504.597	-31.805	10.5254	367.0174	2748.9343
24	-3756.981	-2240.659	-22.733	15.7538	367.0174	2748.9343
26	-3756.981	-1802.525	-13.661	20.9822	403.4114	6792.1178
26	-3756.981	-1538.587	-4.589	26.2106	403.4114	6792.1178
28	-3756.981	-1100.453	4.483	31.439	403.5174	9431.1573
28	-3756.981	-836.515	13.555	36.6675	403.5174	9431.1573
30	-3756.981	-398.381	22.627	41.8959	367.3354	10666.0527
30	-3756.981	-134.443	31.699	47.1243	367.3354	10666.0527
32	-3756.981	303.691	40.771	52.3527	294.8654	10496.8042
32	-3756.981	567.629	49.843	57.5811	294.8654	10496.8042
34	-3756.981	1005.764	58.915	62.8095	186.1074	8923.4116

Tabel L.6: *Lanjutan.*

34	-3756.981	1269.701	67.987	68.0379	186.1074	8923.4116
36	-3756.981	1707.836	77.059	73.2663	41.0614	5945.875
36	-3756.981	1971.773	86.131	78.4947	41.0614	5945.875
38	-3756.981	2409.908	95.203	83.7231	-140.2726	1564.1944
38	-3756.981	2673.845	104.275	88.9515	-140.2726	1564.1944
40	-3756.981	3111.98	113.347	94.1799	-357.8946	-4221.6303

Tabel L.7: Momen Kuat 5 Geometri Lurus.

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-3756.347	-3111.842	-23.414	-19.4547	-73.9302	-4220.9178
2	-3756.347	-2673.707	-21.54	-18.3747	-28.9761	1564.6316
2	-3756.347	-2409.77	-19.666	-17.2947	-28.9761	1564.6316
4	-3756.347	-1971.635	-17.792	-16.2146	8.482	5946.0369
4	-3756.347	-1707.698	-15.918	-15.1346	8.482	5946.0369
6	-3756.347	-1269.563	-14.044	-14.0546	38.4441	8923.2983
6	-3756.347	-1005.626	-12.17	-12.9745	38.4441	8923.2983
8	-3756.347	-567.491	-10.296	-11.8945	60.9102	10496.4156
8	-3756.347	-303.554	-8.422	-10.8145	60.9102	10496.4156
10	-3756.347	134.581	-6.548	-9.7344	75.8803	10665.3889
10	-3756.347	398.518	-4.674	-8.6544	75.8803	10665.3889
12	-3756.347	836.653	-2.8	-7.5744	83.3545	9430.2181
12	-3756.347	1100.59	-0.926	-6.4944	83.3545	9430.2181
14	-3756.347	1538.725	0.948	-5.4143	83.3326	6790.9034
14	-3756.347	1802.662	2.822	-4.3343	83.3326	6790.9034
16	-3756.347	2240.797	4.696	-3.2543	75.8147	2747.4446
16	-3756.347	2504.734	6.57	-2.1742	75.8147	2747.4446
18	-3756.347	2942.869	8.444	-1.0942	60.8008	-2700.1582
18	-3756.347	3226.388	10.458	0.0668	60.8008	-2700.1582
19.15	-3756.347	3328.188	10.458	0.0668	48.7735	-6469.0396
19.15	1782.261	-186.467	-0.796	-0.459	40.748	-245.4372
20	1782.261	-111.223	-0.796	-0.459	41.4249	-118.919
20	1782.261	111.223	0.796	0.459	41.4249	-118.919
20.85	1782.261	186.467	0.796	0.459	40.748	-245.4372
20.85	-3756.347	-3328.188	-10.458	-0.0668	48.7735	-6469.0396
22	-3756.347	-3226.388	-10.458	-0.0668	60.8008	-2700.1582
22	-3756.347	-2942.869	-8.444	1.0942	60.8008	-2700.1582
24	-3756.347	-2504.734	-6.57	2.1742	75.8147	2747.4446
24	-3756.347	-2240.797	-4.696	3.2543	75.8147	2747.4446
26	-3756.347	-1802.662	-2.822	4.3343	83.3325	6790.9034
26	-3756.347	-1538.725	-0.948	5.4143	83.3325	6790.9034
28	-3756.347	-1100.59	0.926	6.4944	83.3544	9430.2181
28	-3756.347	-836.653	2.8	7.5744	83.3544	9430.2181
30	-3756.347	-398.518	4.674	8.6544	75.8803	10665.3889
30	-3756.347	-134.581	6.548	9.7344	75.8803	10665.3889
32	-3756.347	303.554	8.422	10.8145	60.9102	10496.4156
32	-3756.347	567.491	10.296	11.8945	60.9102	10496.4156
34	-3756.347	1005.626	12.17	12.9745	38.4441	8923.2983

Tabel L.7: *Lanjutan.*

34	-3756.347	1269.563	14.044	14.0546	38.4441	8923.2983
36	-3756.347	1707.698	15.918	15.1346	8.482	5946.0369
36	-3756.347	1971.635	17.792	16.2146	8.482	5946.0369
38	-3756.347	2409.77	19.666	17.2947	-28.9761	1564.6316
38	-3756.347	2673.707	21.54	18.3747	-28.9761	1564.6316
40	-3756.347	3111.842	23.414	19.4547	-73.9302	-4220.9178

Tabel L.8: Momen Kuat 1 Geometri Tikungan

Layout Line Distance	Item Type	P	V2	V3	T	M2	M3
m		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	Max	-168.484	-1549.615	164.068	663.9073	-81.852	-201.877
1.5	Max	-168.484	-1199.982	125.995	515.8492	-231.7822	2543.3966
1.5	Max	-168.484	-1146.58	119.404	519.0447	-231.7822	2549.2316
3	Max	-168.484	-753.346	79.061	448.7805	-290.4941	4482.1801
3	Max	-168.484	-699.895	73	457.5419	-290.4941	4485.1319
4.5	Max	-168.484	-302.872	33.584	391.8154	-278.2788	5588.0646
4.5	Max	-168.484	-238.684	28.384	436.6229	-277.6998	5585.7551
6	Max	-168.484	171.125	-10.693	389.4986	-204.9256	5896.7705
6	Max	-168.484	244.386	-15.592	423.1204	-204.9256	5890.9354
7.5	Max	-168.484	657.248	-54.197	381.6652	-69.6328	5555.4475
7.5	Max	-168.484	730.467	-58.738	417.4115	-69.6328	5552.1198
9	Max	-168.484	1146.232	-96.772	379.0978	131.0649	4450.1321
9	Max	-168.484	1215.073	-102.617	433.6876	131.0649	4444.297
10.5	Max	-168.484	1631.048	-141.271	409.4185	395.1039	2527.2473
10.5	Max	-168.42	1706.818	-145.187	462.9859	395.1039	2521.4122
12	Max	-168.132	2121.754	-182.878	440.6008	721.3739	-209.2871
12	Max	-167.802	2212.208	-187.922	569.3442	720.8445	-209.8283
12.45	Max	-167.802	2251.846	-191.885	568.6499	831.0961	-1073.6212
12.45	Max	773.884	-107.457	24.997	476.4164	193.8247	-103.6705
13.3	Max	773.884	-32.586	17.509	475.1029	231.4291	-34.3557
13.3	Max	773.884	217.458	0.886	66.064	232.0442	-43.5765
14.05	Max	773.83	283.492	-6.06	64.8233	331.1344	-131.3093
14.05	Max	773.83	550.802	-13.611	221.528	333.0784	-145.6587
14.15	Max	773.815	559.602	-14.583	221.3688	348.6309	-181.3865
14.15	Max	-253.391	-1554.936	218.062	227.332	818.8146	-1227.1743
14.8	Max	-253.377	-1497.643	212.74	226.4087	694.3051	-48.9463
14.8	Max	-253.377	-1396.049	199.917	452.6508	694.294	-43.0019
15.3625	Max	-253.358	-1346.451	195.476	453.3091	594.8499	963.3418
15.3625	Max	-253.358	-1242.19	183.7	409.5392	595.2408	965.3128
15.83125	Max	-253.337	-1200.843	180.122	411.583	518.6516	1717.0517
15.83125	Max	-253.337	-1104.761	169.358	389.1562	518.6749	1722.6687
16.3	Max	-253.311	-1063.402	165.876	392.8976	448.1218	2394.0109
16.3	Max	-253.311	-941.845	153.509	390.0306	447.1379	2409.6811
17.00417	Max	-253.261	-879.691	148.436	400.1217	352.7979	3240.6961
17.00417	Max	-253.261	-764.51	138.336	337.1932	354.0422	3232.5699
17.40208	Max	-253.227	-729.374	135.572	345.1924	306.8051	3666.2284
17.40208	Max	-253.227	-631.601	125.088	287.6746	306.8049	3670.7183
17.8	Max	-253.188	-596.455	122.41	297.2545	263.55	4006.2284



Tabel L.8: *Lanjutan.*

17.8	Max	-253.188	-476.858	111.658	390.7824	262.0611	4024.9275
18.55	Max	-253.098	-410.589	106.815	414.4858	191.4694	4532.4181
18.55	Max	-253.098	-250.6	91.068	397.9896	191.4251	4531.7993
19.3	Max	-252.986	-184.301	86.505	427.7989	134.8347	4826.1564
19.3	Max	-252.986	-35.909	72.975	382.1335	135.7604	4812.2961
19.84167	Max	-252.889	12.006	69.852	407.9311	104.0684	4905.9049
19.84167	Max	-252.889	134.028	59.067	392.975	104.2244	4898.2284
20.32083	Max	-252.79	176.434	56.428	417.8741	84.4578	4929.9383
20.32083	Max	-252.79	287.559	46.583	416.5502	83.6656	4930.2113
20.8	Max	-252.678	329.978	44.055	442.9565	69.3551	4903.0943
20.8	Max	-252.678	466.355	30.797	459.2399	63.8382	4910.3314
21.48333	Max	-252.492	526.879	27.213	498.5802	57.7899	4704.6733
21.48333	Max	-252.492	654.224	17.262	463.6709	59.3365	4694.5426
21.89167	Max	-252.365	690.407	15.261	487.8922	68.185	4540.8205
21.89167	Max	-252.365	797.639	5.967	455.9792	68.5726	4535.5832
22.3	Max	-252.225	833.83	3.902	479.8649	85.6298	4263.3101
22.3	Max	-252.225	956.322	-6.945	579.5263	84.0938	4275.078
23.05	Max	-251.931	1022.825	-10.556	623.0115	129.1912	3677.8516
23.05	Max	-251.931	1205.304	-25.483	649.3959	128.9742	3674.3039
23.8	Max	-251.583	1271.84	-28.92	688.3994	192.1766	2842.9107
23.8	Max	-251.583	1435.241	-41.059	672.8421	193.0611	2828.2861
24.32083	Max	-251.306	1481.469	-43.32	696.0225	244.9663	2125.6268
24.32083	Max	-251.306	1606.364	-52.848	714.0079	244.961	2119.9025
24.81042	Max	-251.017	1649.834	-54.886	730.9203	299.5929	1362.389
24.81042	Max	-251.017	1766.629	-63.853	756.9128	299.4716	1357.9262
25.3	Max	-250.698	1810.109	-65.811	767.8508	360.491	510.1953
25.3	Max	-250.698	1931.804	-74.892	787.2836	360.4784	504.4872
25.75833	Max	-250.37	1972.513	-76.673	800.6636	422.8573	-319.9287
25.75833	Max	-250.37	2035.563	-81.607	736.6781	423.522	-326.5751
25.85	Max	-250.301	2043.703	-81.953	738.6197	436.5167	-464.0416
25.85	Max	10.125	-248.159	57.118	643.7986	64.6761	-153.9182
26.21667	Max	10.125	-215.828	53.829	642.6144	44.4308	-64.3838
26.21667	Max	8.567	-138.841	41.167	621.3215	40.1776	-65.4009
26.7	Max	8.566	-96.223	36.984	620.1367	21.5202	-6.0938
26.7	Max	0.087	15.835	-1.306	6.855	0.1704	0.0503
27.45	Max	0.087	81.966	-7.919	5.4968	3.8536	-34.8159
27.45	Max	9.775	468.264	-15.699	502.4499	28.9743	-48.9855
27.55	Max	9.775	477.081	-16.58	502.8554	33.5307	-73.3708
27.55	Max	-217.5	-1633.979	234.071	311.9549	470.5082	-311.1727
28.2	Max	-217.293	-1576.429	231.466	331.1157	341.0289	1032.4379
28.2	Max	-217.293	-1449.145	217.559	349.8804	341.657	1031.9382

Tabel L.8: *Lanjutan.*

28.75	Max	-217.105	-1400.436	215.23	366.399	239.4467	2069.0466
28.75	Max	-217.105	-1292.789	203.622	382.2563	239.856	2070.7118
29.225	Max	-216.936	-1250.731	201.528	403.2448	157.1773	2870.3206
29.225	Max	-216.936	-1153.784	191.151	400.9507	157.2794	2874.9985
29.7	Max	-216.756	-1111.734	188.98	426.5702	79.8117	3590.4499
29.7	Max	-216.756	-989.366	173.659	341.907	79.0341	3604.0642
30.39167	Max	-216.478	-928.151	170.333	384.0262	-24.2319	4460.2933
30.39167	Max	-216.478	-815.823	160.303	473.3091	-22.9596	4451.6835
30.79583	Max	-216.314	-780.062	158.277	500.4351	-78.0559	4912.9755
30.79583	Max	-216.314	-691.293	145.517	462.8742	-79.4277	4918.1711
31.2	Max	-216.151	-655.539	143.339	490.8821	-130.0688	5276.647
31.2	Max	-216.151	-539.682	132.496	429.3349	-131.7815	5294.2541
31.95	Max	-215.853	-473.354	128.372	481.8466	-214.4669	5845.3814
31.95	Max	-215.853	-305.424	112.161	496.2139	-214.317	5849.6193
32.7	Max	-215.566	-239.104	107.732	548.7575	-282.2709	6185.4528
32.7	Max	-215.566	-82.069	94.014	623.814	-281.1467	6180.0094
33.22917	Max	-215.372	-35.286	90.752	659.0603	-320.3582	6299.1077
33.22917	Max	-215.372	84.237	79.815	679.8228	-320.1495	6302.7939
33.71458	Max	-215.202	127.141	76.72	710.5094	-349.6496	6320.2029
33.71458	Max	-215.202	239.588	66.333	718.4201	-349.615	6325.5929
34.2	Max	-215.04	282.482	63.148	747.0398	-373.2624	6314.5903
34.2	Max	-215.04	416.515	48.617	681.5755	-374.0086	6327.8868
34.87083	Max	-214.833	475.775	44.046	715.6955	-396.0582	6147.0157
34.87083	Max	-214.833	597.204	34.21	800.1039	-395.0195	6136.6414
35.28542	Max	-214.715	633.817	31.304	818.8432	-402.2581	6000.4338
35.28542	Max	-214.715	741.146	16.447	762.8012	-404.1288	6006.142
35.7	Max	-214.605	777.752	13.479	779.2481	-406.6697	5743.7279
35.7	Max	-214.605	900.15	-0.223	703.8225	-410.6249	5761.598
36.45	Max	-214.428	966.353	-5.776	727.5569	-403.424	5222.146
36.45	Max	-214.428	1148.929	-21.71	761.7612	-404.2423	5226.0212
37.2	Max	-214.283	1215.103	-27.508	778.9612	-381.0446	4458.7819
37.2	Max	-214.283	1374.069	-39.785	859.1374	-379.9689	4447.7649
37.70833	Max	-214.203	1418.905	-43.826	866.7029	-351.2717	3808.7745
37.70833	Max	-214.203	1539.209	-53.563	880.0812	-351.2576	3805.2183
38.20417	Max	-214.139	1582.931	-57.591	885.0584	-316.4106	3090.7006
38.20417	Max	-214.139	1700.984	-67.196	894.4322	-316.4499	3085.2311
38.7	Max	-214.091	1744.694	-71.307	897.4054	-274.6968	2279.9883
38.7	Max	-214.091	1880.396	-83.495	850.4889	-275.409	2281.2772
39.35	Max	-214.051	1937.678	-89.013	851.2697	-208.3169	1066.4755
39.35	Max	-214.054	2078.797	-100.782	863.7417	-208.4229	1063.8025
40	Max	-214.04	2136.061	-106.439	863.2654	-128.9273	-248.1889

Tabel L.9: Momen Kuat 3 Geometri Tikungan.

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-181.041	-1577.595	40.268	-26.9168	-156.7152	-219.5315
1.5	-181.041	-1230.082	19.193	-136.5382	-201.3109	1886.2264
1.5	-181.041	-1196.877	15.872	-108.5716	-201.3109	1886.2264
3	-181.041	-822.547	-7.885	-149.2628	-207.3015	3400.7946
3	-181.041	-789.342	-11.205	-121.2962	-207.3015	3400.7946
4.5	-181.041	-415.013	-34.962	-161.9874	-172.6756	4304.0608
4.5	-181.041	-381.808	-38.283	-134.0208	-172.6756	4304.0608
6	-181.041	-7.478	-62.04	-174.712	-97.4334	4596.0251
6	-181.041	25.727	-65.361	-146.7455	-97.4334	4596.0251
7.5	-181.041	400.057	-89.118	-187.4367	18.4252	4276.6875
7.5	-181.041	433.262	-92.438	-159.4701	18.4252	4276.6875
9	-181.041	807.591	-116.195	-200.1613	174.9002	3346.048
9	-181.041	840.796	-119.516	-172.1947	174.9002	3346.048
10.5	-181.041	1215.126	-143.273	-212.8859	371.9916	1804.1065
10.5	-181.041	1248.331	-146.593	-184.9193	371.9916	1804.1065
12	-181.041	1622.66	-170.35	-225.6105	609.6994	-349.1369
12	-181.041	1672.048	-175.289	-129.5318	609.17	-343.843
12.45	-181.041	1711.685	-179.253	-130.226	688.942	-1105.1828
12.45	649.111	-127.605	-91.017	79.054	79.7563	-119.0127
13.3	649.111	-52.735	-98.505	77.7405	160.303	-42.3681
13.3	649.111	98.292	-99.04	-298.2546	160.1817	-48.5925
14.05	649.069	164.327	-105.948	-299.4782	237.008	-146.9433
14.05	649.07	239.499	-112.558	-151.3259	238.9947	-166.3786
14.15	649.059	248.3	-113.519	-151.4863	250.2976	-190.7519
14.15	-281.5	-1585.161	112.252	-508.6977	561.0389	-1263.8804
14.8	-281.554	-1527.869	106.852	-509.5889	489.772	-251.4326
14.8	-281.554	-1429.896	97.055	-260.4838	489.7609	-251.3217
15.3625	-281.622	-1380.301	92.522	-260.0781	436.3999	539.5799
15.3625	-281.606	-1286.28	88.186	-282.6914	435.3231	535.5142
15.83125	-281.67	-1244.939	84.508	-281.2193	394.7968	1129.3585
15.83125	-281.65	-1159.694	80.191	-281.4088	393.7672	1129.0081
16.3	-281.718	-1118.343	76.603	-278.5944	356.9582	1663.6099
16.3	-281.69	-1009.347	69.897	-223.3113	354.8915	1673.3239
17.00417	-281.796	-947.209	64.676	-215.1813	307.4298	2363.1924
17.00417	-281.732	-846.368	60.868	-284.8836	306.2463	2350.4702
17.40208	-281.785	-811.244	58.008	-278.4975	282.5233	2681.0403
17.40208	-281.741	-738.893	54.306	-277.0404	281.6462	2680.9289
17.8	-281.79	-703.761	51.51	-269.3149	260.5175	2968.7693

Tabel L.9: Lanjutan.

17.8	-281.736	-597.12	44.369	-184.7676	258.116	2983.5362
18.55	-281.815	-530.883	39.277	-165.4675	226.6537	3407.6879
18.55	-281.68	-394.431	32.246	-160.6016	223.6257	3407.7547
19.3	-281.719	-328.168	27.383	-136.5399	201.1744	3679.8045
19.3	-281.543	-207.595	21.906	-179.3255	198.9653	3670.0898
19.84167	-281.534	-159.721	18.536	-158.5831	187.9266	3770.4768
19.84167	-281.384	-66.84	13.979	-168.0257	186.2285	3768.3062
20.32083	-281.346	-24.479	11.097	-148.0747	180.145	3790.9541
20.32083	-281.194	62.649	6.554	-142.7275	178.4731	3791.1635
20.8	-281.125	105.021	3.765	-121.56	175.9354	3751.6383
20.8	-280.953	213.437	-2.922	-66.8765	173.274	3760.8574
21.48333	-280.799	273.881	-6.739	-34.4289	176.5483	3594.6263
21.48333	-280.508	373.271	-10.778	-90.5301	174.3586	3584.0363
21.89167	-280.371	409.4	-12.97	-70.7578	179.1731	3424.5136
21.89167	-280.18	483.635	-16.883	-64.5362	177.5941	3424.7631
22.3	-280.011	519.772	-19.009	-44.9183	184.9019	3220.0105
22.3	-279.802	627.891	-26.321	43.8289	181.7281	3235.4278
23.05	-279.411	694.285	-30.053	79.4184	202.9659	2738.5157
23.05	-278.963	830.714	-37.299	92.912	198.5093	2740.0038
23.8	-278.437	897.134	-40.813	124.5421	227.9656	2090.1992
23.8	-277.921	1015.461	-46.287	84.2231	224.3289	2080.6048
24.32083	-277.458	1061.6	-48.601	103.0343	249.1472	1538.3582
24.32083	-277.065	1153.438	-53.392	106.6202	246.3257	1537.903
24.81042	-276.556	1196.82	-55.475	120.4086	273.1006	961.0214
24.81042	-276.155	1285.829	-60.264	131.5231	270.2557	961.7309
25.3	-275.57	1329.221	-62.259	140.5908	300.4018	319.6965
25.3	-275.136	1418.278	-67.071	145.1663	297.5244	319.286
25.75833	-274.514	1458.904	-68.859	157.8639	328.4404	-340.3624
25.75833	-274.077	1508.618	-70.014	80.4188	326.3545	-347.5353
25.85	-273.941	1516.742	-70.363	82.4477	332.7194	-486.0756
25.85	-1.539	-249.471	11.696	239.9326	12.6903	-153.3022
26.21667	-1.629	-217.139	8.474	239.2734	9.143	-69.1176
26.21667	-1.255	-139.851	3.783	277.1246	6.4762	-64.6844
26.7	-1.35	-97.232	-0.466	276.1163	5.9286	-9.7707
26.7	1.82E-12	13.062	-1.306	6.5922	-1.27E-05	1.27E-04
27.45	2.12E-12	79.193	-7.919	5.2399	3.4816	-34.8159
27.45	0.122	157.069	-14.879	166.1397	5.1786	-56.9951
27.55	0.123	165.884	-15.761	166.5427	6.7462	-73.5008
27.55	-239.361	-1644.768	140.197	-230.556	419.8676	-336.623
28.2	-239.623	-1587.198	137.216	-212.3156	329.8618	715.2268
28.2	-238.889	-1475.088	130.58	-174.7127	328.3452	708.3087

Tabel L.9: Lanjutan.

28.75	-239.035	-1426.382	127.937	-160.4773	257.0126	1508.67
28.75	-238.362	-1333.162	122.574	-131.9016	255.2647	1503.9742
29.225	-238.437	-1291.108	120.203	-114.5374	197.4457	2128.8539
29.225	-237.732	-1204.755	115.535	-104.7358	195.2494	2127.1967
29.7	-237.761	-1162.711	113.08	-83.5967	140.8251	2690.7411
29.7	-236.687	-1053.85	107.987	-122.4433	137.0806	2697.6024
30.39167	-236.649	-992.646	104.264	-87.4502	63.4899	3407.0988
30.39167	-235.985	-893.006	97.691	-11.1614	62.4191	3393.7593
30.79583	-235.935	-857.251	95.435	11.2255	23.3535	3747.7839
30.79583	-235.251	-783.782	91.486	17.9346	20.9768	3746.5819
31.2	-235.178	-748.034	89.169	41.2473	-15.5492	4056.2542
31.2	-233.869	-640.159	84.705	-29.9599	-20.5542	4068.5914
31.95	-233.669	-573.842	80.246	13.5502	-82.482	4524.2958
31.95	-232.294	-437.417	72.947	23.6097	-86.2654	4521.6125
32.7	-232.041	-371.124	68.283	66.8176	-139.2411	4824.6652
32.7	-231.03	-252.127	60.871	125.6122	-141.5363	4812.4984
33.22917	-230.833	-205.368	57.459	154.231	-172.7945	4932.8686
33.22917	-229.879	-113.172	52.365	169.5832	-175.9171	4929.9
33.71458	-229.687	-70.289	49.148	194.4663	-200.4902	4973.6151
33.71458	-228.711	17.968	44.457	198.8359	-203.8815	4972.3654
34.2	-228.512	60.841	41.156	222.0718	-224.5862	4952.3268
34.2	-227.133	169.057	36.065	183.6037	-229.685	4958.5594
34.87083	-226.847	228.29	31.366	211.6875	-252.2177	4824.1541
34.87083	-225.973	326.596	25.086	274.4379	-254.3966	4812.9425
35.28542	-225.801	363.194	22.104	289.7415	-264.1014	4669.0465
35.28542	-224.913	438.564	18.124	291.7971	-267.3673	4668.1405
35.7	-224.744	475.155	15.083	305.4546	-274.1747	4477.8368
35.7	-223.115	584.505	10.605	229.8878	-280.576	4490.6653
36.45	-222.817	650.681	4.953	249.396	-286.3213	4026.2621
36.45	-221.152	787.12	-2.208	250.7831	-291.4596	4025.0209
37.2	-220.886	853.274	-8.05	264.9164	-287.5334	3408.7843
37.2	-219.737	969.999	-15.314	321.2055	-290.5209	3396.96
37.70833	-219.583	1014.824	-19.378	327.2992	-281.6434	2891.7458
37.70833	-218.451	1106.092	-24.193	329.5378	-285.6655	2890.5486
38.20417	-218.323	1149.805	-28.239	333.5465	-272.6184	2330.6714
38.20417	-217.181	1239.968	-32.93	332.255	-276.7329	2329.9992
38.7	-217.079	1283.672	-37.056	334.6555	-259.3455	1703.8782
38.7	-215.57	1391.149	-42.114	296.7186	-265.0127	1709.6363
39.35	-215.48	1448.427	-47.641	297.2984	-235.8194	786.4105
39.35	-213.959	1566.662	-53.752	293.6744	-240.9127	786.0442
40	-213.927	1623.924	-59.411	293.1739	-204.1315	-251.0203

Tabel L.10: Momen Kuat 5 Geometri Tikungan

Layout Line Distance	P	V2	V3	T	M2	M3
m	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
0	-179.859	-1573.344	100.235	44.7835	-128.2039	-215.3412
1.5	-179.859	-1226.905	68.416	-71.024	-254.6916	1884.8452
1.5	-179.859	-1193.7	65.095	-43.0574	-254.6916	1884.8452
3	-179.859	-820.444	30.595	-89.9348	-326.4591	3395.4534
3	-179.859	-787.239	27.274	-61.9682	-326.4591	3395.4534
4.5	-179.859	-413.984	-7.226	-108.8455	-341.495	4296.3711
4.5	-179.859	-380.779	-10.547	-80.879	-341.495	4296.3711
6	-179.859	-7.524	-45.047	-127.7563	-299.7995	4587.5985
6	-179.859	25.681	-48.368	-99.7897	-299.7995	4587.5985
7.5	-179.859	398.936	-82.868	-146.6671	-201.3724	4269.1355
7.5	-179.859	432.141	-86.189	-118.7005	-201.3724	4269.1355
9	-179.859	805.397	-120.689	-165.5778	-46.2138	3340.982
9	-179.859	838.602	-124.01	-137.6112	-46.2138	3340.982
10.5	-179.859	1211.857	-158.51	-184.4886	165.6763	1803.1381
10.5	-179.859	1245.062	-161.831	-156.522	165.6763	1803.1381
12	-179.859	1618.317	-196.331	-203.3993	434.2979	-344.3962
12	-179.859	1667.672	-201.592	-107.5057	433.6962	-339.1095
12.45	-179.859	1707.309	-205.555	-108.1999	525.3042	-1098.4803
12.45	644.09	-127.541	-73.9	86.9301	-5.9817	-118.6603
13.3	644.09	-52.671	-81.388	85.6167	60.0151	-42.0706
13.3	644.09	97.327	-92.225	-296.3109	60.4197	-48.2423
14.05	644.051	163.361	-99.131	-297.5294	132.1344	-145.8699
14.05	644.051	238.416	-106.92	-150.0557	134.2915	-165.2878
14.15	644.041	247.217	-107.88	-150.2147	145.0304	-189.5529
14.15	-285.649	-1580.132	151.343	-448.9279	494.4842	-1261.6066
14.8	-285.657	-1522.84	145.949	-449.8091	397.8101	-252.4973
14.8	-285.658	-1424.954	135.276	-201.2078	397.8297	-252.3824
15.3625	-285.669	-1375.358	130.75	-200.7905	322.9723	535.65
15.3625	-285.665	-1281.731	122.491	-225.6628	322.858	531.688
15.83125	-285.674	-1240.389	118.819	-224.1794	266.2553	1123.3075
15.83125	-285.67	-1155.475	111.185	-226.2787	265.8889	1123.0329
16.3	-285.677	-1114.123	107.605	-223.4518	214.5561	1655.5503
16.3	-285.673	-1005.475	97.419	-170.1729	213.062	1665.3354
17.00417	-285.682	-943.336	92.211	-162.023	146.2281	2352.2909
17.00417	-285.667	-842.968	83.673	-234.4489	146.7056	2339.763
17.40208	-285.667	-807.843	80.822	-228.0514	113.9144	2668.864
17.40208	-285.658	-735.772	74.329	-228.2015	113.5873	2668.828
17.8	-285.656	-700.639	71.543	-220.4648	84.4982	2955.3024

Tabel L.10: *Lanjutan*

17.8	-285.649	-594.302	61.357	-137.6709	82.4968	2970.1359
18.55	-285.634	-528.063	56.285	-118.3515	38.3052	3391.9188
18.55	-285.607	-392.134	44.021	-116.4992	37.141	3392.2343
19.3	-285.572	-325.868	39.182	-92.4216	5.8723	3662.2862
19.3	-285.532	-205.801	28.648	-138.1187	5.7432	3652.8579
19.84167	-285.489	-157.926	25.298	-117.368	-8.9347	3752.0668
19.84167	-285.457	-65.415	17.038	-128.9428	-9.425	3750.0851
20.32083	-285.404	-23.052	14.176	-108.9872	-16.9612	3771.8629
20.32083	-285.374	63.746	6.325	-105.5442	-17.6207	3772.2436
20.8	-285.305	106.12	3.558	-84.3751	-20.0347	3732.0025
20.8	-285.277	214.19	-6.581	-31.6789	-21.7535	3741.3991
21.48333	-285.152	274.638	-10.363	0.7649	-15.9609	3574.3752
21.48333	-285.084	373.58	-18.883	-57.9157	-15.9998	3564.129
21.89167	-284.988	409.712	-21.052	-38.1493	-7.8615	3404.316
21.89167	-284.95	483.667	-27.755	-33.5348	-8.4916	3404.7487
22.3	-284.838	519.807	-29.856	-13.926	3.2708	3199.8195
22.3	-284.812	627.621	-40.211	73.069	0.8635	3215.419
23.05	-284.565	694.02	-43.891	108.6327	32.5394	2718.4066
23.05	-284.477	829.94	-56.231	119.1928	30.7027	2720.3642
23.8	-284.162	896.366	-59.683	150.7847	74.379	2070.8465
23.8	-284.047	1014.204	-70.051	107.6476	73.7153	2061.7805
24.32083	-283.78	1060.348	-72.314	126.4248	110.9301	1519.9961
24.32083	-283.702	1151.838	-80.586	128.0064	109.8706	1519.8982
24.81042	-283.413	1195.226	-82.615	141.7566	149.9783	943.6272
24.81042	-283.336	1283.906	-90.687	150.9809	148.8147	944.6912
25.3	-283.008	1327.305	-92.62	160.0044	193.8739	303.4342
25.3	-282.922	1416.036	-100.679	162.7103	192.7871	303.4031
25.75833	-282.577	1456.669	-102.402	175.3583	239.0775	-355.3643
25.75833	-282.46	1506.106	-106.326	96.3186	238.9164	-362.1604
25.85	-282.386	1514.231	-106.661	98.3368	248.6047	-500.4976
25.85	-0.396	-248.496	21.44	245.5447	15.0618	-153.7232
26.21667	-0.419	-216.166	18.21	244.8803	7.9363	-69.935
26.21667	-0.359	-139.13	10.998	281.2795	6.5218	-65.1962
26.7	-0.386	-96.511	6.74	280.2657	2.4818	-10.6706
26.7	1.83E-12	13.062	-1.306	6.5922	-1.27E-05	1.27E-04
27.45	1.01E-12	79.193	-7.919	5.2399	3.4816	-34.8159
27.45	-0.051	156.953	-16.04	165.4713	5.3957	-56.8743
27.55	-0.051	165.768	-16.921	165.8744	7.0795	-73.3671
27.55	-230.43	-1637.622	170.026	-271.9499	274.366	-326.6028
28.2	-230.343	-1580.063	166.941	-253.4497	164.9628	721.0832
28.2	-230.213	-1468.326	156.574	-217.9948	164.7936	714.6479

Tabel L.10: *Lanjutan*

28.75	-230.114	-1419.628	153.85	-203.5585	79.1303	1511.6865
28.75	-229.993	-1326.729	145.27	-176.8351	78.727	1507.4432
29.225	-229.89	-1284.682	142.835	-159.3162	10.0966	2129.6072
29.225	-229.753	-1198.645	135.003	-151.3364	9.3459	2128.4219
29.7	-229.636	-1156.607	132.49	-130.0588	-54.3553	2689.4016
29.7	-229.396	-1048.191	122.943	-171.4699	-56.1883	2696.9342
30.39167	-229.203	-986.994	119.145	-136.3015	-140.1567	3403.006
30.39167	-229.116	-887.646	109.658	-61.6913	-139.8197	3390.1392
30.79583	-228.996	-851.895	107.363	-39.2164	-183.7464	3742.2759
30.79583	-228.862	-778.697	100.711	-34.0638	-184.5939	3741.5436
31.2	-228.738	-742.952	98.361	-10.6726	-224.8723	4049.4347
31.2	-228.426	-635.554	89.125	-84.6271	-227.4791	4062.5862
31.95	-228.181	-569.242	84.615	-40.9937	-292.7557	4515.3383
31.95	-227.909	-433.321	72.278	-33.8356	-294.0509	4513.5387
32.7	-227.659	-367.032	67.577	9.4679	-346.5582	4813.9996
32.7	-227.495	-248.407	56.442	66.1191	-346.753	4802.5308
33.22917	-227.32	-201.65	53.012	94.7901	-375.6933	4921.254
33.22917	-227.137	-109.784	44.615	108.2404	-376.7316	4918.9378
33.71458	-226.98	-66.903	41.385	133.1616	-397.5652	4961.2906
33.71458	-226.785	21.027	33.418	135.6448	-398.7952	4960.7067
34.2	-226.631	63.899	30.109	158.9105	-414.163	4939.4523
34.2	-226.322	171.675	20.615	117.9069	-416.4447	4946.5826
34.87083	-226.117	230.907	15.911	146.0201	-428.6404	4810.771
34.87083	-225.988	328.914	6.638	207.0472	-428.8889	4800.1809
35.28542	-225.869	365.512	3.656	222.3625	-430.9619	4655.5236
35.28542	-225.69	440.601	-3.136	222.7985	-432.1604	4655.2322
35.7	-225.578	477.192	-6.175	236.4637	-430.1689	4464.2713
35.7	-225.188	586.056	-15.515	158.0973	-433.29	4478.1411
36.45	-225.001	652.233	-21.158	177.6114	-419.4717	4012.8816
36.45	-224.664	788.16	-33.436	176.0523	-421.3681	4012.7288
37.2	-224.505	854.316	-39.265	190.1832	-394.0444	3395.9705
37.2	-224.316	970.676	-50.176	244.3725	-394.549	3384.9469
37.70833	-224.227	1015.502	-54.232	250.4614	-367.9621	2879.5331
37.70833	-223.999	1106.429	-62.453	250.7383	-369.4318	2879.1113
38.20417	-223.927	1150.143	-66.491	254.7412	-337.4239	2319.1831
38.20417	-223.693	1239.965	-74.588	251.4887	-338.9539	2319.2924
38.7	-223.638	1283.67	-78.706	253.8831	-300.919	1693.2628
38.7	-223.299	1390.71	-88.134	213.4303	-303.3743	1700.0163
39.35	-223.252	1447.989	-93.653	214.0037	-244.2756	777.1525
39.35	-222.939	1565.774	-104.256	207.7936	-246.1976	777.7989
40	-222.923	1623.037	-109.913	207.2904	-176.5917	-258.6625



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Desy Liansa  
Panggilan : Desy  
Tempat, Tanggal Lahir : Tigan Derket, 16 Desember 1996  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Alamat : Desa sipintu-pintu, Kec. Hutabayu Raja, Kab. Simalungun.  
Agama : Islam  
Nama Orang Tua  
Ayah : Nurli  
Ibu : Suwartik  
No.HP : 081269113285  
E-Mail : [desyliansa4@gmail.com](mailto:desyliansa4@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507210083  
Fakultas : Teknik  
Jurusan : Teknik Sipil  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 091537 Hutabayu Raja	2008
2	SMP	SMP Neg 1 Hutabayu Raja	2011
3	SMK	Pon-pes Modern Alkautsar	2015
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015 sampai selesai.		