

TUGAS AKHIR

**DEFORMASI JEMBATAN BAJA PELENGKUNG TIGA
SENDI AKIBAT PENGARUH SUDUT LENGKUNG
(Studi Literatur)**

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

Disusun Oleh:

AGUNG IMAM FADILLAH
1307210074



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Agung Imam Fadillah

NPM : 1307210074

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Deformasi Jembatan Baja Pelengkung Tiga Sendi Akibat Pengaruh Sudut Lengkung (Studi Literatur)

Bidang ilmu : Struktur

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

Medan, September 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Ir. Zurkiyah, M.T

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, MSc

Dr. Ade Faisal, S.T, MSc

Program Studi Teknik Sipil

Ketua,

Dr. Ade Faisal, S.T, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Agung Imam Fadillah

Tempat /Tanggal Lahir: Padang Sidempuan/30 Juni 1995

NPM : 1307210074

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

“DEFORMASI JEMBATAN BAJA PELENGKUNG TIGA SENDI AKIBAT PENGARUH SUDUT LENGKUNG”,

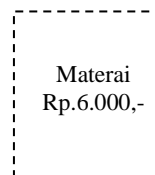
bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

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

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

Medan, September 2017

Saya yang menyatakan,



(Agung Imam Fadillah)

ABSTRAK

DEFORMASI JEMBATAN BAJA PELENGKUNG TIGA SENDI AKIBAT PENGARUH SUDUT LENGKUNG (*Studi Literatur*)

Agung Imam Fadillah

1307210074

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

Ir. Zurkiyah, M.T

Jembatan sebagai suatu struktur yang mampu menghubungkan wilayah yang terpisah dan tidak dapat dilalui serta memiliki peranan penting dalam memperluas pencapaian wilayah untuk perkembangan suatu negara. Indonesia sebagai negeri kepulauan memiliki banyak wilayah yang sulit dijangkau transportasi, sehingga dibutuhkan fasilitas untuk menghubungkan antar pulau. Kestabilan struktur jembatan merupakan hal vital yang harus direncanakan, sebab jika terjadi kerusakan bisa menimbulkan kerugian secara signifikan. Pada perencanaan struktur jembatan, analisis pembebanan sangat berpengaruh terhadap perilaku struktur, semakin besar beban yang dipikul oleh elemen lentur pada jembatan, maka semakin besar pula terjadinya defleksi pada balok. Bila terjadi deformasi yang melebihi kekuatan minimum suatu balok, besar kemungkinan akan terjadinya kegagalan struktur. Maka dari itu untuk memperbesar kekakuan diperlukan sistem penahan deformasi seperti balok pelengkung tiga sendi dalam menahan terjadinya lendutan, memanfaatkan kemampuan struktur ini untuk mereduksi gaya sebagai reaksi terhadap aksi yang bekerja. Studi dilakukan dengan melihat pengaruh sudut balok lengkung untuk 47° , 41° , dan 33° , dimana hasil analisa menunjukkan pertambahan nilai lendutan seiring penurunan sudut sebesar 0,0131 m, 0,0149 m, dan 0,0184 m

Kata kunci: *Jembatan, Pelengkung tiga sendi, baja.*

ABSTRACT

THREE HINGED ARCH STEEL BRIDGE DEFORMATION BY DIFFERENT ARCH ANGLE (Literature Study)

Agung Imam Fadillah
1307210074

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

The bridge as a structure that is able to connect a separate territory and cannot be passed as well as having an important role in expanding the region's achievements for the development of a country. Indonesia has many islands as the hard to reach areas of transport, so that the required facilities to connect between the Islands. The stability of the structure of the bridge is a vital thing that should be planned, if damage could result in losses significantly. In planning the structure of the bridge, the analysis of the imposition of very influential towards the behavior of structures, the greater the burden shouldered by element bending on the bridge, then the greater the occurrence of deflection in beams. If there is a power that exceeds the minimum deformation of a beam, the likely occurrence of a failure of the structure. Therefore to increase the stiffness of the retaining system needed such a deformation joint in three arch beams hold the occurrence of deflection, leveraging the capabilities of this structure for the reduction of the style as a reaction to the action that works. The study was done by looking at the influence of curved beam angle for 47° , 41° , and 33° , where the results of analysis demonstrate the value added decreased along with the angle of deflection of 0.0131 m, 0.0149 m, dan 0.0184 m

Keywords: Bridge, three hinged arch, steel.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Deformasi Jembatan Baja Pelengkung Tiga Sendi Akibat Pengaruh Sudut Lengkung” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera P., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ir. Zurkiyah, M.T., selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Hj. Irma Dewi, S.T., M.Si., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Rahmatullah, S.T., M.Sc., 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. Teristimewa untuk Orang tua penulis Ayahanda Nazrides Syarif dan Ibunda Ida Sari Harahap yang telah memberikan banyak dukungan moril maupun material serta kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Ratih Delima Sari, M. Fattah, Suryadi, selaku team Aluma 2016. Kawan kawan begadang ngerjain tugas besar, Anggi kankun, Adit copo, Suleman kijang, Sarman mi gelas, yang telah mengajarkan arti perjuangan tengah malam. Kawan yang terlupakan Afip, Teguh, yang telah memilih jalan purling.

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

Medan, September 2017

Agung Imam Fadillah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang lingkup pembahasan	2
1.4. Tujuan penulisan	3
1.5. Manfaat penelitian	3
1.6. Sistematika penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Defenisi Jembatan	5
2.2. Jenis-jenis jembatan	6
2.2.1. Jembatan slab datar	6
2.2.2. Jembatan gelagar beton	7
2.2.3. Jembatan rangka baja	7
2.2.4. Jembatan pelengkung	8
2.2.5. Jembatan kabel	9
2.2.6. Jembatan gantung	9
2.3. Pembebanan pada jembatan	10
2.3.1. Filosofi perencanaan	10
2.3.2. Faktor beban dan kombinasi pembebanan	12
2.3.3. Beban Permanen	14

2.3.3.1. Berat sendiri (MS)	14
2.3.3.2. Beban mati tambahan/utilitas (MA)	14
2.3.4. Beban lalu lintas	15
2.3.4.1. Beban lajur “D” (TD)	16
2.3.5. Gaya rem (TB)	17
2.3.6. Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)	17
2.3.7. Gaya akibat deformasi	17
2.3.7.1. Temperatur merata (Eun)	18
2.3.7.2. Pengaruh susut dan rangkai (SH)	19
2.3.8. Beban angin	19
2.3.8.1. Tekanan angin horizontal	19
2.3.8.2. Beban angin pada struktur	20
2.3.8.3. Gaya angin pada kendaraan	21
2.3.9. Pengaruh gempa	21
2.4. Perencanaan struktur baja untuk jembatan (RSNI T-03-2005)	26
2.4.1. Prinsip umum perencanaan	26
2.4.2. Sifat dan karakteristik material baja	27
2.4.3. Faktor beban dan kekuatan	28
2.4.4. Persyaratan dan pembatasan lendutan pada balok	28
2.4.4.1. Beban	28
2.4.4.2. Balok	28
2.4.5. Perencanaan komponen struktur tarik	28
2.4.6. Perencanaan komponen struktur tekan	29
2.4.6.1. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur	32
2.4.7. Perencanaan komponen struktur lentur	33
2.4.7.1. Kuat nominal lentur penampang dengan Pengaruh tekuk lokal	34
2.4.7.1.1. Batasan momen	34
2.4.7.1.2. Kelangsingan penampang	34
2.4.7.1.3. Penampang kompak	35
2.4.7.1.4. Penampang tidak kompak	35
2.5. Pelengkung tiga sendi	35

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Tinjauan umum	38
3.2. Data perencanaan jembatan	39
3.2.1. Data jembatan	39
3.2.2. Dimensi jembatan	39
3.2.3. Material	40
3.3. Pemodelan struktur	40
3.3.1. Sketsa struktur	40
3.3.2. Model struktur	41
3.4. Pembebanan struktur	44
3.4.1. Beban akibat berat sendiri (MS)	44
3.4.2. Beban mati tambahan (MA)	45
3.4.3. Beban lajur (TD)	46
3.4.4. Beban pejalan kaki (TP)	47
3.4.5. Gaya rem (TB)	48
3.4.6. Beban angin struktur (EWS)	49
3.4.7. Beban angin kendaraan (EWL)	49
3.4.8. Beban temperatur (ET)	50
3.4.9. Beban gempa (EQ)	51

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan umum	53
4.2. Hasil analisa	53
4.2.1. Keadaan batas kekuatan	53
4.2.1.1. Balok girder	54
4.2.1.1.1. Momen ultimit	54
4.2.1.1.2. Gaya normal	56
4.2.1.1.3. Gaya geser	58
4.2.1.2. Balok lateral	60
4.2.1.2.1. Momen ultimit	61
4.2.1.2.2. Gaya geser	62
4.2.1.2.3. Gaya normal	64
4.2.1.3. Kolom	65

4.2.1.4. Balok pelengkung	67
4.2.1.4.1. Momen ultimit	68
4.2.1.4.2. Gaya geser	69
4.2.1.4.3. Gaya normal	71
4.2.2. Keadaan batas layan	73
4.2.3.1. Defleksi	73
4.2.3. Keadaan batas ekstrim	76
4.2.3.1. Hasil analisa periode getar model 1	76
4.2.3.2. Hasil analisa periode getar model 2	77
4.2.3.3. Hasil analisa periode getar model 3	79
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor beban berat sendiri struktur (MS) (SNI 1725 2016)	14
Tabel 2.2	Faktor beban mati tambahan (MA) (SNI 1725 2016)	15
Tabel 2.3	Faktor beban lajur “D” (TD) (SNI 1725 2016)	16
Tabel 2.4	Temperatur jembatan rata-rata nominal (SNI 1725 2016)	18
Tabel 2.5	Faktor beban akibat susut dan rangkai (SNI 1725 2016)	19
Tabel 2.6	Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu (SNI 1725 2016)	20
Tabel 2.7	Tekanan angin dasar (SNI 1725 2016)	21
Tabel 2.8	Kondisi tanah untuk koefisien geser dasar (SNI 2833 2008)	26
Tabel 2.9	Sifat mekanis baja struktural (RSNI T-03-2005)	27
Tabel 2.10	Faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit (RSNI T-03-2005)	28
Tabel 2.11	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tekan	29
Tabel 3.1	Profil baja rencana	43
Tabel 4.1	Momen ultimit girder model 1 (sudut lengkung 47°)	54
Tabel 4.2	Momen ultimit girder model 2 (sudut lengkung 41°)	55
Tabel 4.3	Momen ultimit girder model 3 (sudut lengkung 33°)	55
Tabel 4.4	Gaya normal pada girder model 1 (sudut lengkung 47°)	56
Tabel 4.5	Gaya normal pada girder model 2 (sudut lengkung 41°)	57
Tabel 4.6	Gaya normal pada girder model 3 (sudut lengkung 33°)	57
Tabel 4.7	Gaya geser balok girder model 1 (sudut lengkung 47°)	58
Tabel 4.8	Gaya geser balok girder model 2 (sudut lengkung 41°)	59
Tabel 4.9	Gaya geser balok girder model 3 (sudut lengkung 33°)	59
Tabel 4.10	Momen ultimit balok lateral model 1 (Sudut lengkung 47°)	61
Tabel 4.11	Momen ultimit balok lateral model 2 (Sudut lengkung 41°)	61
Tabel 4.12	Momen ultimit balok lateral model 3 (Sudut lengkung 33°)	61
Tabel 4.13	Gaya geser balok lateral model 1 (sudut lengkung 47°)	63
Tabel 4.14	Gaya geser balok lateral model 2 (sudut lengkung 41°)	63
Tabel 4.15	Gaya geser balok lateral model 3 (sudut lengkung 33°)	63
Tabel 4.16	Gaya normal balok lateral model 1 (sudut lengkung 47°)	64

Tabel 4.17	Gaya normal balok lateral model 2 (sudut lengkung 41°)	64
Tabel 4.18	Gaya normal balok lateral model 3 (sudut lengkung 33°)	64
Tabel 4.19	Gaya aksial kolok penghubung model 1 (sudut lengkung 47°)	66
Tabel 4.20	Gaya aksial kolok penghubung model 2 (sudut lengkung 41°)	66
Tabel 4.21	Gaya aksial kolok penghubung model 3 (sudut lengkung 33°)	66
Tabel 4.22	Momen ultimit balok pelengkung model 1 (sudut lengkung 47°)	68
Tabel 4.23	Momen ultimit balok pelengkung model 2 (sudut lengkung 41°)	68
Tabel 4.24	Momen ultimit balok pelengkung model 3 (sudut lengkung 33°)	69
Tabel 4.25	Gaya geser balok lengkung model 1 (sudut lengkung 47°)	70
Tabel 4.26	Gaya geser balok lengkung model 2 (sudut lengkung 41°)	70
Tabel 4.27	Gaya geser balok lengkung model 3 (sudut lengkung 33°)	70
Tabel 4.28	Gaya normal balok pelengkung model 1 (sudut lengkung 47°)	72
Tabel 4.29	Gaya normal balok pelengkung model 1 (sudut lengkung 41°)	72
Tabel 4.30	Gaya normal balok pelengkung model 1 (sudut lengkung 33°)	72
Tabel 4.31	Defleksi balok girder model 1 (sudut lengkung 47°)	74
Tabel 4.32	Defleksi balok girder model 2 (sudut lengkung 41°)	74
Tabel 4.33	Defleksi balok girder model 3 (sudut lengkung 33°)	75
Tabel 4.34	Periode alami struktur model 1 (sudut lengkung 47°)	76
Tabel 4.35	Hasil defleksi balok girder model 1 (sudut lengkung 47°)	76
Tabel 4.36	Periode alami struktur model 2 (sudut lengkung 41°)	77
Tabel 4.37	Hasil defleksi balok girder model 2 (sudut lengkung 41°)	78
Tabel 4.38	Periode alami struktur model 3 (sudut lengkung 33°)	79
Tabel 4.39	Hasil defleksi balok girder model 3 (sudut lengkung 33°)	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jembatan slab datar	6
Gambar 2.2	Jembatan gelagar beton	7
Gambar 2.3	Jembatan rangka baja	7
Gambar 2.4	Jembatan pelengkung	8
Gambar 2.5	Jembatan kabel	9
Gambar 2.6	Jembatan gantung	10
Gambar 2.7	Beban lajur “D”	16
Gambar 2.8	Koefisien geser dasar (C) plastis untuk analisis statis	24
Gambar 2.9	Wilayah gempa Indonesia untuk periode ulang 500 tahun	25
Gambar 2.10	Faktor panjang efektif	33
Gambar 2.11	Balok sederhana	35
Gambar 2.12	Pelengkung tiga sendi	36
Gambar 2.13	Pelengkung dan balok	36
Gambar 2.14	Balok pelengkung tiga sendi	37
Gambar 3.1	Diagram alir perencanaan	38
Gambar 3.2	Tampak samping penampang jembatan	39
Gambar 3.3	Tampak samping jembatan	39
Gambar 3.4	Sketsa model 1	40
Gambar 3.5	Sketsa model 2	41
Gambar 3.6	Sketsa model 3	41
Gambar 3.7	Tampak atas jembatan	41
Gambar 3.8	Penggambaran <i>frame</i> dan <i>area</i> pada SAP2000	42
Gambar 3.9	<i>Assign constraints</i> pada program SAP2000	42
Gambar 3.10	<i>Release frame</i> balok pelengkung	43
Gambar 3.11	<i>Release partial</i> kolom	43
Gambar 3.12	Pemodelan jembatan dengan SAP2000	44
Gambar 3.13	Input beban MS trotoar dan railing	45
Gambar 3.14	Input beban MA	46
Gambar 3.15	Input beban BTR	47

Gambar 3.16	Input beban BGT	47
Gambar 3.17	Input beban TP	48
Gambar 3.18	Input beban TB	48
Gambar 3.19	Input beban EWS	49
Gambar 3.20	Input beban EWL	50
Gambar 3.21	Input beban ET	50
Gambar 3.22	Koefisien geser dasar (C) zona 3	51
Gambar 3.23	Input beban gempa EQ	52
Gambar 3.24	Input koefisien geser dasar dan arah gempa	52
Gambar 4.1	Girder	54
Gambar 4.2	Grafik momen ultimit girder	56
Gambar 4.3	Grafik gaya normal girder	58
Gambar 4.4	Grafik gaya geser girder	60
Gambar 4.5	Balok lateral	60
Gambar 4.6	Grafik momen ultimit balok lateral	62
Gambar 4.7	Grafik gaya geser balok lateral	63
Gambar 4.8	Grafik gaya normal balok lateral	65
Gambar 4.9	Kolom	65
Gambar 4.10	Grafik gaya aksial kolom	67
Gambar 4.11	Balok lengkung	67
Gambar 4.12	Grafik momen ultimit balok lengkung	69
Gambar 4.13	Grafik gaya geser balok lengkung	71
Gambar 4.14	Grafik gaya normal balok lengkung	73
Gambar 4.15	Grafik perbandingan nilai lendutan	75

DAFTAR NOTASI

A_g	=	luas bruto penampang, mm^2
b	=	lebar flens
d	=	tinggi penampang, mm
E	=	modulus elastisitas baja, MPa
EU_n	=	gaya akibat temperatur seragam
EW_L	=	beban angin pada kendaraan
EW_s	=	beban angin pada struktur
EQ	=	gaya gempa
f'_c	=	kuat tekan beton, MPa
f_y	=	kuat leleh baja, MPa
G	=	modulus geser
H	=	tinggi efektif web
I	=	inersia penampang, mm^4
K	=	konstanta kekakuan
K_c	=	faktor panjang tekuk
L	=	panjang elemen, mm
L_k	=	panjang efektif
MS	=	berat sendiri
MA	=	beban mati tambahan
M_u	=	kekuatan momen ultimit
M_n	=	kekuatan momen tahanan penampang
N_n	=	kuat tarik nominal
P	=	Intensitas beban garis terpusat
q	=	intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan, KPa
R_n	=	besaran ketahanan atau kekuatan nominal dari penampang komponen struktur
r_y	=	jari-jari girasi arah y
S	=	modulus penampang
t	=	tebal elemen, mm
TD	=	beban lajur

TP	=	beban pejalan kaki
TB	=	beban akibat gaya rem
t_f	=	tebal flens
t_w	=	tebal web
V_U	=	kekuatan gaya geser ultimit
V_n	=	kekuatan gaya geser nominal
x_0	=	jarak pusat geser arah x dari tepi penampang
y_0	=	jarak pusat geser arah y dari tepi penampang
Z	=	modulus plastis
\emptyset	=	faktor reduksi kekuatan
λ	=	faktor kelangsingan
α	=	koefisien muai panjang
Υ	=	angka poisson

DAFTAR SINGKATAN

- BGT = Beban Garis Terpusat
BTR = Beban Terbagi Rata
PBKT = Perencanaan Berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor
PBL = Perencanaan Berdasarkan Beban Layan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan struktur yang dibuat untuk menyeberangi jalan yang terputus oleh sungai, lembah, laut, danau ataupun bangunan lain di bawahnya. Sungai merupakan salah satu rintangan yang paling sering memisahkan beberapa daratan di daerah Indonesia, seperti halnya sungai yang melalui wilayah kota Medan, dimana sungai ini memisahkan banyak daerah dengan lebar sungai yang cukup besar. Dalam menghubungkan suatu daerah yang dipisahkan sungai maka diperlukan struktur jembatan sebagai prasarana transportasi untuk melangsungkan kegiatan perekonomian maupun sosial.

Teknologi pembangunan jembatan telah mengalami perkembangan yang pesat dari tahun ke tahun mulai dari peraturan perencanaan, teknologi bahan (beton, baja, dan kabel), teknologi perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan sampai teknologi rehabilitasi. Sehingga penguasaan teknologi jembatan sederhana maupun jembatan dengan teknologi khusus, demikian juga untuk pembangunan jembatan di daerah perkotaan dengan kondisi lahan yang terbatas dan lalu lintas yang harus tetap operasional.

Jembatan terbagi tiga bagian utama struktur, yaitu struktur atas (superstruktur), struktur bawah (substruktur) dan pondasi jembatan. Bagian-bagian superstruktur terdiri dari perletakan sampai ke bagian atas struktur jembatan seperti rangka, gelagar, dan pelat lantai. Superstruktur adalah bagian jembatan yang langsung berhubungan dengan beban yang bekerja di atasnya.

Untuk mendapatkan struktur jembatan yang aman, sebelum dilakukan pembangunan jembatan perlu dilalui proses perencanaan dengan tujuan agar jembatan yang dibangun dapat digunakan sesuai fungsinya, ekonomis, dan mampu menahan beban sesuai dengan umur rencananya. Jembatan harus melalui analisa mendalam agar tidak terjadi kesalahan yang dapat menyebabkan kegagalan struktur. Ada banyak sistem yang digunakan dalam pembangunan jembatan, diantaranya sistem pelengkung tiga sendi. Sistem ini tentunya memiliki

perilaku struktur yang berbeda dalam menerima beban yang bekerja, baik itu beban struktur sendiri, beban bergerak/beban hidup, beban angin, maupun beban gempa, yang akan disalurkan keatas tanah melalui abutment. Analisa yang diperhitungkan dalam merencanakan jembatan yaitu analisa elemen lentur untuk mengetahui besarnya momen lentur dan juga gaya geser yang bekerja.

Dalam penulisan tugas akhir ini akan dibahas tentang perencanaan struktur jembatan baja serta pengaruh sudut lengkung terhadap gaya-gaya yang bekerja pada struktur jembatan pelengkung tiga sendi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana tata cara perencanaan struktur atas jembatan baja yang sesuai dengan peraturan RSNI T-03-2005 “Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan” dan SNI 1725-2016 “Pembebanan Pada Jembatan” ?
2. Bagaimana perilaku struktur jembatan baja pelengkung tiga sendi dalam menerima beban yang bekerja ?
3. Bagaimana perubahan simpangan yang terjadi pada struktur jembatan baja pelengkung tiga sendi ditinjau dari sudut lengkungnya ?

1.3 Ruang Lingkup Pembahasan

Adapun dalam penulisan tugas akhir ini, memiliki batasan dalam prosesnya karena keterbatasan penulis dalam kepemilikan data riil, dan akan menggunakan sebagian asumsi umum, yakni sebagai berikut :

1. Jembatan direncanakan dengan panjang bentang 25 meter, lebar 9 meter, serta tinggi 8 meter. Jembatan berada di daerah perkotaan, dengan asumsi kota Medan dan berada di atas tanah sedang.
2. Material balok dan kolom jembatan berupa baja dengan mutu BJ-37, dan material pelat lantai berupa beton dengan mutu $f_c' = 30$ MPa.
3. Pedoman perencanaan menggunakan RSNI T-03-2005 “Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan”. Pedoman pembebanan jembatan menggunakan SNI 1725-2016 “Pembebanan Pada Jembatan”.

4. Tidak melakukan perhitungan terhadap struktur bawah jembatan, tidak merencanakan perkerasan jalan, dan tidak melakukan analisis sambungan.
5. Menggunakan perangkat lunak Autocad dalam menggambar model lengkung balok, dan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 11.0.0 dalam membantu analisis struktur atas jembatan.

1.4 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tata cara perencanaan struktur atas jembatan sesuai dengan peraturan.
2. Untuk mengetahui perubahan perilaku struktur balok baja lengkung dalam menerima beban jembatan ditinjau dari sudut lengkung yang berbeda.
3. Sebagai pedoman dalam merencanakan struktur jembatan baja dengan sistem pelengkung tiga sendi.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan sudut kelengkungan balok pelengkung dalam menahan beban yang bekerja pada jembatan. Penulisan tugas akhir ini diharapkan tugas akhir ini bisa digunakan sebagai acuan penelitian tentang jembatan pelengkung tiga sendi.

1.6 Sistematikan penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun secara sistematis mengikuti kaidah-kaidah penulisan agar tercapai tujuan dalam penulisan tugas akhir ini, yakni sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang penulis dalam menulis tugas akhir ini, sebagai acuan yang akan dicapai serta rincian tentang masalah yang akan di bahas di dalam tugas akhir ini.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan teori-teori pendukung yang akan digunakan dalam menganalisis permasalahan yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini, agar pembaca dapat memahami dasar-dasar materi yang akan digunakan dalam pembahasan.

BAB 3 : METODOLOGI

Bab ini menguraikan proses dan tata cara dalam mencapai hasil yang dituju sesuai dengan tuntunan peraturan yang digunakan dalam studi tugas akhir ini.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menunjukkan hasil dari proses studi, sehingga dapat ditarik sebuah nilai-nilai yang berguna untuk digunakan sebagai pedoman untuk diterapkan pada keadaan nyata, dan dijadikan sebuah kesimpulan akhir dari sebuah studi.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan atas proses studi yang dilakukan pada tugas akhir ini, dimana akan dianalisa akibat-akibat yang ditimbulkan serta saran penulis bagaimana dalam menanggapi hasil dari studi ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Jembatan

Jembatan adalah prasarana lalu-lintas yang berfungsi untuk menghubungkan jalan yang terputus oleh sungai, lembah, laut, danau ataupun bangunan lain dibawahnya. Ada sekitar 95.000 buah jembatan (ekivalen 1220 km) di Indonesia antara lain 60.000 jembatan (550 km) di jalan kabupaten, perdesaan, dan perkotaan serta 35.000 jembatan (670 km) di ruas jalan nasional dan provinsi dengan jenis jembatan panjang dan panjang yang bervariasi (Perencanaan Teknik Jembatan : Kementerian Pekerjaan Umum).

Kebijakan pemerintah dalam upaya mempercepat program pembangunan prasarana transportasi darat khususnya jembatan diarahkan pada standarisasi bangunan atas, baik dengan cara menyediakan stok komponen bentang standar maupun penyediaan standar konstruksi jembatan yang kemudian dapat dibuat dilapangan. Teknologi pembangunan jembatan telah mengalami perkembangan yang pesat dari tahun ke tahun mulai peraturan perencanaan, teknologi bahan (beton, baja, kabel), teknologi perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan sampai teknologi rehabilitasi. Sehingga penguasaan teknologi jembatan tersebut mutlak dibutuhkan pembangunan jembatan, baik jembatan standar atau sederhana maupun jembatan dengan teknologi khusus, demikian juga untuk pembangunan jembatan di daerah perkotaan dengan kondisi lahan yang terbatas dan lalu lintas yang harus tetap operasional.

Jembatan terbagi menjadi tiga bagian utama struktur, yaitu struktur atas (superstruktur) dan struktur bawah (substruktur) dan pondasi jembatan. Bangunan atas dan bangunan bawah saling menopang satu sama lainnya dalam menahan beban dan meneruskannya ke tanah melalui pondasi. Untuk mendapatkan struktur jembatan yang aman, sebelum dilakukan pembangunan, jembatan perlu di lalui proses perencanaan dengan tujuan agar jembatan yang dibangun dapat digunakan sesuai dengan fungsinya, ekonomis dan mampu menahan beban sesuai dengan umur rencananya.

Perencanaan struktur atas meliputi tipe struktur atas, proses perencanaan dan perhitungan struktur sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia, termasuk peraturan pembebanan, bahan jembatan, pondasi, dan beban gempa yang diperhitungkan terhadap jembatan.

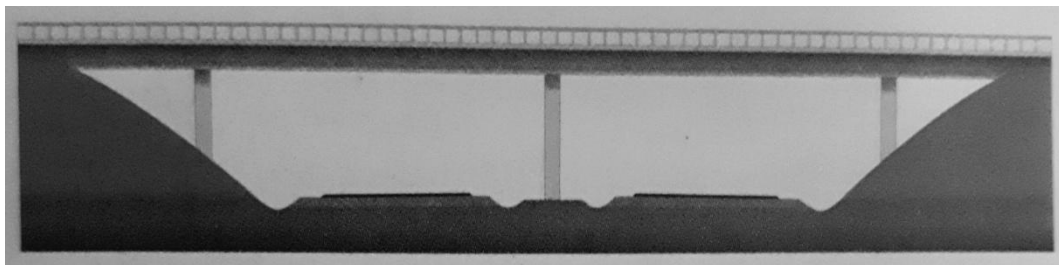
Di samping struktur utama tersebut terdapat bangunan pelengkap lainnya yang berfungsi menunjang operasional jembatan antara lain sandaran, trotoar, fender, rambu lalu-lintas dan lainnya.

2.2 Jenis – Jenis Jembatan

Jembatan memiliki banyak jenis struktur yang digunakan dalam dunia konstruksi dan memiliki karakteristik perilaku struktur yang berbeda dalam menerima aksi yang bekerja. Jenis jembatan yang digunakan disesuaikan dengan kemampuan struktur dalam menerima aksi-aksi beban yang bekerja serta panjang bentang yang direncanakan. Berikut beberapa jenis jembatan yang secara umum digunakan pada dunia konstruksi jembatan.

2.2.1 Jembatan Slab Datar

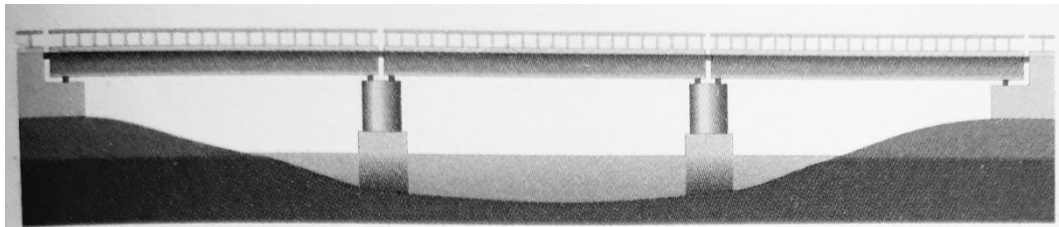
Jembatan slab datar adalah jembatan dengan sistem pelat lantai dimana beban yang bekerja akan ditahan oleh sistem pelat dengan penulangan baja seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Jembatan ini umumnya hanya digunakan pada bentang pendek karena memiliki efisiensi tinggi dalam pengerjaannya. Jembatan flat slab memiliki panjang bentang efektif sampai 15 meter.



Gambar 2.1: Jembatan Slab Datar (Corbell & Archambault, 2007).

2.2.2 Jembatan Gelagar Beton

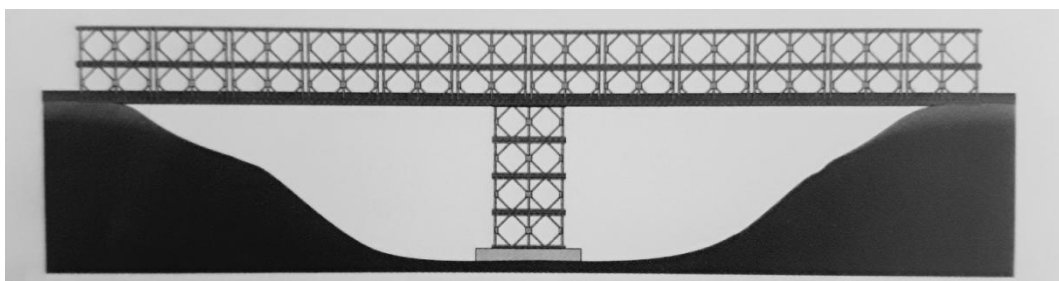
Jembatan gelagar beton adalah jembatan beton dengan balok sebagai penopang dalam menahan beban yang bekerja pada pelat lantai kendaraan seperti pada Gambar 2.2. Balok beton berupa balok konvensional yang dicetak monolit dengan pelat lantai sehingga jembatan ini dapat juga disebut jembatan gelagar beton T. Panjang efektif dalam penggunaan sistem ini adalah 10 – 18 meter panjang bentang. Sistem jembatan ini sangat umum digunakan pada bentang-bentang sedang karena kemudahan dalam pengerjaan.



Gambar 2.2: Jembatan Gelagar Beton
(Corbell & Archambault, 2007)

2.2.3 Jembatan Rangka Baja

Jembatan kerangka adalah salah satu jenis tertua dari struktur jembatan modern. Jembatan kerangka dibuat dengan menyusun tiang-tiang jembatan membentuk kisi-kisi agar setiap tiang hanya menampung sebagian berat struktur jembatan tersebut.

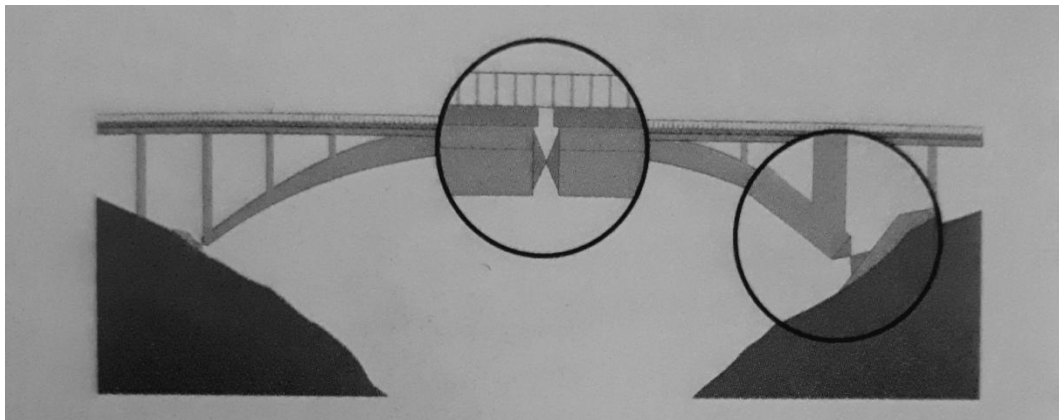


Gambar 2.3: Jembatan Rangka Baja (Corbell & Archambault, 2007).

Kelebihan sebuah jembatan kerangka dibandingkan dengan jenis jembatan lainnya adalah biaya pembuatannya yang lebih ekonomis karena penggunaan bahan yang lebih efisien. Selain itu, jembatan kerangka pada Gambar 2.3 dapat menahan beban yang lebih berat untuk jarak yang lebih jauh dengan menggunakan elemen yang lebih pendek daripada jembatan gelagar. Jembatan rangka umumnya terbuat dari baja, dengan bentuk dasar berupa segitiga. Elemen rangka dianggap bersendi pada kedua ujungnya sehingga setiap batang hanya menerima gaya aksial tekan atau tarik saja. Panjang efektif dalam penggunaan sistem rangka baja ini adalah 40-200 meter panjang bentang.

2.2.4 Jembatan Pelengkung

Jembatan pelengkung adalah sebuah jembatan dengan kepala jembatan di setiap akhir berbentuk seperti kurva melengkung. Lengkungan jembatan pada Gambar 2.4 bekerja dengan memindahkan berat dari jembatan dan beban yang sebagian ke dorong horisontal tertahan oleh kepala jembatan di kedua sisi.

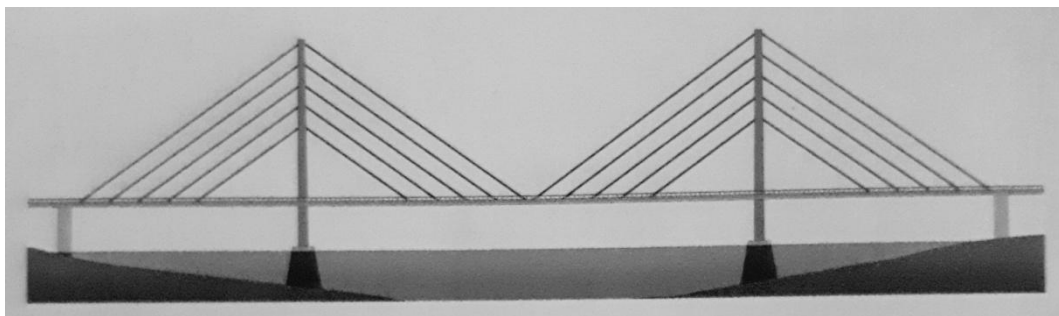


Gambar 2.4: Jembatan Pelengkung tiga sendi (Corbell & Archambault, 2007).

Sebuah jembatan (jembatan panjang) dapat dibuat dari serangkaian lengkungan, meskipun struktur lebih ekonomis lainnya biasanya digunakan saat ini. Jembatan ini umumnya digunakan pada bentang panjang dan melewati jurang yang besar dikarenakan kesulitan dalam pengerjaan dengan sistem lainnya. Jembatan pelengkung memiliki panjang efektif 150-400 meter panjang bentang.

2.2.5 Jembatan Kabel

Jembatan kabel-penahan ditahan dengan menggunakan kabel. Namun, yang membedakan jembatan kabel-penahan dengan jembatan gantung adalah bahwa pada sebuah jembatan kabel-penahan jumlah kabel yang dibutuhkan lebih sedikit dan menara jembatan menahan kabel yang lebih pendek. Jembatan kabel-penahan yang pertama dirancang pada Tahun 1784 oleh CT Loescher. Jembatan kabel memiliki panjang efektif 200-500 meter panjang bentang seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Jembatan Kabel (Corbell & Archambault, 2007).

2.2.6 Jembatan Gantung

Jembatan gantung yang paling awal digantungkan dengan menggunakan tali atau dengan potongan bambu. Jembatan gantung modern digantungkan dengan menggunakan kabel baja. Pada jembatan gantung modern, kabel menggantung dari menara jembatan kemudian melekat pada caisson (alat berbentuk peti terbalik yang digunakan untuk menambatkan kabel di dalam air) atau cofferdam (ruangan di air yang dikeringkan untuk pembangunan dasar jembatan). Caisson atau cofferdam akan ditanamkan jauh ke dalam lantai danau atau sungai. Deck/ lantai jembatan di tahan oleh kabel vertikal yang dihubungkan pada kabel suspensi di atasnya. Kabel suspensi adalah bagian terpenting dari jembatan bersuspensi, karena fungsinya adalah menahan beban lantai jembatan yang nantinya diteruskan ke tumpuan yang ada di ujung jembatan. Kabel suspensi ini juga didukung oleh suatu menara yang tugasnya membawa berat daripada dek jembatan. Jenis jembatan ini pada awalnya digunakan dalam medan pegunungan. Daerah yang pertama kali membangun jembatan jenis ini adalah di sekitar Tibet dan Bhutan.

Jembatan gantung terpanjang di dunia saat ini adalah Jembatan Akashi Kaikyo di Jepang. Jembatan ini memiliki panjang 12.826 kaki (3.909 m). Jembatan gantung memiliki panjang efektif 300-2000 meter panjang bentang seperti pada Gambar 2.6..



Gambar 2.6: Jembatan Gantung (Corbell & Archambault, 2007).

2.3 Pembebanan Pada Jembatan

Perhitungan pembebanan jembatan di Indonesia pada saat ini mengacu pada SNI 1725-2016, meliputi rencana beban tetap (permanen), lalu lintas, dan pengaruh aksi-aksi lainnya.

2.3.1 Filosofi Perencanaan

Jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas layan yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

Dalam perencanaan harus memenuhi persamaan berikut dan digunakan untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya tanpa bergantung dari jenis analisis yang digunakan.

$$\sum n_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_n \quad (2.1)$$

Untuk beban-beban dengan nilai maksimum γ_i lebih sesuai maka :

$$n_i = n_D n_R n_I \geq 0,95 \quad (2.2)$$

Untuk beban-beban dengan nilai minimum γ_i lebih sesuai maka :

$$n_i = \frac{1}{n_D n_R n_I} \leq 1 \quad (2.3)$$

Dimana nilai-nilai tersebut ditentukan berdasarkan keadaan yang terjadi pada perencanaan struktur jembatan.

Daktilitas (n_D)

Sistem struktur jembatan harus diproporsi dan didetailkan agar memperoleh perilaku deformasi inelastik pada keadaan batas ultimit dan ekstrem sebelum mengalami kegagalan.

Untuk keadaan batas ultimit maka :

$n_D = 1,05$ untuk komponen tidak daktail dan sambungan

$n_D = 1,00$ untuk perencanaan konvensional serta pendetailan yang mengikuti peraturan SNI 1725 2016

$n_D = 0,95$ untuk komponen-komponen dan sambungan yang telah dilakukan

tindakan tambahan untuk meningkatkan daktilitas lebih dari yang dipersyaratkan oleh peraturan SNI 1725 2016

Redudansi (n_R)

Alur gaya majemuk dan struktur menerus digunakan kecuali terdapat alasan kuat yang mengharuskan untuk tidak menggunakan struktur tersebut.

Untuk keadaan batas ultimit maka :

$n_R = 1,05$ untuk komponen non redudan

$n_R = 1,00$ untuk komponen dengan redudansi konvensional

$n_R = 0,95$ untuk komponen dengan redudansi melampaui kontinuitas girder dan penampang torsi tertutup

Kepentingan operasional (n_I)

Pengklasifikasian prioritas operasional jembatan harus dilakukan oleh otoritas yang berwenang terhadap jaringan transportasi dan mengetahui kebutuhan operasional.

Untuk keadaan batas ultimit maka :

$n_I = 1,05$ untuk jembatan penting atau sangat penting

$n_I = 1,00$ untuk jembatan tipikal

$n_I = 0,95$ untuk jembatan kurang penting

2.3.2 Faktor Beban Dan Kombinasi Pembebanan

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sum n_i \gamma_i Q_i \quad (2.4)$$

Keterangan:

n_i adalah faktor pengubah respon sesuai persamaan diatas

γ_i adalah faktor beban

Q_i adalah gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

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

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

berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

- Ekstem 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 tumbukkan 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 kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- Fatik : Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

2.3.3 Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera 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 $9,81 \text{ m/det}^2$.

2.3.3.1 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Faktor Beban Berat Sendiri Struktur (MS) (SNI 1725 2016).

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan batas layan (γ_{MS}^S)		Keadaan batas ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,9
	Alumunium	1,00	1,10	0,9
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,7

2.3.3.2 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)

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

Tabel 2.2: Faktor beban mati tambahan (MA) (SNI 1725 2016).

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

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 berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum pada gambar rencana.

2.3.4 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas 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 lintai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban “D” yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

2.3.4.1 Beban Lajur “D” (TD)

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

Tabel 2.3: Faktor beban lajur “D” (TD) (SNI 1725 2016).

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut :

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2.5)$$

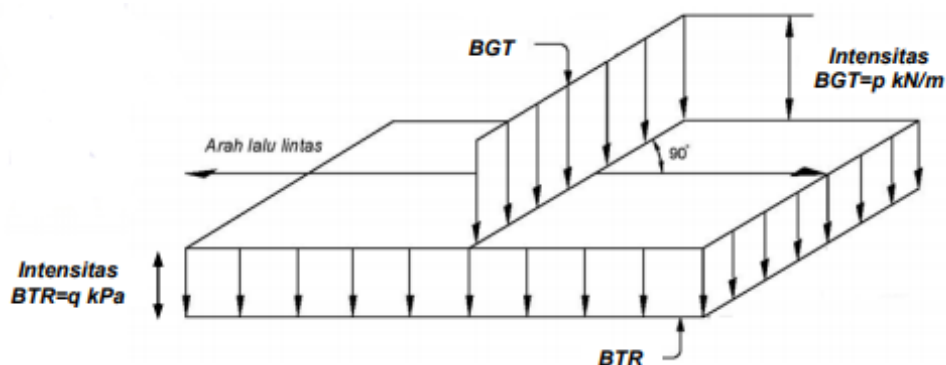
$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (2.6)$$

Keterangan :

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

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 2.7.



Gambar 2.7: 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.

2.3.5 Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat truk desain atau 5% berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR. Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan ketentuan dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

2.3.6 Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih besar 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, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya.

2.3.7 Gaya Akibat Deformasi

Gaya dalam yang terjadi karena deformasi akibat rangkai dan susut harus diperhitungkan dalam perencanaan. Selain itu pengaruh temperatur gradien harus dihitung jika diperlukan. Gaya-gaya yang terjadi akibat pengekangan deformasi komponen maupun tumpuan serta deformasi pada lokasi dimana beban bekerja harus diperhitungkan dalam perencanaan.

2.3.7.1 Temperatur Merata (Eun)

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan berikut. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar yang terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.4. Perbedaan antara temperatur minimum dan maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam tabel harus digunakan sebagai $T_{\text{mindesain}}$ dan $T_{\text{maxdesain}}$ pada persamaan.

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

$$\Delta_r = \alpha L (T_{\text{max desain}} - T_{\text{min desain}}) \quad (2.7)$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

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

Tabel 2.4: Temperatur jembatan rata-rata nominal (SNI 1725 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 diatas gelagar, boks, atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai 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.

2.3.7.2 Pengaruh Susut dan Rangkak (SH)

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 2.5: Faktor beban akibat susut dan rangkak (SNI 1725 2016).

Tipe beban	Faktor beban (γ_{SH})	
	Keadaan batas layan (γ_{SH}^S)	Keadaan batas ultimit (γ_{SH}^U)
Tetap	1,0	0,5

Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, akan tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan.

2.3.8 Beban Angin

2.3.8.1 Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin yang ditentukan ini 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.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (2.8)$$

Keterangan :

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

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

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

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

V_0 adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan dalam tabel (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari :

Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.

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

Tabel 2.6: Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu.

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

2.3.8.2 Beban Angin Pada Struktur

Jika dibenarkan dalam kondisi setempat, perencanaan 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. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam Mpa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2.9)$$

Keterangan :

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan didalam Tabel 2.7 (Mpa)

Tabel 2.7: Tekanan angin dasar (SNI 1725 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.

2.3.8.3 Gaya Angin Pada Kendaraan

Tekanan angin rencana harus dikerjakan pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

2.3.9 Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (2.10)$$

Keterangan :

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} adalah koefisien respon gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respon elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan.

Berdasarkan SNI 2833:2008 dan RSNI T-02-2005 metoda untuk menghitung beban statis ekuivalen untuk jembatan dimana analisa statis ekuivalen adalah sesuai. Untuk jembatan besar, rumit dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Beban rencana gempa minimum diperoleh dari Pers. 2.19.

$$T_{EQ} = K_h * I * W_t \quad (2.11)$$

$$K_h = C * S \quad (2.12)$$

Dimana:

T_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yang sesuai.

I = Faktor kepentingan

S = Faktor tipe bangunan

W_t = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN).

Koefisien geser dasar (C) diperoleh dari Gambar 2.8 dan sesuai dengan daerah gempa, fleksibilitas tanah di bawah permukaan dan waktu getar bangunan. Gambar 2.9 digunakan untuk menentukan pembagian daerah.

Kondisi tanah di bawah permukaan dicantumkan berupa garis dalam Gambar 2.8 dan digunakan untuk memperoleh koefisien geser dasar. Kondisi tanah di bawah permukaan didefinisikan sebagai teguh, sedang, dan lunak sesuai dengan kriteria yang tercantum dalam Tabel. 2.8.

Waktu dasar getaran jembatan yang digunakan untuk menghitung geser dasar harus dihitung dari analisa yang meninjau seluruh elemen bangunan yang memberikan kekakuan dan fleksibilitas dari sistem pondasi.

Untuk bangunan yang mempunyai satu derajat kebebasan yang sederhana, dapat dilihat dalam Pers. 2.13.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_t}{g \times K_p}} \quad (2.13)$$

Dimana:

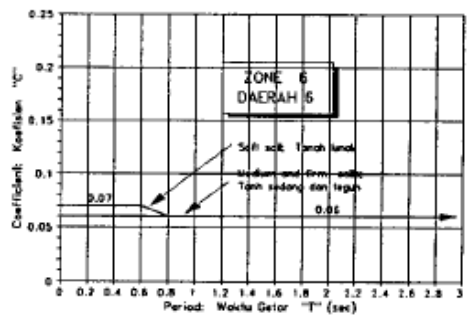
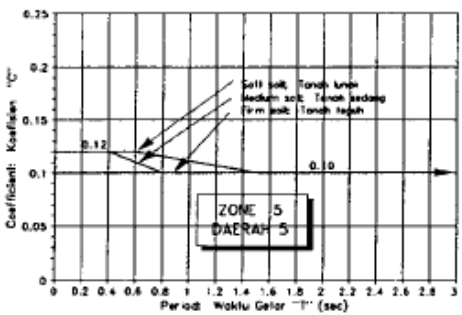
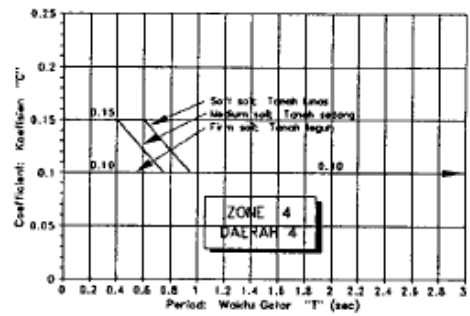
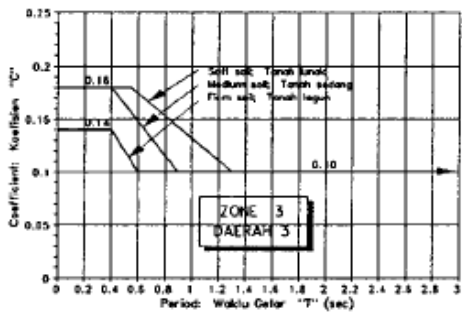
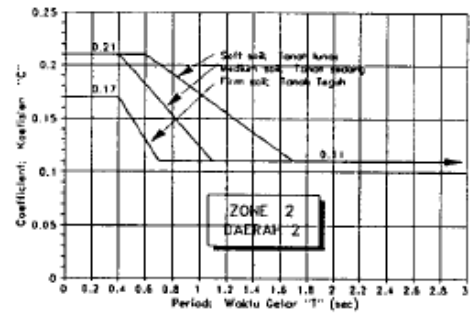
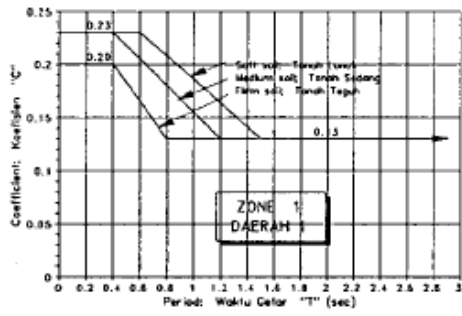
T = Waktu getar dalam detik

g = Percepatan gravitasi 9,8 m/det²

W_{TP} = Berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (bila perlu dipertimbangan) (kN)

K_P = Kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m).

Perhatikan bahwa jembatan biasanya mempunyai waktu gelar yang berbeda pada arah memanjang dan melintang sehingga beban rencana statis ekuivalen yang berbeda harus dihitung untuk masing-masing arah.



Gambar 2.8: Koefisien geser dasar (C) plastis untuk analisis statis (SNI 2833:2008).



Gambar 2.9 : Wilayah gempa Indonesia untuk periode ulang 500 tahun (SNI 2833:2008).

Tabel 2.8: Kondisi tanah untuk koefisien geser dasar (SNI 2833 2008).

Jenis Tanah	Tanah Teguh	Tanah Sedang	Tanak Lunak
Untuk seluruh jenis tanah	≤ 3 m	> 3 m sampai 25 m	> 25 m
Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser <i>undrained</i> rata-rata tidak melebihi 50 kPa:	≤ 6 m	> 6 m sampai 25 m	> 25 m
Pada tempat dimana hamparan tanah salah satunya mempunyai sifat kohesif dengan kekuatan geser <i>undrained</i> rata-rata lebih besar dari 100 kPa, atau tanah berbutir yang sangat padat:	≤ 9 m	> 9 m sampai 25 m	> 25 m
Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser <i>undrained</i> rata-rata tidak melebihi 200 kPa	≤ 12 m	> 12 m sampai 25 m	> 30 m
Untuk tanah berbutir dengan ikatan matrik padat	≤ 20 m	> 20 m sampai 25 m	> 40 m
Catatan (1) : Kekuatan ini harus digunakan dengan mengabaikan apakah tiang pancang diperpanjang sampai lapisan tanah keras yang lebih dalam.			

2.4 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (RSNI T-03-2005)

2.4.1 Prinsip Umum Perencanaan

Perencanaan harus berdasarkan pada suatu prosedur yang memberikan jaminan keamanan, kenyamanan, dan keawetan selama umur rencana jembatan.

Perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan yang diperhitungkan terhadap lentur, geser, aksial, puntir, serta kombinasinya, harus didasarkan pada cara perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor

(PBKT), yang harus memenuhi kriteria keamanan untuk semua jenis gaya dalam. Kekuatan rencana tidak kurang dari pengaruh aksi rencana sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \text{dampak dari } \sum \gamma_i Q_i$$

Dimana pada sisi kiri mewakili kekuatan rencana dari penampang komponen struktur jembatan, yang bisa dihitung dari R_n (besaran tahanan atau kekuatan nominal dari penampang komponen struktur) dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ . Dan sisi kanan mewakili dampak batas ultimit atau yang paling membahayakan dari beban-beban yang dihitung berdasarkan penjumlahan terkombinasi dari jenis-jenis beban yang berbeda Q_i yang masing masing diberikan suatu faktor beban γ_i .

2.4.2 Sifat dan Karakteristik Material Baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.9: Sifat mekanis baja struktural (RSNI T-03-2005).

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, F_u (Mpa)	Tegangan leleh minimum, F_y (Mpa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut :

Modulus elastisitas : $E = 200.000$ Mpa

Modulus Geser : $G = 80.000$ Mpa

Angka poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per °C

2.4.3 Faktor Beban dan Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan, ϕ diambil dari nilai-nilai yang dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10: Faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit (RSNI T-03-2005).

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan ϕ
a. Lentur	0,9
b. Geser	0,9
c. Aksial tekan	0,85
d. Aksial tarik	0,9
- Terhadap kuat tarik leleh	

2.4.4 Persyaratan dan Pembatasan Lendutan Pada Balok

2.4.4.1 Beban

Persyaratan dan pembatasan lendutan pada balok adalah dihitung akibat beban layan yaitu beban hidup yang ditambah dengan beban kejut.

2.4.4.2 Balok

Balok diatas dua tumpuan atau gelagar menerus, lendutan maksimum adalah $1/800 \times$ panjang bentang. Kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah $1/1.000 \times$ bentang.

2.4.5 Perencanaan Komponen Struktur Tarik

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor, N_u , harus memenuhi :

$$N_u \leq \phi N_n \quad (2.14)$$

Dengan N_n adalah kuat tarik nominal yang besarnya diambil sebagai nilai terendah dari beberapa persamaan dibawah ini:

a. Kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto :

$$N_n = A_g f_y \quad (2.15)$$

b. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif :

$$N_n = A_e f_u \quad (2.16)$$

2.4.6 Perencanaan Komponen Struktur Tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi N_n \quad (2.17)$$

Dimana N_n adalah kuat tekan nominal struktur tekan

Perbandingan kelangsingan :

1. Kelangsingan elemen penampang $< \lambda_r$
2. Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{L_k}{r} < 140$

Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar nilai λ_r yang ditentukan dalam Tabel 2.11 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

Tabel 2.11: Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tekan.

Jenis Elemen		λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen tanpa pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ (c)	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ (e)
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur	b/t	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_y - f_r)/k_e}}$ (e)(f)
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t		$\frac{290}{\sqrt{f_y/k_e}}$ (f)

Tabel 2.11: *Lanjutan.*

Jenis Elemen		λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen tanpa pengaku	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	b/t		$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya.	b/t		$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	d/t		$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan	b/t	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$

Tabel 2.11: Lanjutan.

Jenis Elemen		λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen tanpa pengaku	pelat diafragma yang terletak diantara baut-baut atau las			
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang (b)	b/t	-	$\frac{830}{f_y}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur (a)	h/tw	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$ (c)	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}}$ (g)
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/tw	<p>Untuk</p> $\frac{N_u}{\phi N_y} \leq 0,125 \text{ (c)}$ $\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 N_u}{\phi b N_y} \right)$ <p>Untuk</p> $\frac{N_u}{\phi N_y} > 0,125 \text{ (c)}$ $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi b N_y} \right) > \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{0,74 N_u}{\phi b N_y} \right)$ (g)

Tabel 2.11: Lanjutan.

Jenis Elemen		λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
	Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	b/t h/tw	-	$\frac{665}{\sqrt{fy}}$
	Penampang bulat berongga Pada tekan aksial Pada lentur	D/t	(d) 14800/fy	22.000/fy 62.000/fy
<p>(a) Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_y sebagai f_y</p> <p>(b) Ambil luas netto pelar pada lubang terbesar</p> <p>(c) Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3.</p> <p>(d) Untuk perencanaan plastis gunakan 9000/fy</p> <p>(e) F_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang di rol = 115 MPa untuk penampang di las</p> <p>(f) $ke = \frac{4}{\sqrt{h/tw}}$; $0,35 \leq ke \leq 0,763$</p> <p style="text-align: center;">F_y adalah tegangan leleh minimum (MPa)</p>				

2.4.6.1 Kuat Tekan Nominal Akibat Tekuk Lentur

Kuat tekan nominal akibat tekuk-lentur, N_n , dari komponen struktur tekan dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar-tebal, λ_n lebih kecil dari yang ditentukan dalam tabel, ditentukan sebagai berikut :

$$N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) A_g F_y \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (2.18)$$

$$N_n = \frac{0,88}{\lambda_c^2} A_g F_y \quad \text{untuk } \lambda_c > 1,5 \quad (2.19)$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.20)$$

$$L_k = k_c L \quad (2.21)$$

Keterangan :

A_g adalah luas penampang bruto (mm^2)

F_y adalah tegangan leleh (MPa)

λ_c adalah parameter kelangsingan

k_c adalah faktor panjang tekuk (mm)

E adalah modulus elastisitas baja (MPa)

	Kolom tak bergoyang			Kolom bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif	0,7	0,85	1	1,2	2,2	2,2
Simbol untuk keadaan penahan ujung						

Gambar 2.10: Faktor Panjang Efektif.

2.4.7 Perencanaan Komponen Struktur Lentur

Dalam bagian ini yang dimaksud dengan sumbu kuat adalah sumbu utama maksimum dan disebut juga sumbu x, sedangkan yang dimaksud sumbu lemah adalah sumbu utama minimum dan disebut juga sumbu y.

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat (sumbu x) dan dianalisis dengan metode elastis, harus memenuhi:

$$M_{ux} \leq \phi M_n \quad (2.22)$$

M_{ux} adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu x, dinyatakan dalam newton milimeter (Nmm).

M_n adalah kuat nominal dari momen lentur penampang, diambil nilai yang lebih kecil dari kuat nominal penampang untuk momen lentur terhadap sumbu x yang ditentukan peraturan, atau kuat nominal komponen struktur untuk momen lentur terhadap sumbu x yang ditentukan oleh peraturan pada balok biasa, atau khusus untuk balok pelat berdingding penuh dinyatakan dalam (Nmm).

ϕ adalah faktor reduksi (0,9).

2.4.7.1 Kuat Nominan Lentur Penampang Dengan Pengaruh Tekuk Lokal

2.4.7.1.1 Batasan Momen

1. Momen leleh M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu sama dengan f_y . S dan S adalah modulus penampang elastis.
2. Kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari $f_y \cdot Z$ atau $1,5 M_y$, dan Z adalah modulus penampang elastis
3. Momen batas tekuk M_r diambil sama dengan $S(f_y - f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa.
4. Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, arah sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

2.4.7.1.2 Kelangsingan Penampang

Pengertian kelangsingan penampang kompak, tak-kompak, dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen-elemen tekannya yang ditentukan pada Tabel 2.11.

2.4.7.1.3 Penampang Kompak

Untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur nominal penampang adalah

$$M_n = M_p \quad (2.23)$$

Keterangan :

M_p adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis (N.mm)

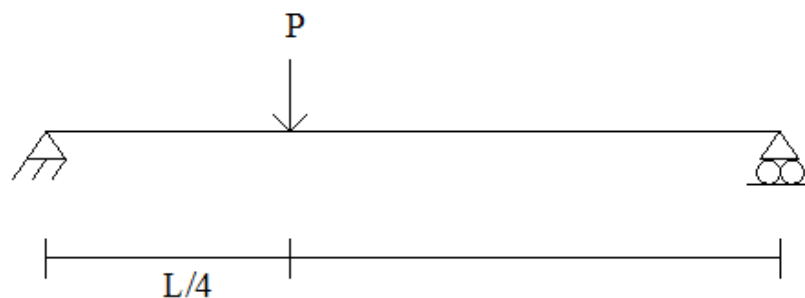
2.4.7.1.4 Penampang Tidak Kompak

Untuk penampang yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut :

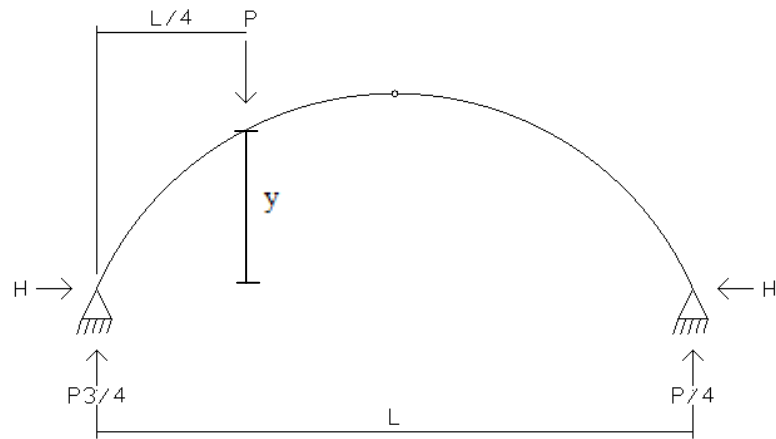
$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (2.24)$$

2.5 Pelengkung Tiga Sendi

Pada kasus balok memikul beban terbagi merata, momen lentur maksimum akan meningkat sejalan dengan kuadrat panjang bentang dan karenanya menyebabkan tidak ekonomis untuk struktur yang memiliki bentang yang panjang. Pada beberapa situasi, pelengkung dapat memiliki keuntungan untuk digunakan, sebagaimana pelengkung menimbulkan reaksi horizontal, yang akan mengurangi desain momen lentur.



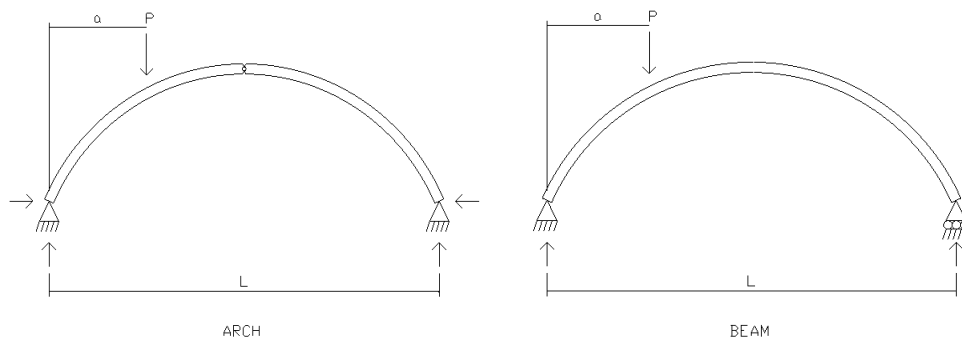
Gambar 2.11: Balok sederhana.



Gambar 2.12: Pelengkung tiga sendi (Volume 2 CE IIT, Kharagpur).

Sebagai contoh, sebuah balok pemikul sederhana, momen lentur dibawah beban P adalah $\frac{3PL}{16}$. Anggap pelengkung 2 sendi simetris pada bentang yang sama dan ditunjukkan dengan pembebanan yang sama pada balok sederhana. Reaksi vertikal dapat dihitung dengan persamaan statis. Sekarang pada pelengkung, momen lentur menjadi $\frac{3PL}{16} - Hy$. Ini menunjukkan bahwa momen lentur dibawah beban di reduksi pada kasus perbandingan antara pelengkung dengan balok sederhana.

Sebagaimana pelengkung ditujukan untuk menahan momen lentur dalam bentuk tekanan dan harus di desain untuk dapat menahan tekuk. Pelengkung biasanya digunakan untuk bentang antara dinding, pilar, atau penopang lainnya. Saat sekarang, pelengkung banyak digunakan pada konstruksi jembatan, dimana konstruksi tersebut menggunakan beton bertulang dan baja.

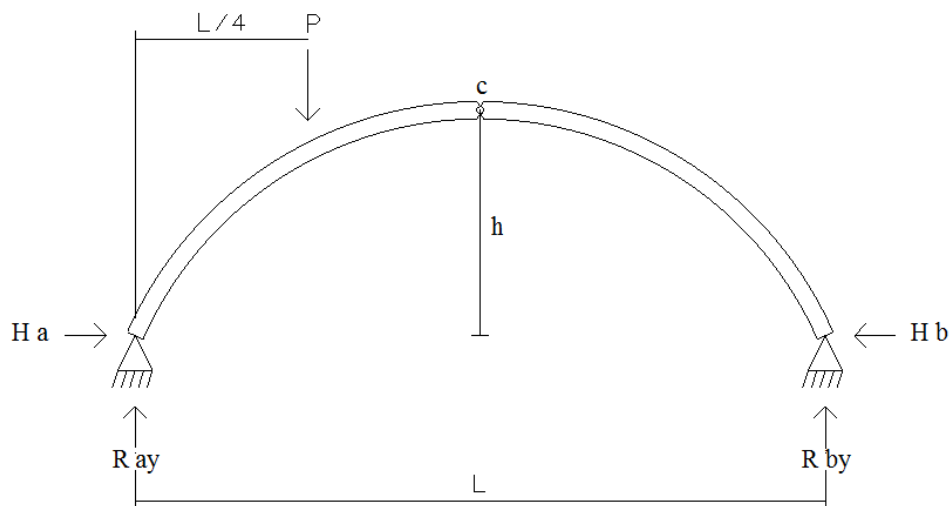


Gambar 2.13: Pelengkung dan balok (Volume 2 CE IIT, Kharagpur).

Sebuah struktur dinyatakan pelengkung tidak berdasarkan bentuknya, tetapi bagaimana caranya memikul beban lateral. Pelengkung memikul beban dalam bentuk tekanan. Seperti contoh pada gambar kanan, tidak terdapat gaya horizontal bekerja. Karena itu momen lentur tidak di reduksi. Sangat penting untuk menyatakan pengertian sebuah pelengkung sebagai suatu konstruksi, bukan sebagai bentuk.

Ada beberapa jenis pelengkung yang umumnya digunakan, yaitu pelengkung tiga sendi, pelengkung dua sendi, dan pelengkung jepit-jepit. Pelengkung tiga sendi merupakan struktur statis tertentu dan reaksinya dihitung dengan persamaan statis equilibrium. Pelengkung dua sendi dan pelengkung jepit-jepit merupakan struktur statis tak tentu.

Pada kasus pelengkung tiga sendi, terdapat tiga buah sendi, dua pada perletakan, dan satu pada puncak yang membuatnya menjadi struktur statis tertentu. Terdapat empat komponen reaksi pada pelengkung tiga sendi. Satu lagi persamaan dibutuhkan untuk ditambahkan pada tiga persamaan statis untuk menghitung keempat komponen reaksi, yaitu ($\sum V = 0$; $\sum H = 0$; $\sum M = 0$; $\sum c = 0$).



Gambar 2.14: Balok pelengkung tiga sendi (Volume 2 CE IIT, Kharagpur).

Sambungan sendi dapat menahan gaya aksial dan gaya geser, tetapi tidak dapat menahan momen. Letak sambungan sendi c dipilih pada tempat yang paling menguntungkan, misalnya pada titik tengah pelengkung.

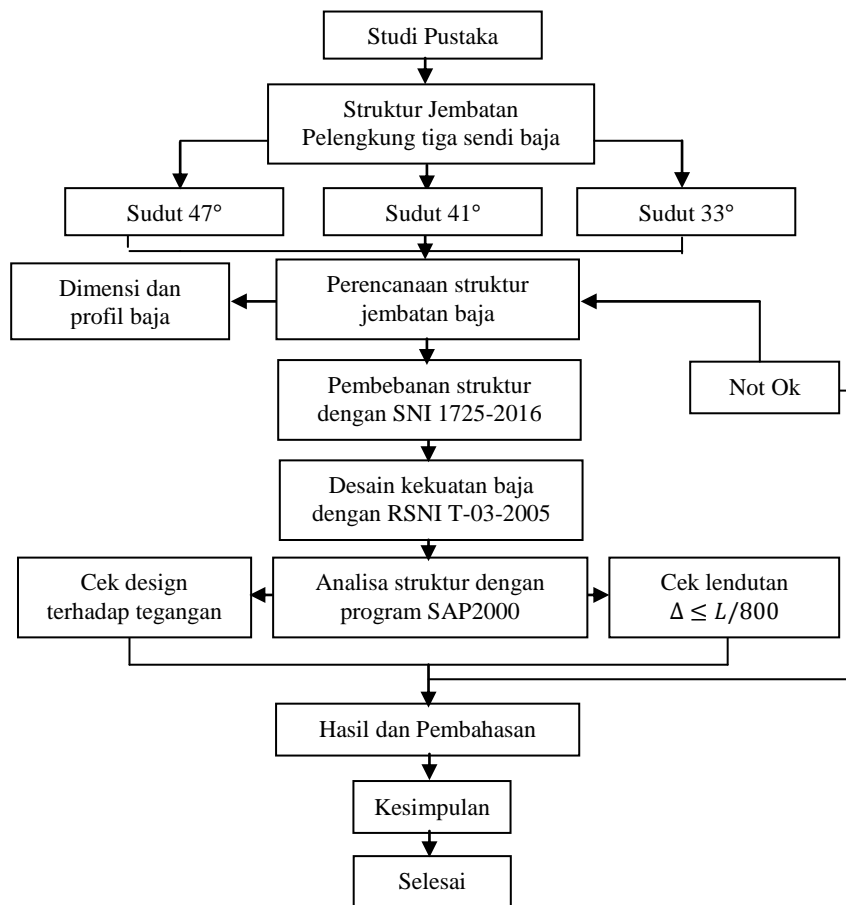
BAB 3

METODOLOGI

3.1 Tinjauan Umum

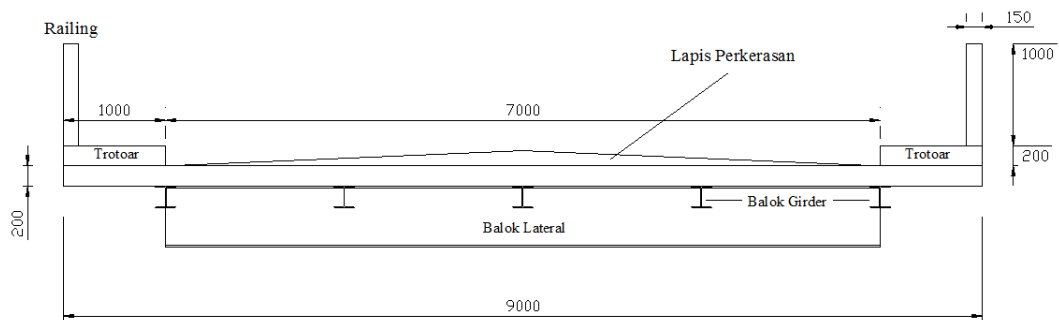
Perencanaan suatu konstruksi, harus berdasarkan suatu standar aturan yang berlaku agar terpenuhi kriteria yang sesuai batas-batas keadaan agar mencapai sebuah hasil yang benar.

Studi berikut bertujuan untuk menganalisa besarnya deformasi pada struktur jembatan dengan panjang bentang 25 meter, menggunakan sistem pelengkung material baja yang dipengaruhi oleh keadaan sudut pelengkung yang berbeda yaitu dengan sudut 47°, 41°, dan 33° akibat pembebanan yang bekerja sesuai dengan Peraturan Pembebanan Pada Jembatan berdasarkan SNI 1725 2016.

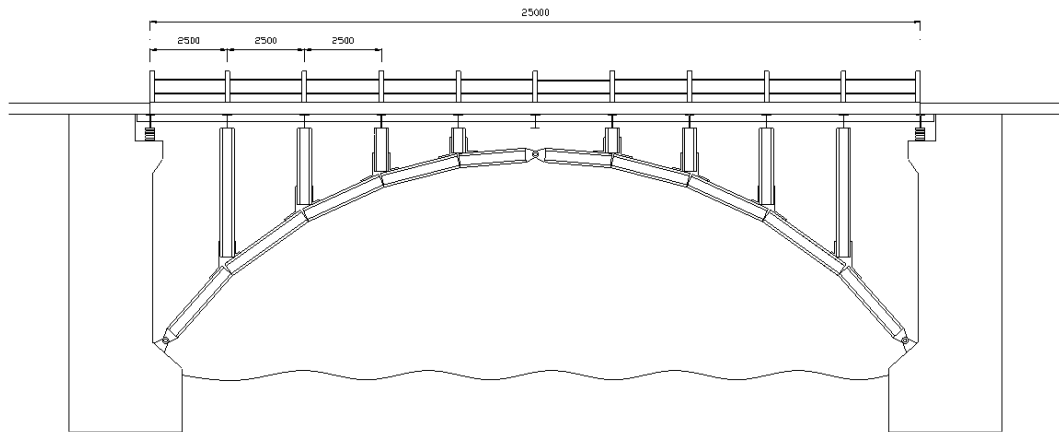


Gambar 3.1: Diagram alir desain.

3.2 Data Perencanaan Jembatan



Gambar 3.2: Tampak depan penampang jembatan.



Gambar 3.3: Tampak samping jembatan.

3.2.1 Data Jembatan

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| a. Klasifikasi jembatan | : Kelas I Bina Marga |
| b. Tipe jembatan | : Jembatan tipe A |
| c. Jenis jembatan | : Jembatan pelengkung baja |
| d. Lokasi jembatan | : Perkotaan |

3.2.2 Dimensi Jembatan

- | | |
|--|----------|
| a. Tebal pelat | : 0,2 m |
| b. Tebal perkerasan dan <i>overlay</i> | : 0,15 m |
| c. Tebal genangan air | : 0,05 m |
| d. Lebar jalur kendaraan | : 7 m |

e. Lebar trotoar : 1 m

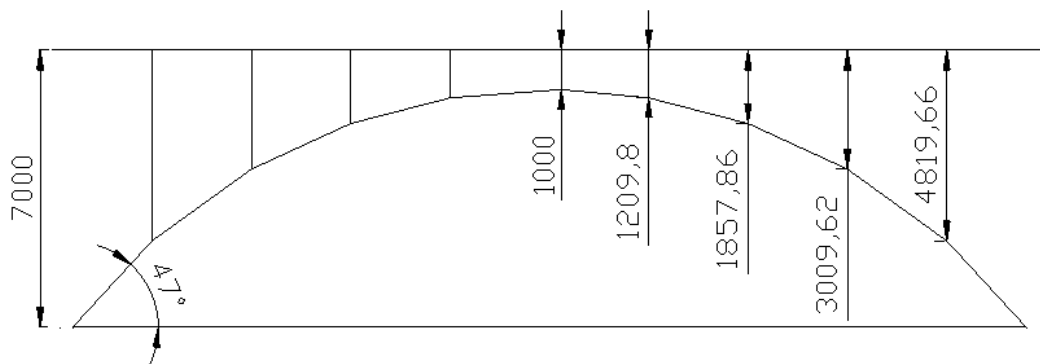
3.2.3 Material

- a. Mutu beton f_c' : 30 Mpa
- b. Mutu baja : BJ 37
 - F_y : 240 Mpa
 - F_u : 370 Mpa
- c. Modulus elastisitas beton : 25742,96 Mpa
- d. Modulus elastisitas baja : 200000 Mpa
- e. Rasio poisson beton : 0,2
- f. Rasio poisson baja : 0,3
- g. Koefisien muai beton : 0,00001 per °C
- h. Koefisien muai baja : 0,000012 per °C

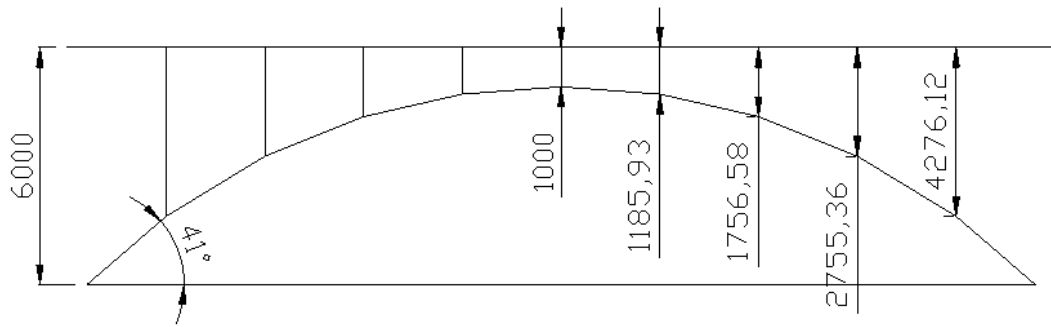
3.3 Pemodelan Struktur

3.3.1 Sketsa Struktur

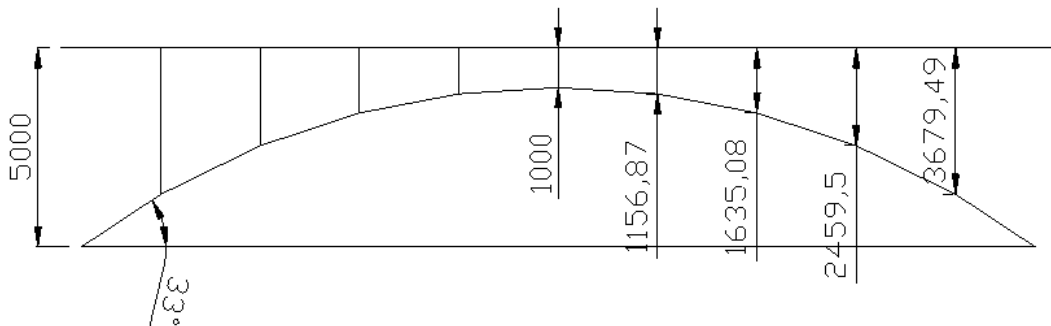
Struktur direncanakan berupa jembatan pelengkung baja dengan sudut lengkung, 47°, 41°, dan 33°. Sketsa dibuat dengan bantuan perangkat lunak Autocad, agar didapatkan bentuk lengkung sempurna. Profil baja yang digunakan direncanakan sebagai berikut:



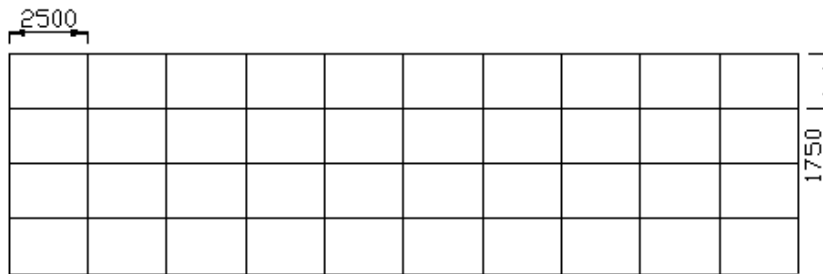
Gambar 3.4: Sketsa model 1 (tampak samping).



Gambar 3.5: Sketsa model 2 (tampak samping).



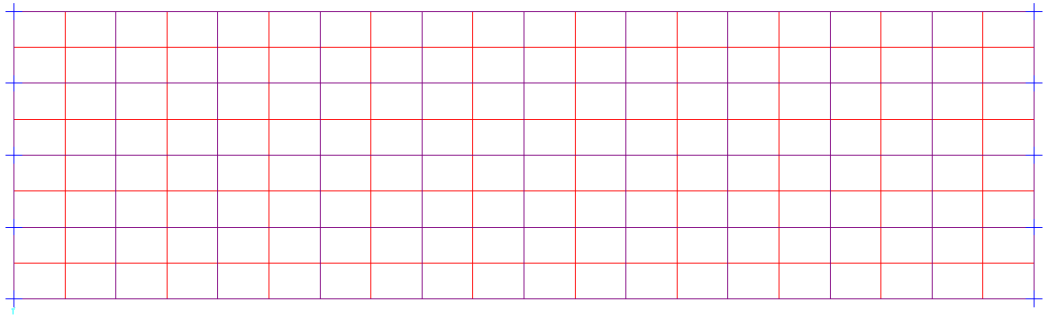
Gambar 3.6: Sketsa model 3 (tampak samping).



Gambar 3.7: Tampak atas jembatan.

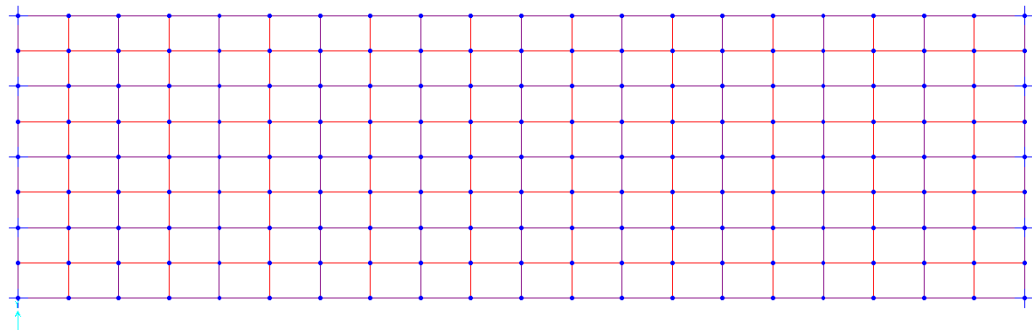
3.3.2 Model Struktur

Pada program Analisa Struktur, pemodelan dimulai dengan menentukan jumlah *grid* arah x, y, dan z. Jarak antar grid disesuaikan dengan gambar rencana yang telah dibuat, kemudian melakukan penggambaran komponen-komponen struktur, seperti *frame* dan *area*.



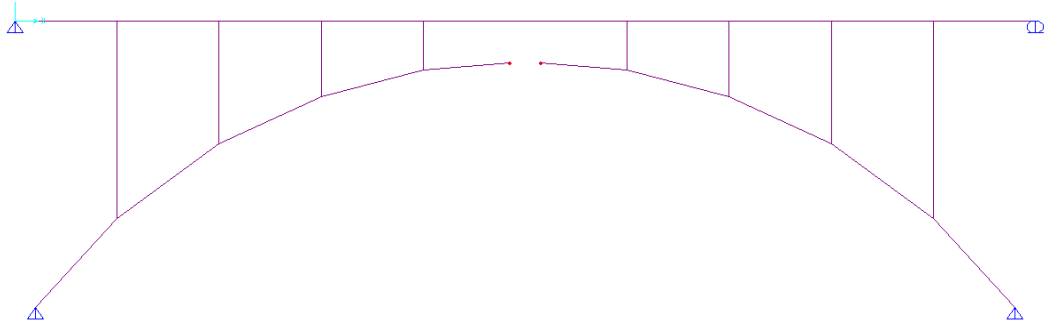
Gambar 3.8: Penggambaran *frame* dan *area* pada program Analisa Struktur.

Langkah selanjutnya yaitu dengan mengikat antara pelat dengan balok pada program Analisa Struktur, digunakan perintah (*assign, joint, constraint*, pilih *diaphragm* untuk arah z), dan juga dengan mengatur perletakan sendi dan rol pada ujung-ujung balok utama dengan cara (*assign, joint, restraints*, sendi-rol).



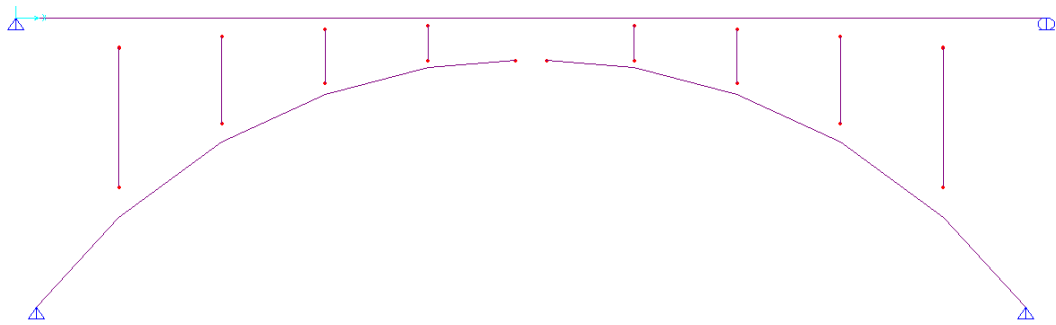
Gambar 3.9: *Assign constraints* pada program Analisa Struktur.

Pada balok pelengkung, pertemuan pada sendi atas harus dimodelkan tidak menahan momen, maka pada perintah program Analisa Struktur, frame pada sendi atas harus di *release* dan nilai momen harus nol (0) dengan cara (*assign, frame, release/partial fixity*).



Gambar 3.10: *Release* frame balok pelengkung.

Pada kolom penghubung antara gelagar dengan balok pelengkung, diasumsikan tidak menahan momen pada sambungan, sehingga kolom diasumsikan hanya menahan beban aksial saja.



Gambar 3.11: *Release* partial kolom.

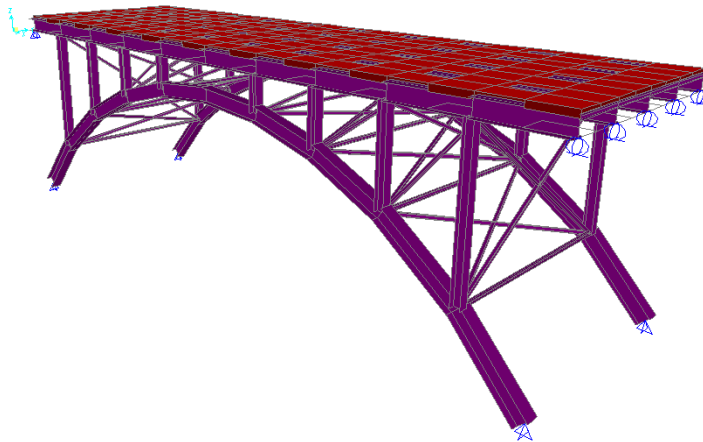
Profil baja yang digunakan direncanakan sebagai berikut:

Tabel 3.1 : Profil baja rencana.

Komponen	Dimensi profil
Balok Girder	WF 294.300.8.12
Balok Lateral	WF 588.300.12.20
Kolom	WF 294.300.8.12
Balok Lengkung	WF 588.300.12.20

Balok lateral direncanakan lebih besar karena arah distribusi beban terhadap balok lengkung berada di ujung-ujung lebar jembatan.

Agar sesuai dengan gambar rencana, maka tata letak balok dan pelat harus disesuaikan pada program Analisa Struktur. Pada balok agar perletakannya harus tepat berada di bawah penampang, maka dilakukan dengan cara (*assign, frame, insertion point*, pilih *centroid*, kemudian mengatur tinggi naiknya balok pada kolom *end-i* dan *end-j* arah sumbu 2). Pada pelat juga harus diatur tata letaknya tepat diatas permukaan balok dengan cara (*assign, area, area thickness overwrites (shells) user defined joint offset specified by points*, kemudian mengatur tinggi naiknya pelat pada *joint offset* 1,2,3, dan 4).



Gambar 3.12 : Pemodelan jembatan dengan program Analisa Struktur.

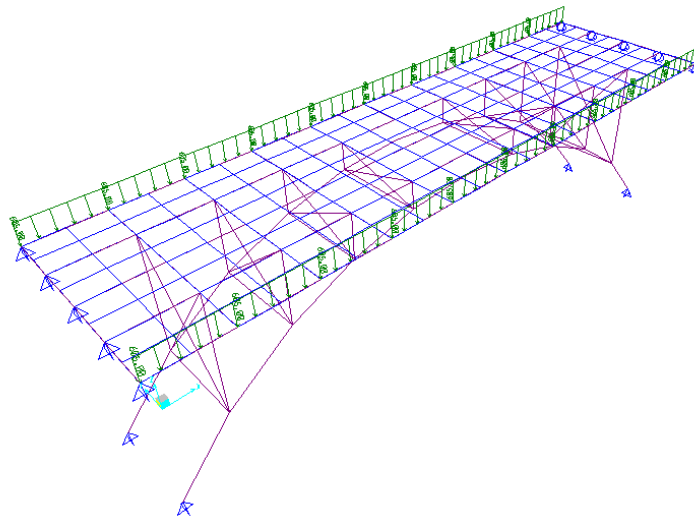
3.3 Pembebanan Struktur

3.3.1. Beban Akibat Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri struktur meliputi beban mati struktur dan secara otomatis akan dihitung pada program Analisa Struktur, dalam pemodelan ini meliputi balok girder, balok lateral, balok pelengkung, pelat lantai, kolom penghubung, dan ikatan angin.

Untuk beban trotoar dan railing, dihitung secara manual, trotoar setebal 0,2 m dengan lebar 1 meter dikalikan dengan berat jenis beton 2400 kg/m^2 , maka didapat beban sebesar 480 kg/m , dan beban railing berupa pipa galvanis $\varnothing 2,5''$ dengan berat 125 kg/m , dengan total beban 605 kg/m .

Beban ini di input pada girder ujung dengan cara *assign, frame load, distributed*, kemudian input nilai beban dan arah beban *gravity*.



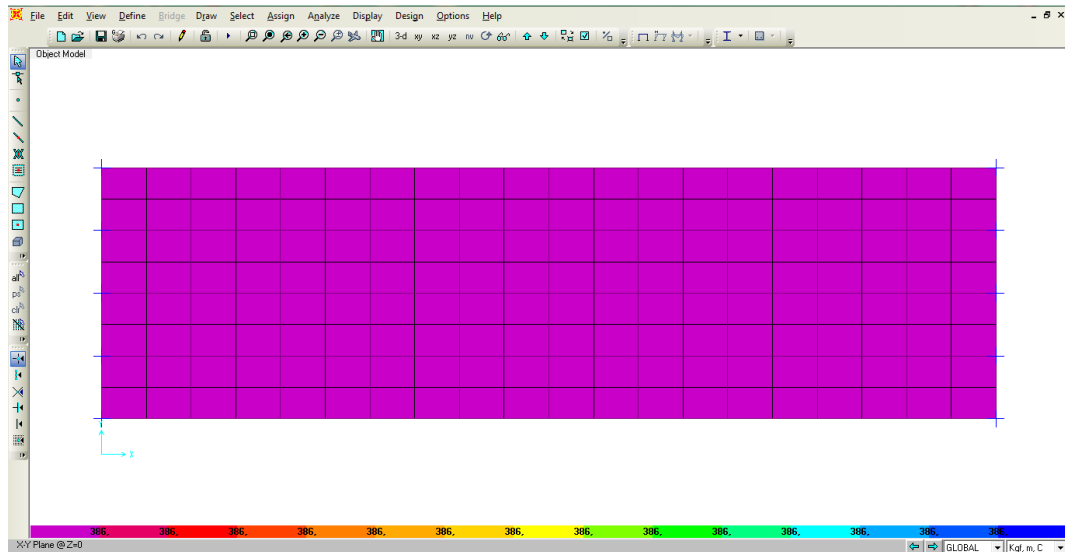
Gambar 3.13: Input beban MS trotoar dan railing.

3.3.2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan berupa berat lapisan perkerasan aspal setebal 0,1 m dan genangan air setebal 0,05 m sebagai asumsi pada saat keadaan hujan. Menurut SNI 1725 2016 “Pembeban untuk Jembatan” pada pasal 7.3.1, semua jembatan harus direncanakan memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 0,05 m untuk pelapisan kembali dikemudian hari.

Untuk berat aspal didapat dari perkalian tebal 0,1 dengan berat jenis aspal 2240 kg/m^3 , didapat beban luasan sebesar 224 kg/m^2 . Berat genangan air didapat dari tebal genangan 0,05 m dikalikan dengan berat jenis air 1000 kg/m^3 , didapat beban luasan 50 kg/m^2 , dan beban tambahan setebal 0,05 m dikalikan dengan berat jenis aspal 2240 kg/m^3 , didapat beban luasan sebesar 112 kg/m^2 .

Beban luasan total “MA” sebesar 386 kg/m^2 , beban ini di input pada pelat lantai seluas penampang jalan dengan cara *assign, area load, uniform to shell*, kemudian input nilai beban diatas dan arah *gravity*.



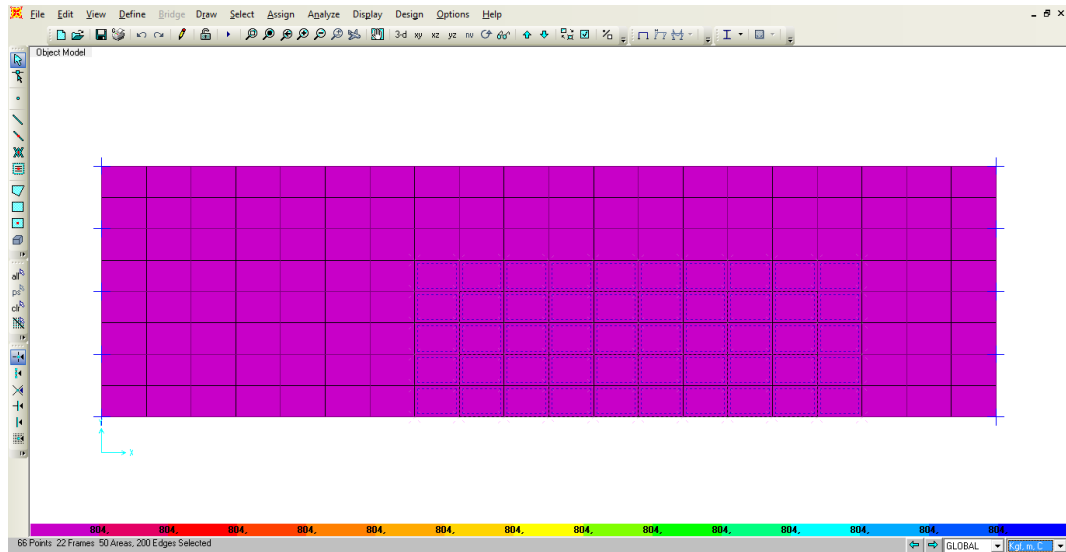
Gambar 3.14: Input beban MA.

3.3.3. Beban Lajur (TD)

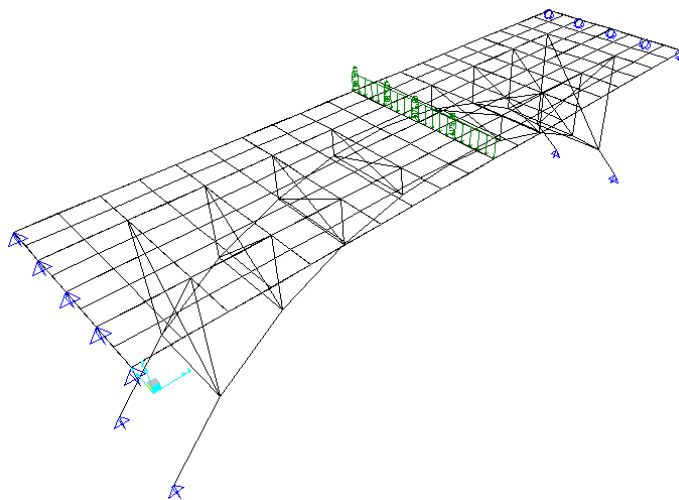
Menurut SNI 1725 2016 “Pembebanan untuk Jembatan” pasal 8.3.1, untuk beban terbagi rata (BTR) jembatan dengan panjang bentang ≤ 30 m intensitas beban q sebesar 9 kPa. Intensitas penyebaran beban q pada jalur kendaraan yaitu 100% untuk lebar 5,5 m, dan 50% untuk lebar jalur yang tersisa, dan beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas 49 KN/m, didistribusikan secara merata di pusat bentang, intensitas penyebarannya pada jalur kendaraan sebesar 100% untuk lebar 5,5 m, dan 50% untuk lebar jalur yang tersisa.

Besar beban “TD” untuk BTR yaitu lebar jalur 5,5 m dikalikan 9 KN, dan sisa lebar 7 m - 5,5 m dikalikan 9 KN kemudian dikalikan intensitas 50%. Didapatkan nilai BTR rata-rata untuk lebar 7 meter sebesar 803,6 Kg/m². Besar beban “TD” untuk BGT yaitu lebar jalur 5,5 m dikalikan 49 KN/m, dan sisa lebar 7 m – 5,5 m dikalikan 49 KN/m kemudian dikalikan intensitas beban 50 %, didapatkan nilai BGT sebesar 4375 Kg/m.

Beban BTR di distribusikan pada program Analisa Struktur pada pelat lantai dengan cara assign, area load, uniform to shell, kemudian input nilai beban dan arah gravity. Beban BGT di distribusikan pada program Analisa Struktur tepat di pusat bentang pada frame dengan cara *assign, frame load, distributed*, input nilai beban dan arah *gravity*.



Gambar 3.15: Input beban BTR.

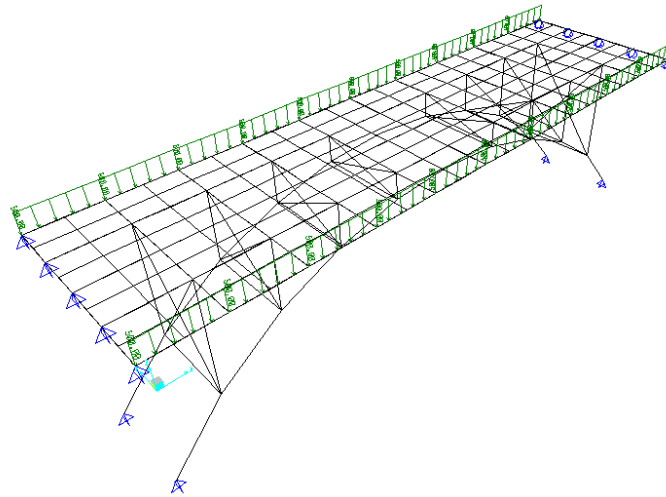


Gambar 3.16: Input beban BGT.

3.3.4. Beban Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725 2016 “Pembebanan untuk Jembatan” pasal 8.9, semua komponen trotoar yang memiliki lebar lebih besar dari 600 mm, harus direncanakan memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa.

Besar beban pejalan kaki yaitu lebar trotoar 1 m dikalikan 500 kg/m^2 , maka didapatkan besar beban TP 500 kg/m . Beban ini didistribusikan pada balok girder ujung dengan cara *assign*, *frame load*, *distributed*, input nilai beban dan arah *gravity*.

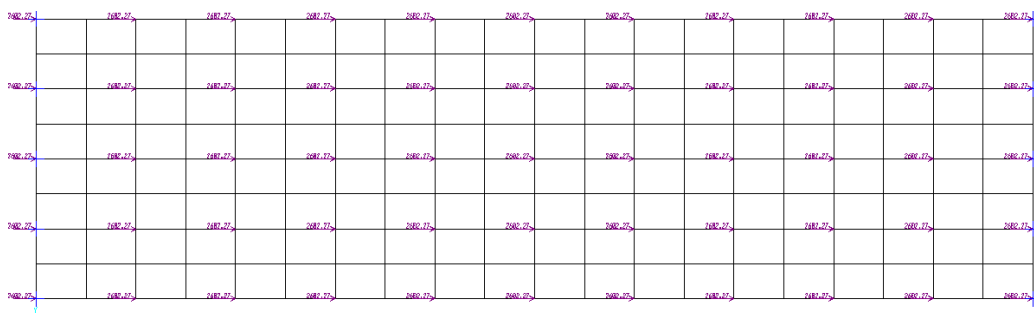


Gambar 3.17: Input beban TP.

3.3.5. Gaya Rem (TB)

Menurut SNI 1725 2016 “Pembebanan untuk Jembatan” pasal 8.7, gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah dengan BTR.

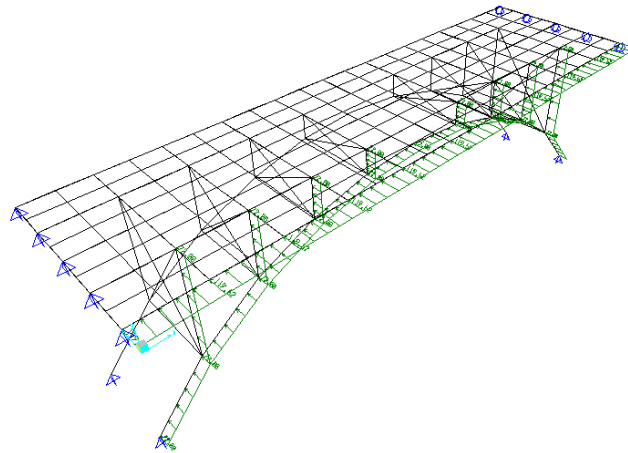
Nilai untuk 25% berat gandar truk yaitu sebesar 112 kN, dan nilai dari 5 % berat truk ditambah BTR yaitu sebesar 143,13 kN. Beban ini di distribusikan pada joint antara balok girder dan balok lateral dengan cara, *assign, joint load*, input beban dan arah X.



Gambar 3.18: Input beban TB.

3.3.6. Beban Angin Struktur (EWS)

Menurut SNI 1725 2016 “Pembebanan untuk Jembatan” pasal 9.6.1.1 tabel 29 Tekanan angin dasar, besar tekanan pada balok dan pelengkung yaitu 0,0024 MPa. Besar tekanan angin pada balok di dapatkan sebesar 119,52 kg/m dan tekanan pada balok pelengkung dan kolom sebesar 72 kg/m. Beban angin di input dalam arah lateral jembatan, yaitu pada balok utama, kolom, dan balok lengkung dengan cara *assign, frame load, distributed*, input nilai beban sesuai perhitungan.

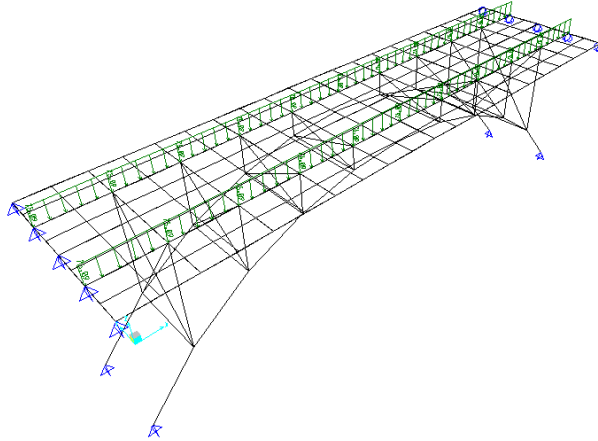


Gambar 3.19: Input beban EWS.

3.3.7. Beban Angin Kendaraan (EWL)

Sesuai dengan SNI 1725 2016 “Pembebanan untuk Jembatan” pasal 9.6.1.2, 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 pada dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

Beban ini ditransfer pada balok girder yang memikul lajur kendaraan, besar beban didapatkan sebesar. Beban di distribusikan pada balok girder pada pemodelan program Analisa Struktur dengan cara *assign, frame load, distributed*, input nilai beban dan arah *gravity*.

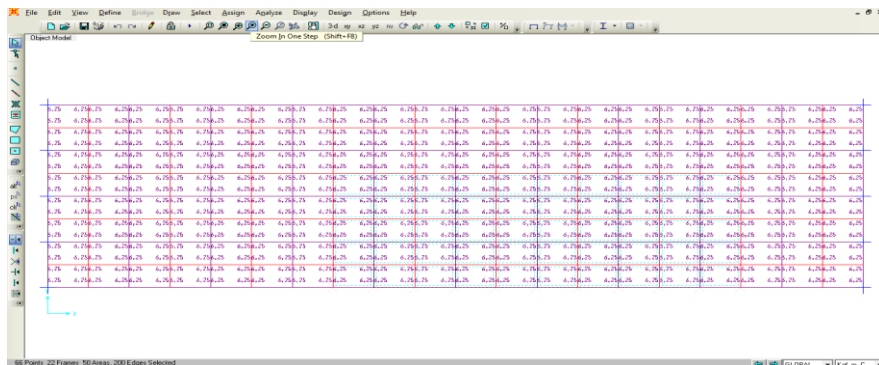


Gambar 3.20: Input beban EWL.

3.3.8. Beban Temperatur (ET)

Sesuai dengan SNI 1725 2016 “Pembebanan untuk Jembatan” pasal 9.3.1, deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur dengan rentang temperatur harus seperti yang ditentukan pada tabel 18. 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 maksimum yang ditentukan dalam tabel 18 harus digunakan $T_{min\ design}$ dan $T_{max\ design}$ pada persamaan 33. Perubahan suhu yang didapatkan dari perhitungan pada lantai beton di atas gelagar sebesar $16,25^{\circ}$.

Beban temperatur ini di masukkan melalui program pada pelat lantai dengan cara *assign, area load, temperature, by pattern*, input nilai suhunya.

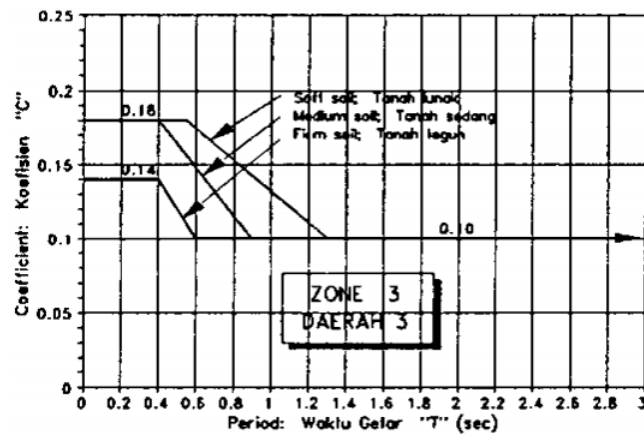


Gambar 3.21: Input beban ET.

3.3.9. Beban Gempa (EQ)

Perhitungan beban gempa pada pemodelan struktur ini menggunakan bantuan program Analisa Struktur untuk mendapatkan periode alami struktur jembatan.

Periode alami struktur didapatkan setelah semua beban di masukkan ke dalam pemodelan kemudian dilakukan analisis program Analisa Struktur untuk mendapatkan periode alami struktur, kemudian menentukan zona gempa berdasarkan peta zona gempa sesuai standar SNI 2833 2008 “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan”, dan untuk kota Medan didapatkan zona lokasi 3

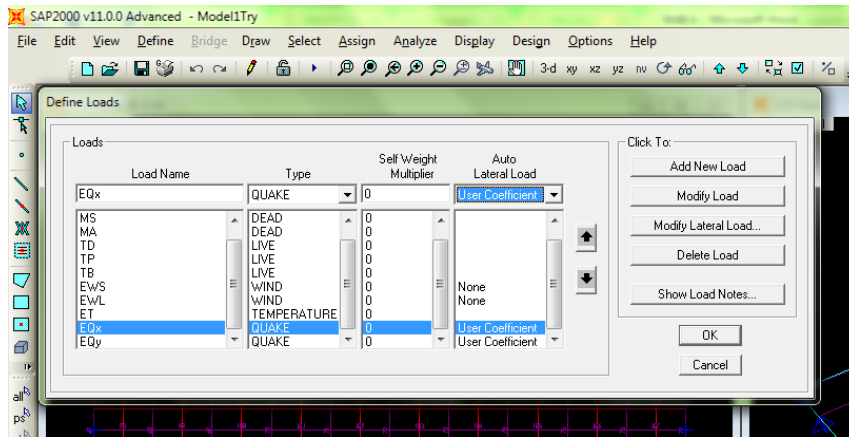


Gambar 3.22: Koefisien geser dasar (C) zona 3.

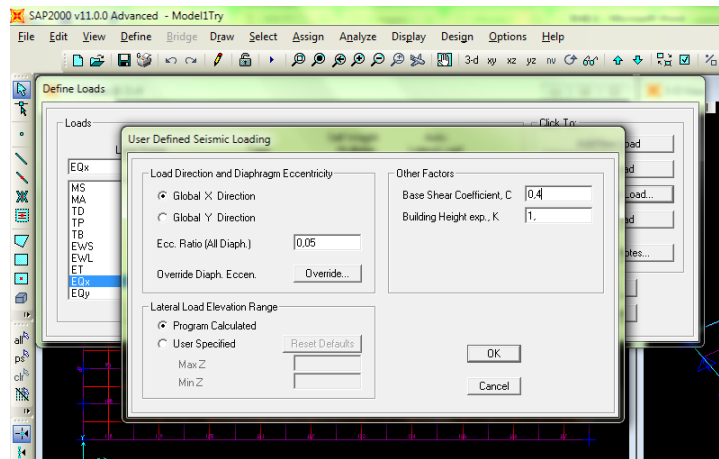
Koefisien geser dasar didapatkan dengan menarik garis lurus ke arah atas pada sumbu perioda sampai mengenai garis tanah sedang, kemudian tarik garis ke arah kiri maka didapatkan nilai koefisien geser dasar.

Untuk perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada struktur akibat gempa, dilakukan secara otomatis pada program Analisa Struktur dengan cara menentukan beban gempa berdasarkan user coefficient.

Modifikasi dilakukan dengan mengatur pada perintah modify lateral load, kemudian memasukkan koefisien geser dasar yang telah di dapatkan, serta arah x dipilih untuk gempa arah x, dan arah y dipilih untuk arah y, eksentrisitas di input nol karena beban dianggap bekerja secara terpusat. Untuk koefisien K (koefisien tinggi bangunan) diasumsikan 1.



Gambar 3.23: Input beban gempa EQ.



Gambar 3.24: Input koefisien geser dasar dan arah gempa.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Analisa struktur jembatan berfungsi untuk mengetahui keadaan batas yang harus dipenuhi untuk mencapai kelayakan struktur jembatan dalam menahan beban-beban yang bekerja agar berfungsi secara aman.

Analisa struktur menggunakan bantuan program Analisa Struktur untuk menganalisa pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan dengan perbedaan sudut lengkung pada balok lengkung baja. Hasil analisa ini akan membandingkan pengaruh sudut terhadap deformasi yang terjadi pada struktur jembatan serta gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan ini.

4.2 Hasil Analisa

Analisa yang telah dilakukan menunjukkan adanya perubahan yang terjadi pada jembatan akibat berubahnya sudut lengkung balok pelengkung. Perubahan yang terjadi mengakibatkan distribusi gaya-gaya yang berbeda sehingga menimbulkan beberapa keuntungan dan kerugian.

Gaya yang bekerja pada struktur pelengkung tiga sendi mengalami momen lentur, gaya geser, dan gaya aksial tekan yang bervariasi akibat pengaruh sudut lengkung, hal ini juga berpengaruh pada struktur diatas balok pelengkungnya. Tinjauan dari pengaruh beban-beban yang bekerja dilakukan terhadap keadaan batas kekuatan untuk desain kekuatan penampang dalam menerima gaya yang bekerja, dan keadaan batas layan untuk mengontrol batas lendutan yang terjadi sepanjang bentang jembatan.

4.2.1 Keadaan Batas Kekuatan

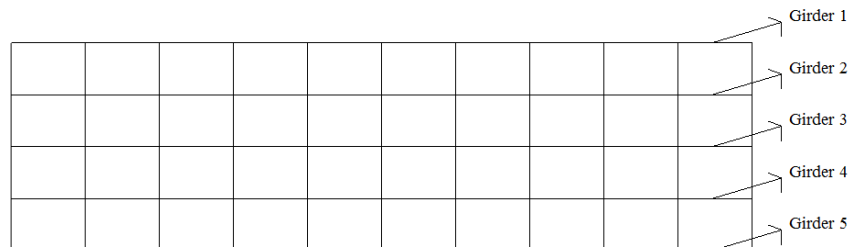
Keadaan batas kekuatan yaitu kondisi pembebanan untuk analisa gaya-gaya dalam yang timbul akibat kombinasi pembebanan (Kuat I, Kuat III, Kuat IV, dan Kuat V), dimana pada keadaan batas ini untuk menunjukkan kemungkinan adanya

kelebihan batas tegangan yang terjadi pada keadaan normal, diantara gaya-gaya yang dihasilkan berupa momen ultimit, gaya normal, dan gaya geser.

Gaya-gaya yang terjadi ditinjau pada tengah bentang, dimana gaya-gaya maksimum bekerja digunakan untuk desain kekuatan penampang.

4.2.1.1. Balok Girder

Balok girder berfungsi sebagai balok untuk menahan deformasi arah longitudinal jembatan dan memiliki peranan utama dalam menjaga lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja, sehingga harus memenuhi batas kekuatan momen, geser, maupun kombinasi momen-geser, dan aksial-lentur.



Gambar 4.1: Girder.

4.2.1.1.2. Momen Ultimit

Momen ultimit yang terjadi akibat pembebanan menunjukkan pengaruh beban terbesar terjadi pada girder 1 dan 5, disebabkan girder ujung memikul lebih banyak beban yaitu beban trotoar, beban pejalan kaki, dan beban railing. Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan hasil momen ultimit terbesar berada di tengah bentang pada girder 1 dan girder 5 dapat dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3.

Tabel 4.1: Momen ultimit girder Model 1 (sudut lengkung 47°).

Momen ultimit				
	Kuat 1 (kg.m)	Kuat 3 (kg.m)	Kuat 4 (kg.m)	Kuat 5 (kg.m)
Girder 1	5233,05	486,98	485,99	1201,13
Girder 2	3132,38	418,16	417,68	-24,88

Tabel 4.1: *Lanjutan.*

Momen ultimit				
Girder 3	2744,13	329,35	329,38	706,15
Girder 4	3132,38	417,12	417,68	-25,18
Girder 5	5233,05	484,96	485,99	1200,55

Tabel 4.2: Momen ultimit girder Model 2 (sudut lengkung 41°).

Momen ultimit				
	Kuat 1 (kg.m)	Kuat 3 (kg.m)	Kuat 4 (kg.m)	Kuat 5 (kg.m)
Girder 1	5340,97	507,58	506,51	1244,1
Girder 2	3165,01	432,69	432,16	5,67
Girder 3	2767,41	341,25	341,27	731,19
Girder 4	3165,01	431,55	432,16	5,35
Girder 5	5340,97	505,36	506,51	1243,47

Terjadi kenaikan momen ultimit rata-rata pada Model 2 sebesar 1,4% terhadap Model 1.

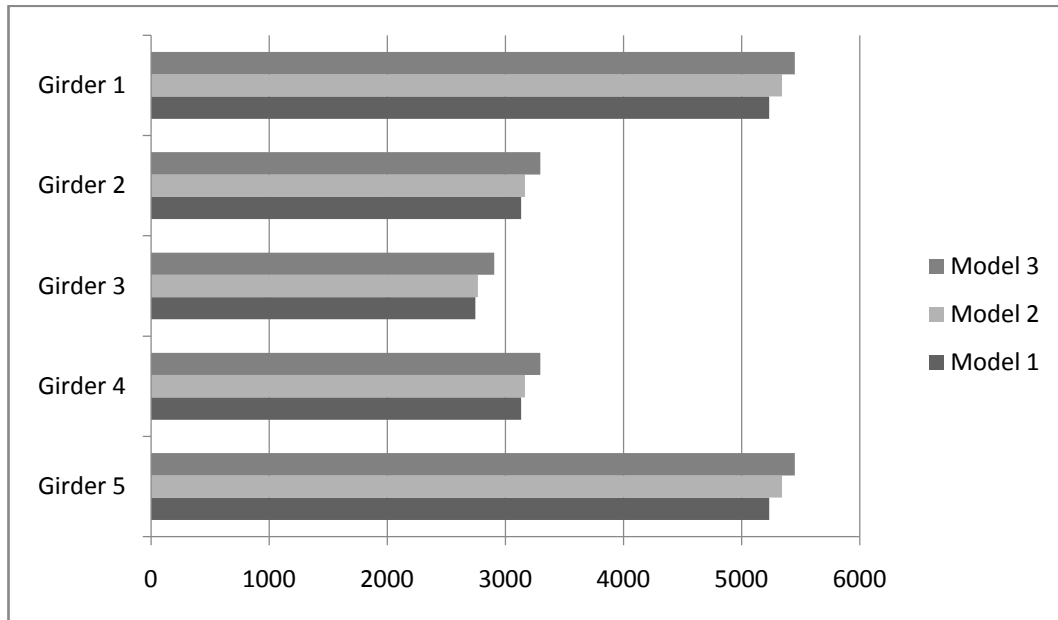
Tabel 4.3: Momen ultimit girder Model 3 (sudut lengkung 33°).

Momen ultimit				
	Kuat 1 (kg.m)	Kuat 3 (kg.m)	Kuat 4 (kg.m)	Kuat 5 (kg.m)
Girder 1	5448,56	540,13	538,91	1313,06
Girder 2	3295,05	469,01	468,46	81,78
Girder 3	2904,18	378,74	378,78	809,58
Girder 4	3295,05	467,81	468,46	81,44
Girder 5	5448,56	537,65	538,91	1312,36

Terjadi kenaikan momen ultimit rata-rata pada Model 3 sebesar 3,4% terhadap Model 2 dan 4,9% terhadap Model 1.

Penampang yang digunakan untuk girder (WF 294.300.8.12) dalam desain lentur harus di cek terhadap kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal, dan tekuk lateral. Hasil perhitungan didapatkan momen tahanan penampang sebesar 11.533,04 Kg.m untuk tekuk lokal, dan 142.699,6 Kg.m untuk

tekuk lateral menunjukkan profil yang digunakan sangat mampu dalam menahan momen lentur maksimum yang terjadi pada ketiga model struktur sebesar 5448,56 Kg.m.



Gambar 4.2: Grafik momen ultimit Girder.

4.2.1.1.3. Gaya Normal

Gaya normal yang terjadi pada girder struktur jembatan pelengkung tiga sendi pada arah longitudinal diakibatkan adanya gaya lenturan yang bekerja sehingga mengakibatkan terjadi gaya aksial lentur. Gaya yang terjadi berupa aksial tekan, maka penampang yang digunakan harus mampu menahan aksial tekan serta kombinasi aksial dan lentur.

Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan gaya aksial akibat lentur terbesar terjadi pada girder 2 dan girder 4 terletak di tengah bentang dan dapat dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 untuk ketiga model struktur.

Tabel 4.4: Gaya normal pada girder Model 1 (sudut lengkung 47°).

Gaya Normal				
	Kuat 1 (kg)	Kuat 3 (kg)	Kuat 4 (kg)	Kuat 5 (kg)
Girder 1	-17712,41	-4109,26	-4109,69	-9096,68

Tabel 4.4: *Lanjutan*

Gaya Normal				
	Kuat 1 (kg)	Kuat 3 (kg)	Kuat 4 (kg)	Kuat 5 (kg)
Girder 2	-17646,8	-4199,41	-4198,93	-9287,61
Girder 3	-17378,98	-4126,59	-4127,73	-9132,53
Girder 4	-17646,8	-4196,16	-4198,93	-9286,69
Girder 5	-17712,41	-4108	-4109,69	-9096,32

Tabel 4.5: Gaya normal pada girder Model 2 (sudut lengkung 41°).

Gaya Normal				
	Kuat 1 (kg)	Kuat 3 (kg)	Kuat 4 (kg)	Kuat 5 (kg)
Girder 1	-19066,47	-4553,77	-4553,74	-10034,2
Girder 2	-18981,42	-4641,08	-4640,79	-10216,4
Girder 3	-18699,45	-4563,39	-4564,49	-10050,9
Girder 4	-18981,42	-4638,21	-4640,79	-10215,6
Girder 5	-19066,47	-4551,96	-4553,74	-10033,7

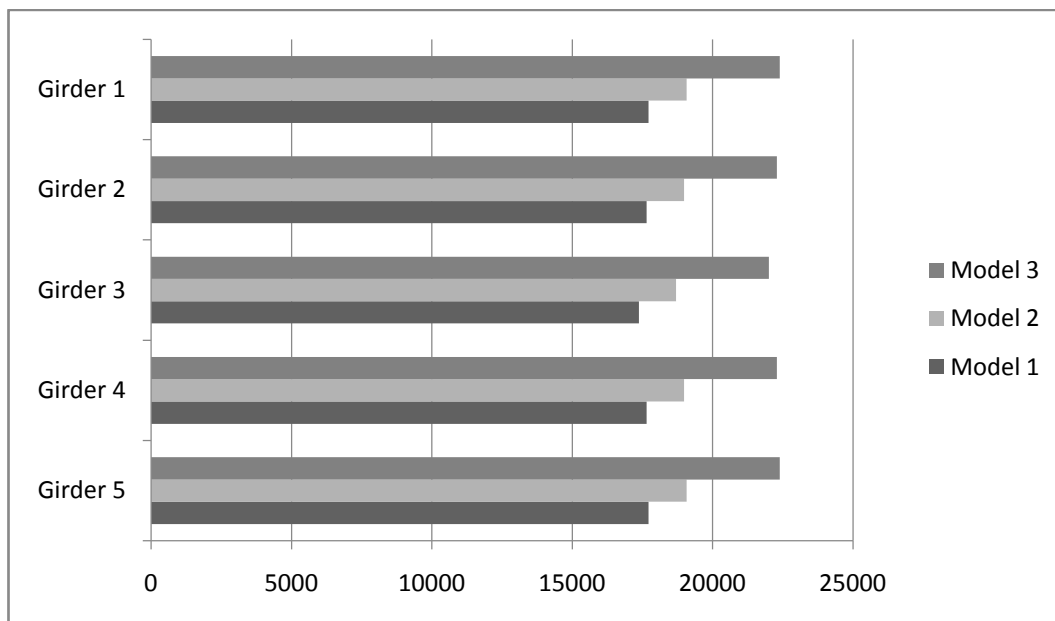
Terjadi kenaikan gaya aksial rata-rata pada Model 2 sebesar 7,6% terhadap Model 1

Tabel 4.6: Gaya normal pada girder Model 3 (sudut lengkung 33°).

Gaya Normal				
	Kuat 1 (kg)	Kuat 3 (kg)	Kuat 4 (kg)	Kuat 5 (kg)
Girder 1	-22386,3	-5566,43	-5566,68	-12160,9
Girder 2	-22282,05	-5644,14	-5644,18	-12326,6
Girder 3	-21997,18	-5566,02	-5567,24	-12159,1
Girder 4	-22282,05	-5641,77	-5644,18	-12325,9
Girder 5	-22386,3	-5564,63	-5566,68	-12160,4

Terjadi kenaikan gaya normal rata-rata pada Model 3 sebesar 17,5% terhadap Model 2 dan 26,4% terhadap Model 1. Pengaruh sudut lengkung terlihat sangat mempengaruhi besarnya gaya aksial lentur pada balok girder.

Penampang balok girder yang digunakan (WF 294.300.12.8) dalam desain aksial harus di cek terhadap tekuk lentur dan kombinasi aksial lentur. Hasil perhitungan menunjukkan tahanan tekuk lentur profil sebesar 803185,47 Kg.



Gambar 4.3: Grafik gaya normal Girder.

4.2.1.1.3. Gaya Geser

Gaya geser terbesar yang terjadi pada balok girder 1 dan 5 berada pada ujung-ujung penampang, hal ini disebabkan adanya reaksi vertikal akibat dari kolom penghubung dalam menahan gaya yang bekerja.

Hasil analisa program Analisa Struktur untuk gaya geser terbesar diakibatkan kombinasi beban kuat 1, dimana aksi beban pada kombinasi kuat 1 dominan bekerja pada girder ujung akibat beban trotoar, pejalan kaki, dan juga railing, sehingga terjadi gaya geser yang besar. Perbandingan kuat geser yang terjadi akibat perubahan sudut lengkung dapat dilihat pada Tabel 4.7, Tabel 4.8, dan Tabel 4.9.

Tabel 4.7: Gaya geser balok girder Model 1 (sudut lengkung 47°).

Gaya geser				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Girder 1	8881,21	2842,9	2839,58	5191,08
Girder 2	4228,08	1119,96	1118,5	5874,06
Girder 3	3597,66	893,29	893,28	1533,66
Girder 4	4228,08	1117,07	1118,5	5873,23
Girder 5	8881,21	2836,12	2839,58	5189,14

Tabel 4.8: Gaya geser balok girder Model 2 (sudut lengkung 41°).

Gaya geser				
	Kuat	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Girder 1	8972,1	2861,94	2860,38	5233,11
Girder 2	4200,1	1110,26	1108,7	5853,39
Girder 3	3554,22	878,13	878,09	1501,4
Girder 4	4200,1	117,22	1108,7	5852,52
Girder 5	8972,1	2868,82	2873,04	5259,46

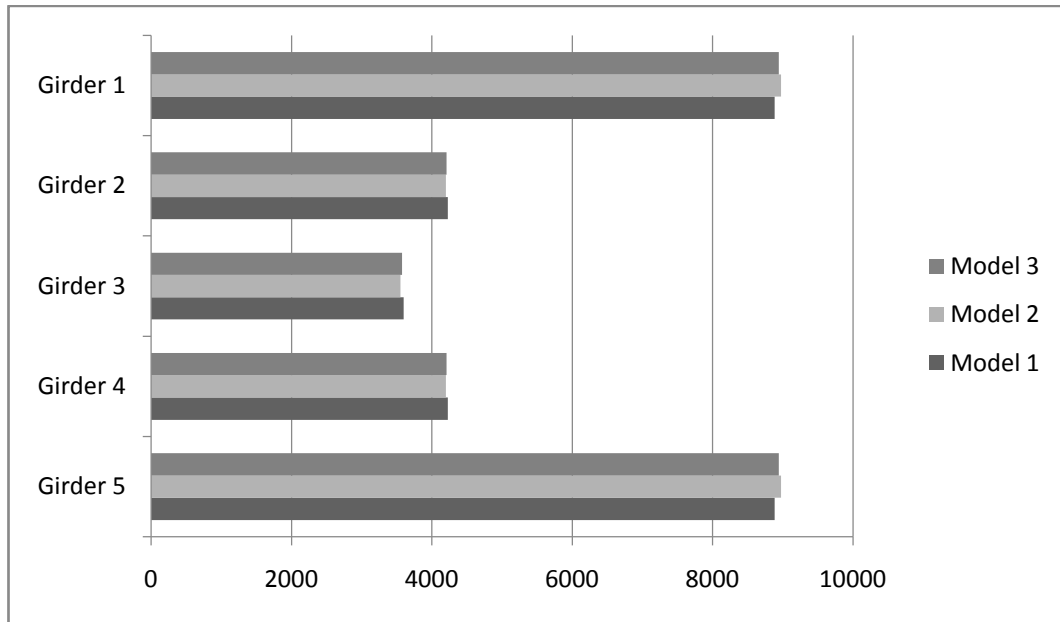
Terjadi peningkatan gaya geser pada balok girder 1 dan 5 dengan berkurangnya sudut pelengkung sebesar 1,02% terhadap Model 1.

Tabel 4.9: Gaya geser balok girder Model 3 (sudut lengkung 33°).

Gaya geser (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Girder 1	8942,77	2864,87	2859,96	5238,25
Girder 2	4207,84	1113,6	1112,09	5859,48
Girder 3	3575,03	885,64	885,62	1515,71
Girder 4	4207,84	1110,63	1112,09	5858,63
Girder 5	8942,77	2854,9	2859,96	5235,41

Terjadi penurunan gaya geser pada balok girder 1 dan 5 dengan berkurangnya sudut pelengkung sebesar 0,34% terhadap Model 2 dan peningkatan sebesar 0,68% terhadap Model 1.

Penampang balok lateral yang digunakan (WF 294.300.8.12) harus dilakukan desain terhadap geser, dan juga kombinasi geser dan lentur. Hasil perhitungan pada lampiran menunjukkan penampang memiliki tahanan geser sebesar 13789,4 Kg, dan kombinasi geser dan lentur memenuhi batasan peraturan RSNI T-03-2005 sub-pasal 7.9.3, yaitu didapatkan $1,278 \leq 1,375$ (OK).

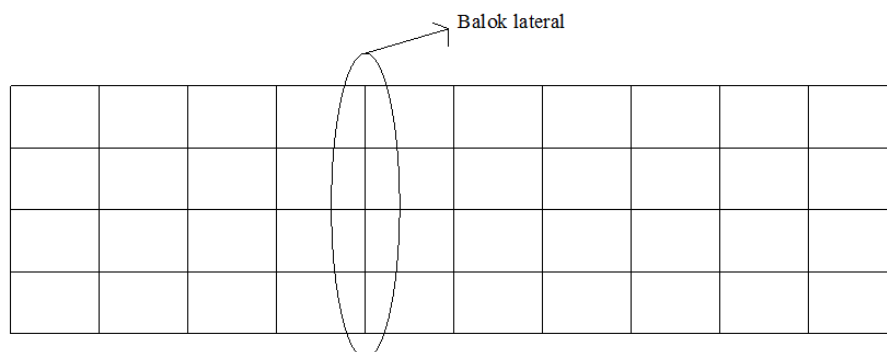


Gambar 4.4: Grafik gaya geser Girder.

4.3.1.1. Balok Lateral

Balok lateral memiliki peranan untuk menahan dan mendistribusikan gaya-gaya yang bekerja ke arah ujung jembatan agar terdistribusi terhadap balok pelengkung melalui kolom penghubung. Terdapat momen, gaya geser, dan aksial lentur yang terjadi pada balok lateral, sehingga harus dilakukan desain terhadap penampang untuk mengetahui batas kekuatan balok tersebut.

Hasil analisa pembebanan program Analisa Struktur, balok lateral yang memikul gaya-gaya maksimum terjadi pada balok yang tertera pada Gambar 4.2.



Gambar 4.5: Balok lateral.

4.3.1.1.1 Momen Ultimit

Momen ultimit yang terjadi pada balok lateral terletak di ujung penampang, hal ini terjadi akibat pembebanan yang ditahan balok girder terdistribusi pada balok lateral sebagai gaya terpusat dan akan terjadi momen akibat adanya jarak terhadap ujung balok lateral.

Hasil perhitungan program Analisa Struktur untuk gaya-gaya yang bekerja pada ketiga model dapat dilihat pada Tabel 4.10, Tabel, 4.11, dan Tabel, 4.12.

Tabel 4.10: Momen ultimit balok lateral Model 1 (sudut lengkung 47°).

Momen ultimit (kg.m)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	8866,63	4933,26	4931,8	8385,1

Tabel 4.11: Momen ultimit balok lateral Model 2 (sudut lengkung 41°)

Momen ultimit (kg.m)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	9162,8	5050,6	5045,8	8641,1

Terjadi peningkatan momen ultimit pada Model 2 sebesar 3,34% terhadap momen ultimit Model 1.

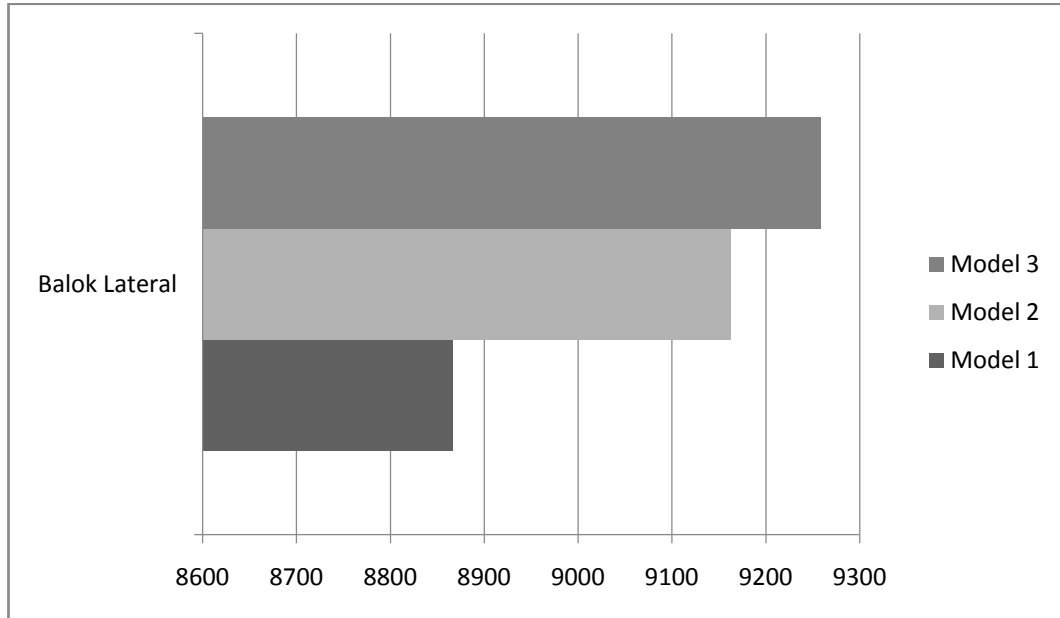
Tabel 4.12: Momen ultimit balok lateral Model 3 (sudut lengkung 33°).

Momen ultimit (kg.m)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	9258,43	5867,4	5089,9	8730,5

Terjadi peningkatan momen ultimit pada model 3 sebesar 1,04% terhadap model 2 dan 4,4% terhadap model 1.

Penampang balok lateral yang digunakan (WF 588.300.12.20) dalam desain lentur harus di cek terhadap kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal, dan tekuk lateral. Hasil perhitungan pada lampiran didapatkan momen tahanan penampang sebesar 71.551,38 Kg.m untuk tekuk

lokal, dan 53.656,8 Kg.m untuk tekuk lateral menunjukkan profil yang digunakan sangat mampu dalam menahan momen lentur maksimum yang terjadi pada ketiga model struktur sebesar 9258,43 Kg.m.



Gambar 4.6: Grafik momen ultimit Balok Lateral.

4.3.1.1.2 Gaya Geser

Gaya geser terbesar yang terjadi pada balok lateral berada pada ujung-ujung penampang, hal ini disebabkan adanya reaksi vertikal akibat dari kolom penghubung dalam menahan gaya yang bekerja.

Hasil analisa program Analisa Struktur untuk gaya geser terbesar diakibatkan kombinasi beban kuat 1, dimana aksi beban pada kombinasi kuat 1 dominan bekerja pada girder ujung akibat beban trotoar, pejalan kaki, dan juga railing, sehingga terjadi gaya geser yang besar. Perbandingan kuat geser yang terjadi akibat perubahan sudut lengkung dapat dilihat pada Tabel 4.13, Tabel 4.14, Tabel 4.15.

Tabel 4.13: Gaya geser balok lateral model 1 (sudut lengkung 47°).

Gaya geser (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	14385,39	5687,83	5683,7	13583

Tabel 4.14: Gaya geser balok lateral model 2 (sudut lengkung 44°).

Gaya geser (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	14951,98	5921,15	5911,32	14080,2

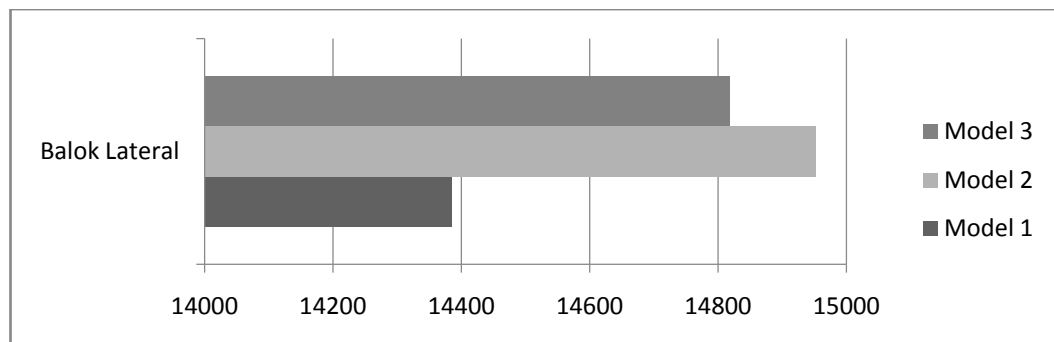
Terjadi kenaikan gaya geser akibat sudut pelengkung yang berubah sebesar 4 % terhadap model 1.

Tabel 4.15: Gaya geser balok lateral model 3 (sudut lengkung 33°).

Gaya geser (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	14818,04	5867,39	5850,93	13965,5

Terjadi penurunan gaya geser akibat perubahan sudut lengkung sebesar 0,9% terhadap model 2 dan kenaikan 3% terhadap model 1.

Penampang balok lateral yang digunakan (WF 588.300.12.20) harus dilakukan desain terhadap geser, dan juga kombinasi geser dan lentur. Hasil perhitungan pada lampiran menunjukkan penampang memiliki tahanan geser sebesar 44.271,4 Kg, dan kombinasi geser dan lentur memenuhi batasan peraturan RSNI T-03-2005 sub-pasal 7.9.3, yaitu didapatkan $0,647 \leq 1,375$.



Gambar 4.7: Grafik gaya geser Balok Lateral.

4.3.1.1.2 Gaya Normal

Gaya normal yang terjadi pada balok lateral berupa aksial tarik, beban yang dominan dalam menyebabkan aksial tarik pada balok lateral adalah adanya beban akibat pemuaian pelat lantai beton sehingga mendesak pelat untuk melendut ke arah atas sehingga menimbulkan gaya tarik pada balok lateral. Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan perbandingan gaya aksial tarik pada ketiga model dapat dilihat pada Tabel 4.16, Tabel 4.17, dan Tabel 4.18.

Tabel 4.16: Gaya normal balok lateral (sudut lengkung 47°).

Gaya normal (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	12520,98	11902,98	11904,7	11892,2

Tabel 4.17: Gaya normal balok lateral (sudut lengkung 44°).

Gaya normal (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	12753,77	12135,5	12139,1	12077,5

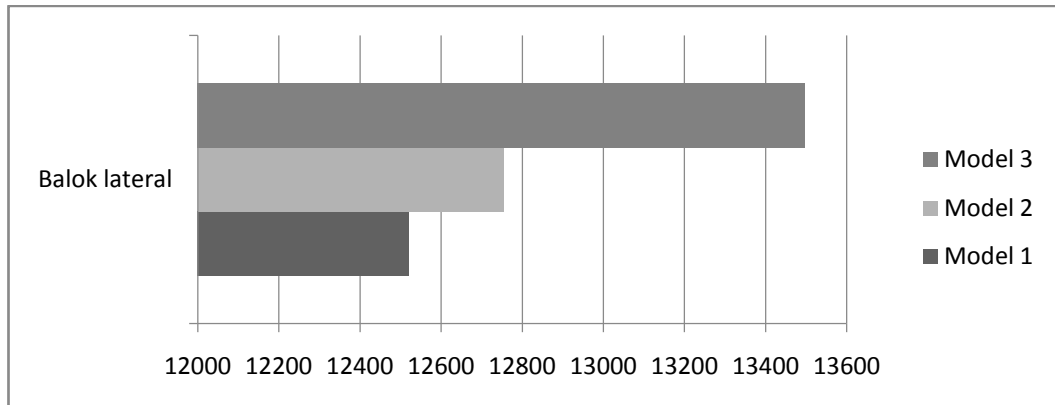
Terjadi peningkatan gaya aksial tarik pada Model 2 akibat perubahan sudut lengkung sebesar 1,8%.

Tabel 4.18: Gaya normal balok lateral (sudut lengkung 33°).

Gaya normal (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
B. Lateral	13497,28	12502,9	12510,5	12750

Terjadi peningkatan gaya aksial tarik pada Model 3 akibat perubahan sudut lengkung sebesar 5,8% terhadap Model 2 dan 7,8% terhadap Model 1.

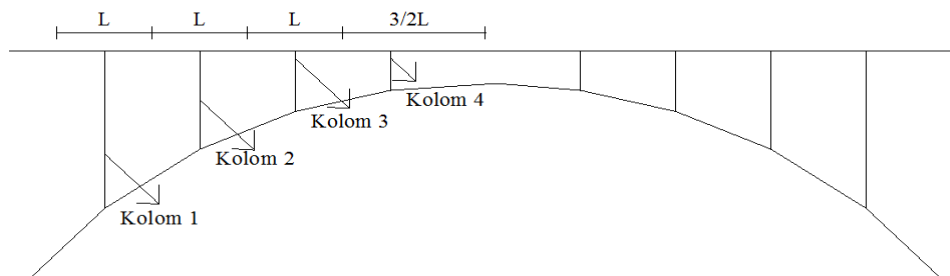
Penampang balok lateral yang digunakan (WF 588.300.12.20) harus dilakukan desain terhadap aksial, yaitu berupa aksial tarik dan kombinasi aksial dan lentur. Hasil analisa pada lampiran menunjukkan kuat tahanan tarik penampang didapatkan sebesar 415.800 kg dan sangat kuat dalam menerima gaya tarik yang bekerja sebesar 13.497,28 kg.



Gambar 4.8: Grafik gaya normal Balok Lateral.

3.4 Kolom

Kolom pada pemodelan memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban kepada balok pelengkung. Kolom menghimpun semua beban dari pelat, balok girder, balok lateral, maupun beban lainnya di distribusikan sebagai gaya aksial tekan. Gaya aksial terbesar terjadi pada kolom 4, dikarenakan panjang bentang beban yang dipikul balok 4 lebih besar dibandingkan dengan kolom lainnya, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.9 : Kolom penghubung

Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan besarnya gaya aksial tekan yang diterima oleh kolom penghubung, dapat dilihat pada Tabel 4.19, Tabel 4.20, dan Tabel 4.21.

Tabel 4.19: Gaya aksial kolom penghubung Model 1 (sudut lengkung 47°).

Gaya aksial tekan (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Kolom 1	36584	14417,5	14427,7	31512,5
Kolom 2	33487,82	12466	12520,9	27788
Kolom 3	17754,96	6686,44	6732,43	14940,2
Kolom 4	40378,94	15605,7	15557,5	33873,3

Tabel 4.20: Gaya aksial kolom penghubung Model 2 (sudut lengkung 41°).

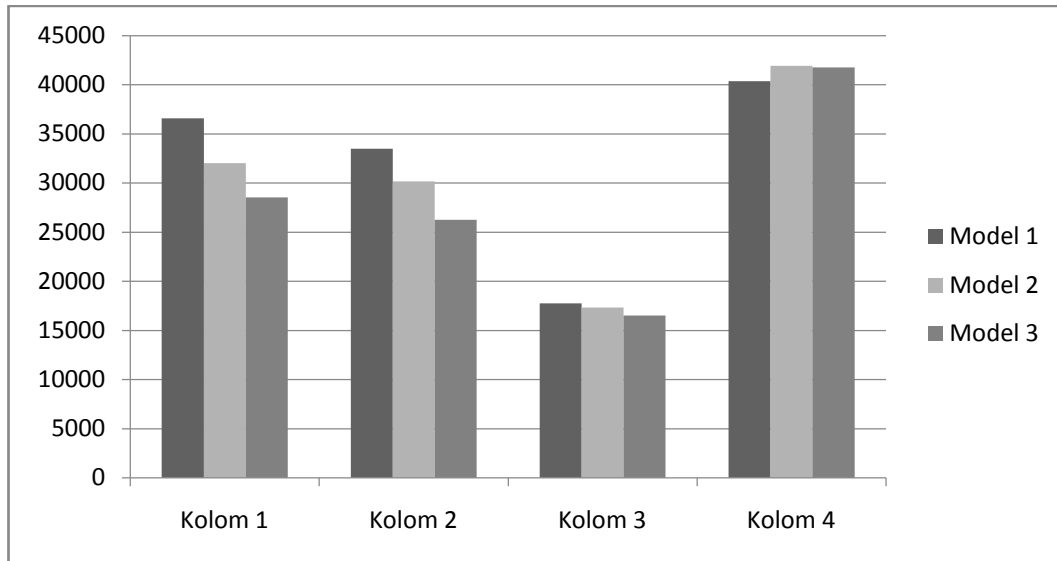
Gaya aksial tekan (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Kolom 1	32042,81	13121,1	13157,9	28180,9
Kolom 2	30168,69	11149,5	11218,6	25025,2
Kolom 3	17351,23	6427,29	6474,61	14402
Kolom 4	41929,41	16238,7	16200,1	35275

Tabel 4.21: Gaya aksial kolom penghubung Model 3 (sudut lengkung 33°).

Gaya aksial tekan (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Kolom 1	28545,82	11135	11186,3	24581
Kolom 2	26249,26	9608,94	9689,33	21767,6
Kolom 3	16531,94	6151,61	6201,33	13788,3
Kolom 4	41759,49	16084,8	16200,1	35027,1

Penampang yang digunakan pada balok penghubung (294.300.12.8) harus direncanakan mampu menerima beban aksial tekan terbesar yaitu pada kolom 1, karena dalam desain elemen tekan, faktor panjang elemen sangat berpengaruh terhadap keamanan struktur.

Hasil perhitungan pada lampiran menunjukkan bahwa kolom 1 memiliki tahanan aksial sebesar 105.891 Kg dan masih sangat mampu memikul aksial tekan yang bekerja sebesar 41.929,41 Kg.

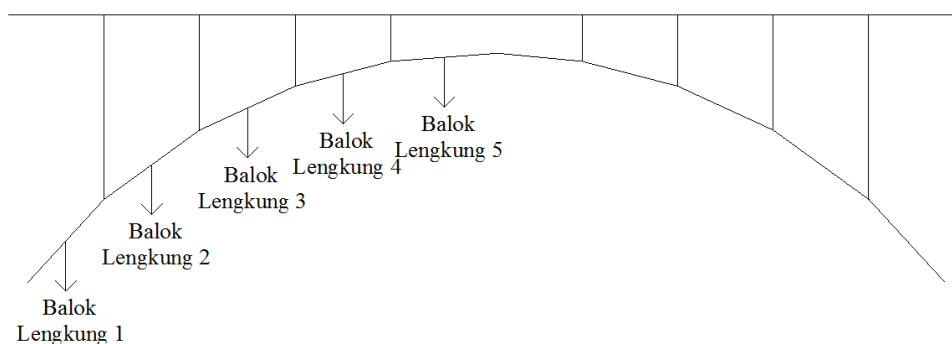


Gambar 4.10: Grafik gaya aksial tekan Kolom.

4.2.2 Balok Pelengkung

Balok pelengkung merupakan struktur utama yang akan berfungsi menerima gaya-gaya yang bekerja pada struktur untuk diteruskan ke arah abutment. Balok pelengkung akan menerima gaya aksial tekan yang besar, karena beban dari atas akan mendesak balok pelengkung untuk menahan sehingga menimbulkan reaksi perlawanan untuk mengimbangi gaya yang bekerja.

Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan adanya penambahan gaya aksial tekan pada balok lengkung seiring dengan semakin kecilnya sudut lengkungan, momen maksimum, dan juga gaya geser mengalami perubahan nilai akibat penurunan sudut lengkung.



Gambar 4.11: Balok Lengkung.

4.2.2.1 Momen Ultimit

Momen ultimit yang terjadi pada balok lengkung sangat dipengaruhi sudutnya serta gaya yang bekerja, apabila sudut lengkungnya besar, maka akan terjadi interaksi momen positif dan negatif pada balok lengkung, hal ini mengakibatkan momen negatif akan mendesak beban yang bekerja ke arah atas untuk mengimbangi aksi beban yang bekerja sehingga terjadi reduksi gaya dan jika sudut lengkung semakin kecil, interaksi momen yang terjadi menjadi lebih dominan momen positif yang artinya semakin mendekati sifat lenturan balok lurus.

Hasil analisa program Analisa Struktur untuk momen ultimit dapat dilihat pada Tabel 4.22, Tabel 4.23, dan Tabel 4.24.

Tabel 4.22: Momen ultimit balok lengkung Model 1 (sudut lengkung 47°).

Momen ultimit (kg.m)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	-8829,61	-2940,29	-2995,24	-6290,84
Balok lengkung 2	-8819,42	-2924,21	-2982,73	-6279,81
Balok lengkung 3	3983,2	1733,01	1728,53	3842,97
Balok lengkung 4	25755,26	10246,95	10131,21	21864,1
Balok lengkung 5	25734,37	10217,58	10109,4	21840,8

Tabel 4.23: Momen ultimit balok lengkung Model 2 (sudut lengkung 41°).

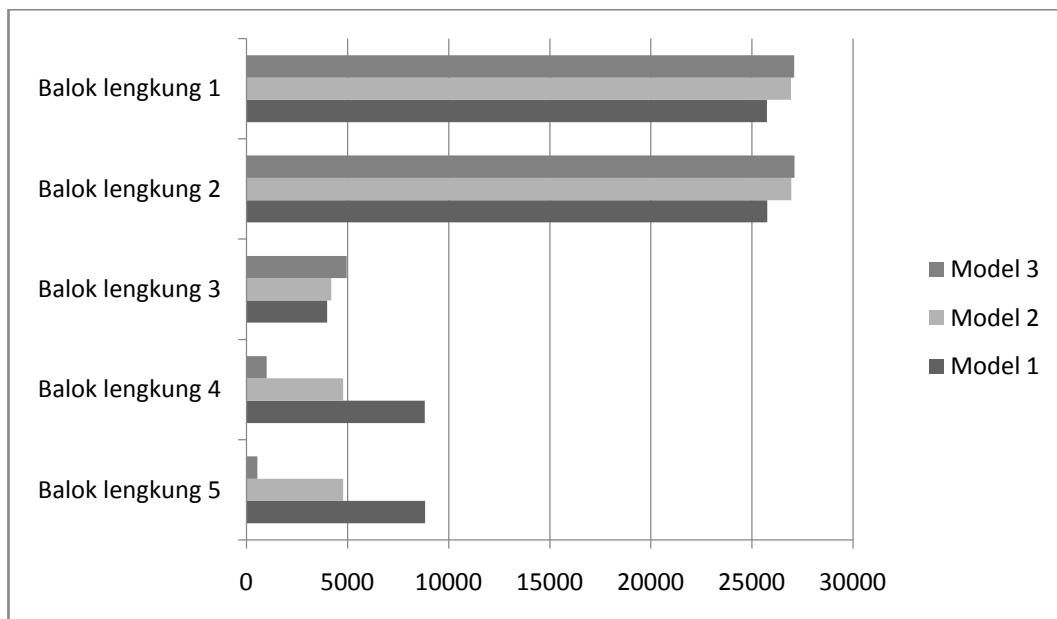
Momen ultimit (kg.m)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	-4787,3	-1249	-1315	-2749,5
Balok lengkung 2	-4781,77	-1247,8	-1316,1	-2753,5
Balok lengkung 3	4192,7	1744,74	1741,33	3860,56
Balok lengkung 4	26951,8	10677,8	10573,7	22824,8
Balok lengkung 5	26930,85	10655,6	10560,7	22809,9

Terjadi penurunan momen pada balok 1 semakin mendekati nilai momen positif yang artinya penurunan sudut lengkung akan mempengaruhi bentuk bidang momen dan akan mendekati perilaku balok lurus.

Tabel 4.24: Momen ultimit balok lengkung Model 3 (sudut lengkung 33°).

Momen ultimit (kg.m)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	-532,94	414,59	343,89	769,32
Balok lengkung 2	-990,51	633,23	588,01	1492,28
Balok lengkung 3	4961,81	2091,44	2087,67	4588,51
Balok lengkung 4	27105,51	10718,5	10637	22967,6
Balok lengkung 5	27084,3	10690,9	10615,1	22944,6

Penampang balok lengkung (WF 588.300.12.20) harus direncanakan mampu memikul momen lentur maksimum yaitu pada balok 5 sebesar 27.234,2 kg.m. Hasil perhitungan pada lampiran menunjukkan penampang balok 5 mampu memikul momen lentur akibat tekuk lokal sebesar 79.501,53 kg.m dan tahanan momen lentur akibat tekuk lateral sebesar 260.936,4 kg.m, penampang masih mampu menahan momen ultimit yang terjadi akibat pembebanan.



Gambar 4.12: Grafik momen ultimit balok lengkung.

4.2.2.2. Gaya Geser

Gaya geser yang terjadi pada balok pelengkung disebabkan oleh beban yang disalurkan melalui kolom penghubung yang menyebabkan gaya geser terjadi pada setiap elemen balok pelengkung. Sudut lengkung yang mempengaruhi reduksi

momen menyebabkan gaya yang terjadi semakin besar seiring dengan berkurangnya sudut kelengkungan balok.

Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan perubahan signifikan terjadi pada balok 5, seiring dengan bertambahnya momen lentur akibat penurunan sudut lengkung. Nilai kuat gaya geser dapat dilihat pada Tabel 4.25, Tabel 4.26, dan Tabel 4.27.

Tabel 4.25: Gaya geser balok lengkung Model 1 (Sudut lengkung 47°).

Gaya geser				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	3173,83	1184,79	1203,37	2317,24
Balok lengkung 2	2867	1109,19	1122,23	2244,52
Balok lengkung 3	1943,88	957,65	963,2	1671,66
Balok lengkung 4	8669,77	3538,17	3494,13	7219,23
Balok lengkung 5	10494,62	4311,48	4268,36	8944,47

Tabel 4.26: Gaya geser balok lengkung Model 2 (Sudut lengkung 41°).

Gaya geser (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	2002,64	662,58	687,58	1230,87
Balok lengkung 2	1795,76	665,89	683,26	1322,53
Balok lengkung 3	1881,19	886,58	892,1	1519,4
Balok lengkung 4	9115,1	3723,1	3682,74	7634,67
Balok lengkung 5	10979,6	4487,42	4449,57	9335,77

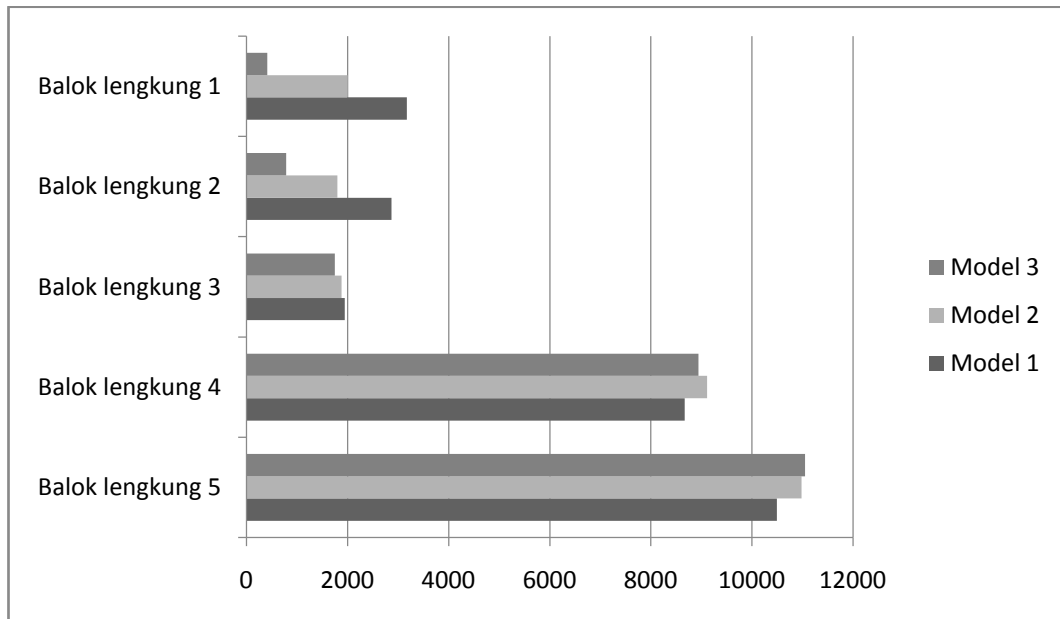
Terjadi pengurangan gaya geser pada balok lengkung 1 dan diiringi dengan penambahan gaya geser pada balok 5.

Tabel 4.27: Gaya geser balok lengkung Model 3 (sudut lengkung 33°).

Gaya geser (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	411,92	362,54	333,04	510,55
Balok lengkung 2	783,8	268,38	287,63	495,28
Balok lengkung 3	1750,6	839,91	845,68	1417,67
Balok lengkung 4	8939,67	3629,15	3597,83	7460,57
Balok lengkung 5	11049,38	4504,91	4474,62	9396,76

Seiring dengan penurunan sudut lengkung, gaya geser pada balok 1 semakin berkurang.

Penampang balok lengkung (WF 588.300.12.20) harus direncanakan mampu memikul gaya geser maksimum yaitu pada balok 5 sebesar 11.109,2 kg. Hasil perhitungan pada lampiran menunjukkan penampang balok 5 mampu memikul gaya geser sebesar 44.271,3 kg dan kombinasi geser dan lentur memenuhi batasan peraturan RSNI T-03-2005 sub-pasal 7.9.3, yaitu didapatkan $0,537 \leq 1,375$.



Gambar 4.13: Grafik gaya geser Balok Lengkung.

4.2.2 3. Gaya normal

Gaya normal yang terjadi pada balok lengkung berupa aksial tekan, dipengaruhi dengan adanya penurunan sudut lengkung, dengan menurunnya sudut kelengkungan mengakibatkan gaya yang diterima semakin besar akibat reduksi yang semakin berkurang. Gaya aksial yang diterima perletakan sendi, tentu saja semakin membesar akibat pengurangan sudut, karena semakin kecil sudut datang gaya, maka gaya lateral ($P \cos \alpha$) akan semakin besar.

Hasil analisa program Analisa Struktur menunjukkan penambahan gaya aksial tekan terbesar berada pada balok lengkung 1, dikarenakan seluruh gaya

aksial akan disalurkan melalui balok lengkung 1. Nilai gaya aksial tekan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.28, Tabel 4.29, dan Tabel 4.30.

Tabel 4.28: Gaya normal balok pelengkung Model 1 (sudut lengkung 47°).

Gaya normal (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	-182645,62	-75558,1	-74641,8	-156195
Balok lengkung 2	-156660,07	-64316,3	-63674,4	-133336
Balok lengkung 3	-138836,88	-57081,4	-56544,3	-118319
Balok lengkung 4	-131632,03	-54013,4	-53545	-112125
Balok lengkung 5	-125094,86	-51416,2	-50902,4	-106623

Tabel 4.29: Gaya normal balok pelengkung Model 2 (sudut lengkung 41°).

Gaya normal (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	-194083,73	-79751,4	-78989,8	-165540
Balok lengkung 2	-173983,65	-71043,1	-70474	-147782
Balok lengkung 3	-159896,82	-65347,4	-64841,3	-135907
Balok lengkung 4	-153623,49	-62705,4	-62247,2	-130563
Balok lengkung 5	-147666,12	-60382,5	-59873,5	-125583

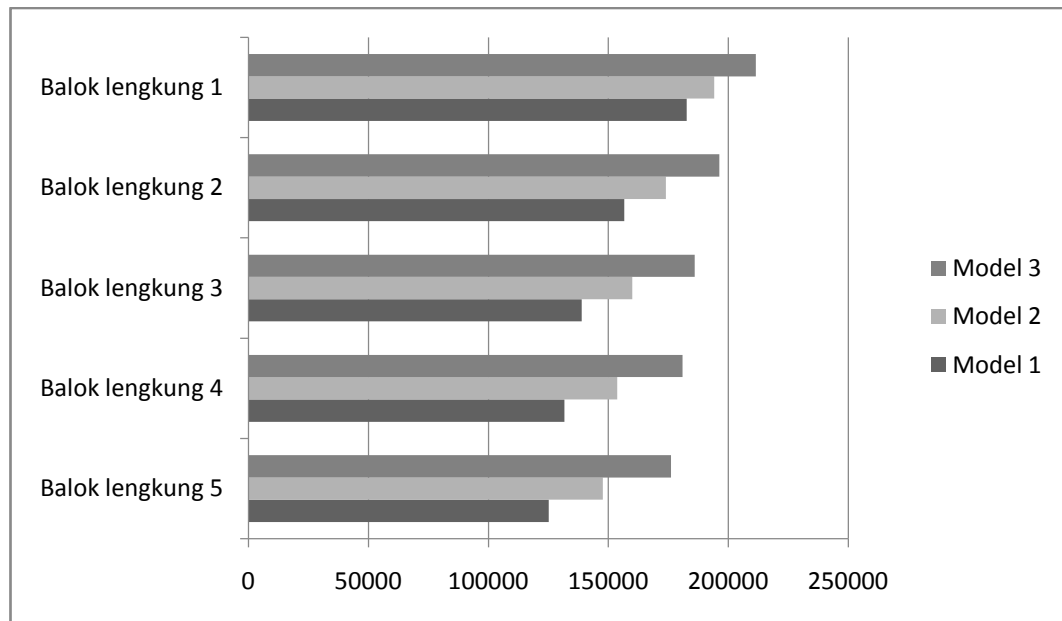
Terjadi penambahan gaya aksial rata-rata seiring dengan berkurangnya sudut kelengkungan balok sebesar 13,4% terhadap Model 1.

Tabel 4.30: Gaya normal balok pelengkung Model 3 (sudut lengkung 33°).

Gaya normal (kg)				
	Kuat 1	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5
Balok lengkung 1	-211406,66	-86476,26	-85867,51	-180182,72
Balok lengkung 2	-196246,9	-79952	-79473,36	-166805,83
Balok lengkung 3	-186010,83	-75840,74	-75390,29	-158175,26
Balok lengkung 4	-180952,04	-73724,62	-73306,25	-153867,02
Balok lengkung 5	-176087,37	-71823,44	-71340,76	-149783,69

Terjadi penambahan gaya aksial rata-rata sebesar 15% terhadap Model 2 dan 30,6% terhadap Model 1.

Penampang balok lateral yang digunakan (WF 588.300.12.20) harus dilakukan desain terhadap aksial, yaitu berupa aksial tekan dan kombinasi aksial dan lentur. Hasil analisa pada lampiran menunjukkan kuat tahanan tekan penampang terhadap tekuk lentur didapatkan sebesar 319.194,7 kg.



Gambar 4.13: Grafik gaya normal Balok Lengkung.

4.2.3 Keadaan Batas Layan

Keadaan batas layan yaitu keadaan kombinasi pembebanan yang disyaratkan dilakukan pembatasan pada tegangan, deformasi, dan lebar retak pada beton. Hasil perhitungan didapatkan besar nilai simpangan dan nilai tegangan.

4.2.3.1. Defleksi

Defleksi atau lendutan yang terjadi pada balok dipengaruhi oleh kekakuan, besar gaya yang bekerja, inersia penampang, panjang bentang, dan juga modulus elastisitas material. Pada pemodelan struktur yang dilakukan pada ketiga model, pengaruh penurunan sudut menyebabkan semakin bertambahnya gaya-gaya yang terjadi pada balok, karena reduksi beban akibat penurunan sudut berpengaruh pada kemampuan balok pelengkung dalam menahan beban dari atas sehingga

momen yang terjadi pada balok girder semakin besar dan menyebabkan lendutan semakin bertambah.

Sesuai dengan persyaratan lendutan RSNI T-03-2005 sub-pasal 4.7.2, lendutan maksimum untuk daerah perkotaan sebesar $L/1000$ x panjang bentang (0,025 m). Hasil perhitungan program analisa struktur menunjukkan adanya penambahan nilai defleksi seiring dengan penurunan sudut lengkung, dapat dilihat pada Tabel 4.31, Tabel 4.32, dan Tabel 4.33.

Tabel 4.31: Defleksi balok girder Model 1 (sudut lengkung 47°).

	Daya layan 1 (m)	Daya layan 2 (m)
Girder 1	-0,013101	-0,008969
Girder 2	-0,012665	-0,008439
Girder 3	-0,012494	-0,008278
Girder 4	-0,012672	-0,008439
Girder 5	-0,013114	-0,008969

Defleksi terbesar terjadi pada girder 5, karena beban yang dipikul girder 5 lebih besar dibandingkan dengan girder lainnya, beban tersebut berupa beban trotoar, pejalan kaki, dan railing. Defleksi maksimum sebesar $0,013114 \text{ m} < 0,025 \text{ m}$ (OK).

Tabel 4.32: Defleksi balok girder Model 2 (sudut lengkung 41°).

	Daya layan 1 (m)	Daya layan 2 (m)
Girder 1	-0,014899	-0,0010141
Girder 2	-0,014453	-0,009605
Girder 3	-0,01428	-0,009443
Girder 4	-0,01446	-0,009605
Girder 5	-0,014912	-0,0010141

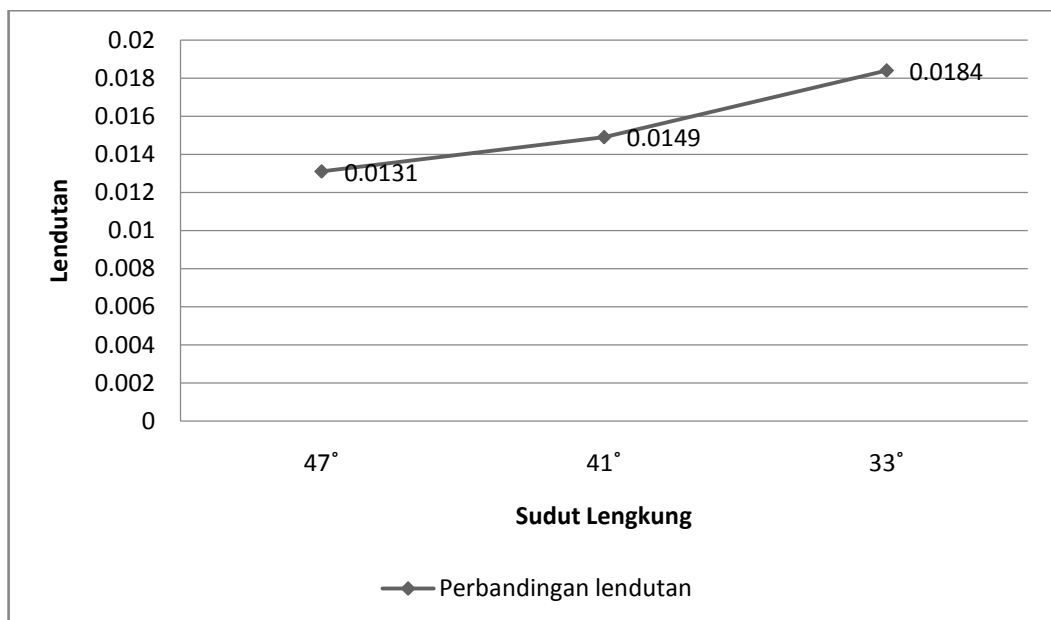
Terjadi penambahan nilai defleksi pada Model 2 akibat penurunan sudut lengkung sebesar 13,7 % terhadap Model 1, kontrol defleksi $0,014912 < 0,025$ (OK).

Tabel 4.33: Defleksi balok girder Model 3 (sudut lengkung 33°).

	Daya layan 1 (m)	Daya layan 2 (m)
Girder 1	-0,018407	-0,0012443
Girder 2	-0,017926	-0,011884
Girder 3	-0,01774	-0,0011714
Girder 4	-0,017933	-0,011884
Girder 5	-0,018421	-0,012443

Terjadi penambahan defleksi pada Model 3 akibat penurunan sudut lengkung sebesar 23,5% terhadap Model 2 dan 40,5% terhadap Model 1, kontrol defleksi $0,018421 < 0,025$ (OK).

Pengaruh penurunan sudut lengkung sangat besar terhadap penambahan defleksi yang terjadi, sehingga besarnya sudut lengkung memiliki keuntungan dalam menahan deformasi jembatan arah z yang besar, namun apabila dengan sudut yang kecil batasan defleksi belum terlampaui maka akan lebih ekonomis dalam segi kebutuhan panjang profil baja, akan tetapi perlu diperhatikan pada gaya aksial yang terjadi pada balok pelengkung, dikarenakan semakin kecil sudut lengkung maka semakin besar gaya aksial tekan pada balok lengkung.



Gambar 4.14: Grafik perbandingan nilai lendutan Girder.

4.3 Keadaan Batas Ekstrem

4.3.1. Hasil Analisa Periode Getar Model 1

Hasil analisa SAP2000 terhadap struktur pemodelan 1 menghasilkan nilai periode (T) yang tertera pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34: Periode alami struktur Model 1 (sudut lengkung 47°).

Case	Mode	Periode (T) Sec
Modal	Mode 1	0,155
Modal	Mode 2	0,15494

Dari Tabel 4.34 di peroleh nilai periode alami struktur terbesar pada Mode 1 yaitu 0,155 detik.

Setelah dilakukan analisa struktur dengan beban gempa arah x dan arah y didapatkan nilai simpangan yang terjadi pada balok girder, hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35: Hasil defleksi balok girder Model 1 (sudut lengkung 47°).

Elemen	Kombinasi (Ekstrim I)
Balok Girder 1	0,0084 m
Balok Girder 2	0,0084 m
Balok Girder 3	0,0084 m
Balok Girder 4	0,0084 m
Balok Girder 5	0,0084 m

Lendutan maksimum terjadi pada semua balok girder dengan nilai 0,0084 m dengan syarat kontrol lendutan $L/1000$.

$$0,0084 \text{ m} < L/1000 = 0,025 \text{ m}$$

Batasan perioda alami struktur, didapatkan dengan rumus empiris persamaan Rayleigh untuk mendapatkan perioda alami struktur.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

$$W = 113.768,49 \text{ Kg (Analisa tertera pada lampiran)}$$

$$g = \text{gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

$$\delta = \text{lendutan simpangan maksimum pada model 1 sebesar 0,0084 m}$$

$$K = \frac{W}{\delta}$$

$$= 113.768,49/0,0084$$

$$= 13.543.867,86$$

Sehingga:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{113.768,49}{9,81 \times 13.543.867,86}}$$

$$= 0,183765 \text{ detik}$$

Perbandingan nilai periode alami struktur dari program analisa struktur sebesar 0,1550 detik dengan menggunakan rumus waktu getar alami struktur sebesar 0,1837 detik, diperoleh kenaikan hasil perbandingan sebesar 18,5%.

4.5.2. Hasil Analisa Periode Getar Model 2

Hasil analisa struktur terhadap pemodelan 2 menghasilkan nilai periode (T) yang tertera pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36: Periode alami struktur Model 2 (sudut lengkung 41°).

Case	Mode	Periode (T) Sec
Modal	Mode 1	0,15175
Modal	Mode 2	0,15015

Dari Tabel 4.32 di peroleh nilai periode alami struktur terbesar pada Mode 2 yaitu 0,15175 detik.

Setelah dilakukan analisa struktur dengan beban gempa arah x dan arah y didapatkan nilai simpangan yang terjadi pada balok girder, hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37: Hasil defleksi balok girder Model 2 (sudut lengkung 41°).

Komponen	Kombinasi (Ekstrim I)
Balok Girder 1	0,0096 m
Balok Girder 2	0,0096 m
Balok Girder 3	0,0096 m
Balok Girder 4	0,0096 m
Balok Girder 5	0,0096 m

Lendutan maksimum terjadi pada semua balok girder dengan nilai 0,0096 m dengan syarat kontrol lendutan $L/1000$.

$$0,0096 \text{ m} < L/1000 = 0,025 \text{ m}$$

Batasan perioda alami struktur, didapatkan dengan rumus empiris persamaan Rayleigh untuk mendapatkan perioda alami struktur.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

$$W = 112.510,21 \text{ Kg (Analisa tertera pada lampiran)}$$

$$g = \text{gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

$$\delta = \text{lendutan simpangan maksimum pada model 2 sebesar 0,0096 m}$$

$$K = \frac{W}{\delta}$$

$$= 112.510,21/0,0096$$

$$= 11.719.813,54$$

Sehingga:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{112.510,21}{9,81 \times 11.719.813,54}}$$

$$= 0,1964 \text{ detik}$$

Perbandingan nilai periode alami struktur dari program analisa struktur sebesar 0,15175 detik dengan menggunakan rumus waktu getar alami struktur sebesar 0,19645 detik, diperoleh kenaikan hasil perbandingan sebesar 29,5%.

4.5.3. Hasil Analisa Periode Getar Model 3

Hasil analisa SAP2000 terhadap struktur pemodelan 1 menghasilkan nilai periode (T) yang tertera pada Tabel 4.33.

Tabel 4.38: Periode alami struktur Model 3 (sudut lengkung 33°).

Case	Mode	Periode (T) Sec
Modal	Mode 1	0,14664
Modal	Mode 2	0,14613

Dari Tabel 4.33 di peroleh nilai periode alami struktur terbesar pada Mode 1 yaitu 0,14664 detik.

Setelah dilakukan analisa struktur dengan beban gempa arah x dan arah y didapatkan nilai simpangan yang terjadi pada balok girder, hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.39: Hasil defleksi balok girder Model 3 (sudut lengkung 33°).

Komponen	Kombinasi (Ekstrem I)
Balok Girder 1	0,0119 m
Balok Girder 2	0,0119 m
Balok Girder 3	0,0119 m
Balok Girder 4	0,0119 m
Balok Girder 5	0,0119 m

Lendutan maksimum terjadi pada semua balok girder dengan nilai 0,0119 m dengan syarat kontrol lendutan $L/1000$.

$$0,0119 \text{ m} < L/1000 = 0,025 \text{ m}$$

Batasan perioda alami struktur, didapatkan dengan rumus empiris persamaan Rayleigh untuk mendapatkan perioda alami struktur.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

$$W = 112.002,714 \text{ Kg (Analisa tertera pada lampiran)}$$

$$g = \text{gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

$$\delta = \text{lendutan simpangan maksimum pada model 3 sebesar 0,0119 m}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{W}{\delta} \\ &= 112.002,714/0,0119 \\ &= 9.411.992,77 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{112.002,714}{9,81 \times 9.411.992,77}} \\ &= 0,2187 \text{ detik} \end{aligned}$$

Perbandingan nilai periode alami struktur dari program analisa struktur sebesar 0,14664 detik dengan menggunakan rumus waktu getar alami struktur sebesar 0,2187 detik, diperoleh kenaikan hasil perbandingan sebesar 49,18%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan software SAP2000 dalam “Deformasi jembatan pelengkung tiga sendi akibat perubahan sudut lengkung”, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur baja untuk jembatan harus memenuhi beberapa persamaan utama, yaitu terhadap lentur, geser, aksial, puntir serta kombinasinya, harus didasarkan perencanaan kekuatan terfaktor.
2. Struktur jembatan pelengkung tiga sendi dalam penyaluran beban tertuju ke arah balok pelengkung sebagai struktur utama dalam menahan beban yang bekerja. Penyaluran beban yang bekerja terhadap balok pelengkung menggunakan balok lateral yang lebih besar dari balok longitudinal karena letak balok pelengkung berada pada arah lateral.
3. Hasil analisa menunjukkan perbedaan tinggi lengkung dengan lebar konstan berpengaruh dalam menerima gaya lateral, karena tahanan lateral pada sendi balok lengkung sangat dipengaruhi jarak vertikal perletakan terhadap sendi pada puncak lengkung.

Lendutan maksimum yang terjadi pada jembatan akibat pembebanan konstan untuk ketiga model jembatan didapatkan sebesar:

- Model 1 (sudut lengkung 47°) : 0,0131 m
- Model 2 (sudut lengkung 41°) : 0,0149 m
- Model 3 (sudut lengkung 33°) : 0,0184 m

5.2 Saran

1. Pemodelan jembatan pelengkung tiga sendi diharapkan dicoba untuk jembatan bentang panjang, untuk mengetahui batas ultimit penggunaan sistem pelengkung tiga sendi.
2. Penulis berharap akan adanya studi berkelanjutan tentang jembatan pelengkung tiga sendi, misal sistem pelengkung dengan pengaruh

perbedaan tinggi salah satu sisi sendi, atau kombinasi sistem pelengkung dengan kabel, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2016) *Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725-2016*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2005) *Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2004) *Perencanaan Struktur Jembatan Beton RSNI T-12-2004*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2004) *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan RSNI T-03-2005*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2008) *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan SNI 2833-2008*. Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- Bridge Management System (1992) *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum Bagian 1,2,3 dan 7.
- Civil Engineering Indian Institute Of Technology Ver 2. *Module 5 Cable and Arches*. Kharagpur, India.
- Departemen Pekerjaan Umum (2008) *Prinsip Dasar Teknik Jembatan dan Aplikasinya (Perencanaan, Pelaksanaan & Pemeliharaan)*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Kementrian Pekerjaan Umum (2010) *Perencanaan Teknik Jembatan*. Jakarta:: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Setiawan, A (2013) *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD Berdasarkan SNI 03-1729-2002*. Jakarta. Erlangga.
- Struyk, H.J. (2013) *Jembatan*. Jakarta: Pradnya Paramitha.
- Supriyadi, Bambang –dkk. (2007) *Jembatan*. Yogyakarta. Beta Offset.

LAMPIRAN

A. Data Umum Jembatan

- a. Klasifikasi kelas jalan I berdasarkan SNI 1725-2016 tabel 16
- b. Tipe jembatan kelas A berdasarkan peraturan Bina Marga Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988):

Tabel L.1: Tipe jembatan berdasarkan kelas jalan.

Kelas	Lebar (m)	% loading
A	1 + 7 + 1	100%
B	0,5 + 6 + 0,5	70%
C	0,5 + 3,5 + 0,5	70%

- c. Lokasi jembatan :

Jembatan direncanakan di daerah perkotaan pada kota Medan



Gambar L.1 : Peta kota Medan

d. Kombinasi pembebanan jembatan (SNI 1725 2016)

B. Data Perencanaan jembatan

a. Tebal pelat lantai kendaraan 0,2 meter

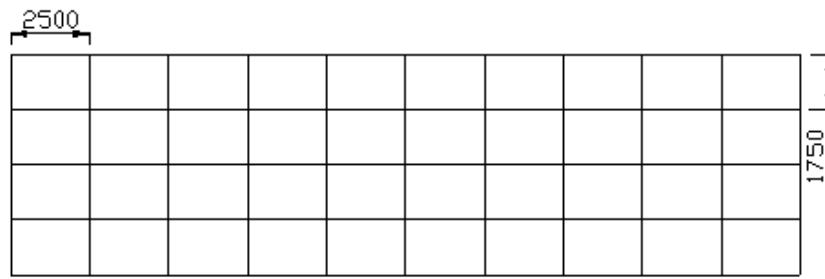
Jembatan direncanakan memiliki tebal pelat sebesar 200 mm, sesuai dengan persyaratan ketebalan pelat menurut RSNI T-14 2004, pasal 5.5.2

dengan persyaratan :

$$tp \geq 200 \text{ mm}$$

$$tp \geq (100 + 40 L) \text{ mm}$$

dimana L merupakan jarak pelat antara pusat ke pusat tumpuan (m)



Gambar L.2: Tampak atas jembatan

Maka :

$$tp = (100 + 40 \cdot 2,5) = 200 \text{ mm}$$

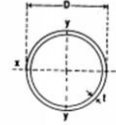
maka diambil tebal pelat sebesar 200 mm

b. Panjang jembatan direncanakan 25 meter

c. Tinggi trotoar direncanakan sebesar 200 mm diatas pelat lantai kendaraan sesuai dengan Permen PU No.19 tahun 2011 ayat (4): Bagian atas trotoar harus lebih tinggi dari jalur lalu lintas

d. Railing menggunakan pipa galvanis dengan diameter 3” sebanyak 2 pipa sandaran mengacu pada pedoman Standar Bina Marga No. 04/BM/2005 dengan berat 14,26 kg/m

CIRCULAR HOLLOW SECTIONS



DIMENSIONS, WEIGHTS AND SECTIONAL PROPERTIES OF CARBON STEEL TUBES FOR GENERAL STRUCTURAL PURPOSES

Outside diameter (mm)	Wall thickness (mm)	Weight (kg/m)	Sectional area (cm ²)	Moment of inertia (cm ⁴)	Section modulus (cm ³)	Radius of gyration (cm)
21.7	2.0	0.972	1.238	0.607	0.560	0.700
27.2	2.0	1.24	1.583	1.26	0.930	0.890
	2.3	1.41	1.799	1.41	1.03	0.880
34.0	2.3	1.80	2.291	2.89	1.70	1.12
	2.8	2.29	2.919	5.97	2.80	1.43
42.7	2.3	2.76	3.510	7.02	3.29	1.41
	2.8	3.16	4.029	10.6	4.36	1.62
48.6	2.3	3.58	4.564	11.8	4.86	1.61
	2.8	4.029	5.100	17.8	5.90	2.06
60.5	3.2	4.52	5.760	23.7	7.84	2.03
	4.0	5.57	7.100	28.5	9.41	2.00
	2.8	3.30	4.205	17.8	5.90	2.06
76.3	3.2	5.77	7.349	49.2	12.9	2.59
	4.0	7.13	9.085	59.5	15.6	2.56
	2.8	5.08	6.465	43.7	11.5	2.60

Gambar L.3: Profil pipa galvanis

C. Perhitungan Beban

a. Berat sendiri struktur (MS)

Tebal trotoar : 0,2 m

Lebar trotoar : 1 m

BJ beton : 2400 kg/m³

- Berat trotoar = $t \times l \times bj = 0,2 \times 1 \times 2400 = 480 \text{ kg/m}$

Berat pipa 3" : 7,13 kg/m

Jumlah pipa : 2 buah

- Berat railing = $2 \times 7,13 = 14,26 \text{ kg/m}$

- Berat total MS = $480 + 14,26 = 494,26 \text{ kg/m}$

b. Berat beban mati tambahan (MA)

Tebal aspal + overlay : 0,15 m

BJ aspal : 2240 kg/m³

- Berat perkerasan = $t \times bj = 0,15 \times 2240 = 336 \text{ kg/m}^2$

Tinggi genangan air : 0,05 m

Bj air : 1000 kg/m³

- Berat genangan = $t \times bj = 0,05 \times 1000 = 50 \text{ kg/m}^2$
- Berat total MA = $336 + 50 = 386 \text{ kg/m}^2$

c. Beban lajur (TD)

q : $9 \text{ kPa} = 900 \text{ kg/m}^2$

Lebar jalur : 7 m

- BTR 100% = $5,5 \times q \times 100\% = 5,5 \times 900 \times 100\% = 4950 \text{ kg/m}$

- BTR 50% = $(7 - 5,5) \times q \times 50\% = 1,5 \times 900 \times 50\% = 675 \text{ kg/m}$

- BTR rata-rata = $\frac{(BTR\ 100\% + BTR\ 50\%)}{l} = \frac{(4950 + 675)}{7} = 803,6 \text{ kg/m}^2$

p : $49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$

Lebar jalur : 7 m

- BGT 100% = $5,5 \times p \times 100\% = 5,5 \times 4900 \times 100\% = 26950 \text{ kg}$

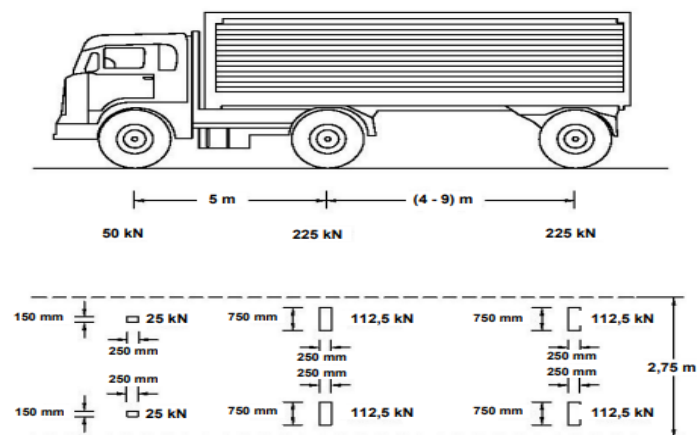
- BGT 50% = $(7 - 5,5) \times p \times 50\% = 1,5 \times 4900 \times 50\% = 675 \text{ kg}$

- BGT rata-rata = $\frac{(BGT\ 100\% + BGT\ 50\%)}{l} = \frac{(26950 + 675)}{7} = 4375 \text{ kg/m}$

d. Gaya rem (TB)

Intensitas gaya ditentukan berdasarkan :

1. 25% berat gandar truk



Gambar L.4: Truk desain jembatan

Berat gandar truk yang dimaksud adalah berat beban yang dipikul roda belakang truk desain yaitu sebesar 450 kN

2. 5% berat truk rencana + BTR

Berdasarkan SNI 1725 2016 pasal 8.4.1, berat truk rencana yaitu 500 kN

- 25% berat gandar truk = $25\% \times 45000 = 11250 \text{ kg}$
- 5% berat truk + BTR = $(5\% \times 50000) + (803,6 \times 7 \times 25) = 143125 \text{ kg}$

Sehingga digunakan nilai yang terbesar diantara keduanya yaitu 143125 kg
Nilai gaya tersebut di distribusikan ke setiap joint antara pertemuan balok girder dengan balok diafragma sebanyak 55 titik

Maka :

- Gaya rem = $\frac{143125}{55} = 2602,273 \text{ kg}$

e. Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)

Berdasarkan SNI 1725 2016 pasal 8.9, semua komponen trotar yang lebih lebar dari 600 mm, harus direncanakan memikul beban pejalan kaki dengan intensitas beban sebesar 5 kPa = 500 kg/m^2

- Beban pejalan kaki = $500 \times l = 500 \times 1 = 500 \text{ kg/m}$

f. Beban angin struktur (Ews)

Berdasarkan SNI 1725 2016 pasal 9.6.1.1, tabel 2.9, tekanan angin dasar untuk komponen bangunan atas yang berupa balok beton, angin tekan diambil sebesar 0,0024 mPa.

Beban ini didistribusikan sebagai beban terbagi merata lateral dengan cara mengalikan tinggi balok dengan beban anginnya.

- Beban angin balok lengkung = $0,0024 \times 588 = 1,41 \text{ N/mm} = 141 \text{ kg/m}$
- Beban angin kolom = $0,0024 \times 300 = 0,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 72 \text{ kg/m}$

g. Beban angin kendaraan (Ewl)

Berdasarkan SNI 1725 2016, pasal 9.6.1.2, gaya angin pada jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

Perhitungan beban angin pada kendaraan diasumsikan terdistribusi pada ban truk dengan cara mengalikan gaya terhadap jarak pada ban menggunakan persamaan momen.

- Beban akibat angin $RA = \frac{1,46 \times 9000 \times 1800}{1750} = 13515,4 N = 1351,54 kg$

- Beban angin + berat truk = $1351,54 + 50000 = 51351,54 kg$

Beban ini diasumsikan terdistribusi merata pada roda kendaraan sepanjang 9 m (panjang truk), maka:

- Beban angin pada truk = $\frac{51351,54}{9} = 5705,73 kg/m$

Beban ini di distribusikan pada girder yang memikul lajur kendaraan.

h. Beban temperatur (ET)

Berdasarkan SNI 1725 2016, pasal 9.3.1.1, pada tabel 18, untuk tipe bangunan atas dengan lantai beton diatas gelagar atau box beton, temperatur maksimum sebesar 40°C dan temperatur minimum sebesar 15°C

- Perubahan suhu pelat lantai = $\alpha L(T_{max} - T_{min}) = 0,00001 \times 25000(40 - 15) = 6,25^\circ C$

Beban temperatur muncul akibat perubahan suhu pada lingkungan, yang mengakibatkan pertambahan panjang akibat pemuaian yang mendesak permukaan lantai beton melendut. Beban ini di distribusikan pada pelat lantai saja.

D. Desain penampang balok lateral

D.1. Desain terhadap lentur

D.1.1 Tekuk lokal

	L	7000	mm	phi	0,9	
	Fy	240	mPa	Mu x	94516	Mu y
Data :	d	588	mm	phi Mn x	716207832	phi Mn y
	b	300	mm	Kontrol	OK	
	tw	12	mm	lam flens	7,5	
	tf	20	mm	lam web	34,25	
	kc	1				
	Lk		mm	lam r flens	28,37770459	
	x0	150	mm	lam r web	164,6017922	
	y0	294	mm	lam p flens	10,97345281	
	Ix	1180000000	mm ⁴	lam p web	108,4435337	
	Iy	90200000	mm ⁴			
	G	76923,07692	mPa	jika lam < lam p (penampang kompak) maka Mn = Mp		
	J	1836736	mPa	flens	kompak	
	Sx	4013605,442	mm ³	web	kompak	
	Sy	601333,3333	mm ³			
	Zx	3315777		Mp x	795786480	N.mm
	Zy	919728		Mp y	220734720	N.mm
	E	200000	mPa			
	ry	68,5	mm	jika lam p < lam < lam r (penampang tak kompak)		
	h	411	mm	Mr x	682312925,2	N
				Mr y	102226666,7	N
				Mn x	945702168,9	N
				Mn y	377301741,1	N

D.1.2 Tekuk lateral

b. Terhadap tekuk lateral

	Ag	19250	mm ²			
	L	875	mm	Mu	94516	N.mm
	Fy	240	mPa	Ø Mn	1,34036E+11	N.mm
Data :	d	588	mm	Kontrol	OK	
	b	300	mm			
	tw	12	mm			
	tf	20	mm	Mu 1/4 L	60030,2	N.mm
	kc	1		Mu 1/2 L	26096,8	N.mm
	Lk		mm	Mu 3/4 L	7655,1	N.mm
	x0	150	mm	Iw	7,79653E+12	
	y0	294	mm			
	Ix	1180000000	mm ⁴	Cb	2,172849142	ok

Iy	90200000	mm ⁴			kontrol ≤ 2,3
G	76923,07692	mPa	Mcr		1,48929E+11
J	1836736	mPa			
Sx	4013605,442	mm ³			
Sy	601333,3333	mm ³			
Zx	3315777				
Zy	919728				
E	200000	mPa			
ry	68,5	mm			
h	411	mm			

D.2 Desain terhadap geser

a. Kuat geser nominal penampang

Data :	d	588	mm	h/tw	34,25
	b	300	mm	batas	71,0047
	tw	12	mm	cek	ok
	tf	20	mm		
	ry	68,5	mm		
	Fy	240	mPa		

Vu	153292	N
Vn	710208	N
∅ Vn	639187	N

Cek $V_u \leq \emptyset V_n$ **OK**

D.3 Desain terhadap tarik

a. Kuat tarik akibat leleh

Data :	Ag	19250	mm ²
	Fy	240	mPa
	∅	0,9	

Nu	133503	N
Nn	4620000	N
∅ Nn	4158000	N

cek $N_u \leq \emptyset N_n$

OK

E. Desain penampang girder

E.1. Desain terhadap lentur

E.1.1 Tekuk lokal

a. Terhadap tekuk lokal

Data :	L	2500	mm	phi	0,9	
	Fy	240	mPa	Mu x	165077	Mu y
	d	294	mm	phi Mn x	360735329,6	phi Mn y
	b	300	mm	Kontrol	OK	
	tw	8	mm	lam flens	12,5	
	tf	12	mm	lam web	21,75	
	kc	1				
	Lk		mm	lam r flens	28,37770459	
	x0	150	mm	lam r web	164,6017922	
	y0	147	mm	lam p flens	10,97345281	
	Ix	113000000	mm ⁴	lam p web	108,4435337	
	Iy	16000000	mm ⁴			
	G	76923,07692	mPa	jika lam < lam p (penampang kompak) maka Mn = Mp		
	J	375296	mPa	flens	tak kompak	
	Sx	768707,483	mm ³	web	kompak	
	Sy	106666,6667	mm ³			
	Zx	986988		Mp x	236877120	N.mm
Zy	544320		Mp y	130636800	N.mm	
E	200000	mPa				
ry	48	mm	jika lam p < lam < lam r (penampang tak kompak)			
h	174	mm	Mr x	130680272,1	N	
			Mr y	18133333,33	N	
			Mn x	400817032,9	N	
			Mn y	304312468,3	N	

E.1.2 Tekuk lateral

b. Terhadap tekuk lateral

Data :	Ag	7238	mm ²			
	L	2500	mm	Mu	80896,7	N.mm
	Fy	240	mPa	Ø Mn	1727434397	N.mm
	d	294	mm	Kontrol	OK	
	b	300	mm			
	tw	8	mm			
	tf	12	mm	Mu 1/4 L	17679,5	N.mm
	kc	1		Mu 1/2 L	5149,6	N.mm
	Lk		mm	Mu 3/4 L	26578	N.mm
	x0	150	mm	Iw	3,45744E+11	
	y0	147	mm			
	Ix	113000000	mm ⁴	Cb	2,843567995	no
	Iy	16000000	mm ⁴		kontrol <= 2,3	

G	76923,07692	mPa	Mcr	1919371552
J	375296	mPa		
Sx	768707,483	mm ³		
Sy	106666,6667	mm ³		
Zx	986988			
Zy	544320			
E	200000	mPa		
ry	48	mm		
h	174	mm		

E.2 Desain terhadap geser

a. Kuat geser nominal penampang

Data :	d	294	mm	h/tw	21,75
	b	300	mm	batas	71,0047
	tw	8	mm	cek	ok
	tf	12	mm		
	ry	48	mm		
	Fy	240	mPa		

Vu	80896,7	N
Vn	200448	N
Ø Vn	180403	N

Cek $V_u \leq \phi V_n$ **OK**

E.3 Desain terhadap tekan

E.3.1 Tekuk lentur

a. Akibat tekuk lentur

	Ag	7238	mm ²		
	L	2500	mm	lambda c	0,4022146
	Fy	240	mPa	lamb c	
Data :	d	294	mm	^2	0,1617766
	b	300	mm	untuk lambda c <= 1,5	
	tw	8	mm	Nn	1624187,9 N
	tf	12	mm		
	kc	0,7	J-J	untuk lambda c > 1,5	
	Lk	1750	mm		
	x0	150	mm	Nn	9449240,9 N
	y0	147	mm		
	Ix	113000000	mm ⁴	Ø Nn	8031854,7 N

Iy	16000000	mm ⁴	Nu	165077	N
G	76923,0769	mPa			
J	375296	mPa	cek Nu <= Ø Nn		OK
Sx	768707,483	mm ³			
Sy	106666,667	mm ³			
Zx	986988				
Zy	544320				
E	200000	mPa			
ry	48	mm			
h	174	mm			

F. Desain terhadap kolom penghubung

F.1 Desain terhadap tekan

F.1.1 Tekuk lentur

a. Akibat tekuk lentur

	Ag	7238	mm ²		
	L	4276,1	mm	lambda	
	Fy	240	mPa	c	0,6879639
				lamb c	
	d	294	mm	²	0,4732943
Data :	b	300	mm	untuk lambda c <=	
	tw	8	mm	1,5	
	tf	12	mm	Nn	1426990,2 N
	kc	0,7	J-J	untuk lambda c > 1,5	
	Lk	2993,27	mm		
	x0	150	mm	Nn	3229841,7 N
	y0	147	mm		
	Ix	113000000	mm ⁴	Ø Nn	2745365,4 N
	Iy	16000000	mm ⁴	Nu	422111 N
	G	76923,0769	mPa		
	J	375296	mPa	cek Nu <= Ø Nn	OK
	Sx	768707,483	mm ³		
	Sy	106666,667	mm ³		
	Zx	986988			
	Zy	544320			
	E	200000	mPa		
	ry	48	mm		
	h	174	mm		

G. Desain balok pelengkung

G.1 Desain lentur

G.1.1 Tekuk lokal

a.
Terhadap
tekuk
lokal

Data :	L	2504,9	mm	phi	0,9	
	Fy	240	mPa	Mu x	272342	Mu y
	d	588	mm	phi Mn x	1581297003	phi Mn y
	b	300	mm	Kontrol	OK	
	tw	12	mm	lam flens	7,5	
	tf	20	mm	lam web	34,25	
	kc	0,7				
	Lk		mm	lam r flens	28,37770459	
	x0	150	mm	lam r web	164,6017922	
	y0	294	mm	lam p flens	10,97345281	
	Ix	118000000	mm ⁴	lam p web	108,4435337	
	Iy	90200000	mm ⁴			
	G	76923,07692	mPa	jika lam < lam p (penampang kompak) maka Mn = Mp		
	J	1836736	mPa	flens	kompak	
	Sx	401360,5442	mm ³	web	kompak	
	Sy	601333,3333	mm ³			
	Zx	3315777		Mp x	795786480	N.mm
	Zy	919728		Mp y	220734720	N.mm
	E	200000	mPa			
	ry	68,5	mm	jika lam p < lam < lam r (penampang tak kompak)		
	h	411	mm	Mr x	68231292,52	N
				Mr y	102226666,7	N
				Mn x	1756996670	N
				Mn y	377301741,1	N

G.1.2 Tekuk lateral

b. Terhadap tekuk
lateral

Data :	Ag	7238	mm ²			
	L	2500	mm	Mu	80896,7	N.mm
	Fy	240	mPa	Ø Mn	17809870874	N.mm
	d	588	mm	Kontrol	OK	
	b	300	mm			
	tw	12	mm			
	tf	20	mm	Mu 1/4 L	17679,5	N.mm
	kc	1		Mu 1/2 L	5149,6	N.mm
	Lk		mm	Mu 3/4 L	26578	N.mm
	x0	150	mm	Iw	7,79653E+12	
	y0	294	mm			

Ix	1180000000	mm ⁴	Cb	2,843567995	no
Iy	90200000	mm ⁴		kontrol <= 2,3	
G	76923,07692	mPa	Mcr	19788745415	
J	1836736	mPa			
Sx	4013605,442	mm ³			
Sy	601333,3333	mm ³			
Zx	3315777				
Zy	919728				
E	200000	mPa			
ry	68,5	mm			
h	411	mm			

G.2 Desain terhadap geser

a. Kuat geser nominal penampang

Data :	d	588	mm	h/tw	34,25
	b	300	mm	batas	71,0047
	tw	12	mm	cek	ok
	tf	20	mm		
	ry	68,5	mm		
	Fy	240	mPa		

Vu	111092	N
Vn	710208	N
Ø Vn	639187	N

Cek $V_u \leq \phi V_n$ **OK**

G.3 Desain terhadap tekan

a. Akibat tekuk lentur

	Ag	19250	mm ²	lambda	
	L	2396,6	mm	c	0,3280839
	Fy	240	mPa	lamb c	
				²	0,107639
				untuk lambda c <=	
Data :	d	588	mm	1,5	
	b	300	mm		
	tw	12	mm	Nn	4417920,1 N
	tf	20	mm		
	kc	0,85	J-J	untuk lambda c > 1,5	
	Lk	2037,11	mm		
	x0	150	mm	Nn	37770687 N
	y0	294	mm		

Ix	1180000000	mm4	Ø Nn	32105084	N
Iy	90200000	mm4	Nu	2127727	N
G	76923,0769	mPa			
J	1836736	mPa	cek Nu <= Ø Nn		OK
Sx	4013605,44	mm3			
Sy	601333,333	mm3			
Zx	3315777				
Zy	919728				
E	200000	mPa			
ry	68,5	mm			
h	411	mm			

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



PERSONAL INFO

Nama Lengkap : Agung Imam Fadillah
Tempat, Tanggal Lahir : Padang Sidempuan, 30 Juni 1995
Agama : Islam
Alamat KTP : Jl. Lampu, No.1, Medan
No. Hp : 0812-6075-9773
E-mail : agungimamf@gmail.com

EDUCATION HISTORY

Nomor Pokok Mahasiswa : 1307210074
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

No.	Tingkat Pendidikan	Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD Negeri 060870	Kota Medan	2007
2	SMP Swasta Islam Al-Ulum Terpadu	Kota Medan	2010
3	SMA Negeri 7	Kota Medan	2013
4	Melanjutkan studi di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai		

