

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KAPASITAS STRUKTUR ATAS  
JEMBATAN RANGKA BAJA NILO  
BERDASARKAN SNI 1725:2016  
(ANALYSIS OF THE UPPERSTRUCTURE CAPACITY  
OF NILO TRUSS BRIDGE BASED ON SNI 1725:2016)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**ANGGORO SAPUTRA**

**17511250**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2023**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KAPASITAS STRUKTUR ATAS  
JEMBATAN RANGKA BAJA NILO  
BERDASARKAN SNI 1725:2016  
(ANALYSIS OF THE UPPERSTRUCTURE CAPACITY  
OF NILO TRUSS BRIDGE BASED ON SNI 1725:2016)**

Disusun oleh

**ANGGORO SAPUTRA  
17511250**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 Juli 2023

Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing**



**Elvis Saputra, S.T., M.T.**  
NIK : 205111302

**Penguji I**



**Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.**  
NIK : 885110105

**Penguji II**



**Astriana Hardawati, S.T., M.Eng**  
NIK : 165111301

16.08.23



Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIK : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari berbagai hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumber secara jelas sesuai dengan kaidah, norma, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Anggoro Saputra

(17511250)

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, dengan segala puji hanya bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya. Semoga *Shalawat* serta salam selalu terlimpah kepada Nabi junjungan kita, Nabi Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasallam* beserta sahabat-sahabat dan keluarganya. Hanya dengan ridha-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Nilo Berdasarkan SNI 1725:2016*.

Penulis meyakini masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini, namun berkat saran dan kritik dari berbagai pihak, Tugas akhir ini dapat terselesaikan. Maka, ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya ditujukan kepada:

1. Bapak Elvis Saputra, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak dukungan, ilmu beserta arahannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, M.T. selaku Penguji I yang telah memberikan ilmu beserta arahannya terhadap Tugas Akhir.
3. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. selaku Penguji II yang telah memberikan ilmu beserta arahannya terhadap Tugas Akhir selama Sidang.
4. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Penguji II yang telah memberikan ilmu dan arahannya dalam penyempurnaan Tugas Akhir selama Pendadaran.
5. Kedua orangtua penulis, Sukiyana dan Yeni Siswatin yang telah memberikan pengertian dan kasih sayang sebagai motivasi untuk penyelesaian Tugas Akhir.
6. Teman-teman penulis yang telah peduli untuk memberikan dorongan semangat dan membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Berbagai pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tugas Akhir.

Akhir kata, Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Juli 2023

Penulis,

Anggoro Saputra

(17511250)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Penelitian Terdahulu	4
2.3 Keaslian Penelitian	6
2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu	10
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Jembatan	11
3.2 Jembatan Rangka Baja	13
3.2.1 Jenis Jembatan Rangka Baja ( <i>Truss Bridge</i> )	15
3.2.2 Sistem Struktur Rangka Batang	15
3.2.3 Sifat Mekanis Baja	17

3.3	Perkembangan Standarisasi Pembebanan Jembatan	17
3.3.1	Latar Belakang Pembebanan Jembatan	17
3.3.2	Perkembangan Pembebanan Jembatan	18
3.3.3	Pembaharuan SNI 1725:2016	19
3.4	Pembebanan pada Jembatan Rangka Baja menurut SNI 1725:2016	21
3.4.1	Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan	21
3.4.2	Beban Permanen	24
3.4.3	Beban Lalu Lintas	26
3.4.4	Aksi Lingkungan	30
3.5	Analisis Kapasitas Tekan dan Tarik	31
3.5.1	Batang Tekan	31
3.5.2	Batang Tarik	33
3.6	Analisis Rasio Tegangan	34
3.7	Analisis Kapasitas Momen Lentur	34
3.7.1	Gelagar Memanjang	34
3.7.2	Gelagar Melintang	35
3.8	Analisis Kapasitas Gaya Geser	35
3.8.1	Gelagar Memanjang	35
3.8.2	Gelagar Melintang	36
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		37
4.1	Lokasi Penelitian	37
4.2	Peralatan Analisis	37
4.3	Data Struktur Jembatan untuk Analisis	38
4.4	Tahapan Penelitian	38
4.5	Bagan Alir Penelitian	40
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		41
5.1	Permodelan Struktur Atas Jembatan	41
5.2	Analisis Kapasitas Tekan dan Tarik	49
5.3	Analisis Rasio Tegangan	84
5.4	Analisis Kapasitas Momen Lentur	91
5.5	Analisis Kapasitas Gaya Geser	103

5.6	Pembahasan	116
5.6.1	Kapasitas Tarik dan Tekan	117
5.6.2	Rasio Tegangan	117
5.6.3	Kapasitas Momen Lentur	117
5.6.4	Kapasitas Gaya Geser	118
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		119
6.1	Kesimpulan	119
6.2	Saran	120
DAFTAR PUSTAKA		121
LAMPIRAN		123

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	7
Tabel 3.1	Sifat Mekanis Baja Struktural	17
Tabel 3.2	Perbedaan Jenis Pembebanan Jembatan Standar Baru dan Lama	20
Tabel 3.3	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana	21
Tabel 3.4	Kombinasi Beban dan Faktor Beban	22
Tabel 3.5	Berat Isi untuk Beban Mati	25
Tabel 3.6	Faktor Beban untuk Berat Sendiri	26
Tabel 3.7	Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	26
Tabel 3.8	Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”	27
Tabel 3.9	Faktor Beban untuk Beban “T”	28
Tabel 3.10	Fraksi Lalu Lintas Truk pada Satu Lajur ( $p_t$ )	30
Tabel 3.11	Nilai $V_0$ dan $Z_0$ untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	31
Tabel 3.12	Tekanan Angin Dasar	31
Tabel 3.13	Faktor Reduksi untuk Keadaan Batas Ultimit	32
Tabel 3.14	Perbandingan Maksimum Lebar terhadap Tebal	32
Tabel 5.1	Rekapitulasi Gaya Aksial Rangka Atas ( <i>Top Chord</i> )	63
Tabel 5.2	Rekapitulasi Gaya Aksial Rangka Bawah ( <i>Bottom Chord</i> )	64
Tabel 5.3	Rekapitulasi Gaya Aksial Batang Diagonal	65
Tabel 5.4	Rekapitulasi Gaya Aksial Ikatan Angin	67
Tabel 5.5	Rekapitulasi Rasio Tegangan Struktur Jembatan	85
Tabel 5.6	Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Memanjang	95
Tabel 5.7	Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Melintang	101
Tabel 5.8	Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Memanjang	107
Tabel 5.9	Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Melintang	113
Tabel 5.10	Rekapitulasi Kapasitas Tarik dan Tekan Jembatan Nilo	117



Tabel 5.11 Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Jembatan Nilo	117
Tabel 5.12 Rekapitulasi Kapasitas Gaya Geser Jembatan Nilo	118

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Jembatan Tipe <i>Warren</i>	15
Gambar 3.2	Beban Lajur “D”	27
Gambar 3.3	Pembebanan Truk “T” (500 kN)	28
Gambar 3.4	Faktor Beban Dinamis untuk Beban “T” pada Pembebanan Lajur “D”	29
Gambar 4.1	Lokasi Proyek Jembatan Nilo	37
Gambar 4.2	<i>Flowchart</i> Penelitian	40
Gambar 5.1	Menu <i>New Model</i> pada <i>SAP2000</i>	41
Gambar 5.2	Menu <i>Define Materials</i>	42
Gambar 5.3	<i>Material Property Data</i> Baja BJ 55 untuk Rangka Jembatan	42
Gambar 5.4	<i>Material Property Data</i> Beton K-350 untuk Pelat Lantai	43
Gambar 5.5	<i>Material Property Data</i> Beton K-250 untuk Trotoar	43
Gambar 5.6	Menu <i>Frame Properties</i>	44
Gambar 5.7	<i>Frame Section Data</i> Batang Ikatang Angin	44
Gambar 5.8	<i>Frame Section Data</i> Rangka Atas ( <i>Top Chord</i> )	45
Gambar 5.9	<i>Frame Section Data</i> Batang Diagonal	45
Gambar 5.10	<i>Frame Section Data</i> Rangka Bawah ( <i>Bottom Chord</i> )	45
Gambar 5.11	<i>Frame Section Data</i> Gelagar Memanjang	46
Gambar 5.12	<i>Frame Section Data</i> Gelagar Melintang	46
Gambar 5.13	Menu <i>Area Section</i>	47
Gambar 5.14	<i>Area Section Data</i> Pelat Lantai	47
Gambar 5.15	<i>Area Section Data</i> Trotoar	47
Gambar 5.16	Menu <i>Assign Frame Release</i>	48
Gambar 5.17	Contoh Permodelan <i>Frame Release</i>	48
Gambar 5.18	Beban Mati Tambahan ( <i>MA</i> ) pada Rangka Utama	52
Gambar 5.19	Faktor Beban Dinamis ( <i>FBD</i> )	53
Gambar 5.20	Beban Lajur “D” ( <i>TD</i> ) pada Rangka Utama	54
Gambar 5.21	Pembebanan Truk “T”	54
Gambar 5.22	Beban Truk “T” ( <i>TT</i> ) pada Rangka Utama	55
Gambar 5.23	Beban Pejalan Kaki ( <i>TP</i> ) pada Rangka Utama	55
Gambar 5.24	Beban Gaya Rem ( <i>TB</i> ) pada Rangka Utama	57

Gambar 5.25	Beban Angin Struktur ( $EW_S$ ) pada Rangka Utama	59
Gambar 5.26	Beban Angin Kendaraan ( $EW_L$ )	59
Gambar 5.27	Beban Angin Kendaraan ( $EW_L$ ) pada Rangka Utama	61
Gambar 5.28	Penomoran Batang Rangka Atas, Rangka Bawah, dan Diagonal	62
Gambar 5.29	Penomoran Batang Ikatan Angin	62
Gambar 5.30	Penomoran Batang Rangka Atas, Rangka Bawah, dan Diagonal	84
Gambar 5.31	Penomoran Batang Ikatan Angin	84
Gambar 5.32	Faktor Beban Dinamis ( $FBD$ )	93
Gambar 5.33	Beban Gaya Rem	94
Gambar 5.34	Diagram Momen Gelagar Memanjang	95
Gambar 5.35	Detail Profil $IWF$	96
Gambar 5.36	Faktor Beban Dinamis ( $FBD$ )	100
Gambar 5.37	Diagram Momen Gelagar Melintang	101
Gambar 5.38	Faktor Beban Dinamis ( $FBD$ )	106
Gambar 5.39	Beban Gaya Rem	107
Gambar 5.40	Diagram Geser Gelagar Memanjang	108
Gambar 5.41	Detail Profil $IWF$	108
Gambar 5.42	Faktor Beban Dinamis ( $FBD$ )	113
Gambar 5.43	Diagram Geser Gelagar Melintang	114

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Situasi dan Potongan Memanjang Jembatan Sei Nilo	121
Lampiran 2	Situasi dan Potongan Memanjang Jembatan Sei Nilo Pot. 1	122
Lampiran 3	Situasi dan Potongan Memanjang Jembatan Sei Nilo Pot. 2	123
Lampiran 4	Situasi dan Potongan Memanjang Jembatan Sei Nilo Pot. 3	124
Lampiran 5	Tampak Bentang Jembatan Sei Nilo	125
Lampiran 6	Tampak Bentang Jembatan Sei Nilo Pot. 1	126
Lampiran 7	Tampak Bentang Jembatan Sei Nilo Pot. 2	127
Lampiran 8	Tampak Bentang Jembatan Sei Nilo Pot. 3	128
Lampiran 9	Tampak Bentang Jembatan Sei Nilo Pot. 4	129
Lampiran 10	Tampak Bentang Jembatan Sei Nilo Pot. 5	130

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\alpha$	= kedalaman beton
$ab$	= kedalaman beton desak dalam kondisi <i>balance</i>
$ad$	= faktor adhesi
$Ab$	= luas bidang samping jembatan
$Ae$	= luas penampang efektif
$Ag$	= luas penampang kotor
$An$	= luas penampang bersih
$As$	= luas tulangan yang diperlukan
$As'$	= luas tulangan tekan
$A_{ID}$	= luas satu buah tulangan
$A_D$	= luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran
$A_L$	= luas proyeksi pilar sejajar arah aliran
$b$	= lebar tinjauan
$b_0$	= keliling kritis
$be$	= panjang ekivalen pilar
$B$	= lebar
$B'$	= lebar penampang kritis
$B_E$	= lebar efektif
$B_x$	= lebar arah memanjang jembatan
$B_y$	= lebar arah melintang jembatan
$cy$	= titik berat baja profil
$ca$	= adhesi antara tanah dan dasar <i>abutment</i>
$C$	= kohesi tanah
$C_b$	= kondisi <i>balance</i>
$C_c$	= gaya desak beton
$C_D$	= koefisien seret
$C_L$	= koefisien angkat
$C_s$	= gaya tarik beton
$C_{sm}$	= koefisien respons gempa elastis

$d$	= tinggi efektif beton
$db$	= ukuran baut
$dh$	= ukuran lubang
$D$	= diameter pondasi
$Dh$	= kedalaman benda hanyutan
$dev$	= lendutan elastis ekivalen
$E$	= modulus elastisitas baja
$E_c$	= modulus elastisitas beton
$f'$	= kuat tekan beton
$fs'$	= tegangan baja daerah desak
$F_u$	= tegangan putus baja
$F_e$	= tegangan tekuk elastis
$F_{cr}$	= tegangan kritis
$F_y$	= tegangan leleh baja
$g$	= percepatan gravitasi
$G$	= modulus geser
$h$	= tinggi
$h_o$	= tinggi bersih badan baja profil
$H$	= gaya penyebab geser
$H_b$	= muka air banjir
$H_r$	= muka air normal
$H_{izin}$	= kapasitas dukung lateral izin <i>bored pile</i>
$I_x$	= momen inersia arah x
$I_y$	= momen inersia arah y
$I$	= sudut kemiringan timbunan
$J$	= konstanta torsi
$k_v$	= koefisien percepatan vertikal
$K$	= faktor panjang efektif
$K_a$	= koefisien tanah aktif
$K_{AE}$	= koefisien tekanan aktif seismik
$K_p$	= koefisien tanah pasif
$K_{\phi R}$	= faktor pengurangan kekuatan

$L$	= panjang
$M$	= massa batang kayu
$M_{gl}$	= momen penyebab guling
$M_u$	= momen <i>ultimit</i>
$M_n$	= momen nominal
$M_w$	= momen penahan guling
$M_x$	= momen arah X
$M_y$	= momen arah Y
$n$	= jumlah
$P$	= gaya aksial
$P_{izin}$	= kapasitas dukung izin
$P_B$	= tekanan angin dasar
$P_D$	= tekanan angin rencana
$P_n$	= gaya aksial nominal
$P_u$	= gaya aksial <i>ultimit</i>
$q$	= berat baja profil
$Q_u$	= kapasitas dukung pondasi
$r_x$	= radius girasi arah x
$r_y$	= radius girasi arah y
$R_n$	= koefisien tahanan
$R_d$	= faktor modifikasi respons
$s$	= jarak antar baut
$sb$	= selimut beton
$st$	= jarak antar baut dan tepi profil
$SF$	= faktor aman
$t$	= tebal
$T$	= waktu periode alami struktur
$V_B$	= kecepatan angin rencana pada elevasi 10000 mm
$V_{DZ}$	= kecepatan angin rencana pada elevasi rencana
$V_0$	= kecepatan gesekan angin
$V_s$	= kecepatan aliran air
$V_{10}$	= kecepatan angin pada elevasi 10000 mm

$W_t$	= berat total struktur
$x$	= jarak arah x
$y$	= jarak arah y
$Z$	= elevasi struktur dimana beban angin dihitung
$Z_0$	= panjang gesekan di hulu jembatan
$Z_x$	= modulus plastis baja profil
$\beta I$	= faktor distribusi tegangan beton
$\gamma$	= berat volume
$\rho$	= rasio tulangan
$\sigma$	= tegangan
$\phi$	= sudut geser dalam
$\Theta$	= faktor reduksi
$\delta_b$	= sudut gesek antara tanah dan dasar <i>abutment</i>
$\phi'_f$	= sudut geser efektif tanah
$\beta_a$	= kemiringan dinding <i>abutment</i>
$\eta_i$	= faktor pengubah respons
$\gamma_i$	= faktor beban
$Q_i$	= gaya atau beban yang bekerja pada jembatan
$\gamma_{MS}$	= faktor beban akibat berat sendiri
$\gamma^S_{MS}$	= keadaan batas layan akibat berat sendiri
$\gamma^U_{MS}$	= keadaan batas ultimit akibat berat sendiri
$\gamma_{MA}$	= faktor beban akibat mati tambahan
$\gamma^S_{MA}$	= keadaan batas layan akibat mati tambahan
$\gamma^U_{MA}$	= keadaan batas ultimit akibat mati tambahan
$\gamma_{PL}$	= faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan
$\gamma^S_{PL}$	= keadaan batas layan akibat pengaruh pelaksanaan
$\gamma^U_{PL}$	= keadaan batas ultimit akibat pengaruh pelaksanaan
$\gamma_{TA}$	= faktor beban akibat tekanan tanah
$\gamma^S_{TA}$	= keadaan batas layan akibat tekanan tanah
$\gamma^U_{TA}$	= keadaan batas ultimit akibat tekanan tanah



- $D$  = beban lajur  
 $\gamma_{TD}$  = faktor beban untuk beban lajur d  
 $\gamma^S_{TD}$  = keadaan batas layan beban lajur d  
 $\gamma^U_{TD}$  = keadaan batas ultimit beban lajur d  
 $q$  = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (KPa)  
 $L$  = panjang total jembatan yang dibebani (m)  
 $T$  = beban truk  
 $\gamma_{TD}$  = faktor beban truk  
 $\gamma^S_{TT}$  = keadaan batas layan untuk beban truk  
 $\gamma^U_{TT}$  = keadaan batas ultimit untuk beban truk  
 $V_B$  = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 (km/jam)  
 $V_{DZ}$  = kecepatan angin pada elevasi rencana (km/jam)  
 $V_{10}$  = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan air rencana atau permukaan tanah (km/jam)  
 $V_o$  = kecepatan gesekan angin (km/jam)  
 $Z$  = elevasi struktur dimana beban angin dihitung ( $z > 10000$  mm)  
 $Z_o$  = panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

## ABSTRAK

Jembatan Nilo merupakan jembatan eksisting rangka baja yang menghubungkan Pangkalan Kerinci dengan Pangkalan Kuras pada Kab. Pelalawan. Jembatan ini mempunyai panjang 300 m dengan 5 bentang yang masing-masing mempunyai panjang 60 m. Jembatan Nilo telah dirancang pada tahun 2010 dan dilaksanakan pada tahun 2020. Selama rentang waktu tersebut, terjadi adanya perubahan standar pembebanan jembatan terbaru, yaitu SNI 1725:2016. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap kapasitas struktur atas jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016.

Penelitian dilakukan dengan permodelan pada struktur atas jembatan rangka baja tipe *warren* menggunakan *SAP2000*. Perencanaan pembebanan jembatan menggunakan peraturan standar terbaru, yaitu dengan SNI 1725:2016. Adapun peraturan jembatan yang lain sebagai pelengkap seperti RSNI T-02-2005. Analisis struktur atas jembatan dibantu dengan menggunakan program komputer *SAP2000* dan *Microsoft Excel* dengan metode LFRD (*Load and Resistance Factor Design*) untuk mengetahui kapasitas struktur atas jembatan yang meliputi gaya aksial, momen lentur, gaya geser dan rasio tegangan.

Hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa gaya dalam yang terjadi pada struktur atas jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016 yang meliputi gaya aksial, rasio tegangan, gaya geser, dan momen lentur masih memenuhi persyaratan. Beban yang diterima jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016 lebih kecil daripada kapasitas beban rencana. Nilai rasio tegangan pada rangka batang jembatan  $\leq 1$ , sehingga pembebanan yang diterima oleh jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016 aman terhadap kapasitas struktur.

**Kata kunci:** Jembatan, Baja, *Warren*, *SAP2000*

## **ABSTRACT**

*Nilo Bridge is an existing truss bridge that connects the Kerinci Base with the Kuras Base in Pelalawan Regency. This bridge has a length of 300 m with 5 spans, each of which has a length of 60 m. The Nilo Bridge was designed in 2010 and implemented in 2020. During this time period, there were changes in the latest bridge loading standard, namely SNI 1725:2016. Therefore, it is necessary to carry out further analysis of the capacity of the Nilo bridge superstructure based on SNI 1725:2016.*

*The research was conducted by modeling the warren type steel frame bridge superstructure using SAP2000. Bridge loading planning uses the latest standard regulations, namely SNI 1725:2016. There are other bridge regulations as a complement, such as RSNI T-02-2005. The analysis of the superstructure of the bridge is assisted by using the SAP2000 computer program and Microsoft Excel with the LFRD (Load and Resistance Factor Design) method to determine the capacity of the superstructure of the bridge including axial force, bending moment, shear force and stress ratio.*

*The results of the analysis obtained show that the internal force that occurs in the superstructure of the Nilo bridge based on SNI 1725:2016 which includes axial force, stress ratio, shear force, and bending moment still meets the requirements. The load received by the Nilo bridge based on SNI 1725: 2016 is less than the design load capacity. The value of the stress ratio on the bridge truss is  $\leq 1$ , so that the load received by the Nilo bridge based on SNI 1725: 2016 is safe for the structural capacity.*

**Keywords:** Bridge, Steel, Warren, SAP2000

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sumatra mempunyai banyak potensi untuk mengembangkan perekonomian di berbagai daerahnya, salah satunya adalah Provinsi Riau. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Riau pada “Berita Resmi Statistik” No. 25/05/14/Th. XXIV, 5 Mei 2023 diperoleh besaran Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) atas dasar harga berlaku triwulan I-2023 mencapai Rp 250,77 triliun dan atas dasar harga konstan 2010 mencapai Rp 134,29 triliun. Secara spasial, pada triwulan I-2023 Riau berkontribusi sebesar 5,03% terhadap perekonomian nasional yang menjadikannya provinsi dengan PDRB terbesar ke-6 di Indonesia atau PDRB terbesar kedua di luar Pulau Jawa. Namun, pengembangan perekonomian di Riau masih terkendala oleh akses yang diharuskan memakai jalur darat seperti pada Lapangan Usaha Pengadaan Listrik dan Gas yang mengalami kontraksi terdalam sebesar 17,35% untuk mengirimkan suatu kebutuhan ke berbagai daerah. Salah satu jalur yang ditinjau oleh penulis yaitu pada Lintas Timur Sumatra yang terdapat Jembatan Rangka Baja Nilo di daerah Pelalawan.

Pelalawan merupakan daerah yang terdapat Jembatan Rangka Baja Nilo yang bertepatan pada Km. 78+700 Pekanbaru, Riau di ruas Jl. Nasional Sp. Lago-Sorek. Berdasarkan Kepala Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Riau, Yuliansyah, jembatan tersebut merupakan jembatan eksisting rangka baja yang sudah melewati usia lebih dari 30 tahun dan mempunyai kondisi dari beberapa rangka baja jembatan eksisting yang telah mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas yang cukup besar. Maka dari itu, pemerintah berinisiatif membangun duplikasi jembatan di sebelah jembatan eksisting sebagai salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN). Hal tersebut terdapat dalam Rapat Kerja dengan Komisi V DPR RI tentang Rencana Kerja Anggaran Kementerian/Lembaga (RKA K/L) dan Rencana Kerja Pemerintah (RKP) Tahun Anggaran 2021 pada pagu indikatif Rencana Anggaran Pendapatan Belanja Negara (RAPBN) Tahun 2021.

Menteri PUPR, Basuki Hadimuljono mengatakan bahwa tujuan pembangunan duplikasi jembatan baru adalah untuk meningkatkan konektivitas beserta memperlancar distribusi barang, jasa, dan manusia agar pertumbuhan ekonomi kawasan meningkat dan dapat mengurangi beban lalu lintas yang diterima. Akan tetapi, permasalahan terjadi pada duplikasi jembatan baru yang telah dirancang pada tahun 2010 seperti pada data perencanaan desain gambar struktur atas jembatan rangka baja yang terdapat di lampiran dan pembangunan dilaksanakan pada akhir tahun 2020. Selama rentang waktu tersebut, terjadi adanya perubahan standar pembebanan jembatan terbaru, yaitu SNI 1725:2016. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap kapasitas struktur atas jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016.

Berdasarkan uraian di atas, penulis melakukan penelitian mengenai kapasitas struktur atas jembatan pada Proyek Jembatan Rangka Baja Nilo yang telah dirancang pada tahun 2010, namun pembangunan dilaksanakan pada tahun 2020 dengan memasukkan pembebanan terbaru, yaitu SNI 1725:2016. Penelitian yang telah dilakukan oleh penulis akan menghasilkan kapasitas struktur atas jembatan rangka baja Nilo yang meliputi gaya aksial, rasio tegangan, gaya geser, dan momen lentur berdasarkan SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang didapatkan berdasarkan uraian pada latar belakang yaitu, bagaimana kapasitas struktur atas jembatan terhadap gaya dalam yang diterima Jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kapasitas struktur atas jembatan terhadap gaya dalam yang diterima Jembatan Nilo berdasarkan SNI 1725:2016.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Harapan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi bahan referensi dalam penelitian uji kelayakan kapasitas rangka jembatan tentang pembebanan sesuai SNI 1725:2016.
2. Memberikan masukan dan alternatif bagi para perencana jika terdapat jembatan yang telah direncanakan sebelum adanya SNI 1725:2016.
3. Dapat melengkapi penelitian yang sudah ada sebelumnya.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Hanya menganalisis struktur atas rangka jembatan sebagai objek penelitian yang meliputi gelagar memanjang, gelagar melintang, rangka atas (*top chord*), rangka bawah (*bottom chord*), batang diagonal, dan ikatan angin. Sehingga tidak meninjau struktur bawah jembatan beserta profil sungai.
2. Data struktur atas jembatan mengacu pada hasil perencanaan yang berada di lampiran (Berasal dari Kemen PUPR RI untuk Pembangunan Jembatan Nasional Lintas Timur Jembatan Sei Nilo pada tahun 2010) dan dianalisis dengan metode LFRD (*Load and Resistance Factor Design*) pada rangka baja.
3. Kapasitas struktur atas rangka jembatan ditentukan berdasarkan rasio tegangan, kapasitas lentur dan geser, serta kapasitas tekan dan tarik.
4. Peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisis, yaitu:
  - a. Perencanaan struktur baja rangka jembatan yang digunakan RSNI T-03-2005.
  - b. Peraturan standar pembebanan yang digunakan SNI 1725:2016.
5. Analisis menggunakan aplikasi *SAP2000* dan *Microsoft Excel*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Seiring perkembangan zaman, banyak hal yang terjadi pada kondisi alam di Indonesia beserta kemajuan teknologi dari segala bidang, salah satu yang menonjol akhir-akhir ini yaitu di bidang konstruksi. Berbagai hal yang mempengaruhinya akan segera dikaji ulang terhadap peraturan yang telah ditetapkan sebelumnya, salah satunya merupakan SNI (Standar Nasional Indonesia) tentang pembebanan pada jembatan. Aturan yang telah dikaji tersebut telah tercantum dalam SNI 1725:2016 yang berisikan tentang pembaharuan pembebanan, dimana beban tersebut akan dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

1. **Beban Permanen**

Beban permanen merupakan beban yang mempunyai sifat tetap yang meliputi: beban mati perkerasan dan utilitas, beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan, gaya prategang, gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, gaya horizontal akibat tekanan tanah, dan semua gaya yang terjadi akibat konstruksi segmental.

2. **Beban Transien**

Beban transien merupakan beban yang mempunyai sifat tidak tetap dan terdiri atas: beban pejalan kaki, beban akibat penurunan, beban angin, beban truk "T", beban lajur "D", beban arus, gaya gempa, gaya tumbukan kendaraan atau kapal, gaya rem, gaya sentrifugal, gaya susut/rangkak, gaya friksi, gaya akibat temperature, dan gaya apung.

#### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Pada proses pengerjaan tugas akhir tersebut penulis menyajikan penelitian yang telah dilakukan terdahulu sehingga akan relevan dengan penelitian yang sedang dilakukan. Penelitian yang telah dilakukan digunakan sebagai bahan referensi penulis untuk kebutuhan informasi serta acuan maupun sebagai bahan

perbandingan penelitian. Hasil penelitian-penelitian yang sejenis antara lain sebagai berikut:

1. Evaluasi Berdasarkan Pembebanan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016 pada Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja  
Bima dkk. (2018) dalam jurnalnya melakukan evaluasi terhadap jembatan tipe *Warren (Australian Truss)* dengan bentang sepanjang 60 meter. Jembatan rangka baja ini direncanakan ulang dengan menggunakan analisis pembebanan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016. Pada penelitian ini, kedua analisis peraturan pembebanan tersebut akan dianalisis perbedaannya dan dibandingkan besarnya perubahan beban antara peraturan pembebanan RSNI T-02-2005 dengan SNI 1725:2016. Hasil penelitian tersebut dapat mengetahui persentase perbedaan pembebanan jembatan yang terjadi pada RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016, dan juga dapat mengetahui profil manakah yang paling efisien digunakan dalam menahan beban yang bekerja pada struktur atas jembatan rangka baja.
2. Analisis Pembebanan Peraturan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016 pada Jembatan Standar Rangka Baja Bentang 45 meter  
Novita, R. (2017) dalam tugas akhirnya melakukan analisis terhadap perilaku struktur atas jembatan rangka baja dengan panjang bentang 45 meter. Analisis perilaku struktur atas jembatan rangka baja ini mengacu terhadap pengaruh perubahan-perubahan dari peraturan sebelumnya yakni RSNI T-02-2005 terhadap peraturan baru yaitu SNI 1725:2016.
3. Perencanaan Ulang Jembatan Rangka Baja Jl. Ir. Sutami Jurug  
Lathiefah, U. (2017) dalam tugas akhirnya melakukan perancangan ulang pada jembatan rangka baja Jl. Ir. Sutarmi Jurug yang terletak pada Jl. Raya Solo-Ngawi Km. 15 dengan bentang 176 meter. Dalam perancangan awalnya, jembatan ini menggunakan peraturan pembebanan menurut SNI 03-1729-2002 dan akan dirancang kembali menggunakan peraturan pembebanan menurut RSNI T-02-2005. Bagian yang akan dirancang kembali meliputi struktur atas dan strukturbawah jembatan.



#### 4. Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng II pada Jalan Tol Semarang-Bawen Menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja

Hakikie, P.N. dan Wahyuni, E. (2017) dalam jurnalnya melakukan perencanaan ulang terhadap Jembatan Lemah Ireng II yang terletak pada Jalan Tol Semarang-Bawen. Pada awalnya, jenis jembatan ini adalah multi span continuous I-Girder, dengan panjang bentang 298,15 meter. Dalam perencanaan ulangnya, jembatan ini didesain berbentuk busur rangka baja menerus dengan dua bentang jembatan. Pada middlespan, panjang bentangnya yakni 100 meter, dan untuk side spannya sendiri panjang bentangnya masing-masing 50 meter. Dalam merencanakan ulang jembatan busur rangka baja Lemah Ireng II, digunakan SNI 1725:2016 sebagai peraturan pembebanan. Perencanaan ulang ini mencakup struktur atas dan struktur bawah jembatan, yang mana struktur atas mencakup struktur baja rangka utama, struktur lantai kendaraan, struktur sambungan, struktur baja ikatan angin, dan desain perletakan. Sementara untuk struktur bawahnya mencakup struktur pondasi bored pile, struktur abutment, dan struktur pilar.

### 2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan hasil tinjauan penelitian yang telah dilakukan terdahulu, penelitian terhadap kontrol struktur jembatan rangka baja yang terpasang terhadap pembebanan menurut SNI 1725:2016 belum pernah dilakukan sebelumnya dikarenakan jembatan tersebut baru saja dibangun dan tidak adanya pembahasan penelitian yang membahas terkait jembatan Nilo. Adapun beberapa tinjauan pustaka yang diperoleh dari penelitian yang terdahulu, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Bima dkk. (2018)	Novita, R. (2017)	Lathiefah, U. (2017)	Hakikie, P.N. dan Wahyuni, E. (2017)	Penulis
Judul Penelitian	Evaluasi Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Berdasarkan Pembebanan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016	Analisis Pembebanan Peraturan RSNI T-02-2005 dan SNI-1725:2016 pada Jembatan Standar Rangka Baja Bentang 45 Meter	Perencanaan Ulang Jembatan Rangka Baja Jl. Ir. Sutami Jurug dengan Pembebanan Menurut RSNI T-02-2005	Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng II pada Jalan Tol Semarang-Bawen menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja	Analisis Kapasitas Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Nilo Berdasarkan SNI 1725:2016
Parameter yang Diteliti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perbandingan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016</li> <li>- Keamanan dimensi profil struktur atas jembatan rangka baja tipe <i>warren</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perbandingan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016</li> <li>- Perbandingan gaya aksial, gaya geser, momen lentur, dan perpindahan struktur pada truktur atas jembatan rangka baja tipe <i>warren</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perencanaan ulang jembatan rangka baja berdasarkan RSNI T-02-2005 agar struktur aman terhadap beban gempa</li> <li>- Analisis struktur atas dan bawah jembatan rangka baja tipe <i>warren</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perencanaan ulang jembatan rangka baja berdasarkan SNI 1725:2016 RSNI T-03-2005, SNI 2833-2008, SNI 2847-2013</li> <li>- Perencanaan rangka utama menggunakan kombinasi Kuat I</li> <li>- Perencanaan ikatan angin menggunakan kombinasi kuat III</li> <li>- Abutmen dan pilar berdasarkan SNI 2847-2013</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perencanaan struktur atas jembatan rangka baja menggunakan RSNI T-03-2005 dan SNI 1725:2016</li> <li>- Kapasitas struktur atas jembatan rangka baja Nilo berdasarkan rasio tegangan, gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur</li> </ul>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Bima dkk. (2018)	Novita, R. (2017)	Lathiefah, U. (2017)	Hakikie, P.N. dan Wahyuni, E. (2017)	Penulis
Metode	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permodelan struktur menggunakan <i>SAP2000</i></li> <li>- Analisis struktur menggunakan metode LFRD (<i>Load and Resistance Factor Design</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permodelan struktur menggunakan bentuk 3D menggunakan <i>software</i> analisis struktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membuat gambar detail komponen menggunakan <i>AutoCAD</i> setelah survei lapangan</li> <li>- Permodelan struktur menggunakan <i>SAP2000</i></li> <li>- Analisis struktur menggunakan metode LFRD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengumpulan data dengan survei lapangan</li> <li>- Permodelan struktur menggunakan <i>SAP2000</i></li> <li>- Analisis struktur menggunakan metode LFRD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengumpulan data yang digunakan</li> <li>- Permodelan struktur menggunakan <i>SAP2000</i></li> <li>- Analisis struktur menggunakan metode LFRD</li> </ul>
Hasil Penelitian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perbedaan RSNI T-02-2005 dengan SNI 1725:2016 pada beban angin 50% dan beban gempa 41%</li> <li>- Gelagar memanjang menggunakan profil H 200x200x8x13</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelagar melintang mengalami peningkatan dari RSNI T-02-2005 ke SNI 1725:2016 untuk gaya aksial 2,63%, gaya geser 4,56%, dan momen lentur 4,94%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tebal pelat lantai kendaraan 20 cm dengan tulangan pokok D15-150 dan tulangan bagi D15-400</li> <li>- Tebal pelat trotoar 10 cm dengan tulangan pokok D10-100 dan tulangan bagi D10-200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tebal pelat lantai kendaraan 20 cm dan dilapisi aspal dengan tebal 6 cm</li> <li>- Gelagar memanjang menggunakan profil WF 450x300x11x18</li> <li>- Gelagar melintang menggunakan profil WF 950x425x28,4x51,1</li> <li>- Ikatan angin atas menggunakan profil CHS 267,4x7</li> </ul>	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terduhu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Bima dkk. (2018)	Novita, R. (2017)	Lathiefah, U. (2017)	Hakikie, P.N. dan Wahyuni, E. (2017)	Penulis
<b>Hasil Penelitian</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelagar melintang direncanakan komposit menggunakan profil H 700x300x13x20</li> <li>- Ikatan angin atas menggunakan profil H 150x150x7x10</li> <li>- Rangka bawah menggunakan profil H 400x400x30x50</li> <li>- Rangka atas menggunakan profil H 400x400x20x35, H 400x400x30x50, dan H 400x400x45x70</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelagar memanjang mengalami peningkatan dari RSNI T-02-2005 ke SNI 1725:2016 untuk gaya aksial 3,17%, gaya geser 3,01%, dan momen lentur 5,57%</li> <li>- Persentase perpindahan struktur senilai 3,96%</li> <li>- Terjadi perbedaan nilai pada berat sendiri dan pembebanan beban angin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelagar melintang menggunakan profil WF 700x300x13x24</li> <li>- Gelagar memanjang menggunakan profil WF 300x150x6,5x9</li> <li>- Penghubung geser tipe stud berdiameter 22 mm dan panjang 150 mm</li> <li>- Rangka baja menggunakan profil WF 390x300x10x16</li> <li>- Terdapat 3 pilar dan 2 abutmen yang berupa beton bertulang</li> <li>- Pondasi menggunakan <i>bore pile</i> berdiameter 80 cm dengan panjang 20 m untuk abutmen dan 15 m untuk pilar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ikatan angin bawah menggunakan profil CHS 216,3x7</li> <li>- Ikatan angin silang menggunakan profil CHS 216,3x8</li> <li>- Rangka utama menggunakan profil BOX sesuai RSNI T-03-2005</li> <li>- Kabel penggantung menggunakan tipe PV 195 berdiameter 4</li> <li>- Desain abutmen dengan tinggi 8,5 m, lebar 13 m, dan tebal 2 m dengan 21 tiang berdiameter 1,2 m sedalam 20 m</li> <li>- Desain pilar dengan tinggi 32 m, lebar 13 m, dan tebal 3 m dengan 60 tiang berdiameter 1,2 m sedalam 35 m</li> </ul>	

#### **2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu**

Yang menjadi perbedaan penelitian penulis dengan berbagai penelitian terdahulu merupakan bentuk pengembangan dari penelitian-penelitian tersebut berdasarkan parameter yang dilakukan beserta metode penelitiannya sehingga hasil penelitian yang dilakukan penulis akan berbeda dibandingkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan seperti uraian di atas. Penelitian yang dilakukan oleh penulis dengan melakukan kontrol terhadap jembatan rangka baja terpasang dengan bentang sepanjang 60 m yang nantinya akan ditinjau dari kapasitas gaya dalam dapat sesuai dengan persyaratan SNI 1725:2016. Peninjauan penelitian akan dilakukan dengan cara menganalisis menggunakan program *SAP 2000* dan *Microsoft Excel*. Maka, penelitian yang akan dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Jembatan

Suatu jaringan pada jalan raya kerap kali terjadi hambatan terhadap kelancaran arus lalu lintas. Hambatan tersebut dapat berupa rintangan alam maupun lalu lintas itu sendiri seperti Sungai, jalan kereta api, jalan lalu lintas biasa dsb. Untuk mengatasi rintangan tersebut dapat dengan cara membangun konstruksi seperti gorong-gorong jika rintangan tersebut mempunyai jarak yang tidak terlalu besar. Tetapi jika hambatan tersebut terlalu besar seperti adanya sungai ataupun danau, maka solusi alternatif yang dapat dipilih adalah menggunakan transportasi air. Hal tersebut beberapa kali dapat menyebabkan kendala karena tidak terlalu menguntungkan yang disebabkan oleh faktor cuaca, sehingga dicarilah alternatif lainnya yaitu dengan menggunakan jembatan sebagai alat bantu penghubung dari jaringan jalan raya tersebut.

Menurut Ir. H. J. Struyk dalam bukunya yang berjudul “Jembatan”, mendefinisikan jembatan merupakan suatu konstruksi yang berguna untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah seperti adanya jalan lain, jalan air, atau lalu lintas biasa. Jembatan juga dapat dikatakan sebagai salah satu peralatan atau prasarana transportasi yang tertua didalam kehidupan manusia. Jika jembatan tersebut berada di atas jalan lalu lintas maka biasanya dinamakan *viaduct*.

Berdasarkan UU 38 Tahun 2004 tentang Jalan, bahwa jalan dan jembatan merupakan bagian dari sistem transportasi nasional yang mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung berbagai bidang yang meliputi bidang ekonomi, sosial dan budaya, serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapainya keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah. Dengan berbagai kebutuhan yang diperlukan dalam pembangunan jembatan, pada umumnya jembatan dapat diklasifikasikan dalam berbagai jenis, yaitu:

1. Jembatan berdasarkan fungsi:
  - a. Jembatan jalan raya (*highway bridge*).
  - b. Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*).
  - c. Jembatan air/pipa dan saluran (*aqueduct*).
  - d. Jembatan militer (*bailey bridge*).
  - e. Jembatan pejalan kaki/penyeberangan (*pedestrian bridge*).

2. Jembatan berdasarkan bahan konstruksi:
  - a. Jembatan kayu (*timber bridge*).
  - b. Jembatan baja (*steel bridge*).
  - c. Jembatan beton (*R.C.C bridge*).
  - d. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*).
  - e. Jembatan batu bata (*masonry bridge*).
  - f. Jembatan komposit (*composite bridge*).
3. Jembatan berdasarkan formasi lantai kendaraan:
  - a. Jembatan lantai atas (*deck bridge*).
  - b. Jembatan lantai tengah (*semi through bridge*).
  - c. Jembatan lantai bawah (*through bridge*).
  - d. Jembatan *double dock*
4. Jembatan berdasarkan struktur:
  - a. Jembatan gelagar (*girder bridge*).
  - b. Jembatan rangka (*truss bridge*).
  - c. Jembatan portal (*rigid frame bridge*).
  - d. Jembatan pelengkung (*arch bridge*).
  - e. Jembatan gantung (*suspension bridge*).
  - f. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*).
5. Jembatan berdasarkan bidang potongan:
  - a. Jembatan tegak lurus.
  - b. Jembatan lurus (*straight bridge*).
  - c. Jembatan miring (*skewed bridge*).
  - d. Jembatan *lengkung* (*curved bridge*).
6. Jembatan berdasarkan lokasi:
  - a. Jembatan biasa.
  - b. Jembatan *viaduct*.
  - c. Jembatan layang (*overbridge/roadway crossing*).
  - d. Jembatan kereta api.
7. Jembatan berdasarkan keawetan umur:
  - a. Jembatan darurat.
  - b. Jembatan sementara (*temporary bridge*).
  - c. Jembatan permanen (*permanent bridge*).

8. Jembatan berdasarkan tingkat kemampuan/derajat gerak:

- a. Jembatan tetap (*deck bridge*).
- b. Jembatan dapat digerakkan (*semi through bridge*).

Dalam penelitian ini, Jembatan Rangka Baja Nilo yang ditinjau oleh penulis berdasarkan fungsinya sebagai jembatan jalan raya, sedangkan berdasarkan bahan konstruksinya adalah jembatan baja, dan berdasarkan struktur merupakan jembatan rangka.

### 3.2 Jembatan Rangka Baja

Berdasarkan Ir. H. J. Struyk, secara umum konstruksi jembatan rangka baja memiliki dua bagian, yaitu bangunan atas (*upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Bangunan bawah merupakan konstruksi yang menerima beban-beban dari bangunan atas dan akan diteruskan ke lapisan pendukung (tanah keras) yang berada dibawahnya. Namun, pada penelitian ini penulis hanya akan melakukan analisis pada struktur bagian atas jembatan untuk mendapatkan kapasitas struktur atas jembatan terhadap gaya dalam yang diterima. Adapun bagian-bagian konstruksi jembatan rangka baja pada bangunan atas seperti berikut.

#### 1. Sandaran

Sandaran memiliki fungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi pengguna jalan yang melewatinya, pada jembatan rangka baja dan jembatan beton umumnya sandaran dibuat dari pipa galvanis atau sejenisnya.

#### 2. Trotoar

Memiliki fungsi sebagai tempat pejalan kaki yang terbuat dari beton, bentuknya lebih tinggi terhadap lantai jalan atau permukaan aspal untuk memberikan layanan yang optimal bagi pejalan kaki baik dari segi keamanan maupun kenyamanan. Berdasarkan PPJJR 1987 tentang konstruksi trotoar harus diperhitungkan terhadap beban hidup ( $q$ ) = 500 kg/m<sup>2</sup>. Kerb yang terdapat pada tepi lantai kendaraan diperhitungkan untuk dapat menahan beban satu horizontal ke arah melintang jembatan sebesar ( $P$ ) = 500 kg/m<sup>2</sup> yang bekerja pada puncak kerb yang bersangkutan atau pada tinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan apabila kerb lebih tinggi dari 25 cm.

#### 3. Lantai Kendaraan

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan, pelat lantai kendaraan diasumsikan sebagai pelat yang ditumpu pada keempat sisinya (oleh gelagar memanjang dan gelagar melintang). Pembebanan pada pelat lantai meliputi:



- a. Beban mati, meliputi berat pelat sendiri, berat perkerasan, dan berat air hujan.
- b. Beban hidup, yang dinyatakan dalam beban “T”, berdasarkan *Manual for Assembly and Erection of Permanent Standard Truss Span Volume 2/A Bridges*, Direktorat Jenderal Bina Marga, tebal pelat lantai kendaraan 20cm, sedangkan tebal perkerasan 5 cm.

#### 4. Gelagar Memanjang

Memiliki fungsi untuk menerima beban lantai kendaraan, trotoar, dan beban lainnya serta menyalurkannya ke rangka utama. Pembebanan pada gelagar memanjang meliputi:

- a. Beban mati, yang terdiri dari berat gelagar sendiri dan beban-beban yang bekerja di atasnya (pelat lantai jembatan, perkerasan, dan air hujan).
- b. Beban hidup, yang dinyatakan dengan beban “D” atau beban jalur, terdiri dari beban terbagi rata “ $q$ ” ton per meter panjang per jalur, dan beban garis “ $P$ ” ton per jalur lalu lintas tersebut.

#### 5. Gelagar Melintang

Gelagar melintang memiliki fungsi yang mirip seperti gelagar memanjang, yaitu untuk menerima beban lantai kendaraan, trotoar, gelagar memanjang, dan beban lainnya yang akan disalurkan ke rangka utama. Pembebanan pada gelagar melintang meliputi:

- a. Beban mati, terdiri dari berat gelagar sendiri dan beban yang bekerja di atasnya (gelagar memanjang, pelat lantai jembatan, perkerasan, dan air hujan).
- b. Beban hidup, pada gelagar jembatan dinyatakan dengan beban “D” atau beban jalur, yang terdiri dari beban terbagi rata “ $q$ ” ton per meter panjang per jalur lalu lintas tersebut.

#### 6. Rangka Jembatan

Secara umum rangka jembatan terbuat dari baja profil tipe WF, sehingga lebih baik dalam menerima beban-beban yang bekerja secara lateral (beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu batang).

#### 7. Ikatan Angin

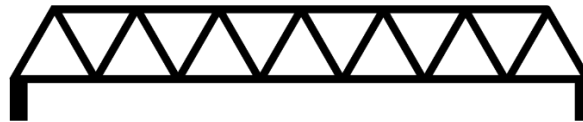
Ikatan angin berfungsi untuk menahan atau melawan gaya yang diakibatkan oleh angin, baik pada bagian atas maupun pada bagian bawah jembatan agar jembatan dalam tetap dalam kondisi stabil.

## 8. Landasan atau Perletakan

Bagian ini dibuat untuk menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan atas, baik secara horizontal, vertikal, maupun lateral dan akan disalurkan ke bangunan yang berada di bawahnya serta untuk mengatasi perubahan panjang yang diakibatkan perubahan suhu dan untuk memeriksa kemungkinan rotasi pada perletakan yang akan menyertai lendutan dari struktur yang dibebani.

### 3.2.1 Jenis Jembatan Rangka Baja (*Truss Bridge*)

Menurut para ahli, Jembatan Rangka Baja memiliki banyak tipe. Tipe yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jembatan tipe *warren*. Tipe Jembatan ini dipatenkan oleh James Warren dan Willoughby Theobald Monzani di Britania Raya pada tahun 1848. Jembatan rangka batang tipe ini mempunyai vertikal berbentuk segitiga sama sisi atau segitiga sama kaki. Sebagian batang diagonalnya mengalami regangan (*strain*) dan sebagian lainnya mempunyai tegangan (*stress*).



Gambar 3.1 Jembatan Tipe *Warren*

### 3.2.2 Sistem Struktur Rangka Batang

Menurut Setiawan (2015) struktur rangka batang merupakan sistem struktur yang terdiri dari batang–batang lurus yang dirangkai menjadi suatu bentuk berupa segitiga. Struktur rangka batang banyak digunakan dalam perencanaan struktur jembatan atau juga sebagai struktur atap dari suatu bangunan.

Hal yang membedakan sistem struktur rangka batang dengan struktur lainnya adalah ketika struktur rangka batang menerima beban, gaya yang ditimbulkan akibat beban tersebut berupa gaya aksial tarik dan tekan, tidak ada momen.

#### 1. Batang Tekan

Ir. Oentoeng (1999) menyatakan bahwa batang tekan merupakan batang yang menerima gaya tekan aksial searah panjang batangnya dimana kekuatan tarik ultimit ( $P_u$ ) tidak boleh melebihi kekuatan tarik desain ( $\phi P_n$ ). Berbeda dengan batang tarik, gaya aksial pada batang tekan akan menyebabkan timbulnya tekuk (*buckling*) pada batang. Adapun jenis pola keruntuhan batang seperti berikut ini:

- a. *Stock Column*, yaitu keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui. Hal tersebut biasa terjadi pada batang tekan yang relatif pendek.
- b. *Slender Column*, yaitu keruntuhan yang diakibatkan oleh terjadinya tekuk. Hal tersebut biasa terjadi pada batang tekan yang langsing. Pada keruntuhan ini, asalkan tegangan pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis (belum mencapai  $\sigma_1$ ), gaya tekuknya dapat dihitung berdasarkan rumus Euler, yaitu:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \times EI}{L_k} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$EI$  = kekakuan lentur ( $\text{Nmm}^2$ )

$L_k$  = panjang tekuk (mm)

Dari dua pola keruntuhan di atas dapat dikatakan bahwa kekuatan batang tekan tidak hanya dipengaruhi oleh mutu bahan, melainkan dipengaruhi juga oleh bentuk geometris penampang.

## 2. Batang Tarik

Ir. Oentoeng (1999) menyatakan bahwa batang tarik merupakan batang yang menerima beban tarik. Perhitungan dan desain batang tarik merupakan permasalahan yang sederhana dalam *structural engineering* seperti halnya batang tekan dimana kekuatan tarik ultimit ( $P_u$ ) tidak boleh melebihi kekuatan tarik desain ( $\phi P_n$ ). Berdasarkan SNI 1729 (2015), kekuatan tarik desain ( $\phi P_n$ ) harus diambil dari nilai terendah sesuai keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

- a. Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y \times A_g \quad (3.2)$$

Dengan  $\phi = 0,9$  (DFBK)

- b. Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto:

$$P_n = F_u \times A_e \quad (3.3)$$

Dengan  $\phi = 0,75$  (DFBK)

Keterangan:

$A_g$  = luas buto dari komponen struktur ( $\text{mm}^2$ )

$A_e$  = luas neto efektif ( $\text{mm}^2$ )

$F_y$  = tegangan leleh minimum (MPa)

$F_u$  = tegangan Tarik minimum (MPa)

### 3.2.3 Sifat Mekanis Baja

Berdasarkan RSNI-T-03-2005, sifat mekanis baja struktural yang akan digunakan dalam perencanaan harus dapat memenuhi persyaratan minimum. Berikut ini merupakan sifat sifat mekanis baja struktural dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 3.1 Sifat Mekanis Baja Struktural**

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $F_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $F_y$ (MPa)	Regangan 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

Sumber: RSNI-T-03-2005

Ketetapan sifat–sifat mekanis material baja mengacu pada RSNI-T-03-2005 seperti berikut.

1. Modulus elastisitas ( $E$ ) = 200000 MPa
2. Modulus geser ( $G$ ) = 80000 MPa
3. Angka *poisson* ( $\mu$ ) = 0,30
4. Koefisien pemuaian ( $\alpha$ ) =  $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

## 3.3 Perkembangan Standarisasi Pembebanan Jembatan

### 3.3.1 Latar Belakang Pembebanan Jembatan

Perkembangan infrastruktur dalam dunia Teknik Sipil harus diimbangi dengan pemenuhan kebutuhan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) yang terkini. Terutama SNI yang efektif dan efisien untuk dapat digunakan oleh semua pihak secara mudah. Banyak SNI atau kode telah beredar untuk menggantikan peraturan standarisasi sebelumnya, salah satunya yaitu SNI Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016). SNI tersebut ditetapkan pada bulan Juni tahun 2016 untuk menggantikan atau merevisi pendahulunya yaitu SNI 03-1725-1989 dengan judul “Pembebanan Jembatan Jalan Raya”, serta RSNI T-02-2005 berjudul “Standar Pembebanan untuk Jembatan”. Sejak dikeluarkannya Surat Edaran dari

Direktorat Jenderal Bina Marga dengan No.05/SE/Db/2017 pada bulan Juli 2017 yang lalu, maka seluruh kegiatan perencanaan atau desain jembatan wajib menggunakan standar pembebanan sesuai SNI 1725:2016. Tantangan bagi seluruh *engineer* atau *desainer* jembatan untuk dapat menerapkan standar pembebanan jembatan terbaru ini secara benar dan tepat, mengingat kegiatan utama dalam desain jembatan selalu diawali dengan penentuan beban yang bekerja pada jembatan.

### 3.3.2 Perkembangan Pembebanan Jembatan

Direktorat Jenderal Bina Marga telah menetapkan Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya No.12/1970 pada tahun 1970. Kemudian peraturan ini diangkat menjadi Tata Cara Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya SNI 03-1725-1989. Selanjutnya peraturan ini dibahas kembali oleh Tim *Bridge Management System* (BMS) yang menghasilkan modifikasi dalam kaidah-kaidah perencanaan Keadaan Batas Layan (KBL) dan Keadaan Batas Ultimit (KBU). Acuan ini bersumber pada *Austroads* dan menghasilkan Peraturan Beban Jembatan, Peraturan Perencanaan Jembatan, Bagian 2, serta BMS-1992. Standar Pembebanan untuk Jembatan 1989 dikaji ulang untuk mengakomodasi pertumbuhan dan perilaku lalu lintas kendaraan berat sehingga muncul RSNI T-02-2005, yaitu Standar Pembebanan untuk Jembatan. Beberapa penyesuaian yang terjadi saat itu adalah:

1. Faktor beban ultimit dari BMS 1992 direduksi dari nilai 2 menjadi 1,8 untuk beban hidup.
2. Kapasitas beban hidup Keadaan Batas Ultimit (KBU) dipertahankan sama dengan standar sebelumnya sehingga faktor beban 1,8 menimbulkan kenaikan kapasitas beban hidup keadaan batas layan (KBL) sebesar  $2/1,8 = 11,1\%$ .
3. Beban Mati Ultimit (KBU) diambil pada tingkat nominal (faktor beban = 1) dalam pengecekan stabilitas geser dan guling dari pondasi langsung
4. Kenaikan Beban Hidup Layan atau Nominal (KBL), meliputi:
  - a. Beban truk "T" dari 45 ton menjadi 50 ton.
  - b. Beban roda dari 10 ton menjadi 11,25 ton.
  - c. Beban lajur "D" terbagi rata (*BTR*) dari 8 kPa menjadi 9 kPa.
  - d. Beban lajur "D" garis terpusat (*BGT*) dari  $p = 44 \text{ kN/m}$  menjadi 49 kN/m.

Seiring dengan waktu, standar tersebut perlu diperbaharui sesuai dengan kondisi terkini. Penyesuaian ketentuan teknis tersebut dapat diikuti dalam peraturan SNI 1725:2016. Adapun beberapa ketentuan teknis yang disesuaikan antara lain.

1. Distribusi beban D dalam arah melintang,
2. Faktor distribusi beban truk “T”
3. Kombinasi Beban
4. Beban Gempa
5. Beban Angin
6. Beban Fatik

### 3.3.3 Pembaharuan SNI 1725:2016

Secara garis besar, SNI 1725:2016 mengelompokkan beban menjadi 2 kelompok besar, yaitu Beban Permanen dan Beban Transien.

#### 1. Beban Permanen dan Beban Transien

Beban permanen merupakan beban yang bersifat tetap meliputi: beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan, beban mati perkerasan dan utilitas, gaya horisontal akibat tekanan tanah, gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat konstruksi segmental, dan gaya prategang.

Beban transien merupakan beban yang bersifat tidak tetap, terdiri atas: gaya susut/rangkak, gaya rem, gaya sentrifugal, gaya tumbukan kendaraan atau kapal, gaya gempa, gaya friksi, beban lajur “D”, beban truk “T”, beban pejalan kaki, beban akibat penurunan, gaya akibat temperatur, gaya apung, beban angin, dan beban arus.

Secara ringkas beban-beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan dapat dilihat pada Tabel 3.2. Tabel tersebut juga menunjukkan perbedaan jenis beban yang ada pada standar pembebanan yang lama.

**Tabel 3.2 Perbedaan Jenis Pembebanan Jembatan Standar Baru dan Lama**

SNI 1725:2016 (Baru)		RSNI T-02-2005 (Lama)	
Jenis Beban (Simbol)	Aksi	Jenis Beban (Simbol)	Aksi
Beban mati komponen struktural dan non struktural ( $MS$ )	Tetap	Berat Sendiri ( $P_{MS}$ )	Tetap
Beban mati perkerasan dan utilitas ( $MA$ )	Tetap	Berat Mati Tambahan ( $P_{MA}$ )	Tetap
Gaya akibat susut/rangkak ( $SH$ )	Transien	Penyusutan dan Rangkak ( $P_{SR}$ )	Tetap
Prategang ( $PR$ )	Tetap	Prategang ( $P_{PR}$ )	Tetap
Gaya horizontal akibat tekanan tanah ( $TA$ )	Tetap	Tekanan Tanah ( $P_{TA}$ )	Tetap
Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan akibat proses pelaksanaan ( $PL$ )	Tetap	Beban Pelaksanaan Tetap ( $P_{PL}$ )	Tetap
Beban Lajur "D" ( $TD$ )	Transien	Beban Lajur "D" ( $T_{TD}$ )	Transien
Beban Truk "T" ( $TT$ )	Transien	Beban Truk "T" ( $T_{TT}$ )	Transien
Gaya Akibat Rem ( $TB$ )	Transien	Gaya Rem ( $T_{TB}$ )	Transien
Gaya Sentrifugal ( $TR$ )	Transien	Gaya Sentrifugal ( $T_{TR}$ )	Transien
Beban Pejalan Kaki ( $TP$ )	Transien	Beban Trotoar ( $T_{TP}$ )	Transien
Gaya tumbukan kendaraan/kapal ( $TC$ )( $TV$ )	Transien	Beban Tumbukan ( $T_{TC}$ )	Transien
Beban akibat penurunan ( $SE$ )	Transien	Penurunan ( $P_{ES}$ )	Tetap
Gaya akibat temperatur gradien ( $ET$ )/seragam ( $EUn$ )	Transien	Temperatur ( $T_{ET}$ )	Transien
Beban arus dan hanyutan ( $EU$ )	Transien	Aliran/Benda Hanyutan ( $T_{EF}$ )	Transien
Gaya Apung ( $EF$ )	Transien	Hidro/Daya Apung ( $T_{EU}$ )	Transien
Beban Angin pada Struktur ( $EW_S$ ) atau Kendaraan ( $EW_L$ )	Transien	Angin ( $T_{EW}$ )	Transien
Gaya Gempa ( $EQ$ )	Transien	Gempa ( $T_{EQ}$ )	Transien
Gaya Friksi ( $BF$ )	Transien	Gesekan ( $T_{BF}$ )	Transien
-	-	Getaran ( $T_{VL}$ )	Transien
-	-	Pelaksanaan ( $T_{CL}$ )	Transien

## 2. Distribusi Beban “D” dalam Arah Melintang

Beban “D” merupakan salah satu beban lalu lintas yang besarnya ditentukan oleh lebar lajur lalu lintas rencana pada jembatan, sehingga sering pula disebut beban lajur “D”. Ketentuan jumlah lajur lalu lintas rencana berdasarkan SNI 1725:2016 dapat dilihat pada Tabel 3.3. Ketentuan tersebut sedikit berbeda dengan RSNI-T-02-2005.

**Tabel 3.3 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana**

Tipe Jembatan	Lebar Bersih Jembatan (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10750$	3
	$11000 \leq w \leq 13500$	4
	$13750 \leq w \leq 16250$	5
	$w \geq 16250$	6
Catatan: 1. Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi berwenang. 2. Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah		

### 3.4 Pembebanan pada Jembatan Rangka Baja menurut SNI 1725:2016

Pembebanan merupakan faktor terpenting dalam merencanakan suatu struktur bangunan. Oleh sebab itu, diperlukan identifikasi beban-beban yang akan bekerja pada struktur tersebut. Berikut pembebanan yang digunakan dalam merancang jembatan menurut SNI 1725:2016.

#### 3.4.1 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Gaya total faktorisasi yang digunakan dalam perencanaan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (3.4)$$



dengan,

$\eta_i$  = faktor pengubah respons

$\gamma_i$  = faktor beban

$Q_i$  = gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Setiap bagian parsial dari kombinasi pembebanan yang terjadi harus diselidiki oleh perencana dimana setiap beban yang diselidiki diindikasikan untuk diperhitungkan dalam kombinasi pembebanan harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Berikut adalah tabel kombinasi beban dan faktor beban beserta penjelasannya.

**Tabel 3.4 Kombinasi Beban dan Faktor Beban**

Keadaan Batas	<i>MS</i> <i>MA</i> <i>TA</i> <i>PR</i> <i>PL</i> <i>SH</i>	<i>TT</i> <i>TD</i> <i>TB</i> <i>TR</i> <i>TP</i>	<i>EU</i>	<i>EWS</i>	<i>EWL</i>	<i>BF</i>	<i>EU<sub>n</sub></i>	<i>TG</i>	<i>ES</i>	Gunakan Salah Satu		
										<i>EQ</i>	<i>TC</i>	<i>TV</i>
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1	-	-	1	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1	-	-	1	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1	1,4	-	1	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1	-	-	1	0,5/1,2	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1	0,4	1	1	0,5/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	$\gamma_{BQ}$	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-
Ekstrem II	$\gamma_p$	0,5	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1
Daya Tahan I	1	1	1	0,3	1	1	1/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Tahan II	1	1,3	1	-	-	1	1/1,2	-	-	-	-	-
Daya Tahan III	1	0,8	1	-	-	1	1/1,2	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Tahan IV	1	-	1	0,7	-	1	1/1,2	-	1	-	-	-
Fatik ( <i>TD</i> dan <i>TR</i> )	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber: SNI 1725:2016

Catatan =  $\gamma_p$  dapat berupa  $\gamma_{MS}$ ,  $\gamma_{MA}$ ,  $\gamma_{TA}$ ,  $\gamma_{PR}$ ,  $\gamma_{PL}$ ,  $\gamma_{SH}$  tergantung beban yang ditinjau

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

#### 1. 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.

2. Kuat II

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

3. Kuat III

Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

4. Kuat IV

Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

5. Kuat V

Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

6. Ekstrem I

Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\gamma EQ$  yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

7. Ekstrem II

Kombinasi pembebanan yang eninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidraulika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.

8. Daya Tahan 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 termoplastis 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.

#### 9. Daya Tahan II

Kombinasi pembebanan yang ditunjukkan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

#### 10. Daya Tahan 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.

#### 11. Daya Tahan IV

Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

#### 12. Fatik

Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

### 3.4.2 Beban Permanen

Secara umum beban permanen adalah beban yang mempunyai sifat tetap pada suatu konstruksi dan nilainya tidak akan berubah. Untuk menentukan berat bangunan digunakan persamaan massa dikalikan dengan percepatan gravitasi ( $g$ ), dimana massa dari bagian-bagian bangunan dihitung berdasarkan berat jenis dan dimensi bahan yang digunakan. SNI menetapkan nilai percepatan gravitasi sebesar  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

#### 1. Beban Mati

Beban mati jembatan merupakan kumpulan dari tiap-tiap komponen baik struktural maupun non-struktural dan setiap komponennya harus dianggap sebagai sebuah satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Berikut adalah tabel berat isi untuk beban mati.

Tabel 3.5 Berat Isi untuk Beban Mati

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

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban Sendiri (*MS*)

Berat sendiri merupakan berat struktural yang dipikul oleh jembatan rencana, yakni elemen struktural, elemen non-struktural yang dianggap tetap, dan juga berat bahan. Berikut merupakan tabel faktor beban untuk berat sendiri.

**Tabel 3.6 Faktor Beban untuk Berat Sendiri**

<b>Tipe Beban</b>	<b>Faktor Beban (<math>\gamma_{MS}</math>)</b>			
	<b>Keadaan Batas Layan (<math>\gamma^S_{MS}</math>)</b>		<b>Keadaan Batas Ultimit (<math>\gamma^U_{MS}</math>)</b>	
Tetap	Bahan		Biasa	Terkurangi
	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,70
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

3. Beban Mati Tambahan/Utilitas ( $MA$ )

Beban mati tambahan merupakan berat bahan seluruh elemen non-struktural yang menjadikannya beban pada jembatan dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Berikut merupakan tabel faktor beban untuk beban mati tambahan.

**Tabel 3.7 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan**

<b>Tipe Beban</b>	<b>Faktor Beban (<math>\gamma_{MA}</math>)</b>			
	<b>Keadaan Batas Layan (<math>\gamma^S_{MA}</math>)</b>		<b>Keadaan Batas Ultimit (<math>\gamma^U_{MA}</math>)</b>	
Tetap	<b>Keadaan</b>		<b>Biasa</b>	<b>Terkurangi</b>
	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

Sumber SNI: 1725:2016

## 3.4.3 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas dua jenis, yakni beban lajur "D" yang bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan serta menimbulkan pengaruh pada jembatan dan beban truk "T" yang merupakan beban kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana.

1. Beban lajur "D" ( $TD$ )

Beban lajur "D" bekerja secara ekuivalen dengan iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban yang bekerja pada lajur ini tergantung kepada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Faktor beban yang digunakan dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 3.8 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma^S_{TD}$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^U_{TD}$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016

Untuk beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$ , seperti berikut:

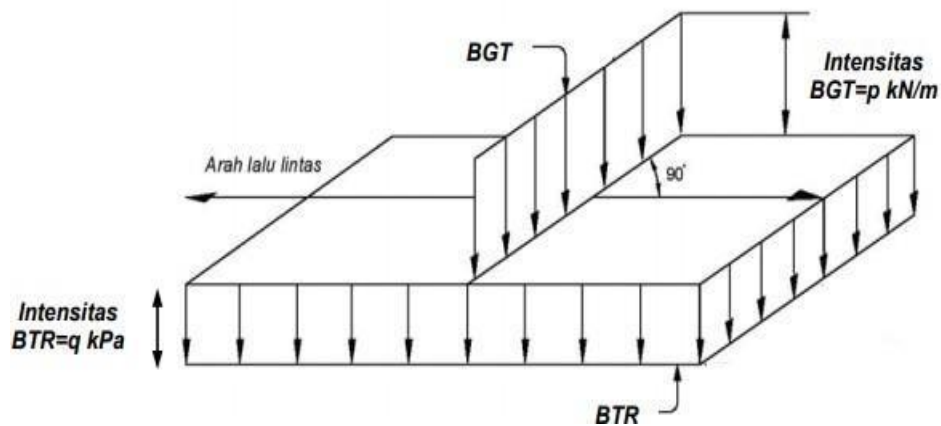
$$\text{Untuk } L \leq 30 \text{ m: } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (3.5)$$

$$\text{Untuk } L > 30 \text{ m: } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (3.6)$$

dengan,

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

$L$  = panjang total jembatan yang dibebani (m)



Gambar 3.2 Beban Lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016)

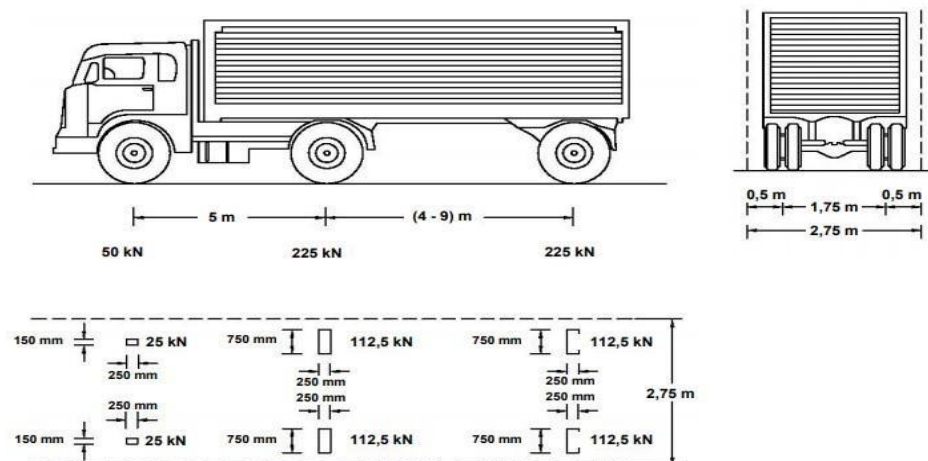
## 2. Beban Truk “T” (TT)

Beban truk tidak dapat digunakan secara bersamaan dengan beban “D”. Beban truk sendiri tidak dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Faktor beban untuk beban “T” dapat dilihat seperti pada tabel berikut.

Tabel 3.9 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TT}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TT}^U$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks	1,00	2,00
	Girder Baja		

Sumber: SNI 1725:2016

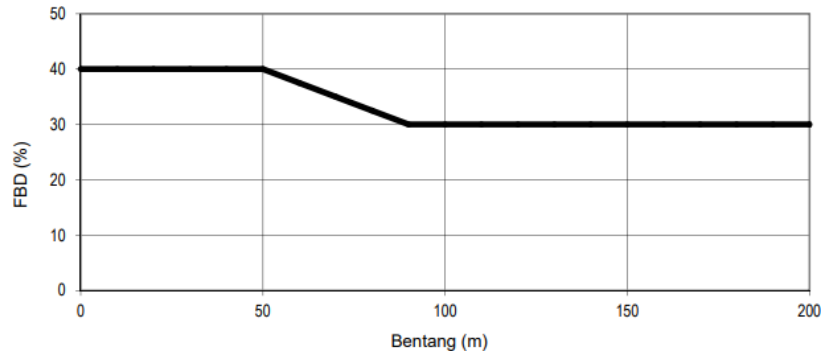


Gambar 3.3 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

(Sumber: SNI 1725:2016)

### 3. Faktor Beban Dinamis (*FBD*)

Faktor beban dinamis atau dapat disebut dengan *FBD* adalah hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. *FBD* juga merupakan fungsi panjang ekuivalen. Besarnya *BGT* dari pembebanan lajur “D” dan beban rodadari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. *FBD* diterapkan dalam keadaan batasdaya layan dan juga beban utimit.



**Gambar 3.4 Faktor Beban Dinamis untuk Beban “T” pada Pembebanan Lajur “D”**

(Sumber: SNI 1725:2016)

#### 4. Gaya Rem

Gaya rem harus ditempatkan disemua lajur rencana yang berisi lalu lintas dengan lajur yang sama. Gaya rem diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

#### 5. Beban Fatik

Berbeda dengan RSNI T-02-2005, dalam standar pembebanan baru ini terdapat jenis beban fatik yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan. Beban fatik merupakan satu beban truk dengan tiga gandar, dimana jarak gandar tengah dan gandar belakang merupakan jarak konstan sebesar 5 m. *FBD* seperti yang tercantum dalam Gambar 3.4 harus dimasukkan dalam perhitungan beban fatik.

Frekuensi beban fatik harus diambil sebesar Lalu Lintas Harian (*LHR*) untuk satu lajur lalu lintas rencana. Frekuensi ini harus digunakan untuk semua komponen jembatan, juga untuk komponen jembatan yang memikul jumlah truk yang lebih sedikit. Jika tidak ada informasi yang lebih lengkap dan akurat, maka perencana dapat menentukan jumlah truk harian rata-rata untuk satu jalur sebesar:

$$LHR_{SL} = p_t \times LHR \quad (3.7)$$

Keterangan:

*LHR* = jumlah truk rerata per hari dalam satu arah selama umur rencana

*LHR<sub>SL</sub>* = jumlah truk rerata per hari dalam satu lajur selama umur rencana

*p<sub>t</sub>* = fraksi truk dalam satu lajur sesuai Tabel 3.10



**Tabel 3.10 Fraksi Lalu Lintas Truk pada Satu Lajur ( $p_t$ )**

Jumlah lajur truk	$p_t$
1	1
2	0.85
3 atau lebih	0.8

#### 3.4.4 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan adalah aksi yang memasukkan pengaruh dari penyebab-penyebab alamiah seperti banjir, gempa, angin, dan pengaruh temperatur.

##### 1. Beban Angin

###### a. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin horizontal yang disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) ditetapkan sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan yang memiliki elevasi lebih dari 10000 mm di atas permukaan air atau tanah, kecepatan angin rencana ( $V_{DZ}$ ) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o (V_{I0}) \ln (Z) \quad (3.8)$$

Keterangan:

$V_B$  = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 (km/jam)

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

$V_{I0}$  = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan air rencana atau permukaan tanah (km/jam)

$V_o$  = kecepatan gesekan angin (km/jam)

$Z$  = elevasi struktur dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$Z_o$  = panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

Beban angin diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh beban angin. Luas area yang diperhitungkan untuk menghitung tekanan angin horizontal terdiri dari semua komponen.

**Tabel 3.11 Nilai  $V_o$  dan  $Z_o$  untuk Berbagai Variasi  
Kondisi Permukaan Hulu**

<b>Kondisi</b>	<b>Lahan Terbuka</b>	<b>Sub Urban</b>	<b>Kota</b>
$V_o$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_o$ (mm)	70	1000	2500

Sumber: SNI 1725:2016

b. Beban Angin pada Struktur ( $EW_S$ )

Arah angin rencana diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan oleh kondisi lain. Sebab tidak didapatnya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana (MPa) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$PD = PB \left( \frac{VDZ}{VB} \right)^2 \quad (3.9)$$

Keterangan:

$PB$  = Tekanan angin dasar (MPa)

**Tabel 3.12 Tekanan Angin Dasar**

<b>Komponen Bangunan Atas</b>	<b>Angin Tekan (MPa)</b>	<b>Angin Hisap (MPa)</b>
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725:2016

### 3.5 Analisis Kapasitas Tekan dan Tarik

#### 3.5.1 Batang Tekan

Persyaratan kuat tekan dapat dilihat sebagai berikut.

$$Pu = \phi n Pn \quad (3.10)$$

Keterangan:

$\Phi$  = faktor reduksi sesuai dengan tabel di bawah ini.

$Pn$  = kuat tekan nominal komponen struktur tekan (N)

Faktor reduksi untuk keadaan batas ultimit dapat dilihat pada tabel di bawah.

**Tabel 3.13 Faktor Reduksi untuk Keadaan Batas Ultimit**

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )
1. Lentur	0,90
2. Tekan	0,90
3. Aksial Tekan	0,85
4. Aksial Tarik	0,90
a. terhadap kuat tarik leleh	0,75
b. terhadap kuat tarik fraktur	0,75
5. Penghubung Geser	0,75
6. Sambungan Baut	0,75
7. Hubungan Las	0,90
a. las tumpul penetrasi penuh	0,75
b. las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

Sumber: SNI 1725:2016

Perbandingan kelangsingan.

$$1. \text{ Kelangsingan elemen penampang } < \lambda_r \quad (3.11)$$

$$2. \text{ Kelangsingan komponen struktur tekan, } \lambda = \frac{Lk}{r} \leq 140 \quad (3.12)$$

Nilai perbandingan maksimum lebar terhadap tebal baja dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.14 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal**

Jenis Elemen	$\lambda$	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
		$\lambda_p$ (kompak)	$\lambda_r$ (tidak kompak)
Pelat Sayap	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{370}{\sqrt{F_y - f_r}}$
Balok-I	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{1680}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{2550}{\sqrt{F_y}}$

Sumber: SNI 1725:2016

Kuat tekan nominal dari komponen struktur tekan dengan elemen penampangnya lebih kecil dari yang ditentukan pada tabel di atas, dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$P_n = (0,66\lambda_c^2) \times A_g \times F_y \text{ untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (3.13)$$

$$P_n = (0,88\lambda_c^2) \times A_g \times F_y \text{ untuk } \lambda_c \geq 1,5 \quad (3.14)$$

$$\lambda_c = \frac{Lk}{r \times \pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (3.15)$$

$$Lk = k_c \times L \quad (3.16)$$

Keterangan:

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$F_y$  = tegangan leleh (MPa)

$\lambda_c$  = parameter kelangsingan

$k_c$  = faktor panjang tekuk (mm)

$E$  = modulus elastisitas bahan baja (MPa)

### 3.5.2 Batang Tarik

Persyaratan kuat Tarik dapat dilihat di bawah ini.

$$P_u \leq \phi P_n \quad (3.17)$$

Keterangan:

$P_n$  = kuat tarik nominal yang nilainya diambil dari nilai terendah

1. Kuat tarik nominal pada penampang bruto.

$$P_n = A_g \times F_y \quad (3.18)$$

2. Kuat tarik nominal pada penampang efektif.

$$P_n = A_e \times F_u \quad (3.19)$$

Keterangan:

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$A_e$  = luas penampang efektif ( $\text{mm}^2$ )

$F_y$  = tegangan leleh (MPa)

$F_u$  = tegangan ultimit (MPa)

Nilai  $\phi$  untuk persamaan 3.24 adalah 0,9 dan untuk persamaan 3.25 adalah 0,75.

Luas dari penampang efektif suatu komponen struktur ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$A_e = A \times U \quad (3.20)$$

Keterangan:

$A$  = luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

$U$  = faktor reduksi

$$= 1 - (x/L) \leq 0,90$$

$x$  = eksentrisitas sambungan (mm)

$L$  = panjang sambungan arah gaya tarik (mm)

Bila gaya Tarik disalurkan oleh baut, maka:

$$A_{nt} = A_g - (n \times d \times t_f) \quad (3.21)$$

Keterangan:

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$t_f$  = tebal sayap penampang (mm)

$d$  = diameter lubang baut (mm)

$n$  = banyak lubang dalam satu baris potongan

### 3.6 Analisis Rasio Tegangan

Rasio tegangan merupakan rasio antara gaya atau momen ultimit pada penampang yang terjadi pada beban terfaktor terhadap kuat nominal penampang yang telah memasukkan faktor reduksi. Metode ini merupakan hasil dari *SAP2000* yang telah dianalisis. Suatu struktur dianggap telah memenuhi persyaratan kekuatan jika nilai  $R$  (rasio tegangan)  $\geq 1$ .

### 3.7 Analisis Kapasitas Momen Lentur

#### 3.7.1 Gelagar Memanjang

Kekuatan lentur yang diizinkan,  $M_n/\Omega_b$ , dan ketentuan lentur desain ditentukan dengan ketentuan  $\phi_b = 0,90$  (*DFBK*)  $\Omega_b = 1,67$  (*DKI*). Berdasarkan RSNI T-03-2005, kuat lentur nominal pada suatu struktur komposit ditentukan dengan rumus berikut.

Sumbu netral berada pada pelat beton

Nilai gaya tekan pada pelat beton dihitung dengan rumus berikut.

$$C = 0,85 \times F_c' \times a \times B_e \quad (3.22)$$

Keterangan:

$C$  = gaya tekan pada pelat beton (kN)

$F_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

$a$  = sumbu netral (mm)

$B_e$  = lebar efektif (mm)

Besarnya nilai gaya tarik pada profil baja dihitung dengan rumus berikut.

$$T = A_s \times F_y \quad (3.23)$$

Keterangan:

$A_s$  = luas area profil baja ( $\text{mm}^2$ )

$F_y$  = tegangan leleh baja (MPa)

Dari kedua rumus diatas didapatkan persamaan keseimbangan gaya yaitu  $C = T$  sehingga didapatkan rumus nilai  $a$ .

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F_c' \times B_e} \quad (3.24)$$

Sehingga didapatkan nilai kuat lentur nominal yang ada struktur komposit dengan rumus berikut.

$$Mn = As \times Fy \times \left( \frac{d}{2} + ts - \frac{a}{2} \right) \quad (3.25)$$

Keterangan:

$Mn$  = kuat lentur nominal (kNm)

$d$  = tinggi profil (mm)

$ts$  = tebal pelat beton (mm)

### 3.7.2 Gelagar Melintang

Dalam menentukan kuat lentur nominal, terhadap ketentuan dengan rumus yang berbeda-beda. Berikut ini adalah ketentuannya.

Momen bentang pendek

$$Mn = Mp \quad (3.26)$$

Momen bentang menengah dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$Mn = Cb \times (Mr + (Mp - Mr) \frac{Lr - L}{Lr - Lp}) \leq Mp \quad (3.27)$$

Momen bentang panjang

$$Mn = Mcr \quad (3.28)$$

## 3.8 Analisis Kapasitas Gaya Geser

### 3.8.1 Gelagar Memanjang

Tebal pelat badan yang tidak diperkaku dan dibatasi pada kedua sisi yang memanjang oleh pelat sayap harus memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$\frac{h_0}{tw} \leq 3,57 \times \sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad (3.29)$$

Keterangan:

$h$  = tinggi bersih profil sayap (mm)

$tw$  = tebal pelat badan profil (mm)

Kuat geser nominal dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\frac{h_0}{tw} \leq 1,10 \times \sqrt{\frac{kn \times E}{Fy}} \quad (3.30)$$

Dengan,

$$Kn = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (3.31)$$

Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal terpenuhi, maka kuat geser nominalnya menggunakan rumus sebagai berikut.

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \quad (3.32)$$

Keterangan:

$A_w$  = luas kotor pelat badan ( $\text{mm}^2$ )

### 3.8.2 Gelagar Melintang

Kekuatan geser desain,  $V_n$ , dan kekuatan geser izin,  $V_n/Q_v$ , harus ditentukan dengan nilai  $\phi_v = 0,90$  (*DFBK*)  $\Omega_b = 1,67$  (*DKI*). Berikut ini adalah rumus untuk menentukan kuat geser nominal.

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \quad (3.33)$$

Keterangan:

$V_n$  = kuat geser nominal (kN)

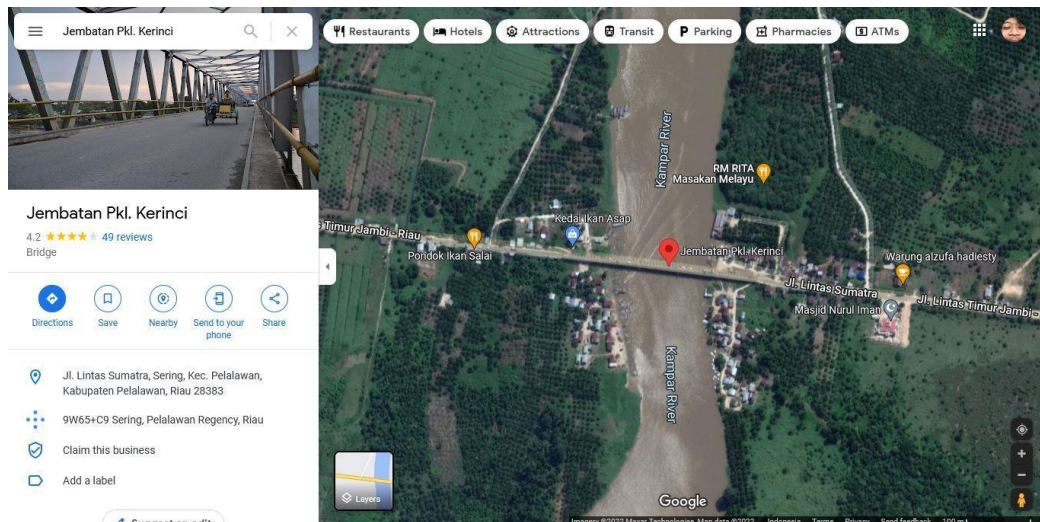
## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih oleh penulis berada di Jembatan Nilo yang berada di Km. 78+700 Pekanbaru, Riau yang bertepatan pada Kab. Pelalawan, Pangkalan Kerinci. Lokasi tersebut dapat dilihat pada peta lokasi kegiatan ruas Jl. Nasional Sp. Lago – Sorek.

Gambar 4.1 Lokasi Proyek Jembatan Nilo



(Sumber: Google Maps, 2022)

#### 4.2 Peralatan Analisis

Penelitian yang dilakukan oleh penulis dengan menggunakan perangkat lunak yang bernama *SAP2000* versi 14. *SAP2000* merupakan sebuah program komputer yang berguna untuk perhitungan kekuatan struktur yang khususnya bagi bangunan-bangunan bertingkat hingga struktur jembatan. Penulis menggunakan program *SAP2000* dikarenakan sangat mudah digunakan dan dipelajari oleh semua *civil engineer*.

Selain menggunakan *SAP2000*, penulis juga menggunakan program aplikasi komputer yang dinamakan *Microsoft Excel* yang bertujuan untuk mengolah data dari hasil analisis yang berasal dari program *SAP2000* agar dapat mendapat kesimpulan penelitian yang menjadi tujuan akhir. Program tersebut merupakan salah satu bagian dari paket instalasi dari program komputer *Microsoft Office 365* yang berguna untuk mengolah data atau angka dengan menggunakan konsep *spreadsheet* yang terdiri dari baris dan kolom dalam pengekseskuan perintah.



### 4.3 Data Struktur Jembatan untuk Analisis

Data struktur Jembatan Nilo memakai struktur rangka baja terpasang yang sudah ditentukan sebagai objek penelitian yang disebut Rangka Baja Australia. Rangka Baja Australia merupakan struktur jembatan dengan bangunan atas jembatan disusun dari beberapa panel segitiga dan dirangkai satu persatu dengan hubungan baut untuk menahan beban rencana jembatan yang sesuai dengan aturan pembebanan yang berlaku. Struktur rangka baja yang terpasang tersebut bertipe A60 terletak pada Jembatan Nilo dengan panjang jembatan 327 m dengan 5 bentang, sedangkan lebarnya 9 m. Pada bagian Jalan Pendekat Jembatan (Oprit Jembatan) terdapat *Spun Pile* 125 m di bagian kiri dan 150 m di bagian kanan.

### 4.4 Tahapan Penelitian

Berbagai tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis dalam memenuhi kebutuhan penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Tahapan pertama merupakan studi literatur. Pada tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan segala hal informasi dengan berbagai literasi dari banyaknya orang yang berkaitan tentang penelitian terutama dilakukan oleh penulis. Pencarian referensi dari berbagai penulis dapat menjadikan acuan penelitian- penelitian yang telah dilakukan terdahulu sehingga dapat menjadi relevan jika penulis sedang melakukan penelitian dan menjadikan pembandingan dari penelitian-penelitian yang lain.

#### 2. Pengumpulan Data

Saat setelah melakukan kesimpulan pada studi literatur, maka tahapan selanjutnya ialah dengan melakukan pengumpulan data. Hal-hal yang dibutuhkan terkait dengan penelitian yang ingin dilakukan akan dikumpulkan oleh penulis agar dapat menunjang perkembangan penelitian dengan baik dan lancar. Data-data yang diperoleh pada saat melakukan penelitian meliputi spesifikasi proyek yang akan diteliti dan diharuskan dapat berhubungan dengan studi literatur yang telah didapat sehingga akan terjadi berkesinambungan dalam penelitian.

### 3. Analisis Pembebanan

Melakukan uji analisis pada penelitian yang dilakukan pada Jembatan Nilo agar sesuai dengan pemenuhan kebutuhan SNI yang terkini, yaitu SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan. Semua analisis pembebanan yang akan digunakan sangat berkaitan dengan data penelitian yang telah dikumpulkan sebelumnya.

### 4. Permodelan Jembatan dan Input Pembebanan

Membuat permodelan Jembatan Nilo dengan mengacu pada data penelitian yang telah dikumpulkan khususnya pada desain jembatan yang telah dirangsang sesuai RSNI T-03-2005, serta memasukkan pembebanan setelah melakukan analisis pembebanan pada tahap sebelumnya. Permodelan jembatan tersebut menggunakan program komputer yang bernama *SAP2000*.

### 5. Analisis Struktur Jembatan dengan *SAP2000*

Melakukan analisis struktur jembatan setelah permodelan jembatan selesai dibuat, tetapi dengan memerhatikan berbagai faktor yang dibutuhkan pada analisis struktur jembatan pada penelitian meliputi spesifikasi jembatan yang digunakan hingga kombinasi pembebanan sesuai SNI 1725:2016.

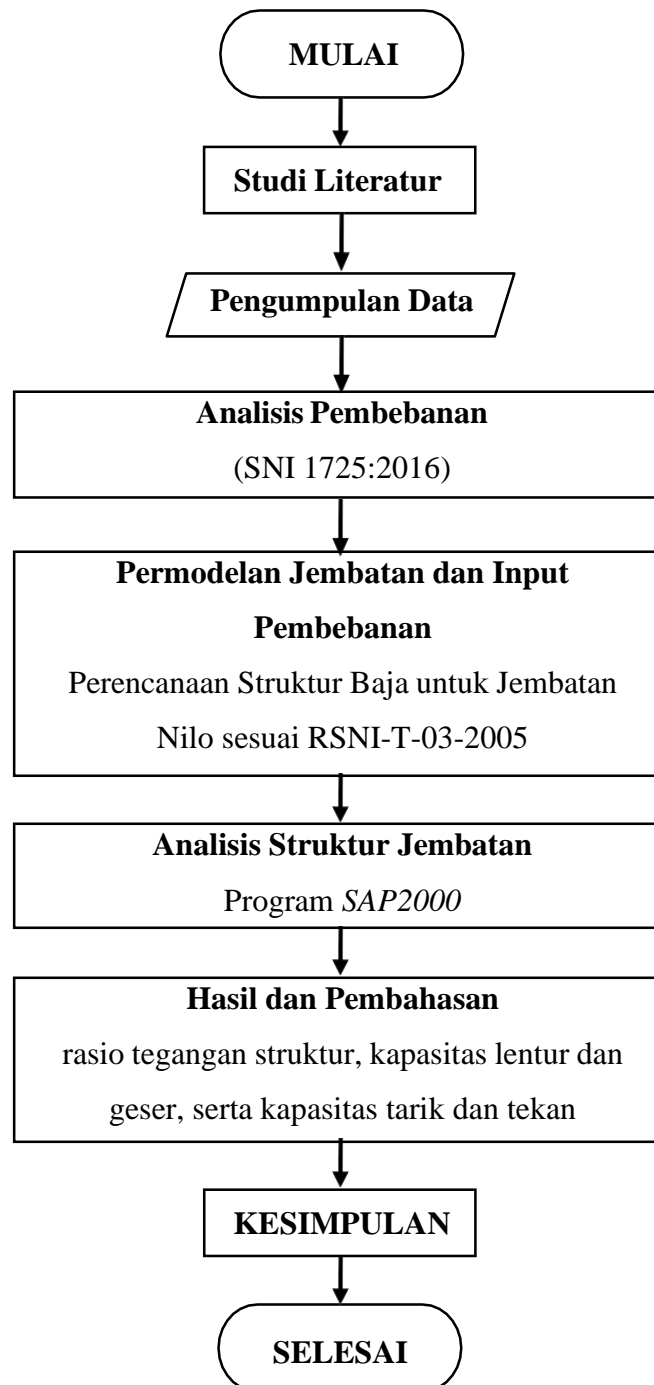
### 6. Hasil dan Pembahasan

Mendapatkan hasil dari analisis struktur Jembatan Nilo yang telah dilakukan menggunakan *software SAP2000* dengan menyesuaikan berbagai tipe perhitungan yang akan didapat, berupa rasio tegangan struktur, kapasitas lentur dan geser, serta kapasitas tarik dan tekan pada Jembatan Nilo yang mengacu SNI 1725:2016.

### 7. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis perhitungan struktur Jembatan Nilo dan dapat mengetahui hasil analisisnya, maka penulis dapat menyimpulkan aman ataupun tidaknya Jembatan Nilo sesuai dengan SNI 1725:2016.

#### 4.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.2 *Flowchat* Penelitian

## BAB V

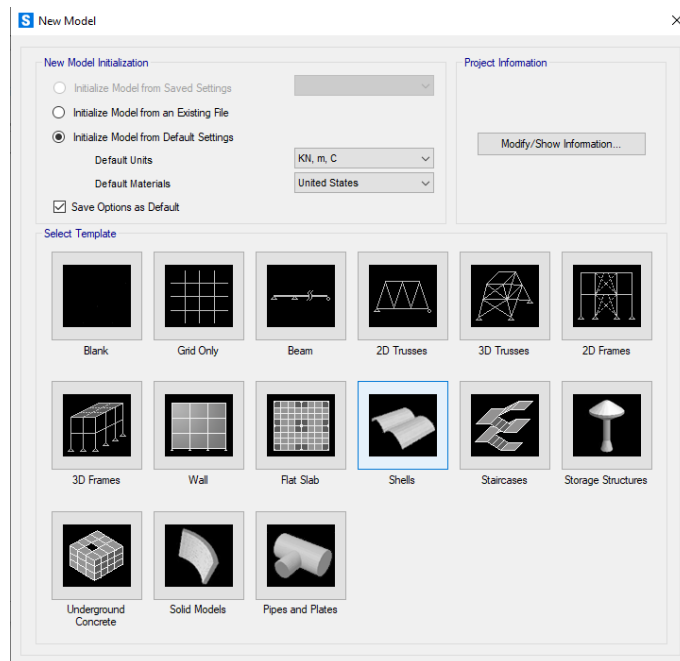
### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Permodelan Struktur Atas Jembatan

Desain struktur atas jembatan Nilo menyesuaikan data perencanaan yang berdasarkan RSNI T-03-2005 yang kemudian akan dilakukan permodelan dengan *SAP2000*. Analisis jembatan Nilo dilakukan ketika permodelan struktur atas jembatan Nilo telah sesuai perencanaan sehingga dapat memasukkan pembebanan jembatan terbaru sesuai kebutuhan penelitian, yaitu SNI 1725:2016 beserta kombinasi-kombinasi pembebanan yang dipakai untuk mengetahui gaya dalam dan rasio tegangan. Gaya dalam tersebut meliputi, gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser yang nantinya akan menjadi faktor perbandingan dengan hasil analisis kapasitas struktur atas jembatan Nilo. Berikut merupakan langkah-langkah dalam permodelan struktur atas jembatan Nilo.

##### 1. Membuat Permodelan Struktur Atas Jembatan

Untuk melakukan pembuatan permodelan struktur atas jembatan, hal yang dilakukan pertama adalah dengan menekan *icon* “*new model*” pada *toolbar* atau dapat juga dengan menekan menu “*file*” dan dilanjut dengan memilih sub menu “*new model*” sehingga akan muncul menu baru dan menyesuaikannya seperti gambar berikut.

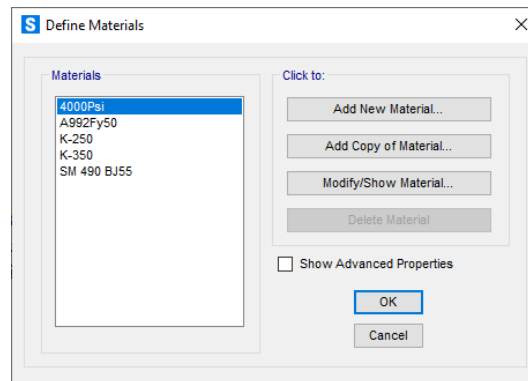


**Gambar 5.1 Menu *New Model* pada *SAP2000***

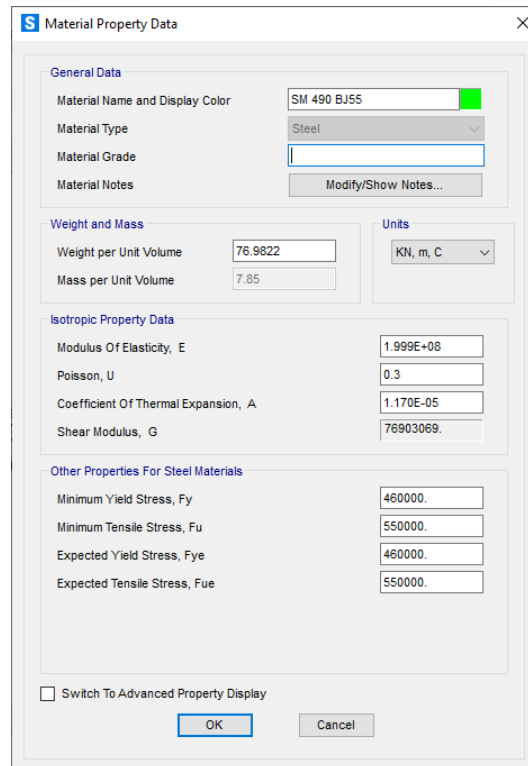
Setelah itu permodelan struktur atas jembatan dapat dilakukan jika telah menentukan perencanaan material beserta kebutuhan yang berkaitan dengan struktur atas jembatan seperti dibawah ini.

a. Perencanaan Material

Untuk melakukan perencanaan material pada *SAP2000* dengan memasuki menu “define” lalu pilih “materials” dan tekan “modify/show material” atau “add new material”. Berikut merupakan *material property data* yang akan digunakan dalam permodelan struktur atas jembatan seperti di bawah ini.



**Gambar 5.2 Menu *Define Materials***



**Gambar 5.3 *Material Property Data* Baja BJ 55 untuk Rangka Jembatan**

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name and Display Color: K-350

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 23.536

Mass per Unit Volume: 2.4

Units: KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 24855578

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0

Shear Modulus, G: 10356491

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 29050

Expected Concrete Compressive Strength: 29050

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

**Gambar 5.4 Material Property Data Beton K-350 untuk Pelat Lantai**

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name and Display Color: K-250

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 23.536

Mass per Unit Volume: 2.4

Units: KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 24855578

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0

Shear Modulus, G: 10356491

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 20750

Expected Concrete Compressive Strength: 20750

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

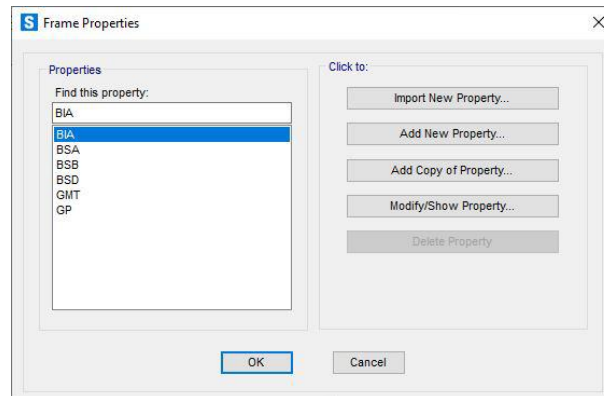
Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

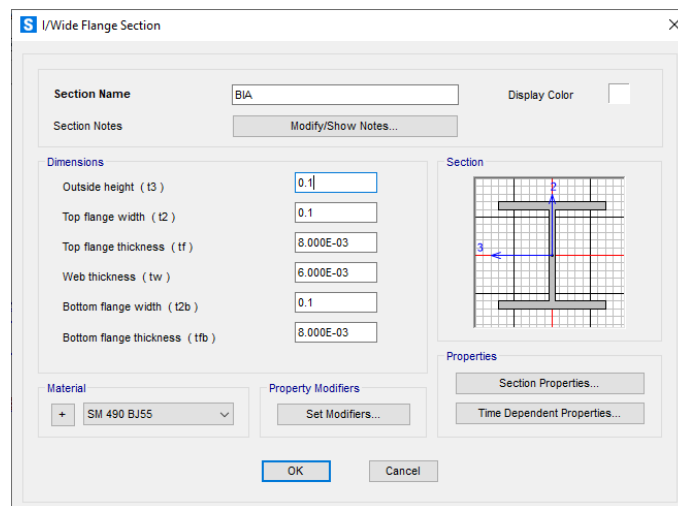
**Gambar 5.5 Material Property Data Beton K-250 untuk Trotoar**

b. Perencanaan *Frame Section*

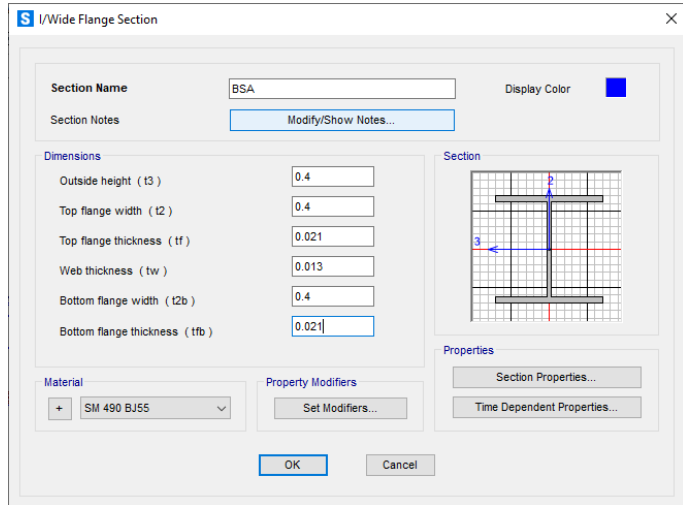
Setelah menentukan perencanaan material, maka langkah selanjutnya yang dilakukan yaitu dengan melakukan perencanaan *frame section*. Langkah-langkah tersebut dengan menuju menu “*define*” lalu pilih “*section properties*” dan tekan “*frame section*”. Berikut merupakan *frame section data* yang akan digunakan dalam permodelan struktur atas jembatan.



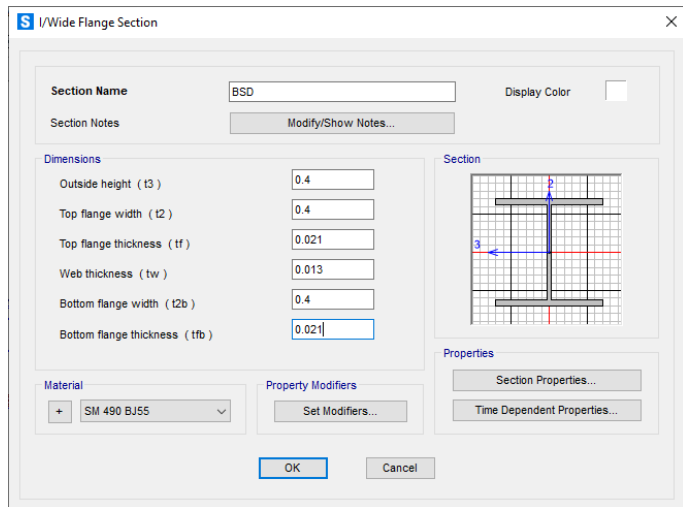
**Gambar 5.6 Menu *Frame Properties***



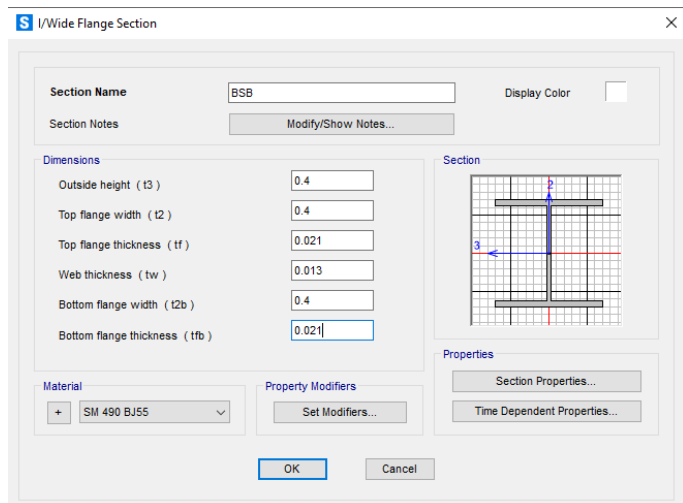
**Gambar 5.7 *Frame Section Data* Batang Ikatan Angin**



**Gambar 5.8 Frame Section Data Rangka Atas (Top Chord)**

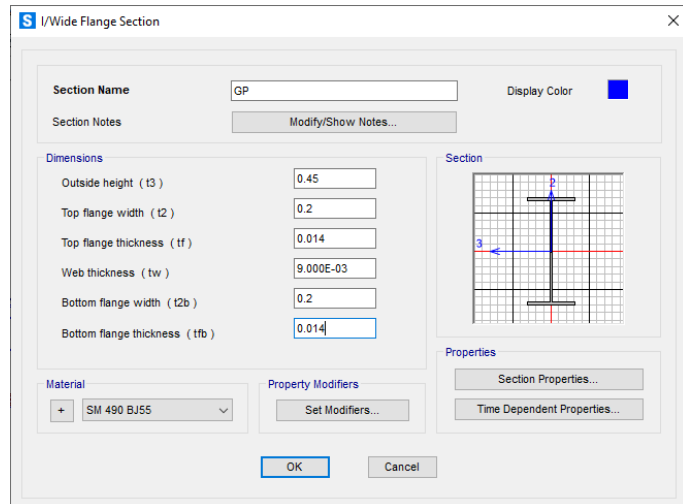


**Gambar 5.9 Frame Section Data Batang Diagonal**

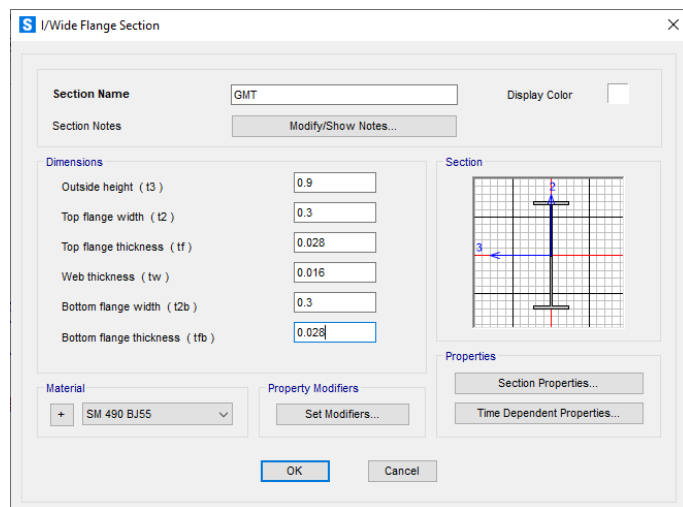


**Gambar 5.10 Frame Section Data Rangka Bawah (Bottom Chord)**





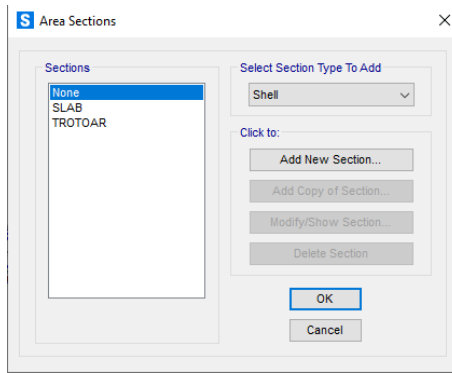
**Gambar 5.11** *Frame Section Data Gelagar Memanjang*



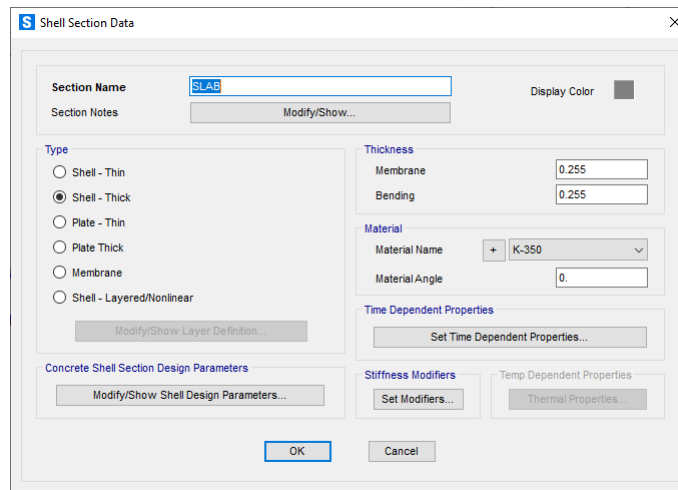
**Gambar 5.12** *Frame Section Data Gelagar Melintang*

c. Perencanaan *Area Section*

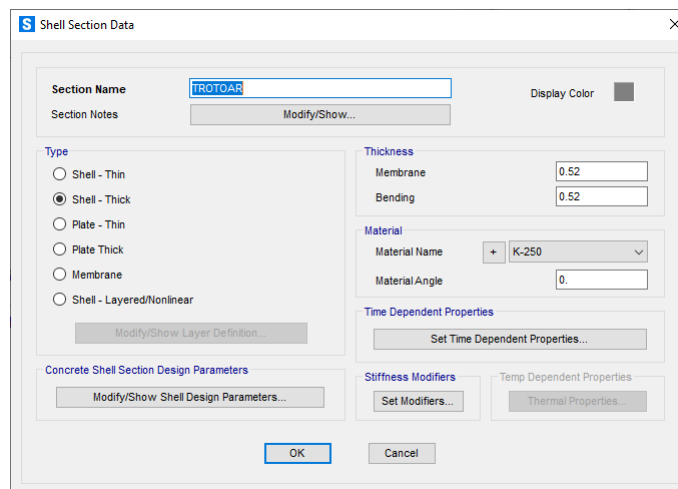
Pada perencanaan *area section* untuk dapat melakukan permodelan pelat jembatan beserta trotoar, maka hal yang dilakukan menuju ke menu “*define*” lalu pilih “*section properties*” dan tekan “*area section*”. Berikut ini merupakan *area section data* yang akan digunakan dalam permodelan struktur atas jembatan.



**Gambar 5.13 Menu Area Section**



**Gambar 5.14 Area Section Data Pelat Lantai**



**Gambar 5.15 Area Section Data Trotoar**

d. Melakukan *Frame Release*

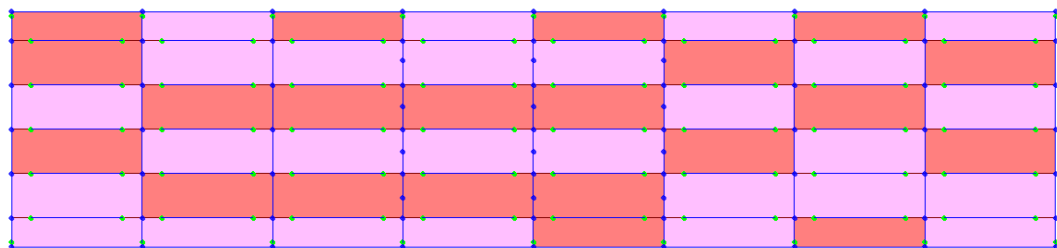
Permodelan dapat dilakukan setelah melakukan perencanaan pada material bahan beserta perencanaan *frame* dan *area section*. Akan tetapi, selanjutnya dilakukan *frame release* pada struktur atas jembatan karena menyangkut kesesuaian antara perilaku suatu struktur dalam permodelan dengan asumsi yang digunakan. *Frame release* merupakan suatu fitur pada *SAP2000* yang dapat menentukan suatu sambungan batang akan berperilaku sebagai sendi (*pinned*) yang tidak menghasilkan reaksi momen pada ujung batang atau akan berperilaku sebagai jepit (*continuous*) yang dapat menghasilkan reaksi momen pada ujung batang ataupun dapat dimodelkan setengah kaku (*rigid*).

Cara melakukan *frame release* dengan cara memilih batang yang akan dilakukan *release moment*, yaitu gelagar melintang dan gelagar memanjang. Pertama-tama dengan memasuki menu “*assign*” dilanjut dengan memilih opsi “*frame*” lalu tekan “*release/partial fixity*” dan *checklist* pada pilihan berikut seperti pada tampilan di bawah ini.

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 22 (Minor)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0 kN-m/rad	0 kN-m/rad
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0 kN-m/rad	0 kN-m/rad

Buttons: Clear All Releases in Form, OK, Close, Apply

**Gambar 5.16** Menu *Assign Frame Releases*



**Gambar 5.17** Contoh Permodelan *Frame Release*

## 5.2 Analisis Kapasitas Tekan dan Tarik

Gaya aksial pada struktur jembatan membuat seluruh elemen pada struktur jembatan mengalami gaya tarik dan gaya tekan. Berbagai gaya aksial yang diketahui pada elemen rangka utama jembatan meliputi rangka atas, rangka bawah, batang diagonal, dan ikatan angin. Rangka utama berfungsi untuk mendukung seluruh beban yang berada pada struktur jembatan rangka baja. Beban yang akan direncanakan adalah beban sendiri, beban mati tambahan, beban lajur “D”, beban angin, beban pejalan kaki, dan beban gaya rem. Berikut ini merupakan perhitungan perencanaan rangka utama jembatan.

### 1. Pembebanan Rangka Utama

#### a. Beban Sendiri ( $MS$ )

##### 1) Berat Sendiri Pelat Beton Dalam

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tinggi pelat beton,  $h = 0,255$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri pelat beton dalam.

$$\begin{aligned} Q_{MS} \text{ pelat dalam} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 0,255 \times 1,7 \\ &= 10,404 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

##### 2) Berat Sendiri Pelat Beton Luar

Jarak antar gelagar,  $r = 1,165$  m

Tinggi pelat beton,  $h = 0,255$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri pelat beton luar.

$$\begin{aligned} Q_{MS} \text{ pelat luar} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 0,255 \times 1,165 \\ &= 7,13 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban Mati Tambahan (*MA*)

## 1) Gelagar Memanjang Luar

## a) Berat Sendiri Tambahan Aspal

Jarak antar gelagar,  $r = 0,95$  m

Tebal aspal,  $h = 0,05$  m

Berat jenis aspal,  $\gamma_a = 22$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri aspal.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ aspal} &= \gamma_a \times h \times r \\ &= 22 \times 0,05 \times 0,95 \\ &= 1,045 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## b) Berat Sendiri Tambahan Hujan

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tebal hujan,  $h = 0,05$  m

Berat jenis air,  $\gamma_w = 10$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri hujan.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ hujan} &= \gamma_w \times h \times r \\ &= 10 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 0,85 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## c) Berat Sendiri Trotoar

Lebar trotoar,  $b = 1$  m

Tebal trotoar,  $h = 0,265$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri trotoar.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ trotoar} &= \gamma_b \times h \times b \\ &= 24 \times 1 \times 0,265 \\ &= 6,36 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

d) Berat Sendiri *Deck Slab*

Lebar *deck slab*,  $b = 1,7$  m

Tebal *deck slab*,  $h = 0,00085$  m

Berat jenis baja,  $\gamma_b = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri *deck slab*.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ deck slab} &= y_b \times h \times b \\ &= 78,5 \times 1,7 \times 0,00085 \\ &= 0,113 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

e) Total Berat Sendiri Tambahan

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ Total} &= Q_{MA} \text{ aspal} + Q_{MA} \text{ hujan} + Q_{MA} \text{ trotoar} + Q_{MA} \text{ deck slab} \\ &= 1,045 + 0,85 + 6,36 + 0,113 \\ &= 8,368 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2) Gelagar Memanjang Dalam

a) Berat Sendiri Tambahan Aspal

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7 \text{ m}$

Tebal aspal,  $h = 0,05 \text{ m}$

Berat jenis aspal,  $\gamma_a = 22 \text{ kN/m}^3$

Perhitungan berat sendiri aspal.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ aspal} &= \gamma_a \times h \times r \\ &= 22 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 1,87 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Berat Sendiri Tambahan Hujan

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7 \text{ m}$

Tebal hujan,  $h = 0,05 \text{ m}$

Berat jenis air,  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

Perhitungan berat sendiri hujan.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ hujan} &= \gamma_w \times h \times r \\ &= 10 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 0,85 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c) Berat Sendiri *Deck Slab*

Lebar *deck slab*,  $b = 1,7 \text{ m}$

Tebal *deck slab*,  $h = 0,00085 \text{ m}$

Berat jenis baja,  $\gamma_b = 78,5 \text{ kN/m}^3$

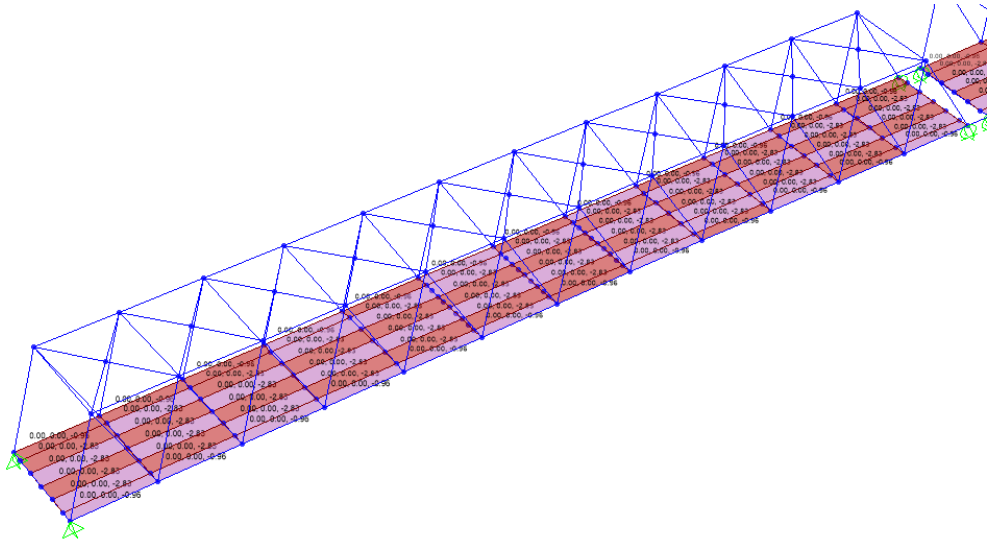
Perhitungan berat sendiri *deck slab*.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ deck slab} &= y_b \times h \times b \\ &= 78,5 \times 1,7 \times 0,00085 \\ &= 0,113 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## d) Total Berat Sendiri Tambahan

$$\begin{aligned}
 Q_{MA} \text{ Total} &= Q_{MA} \text{ aspal} + Q_{MA} \text{ hujan} + Q_{MA} \text{ deck slab} \\
 &= 1,87 + 0,85 + 0,113 \\
 &= 2,833 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Pembebanan beban mati tambahan (*MA*) pada rangka utama dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.18 Beban Mati Tambahan (*MA*) pada Rangka Utama**

c. Beban Lajur “D” (*TD*)1) Beban Terbagi Rata (*BTR*)

Jarak antar gelagar,  $r$

Gelagar dalam = 1,7 m

Gelagar luar = 0,95 m

Bentang jembatan,  $L$  = 60 m

Beban bina margas,  $FBM$  = 100%

$$\begin{aligned}
 q &= 9,0 \times (0,5 + 15/L) \\
 &= 9,0 \times (0,5 + 15/60) \\
 &= 6,75 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan beban terbagi rata (*BTR*) dalam.

$$\begin{aligned}
 Q_{BTR} &= q \times r \\
 &= 6,75 \times 1,7 \\
 &= 11,475 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

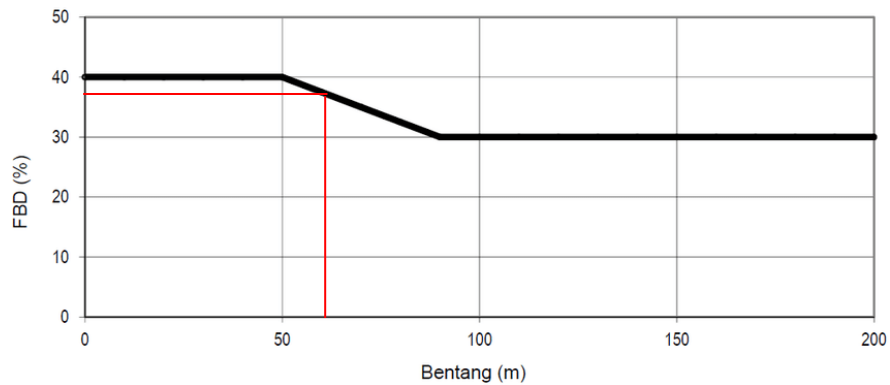
Perhitungan beban terbagi rata (*BTR*) luar.

$$\begin{aligned} Q_{BTR} &= q \times r \\ &= 6,75 \times 0,95 \\ &= 6,413 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2) Beban Garis Tegak (*BGT*)

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar gelagar, } r &= 1,7 \text{ m} \\ \text{Intensitas BGT, } p &= 49 \text{ kN/m} \\ \text{beban dinamis, } FBD &= 37,5\% \\ \text{Beban bina marga, } FBM &= 100\% \end{aligned}$$

Berikut merupakan grafik Faktor Beban Dinamis dapat dilihat di bawah ini.



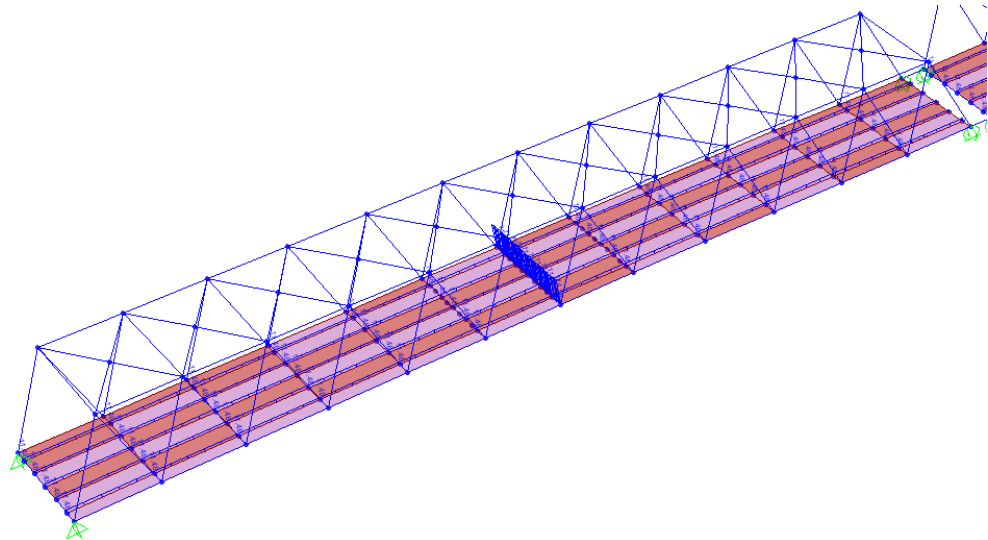
**Gambar 5.19 Faktor Beban Dinamis (*FBD*)**

Perhitungan beban garis tegak (*BGT*).

$$\begin{aligned} Q_{BGT} &= (1 + FBD) \times p \\ &= (1 + 0,375) \times 49 \\ &= 57,375 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

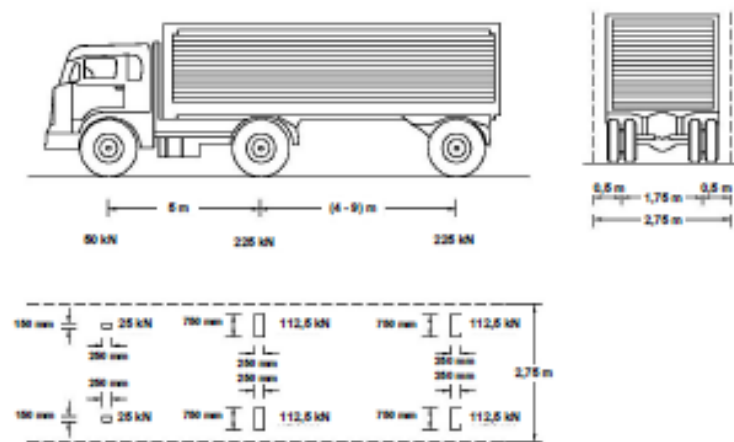
Pembebanan beban lajur “D” (*TD*) dapat dilihat pada gambar 5.17 berikut.





**Gambar 5.20** Beban Lajur “D” (TD) pada Rangka Utama

d. Beban Truk “T” (TT)



**Gambar 5.21** Pembebanan Truk “T”

Total berat gandar, T = 500 kN

Beban dinamis,  $FBD$  = 37,5%

Beban gandar depan,  $TR_1$  = 50 kN

Beban gandar tengah,  $TR_2$  = 225 kN

Beban gandar belakang,  $TR_3$  = 225 kN

Beban 1 roda depan = 25 kN

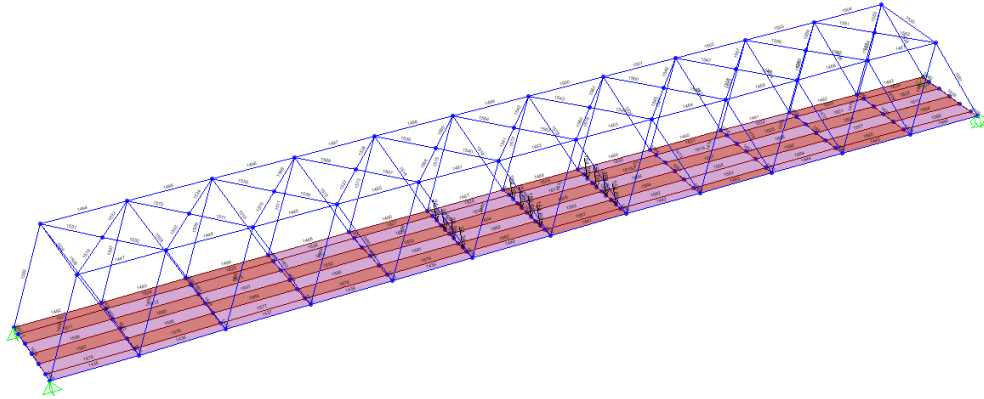
Beban 1 roda tengah = 112,5 kN

Beban 1 roda belakang = 112,5 kN

Diambil beban terbesar yaitu roda tengah dan roda belakang.

$P$  = 112,5 kN

$$\begin{aligned}
 P_{TT} &= P \times FBD \\
 &= 112,5 \times 1,375 \\
 &= 154,688 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



**Gambar 5.22 Beban Truk “T” (TT) pada Rangka Utama**

e. Beban Pejalan Kaki (TP)

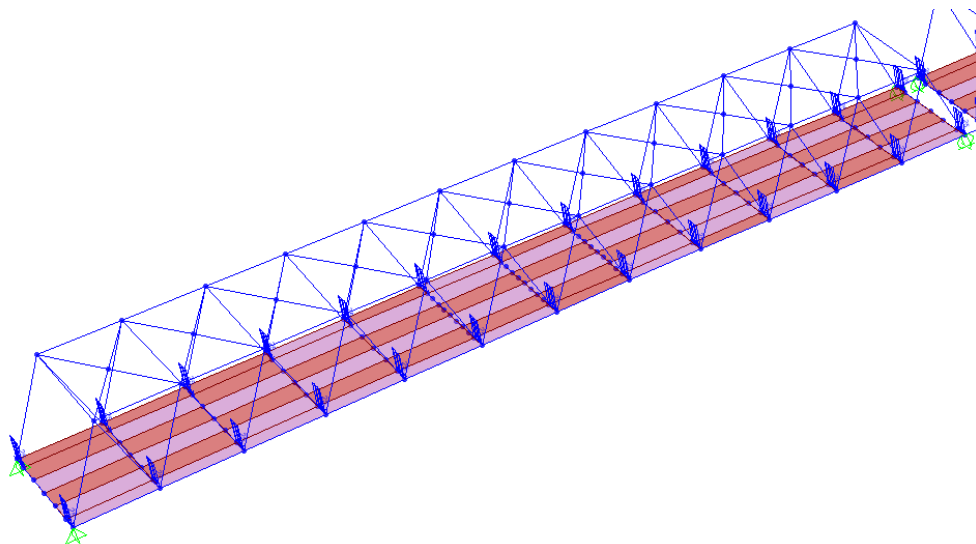
Intensitas beban pejalan kaki ( $A_{TP}$ ) = 5 kN/m<sup>2</sup>

Panjang satu segmen jembatan ( $L$ ) = 5 m

Beban pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 Q_{TP} &= A_{TP} \times L \\
 &= 5 \times 5 \\
 &= 25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan gambar pembebanan beban pejalan kaki (TP).



**Gambar 5.23 Beban Pejalan Kaki (TP) pada Rangka Utama**

f. Gaya Rem ( $TB$ )

Beban terbagi rata,  $BTR = 11,475 \text{ kN/m}$

Berat gandar truk,  $T = 500 \text{ kN}$

Lebar lalu lintas,  $S = 7 \text{ m}$

Berat truk rencana,  $PTT = 1000 \text{ kN}$

Jumlah *joint*,  $n = 65 \text{ joint}$

1) Perhitungan 1 ( $TB1$ )

$$\begin{aligned} TB1 &= 25\% \times T \\ &= 25\% \times 500 \\ &= 125 \text{ kN} \end{aligned}$$

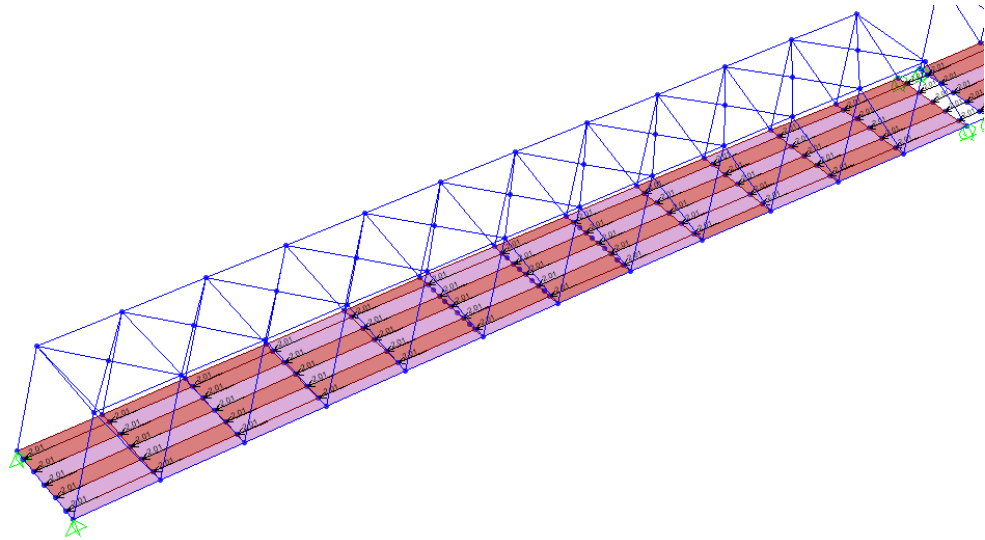
2) Perhitungan 2 ( $TB2$ )

$$\begin{aligned} TB2 &= (5\% \times PTT) + (Q_{BTR} \times S) \\ &= (5\% \times 1000) + (11,475 \times 7) \\ &= 130,325 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1725:2016, hasil perhitungan gaya rem diambil nilai terbesar antara perhitungan  $TB1$  dan  $TB2$ . Dari hasil perhitungan tersebut nilai terbesar dari perhitungan gaya rem ( $TB$ ) adalah 130,325 kN yang didapat berdasarkan perhitungan 5% dari berat truk rencana.

Agar dapat mempermudah analisis gaya rem, maka beban gaya rem akan dibagi berdasarkan *joint* yang berada di permodelan jembatan. Berikut adalah perhitungan gaya rem tiap *joint* beserta gambar pembebanannya.

$$\begin{aligned} PTB &= \frac{TB}{n} \\ &= \frac{130,325}{65} \\ &= 2,005 \text{ kN} \end{aligned}$$



**Gambar 5.24 Beban Gaya Rem (TB) pada Rangka Utama**

g. Beban Angin Struktur ( $EW_S$ )

Pembebanan angin untuk jembatan mengacu pada SNI 1725:2016, tekanan angin diasumsikan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Berikut adalah perhitungan pembebanan angin horizontal ( $EW_S$ ).

Kecepatan angin pada elevasi 10 m,  $V_{10}$  = 126 km/jam

Kecepatan angin rencana pada elevasi 10 m,  $V_B$  = 126 km/jam

Elevasi struktur dari permukaan tanah,  $Z$  = 26,703 m

Kecepatan gesekan angin pada hulu jembatan,  $V_0$  = 13,2 km/jam

Panjang gesekan angin pada hulu jembatan,  $Z_0$  = 0,07 m

Tekanan angin dasar angin tekan,  $P_{BT}$  = 0,0024 MPa

Tekanan angin dasar angin hisap,  $P_{BH}$  = 0,0012 MPa

Panjang bentang atas,  $l_a$  = 55 m

Panjang bentang bawah,  $l_b$  = 60 m

Tinggi jembatan,  $h$  = 6,3 m

Jumlah *joint*,  $n$  = 25 *joint*

Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana ( $V_{DZ}$ )

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 \times V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \times \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \\ &= 2,5 \times 13,2 \left( \frac{126}{126} \right) \times \ln \left( \frac{26,703}{0,07} \right) \\ &= 196,1532 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Tekanan angin rencana pada bidang hisap ( $P_{DT}$ )

$$\begin{aligned} P_{DT} &= P_{BT} \times \left(\frac{VDZ}{VB}\right)^2 \\ &= 0,0024 \times \left(\frac{196,1532}{126}\right)^2 \\ &= 0,00582 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tekanan angin rencana pada bidang tekan

$$\begin{aligned} P_{DH} &= P_{BH} \times \left(\frac{VDZ}{VB}\right)^2 \\ &= 0,0012 \times \left(\frac{196,1532}{126}\right)^2 \\ &= 0,00291 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Luas area beban angin

$$\begin{aligned} Ab &= 30\% \times \left(\frac{la+lb}{2}\right) \times h \\ &= 30\% \times \left(\frac{55+60}{2}\right) \times 6,3 \\ &= 160,65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Gaya angin horizontal pada bidang tekan

$$\begin{aligned} P_{EWT} &= \frac{Ab \times P_{DT}}{lb} \\ &= \frac{160,65 \times 0,00582}{60} \\ &= 0,01558 \text{ N/mm} \\ &= 0,00001558 \text{ kN/mm} < 4,4 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

Syarat gaya angin horizontal pada bidang tekan tidak dapat kurang dari 4,4 kN/mm.

$$\begin{aligned} P_{\text{tekan}} &= \frac{P_{EWT} \times lb}{n} \\ &= \frac{4,4 \times 60}{25} \\ &= 10,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

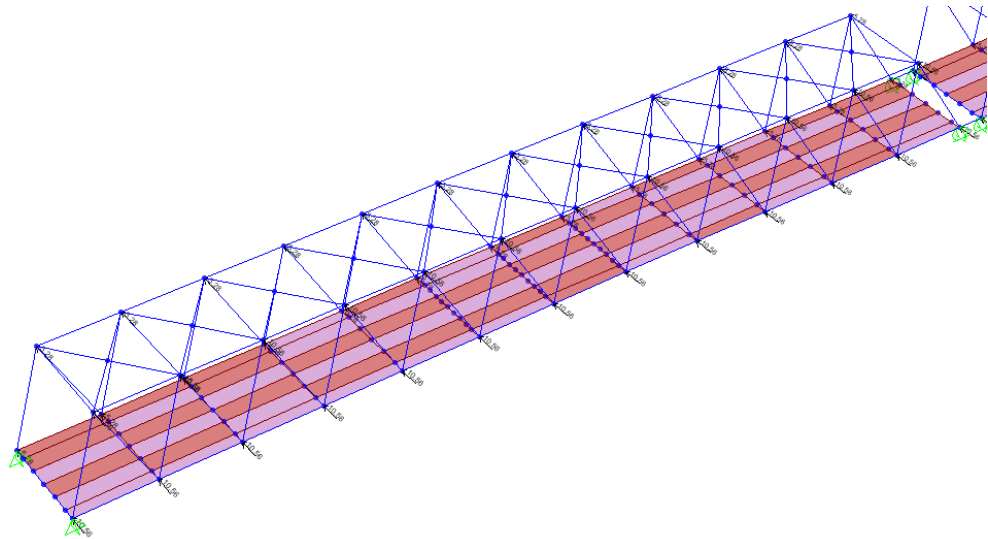
Gaya angin horizontal pada bidang hisap

$$\begin{aligned} P_{EWH} &= \frac{Ab \times P_{DH}}{lb} \\ &= \frac{160,65 \times 0,00291}{60} \\ &= 0,00779 \text{ N/mm} \\ &= 0,00000779 \text{ kN/mm} < 2,2 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

Syarat gaya angin horizontal pada bidang hisap tidak dapat kurang dari 2,2 kN/mm.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{hisap}} &= \frac{PEWH \times lb}{n} \\
 &= \frac{2,2 \times 60}{25} \\
 &= 5,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

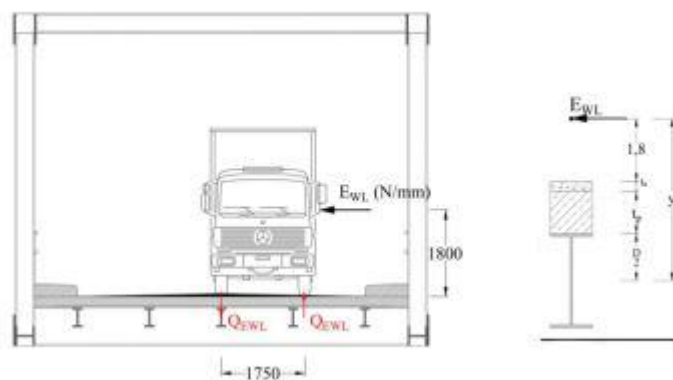
Berikut merupakan gambar pembebanan beban angin struktur ( $EW_S$ ) pada struktur jembatan rangka utama.



**Gambar 5.25 Beban Angin Struktur ( $EW_S$ ) pada Rangka Utama**

h. Beban Angin Kendaraan ( $EW_L$ )

Menurut SNI 1725:2016, struktur jembatan harus direncanakan untuk dapat menahan gaya yang berasal dari tekanan angin kendaraan. Tekanan angin tersebut diasumsikan sebagai beban menerus yang bernilai 1,46 N/mm, terletak tegak lurus pada struktur dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan yang mempunyai jarak 1,75 m antar roda kendaraan seperti pada Gambar 5.21.



**Gambar 5.26 Beban Angin Kendaraan ( $EW_L$ )**

$EW_L$  dikonversikan menjadi momen agar beban angin kendaraan tersebut dapat bekerja pada titik tengah gelagar memanjang dengan jarak lengan  $y$ .

$$\begin{aligned} y &= 1,8 + t_a + t_p + D/2 \\ &= 1800 + 50 + 255 + 450/2 \\ &= 2330 \text{ mm} \end{aligned}$$

Akan tetapi, pada struktur rangka utama tidak ada momen yang bekerja maka dari itu efek momen tersebut dikonversikan menjadi beban merata ( $Q_{EWL}$ ).

$$\sum M = 0$$

$$EW_{Lxy} = 2 Q_{EWL} \times \frac{1750}{2}$$

$$\begin{aligned} Q_{EWL} &= \frac{EW_{Lxy}}{1750} \\ &= \frac{1,46 \times 2330}{1750} \\ &= 1,944 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

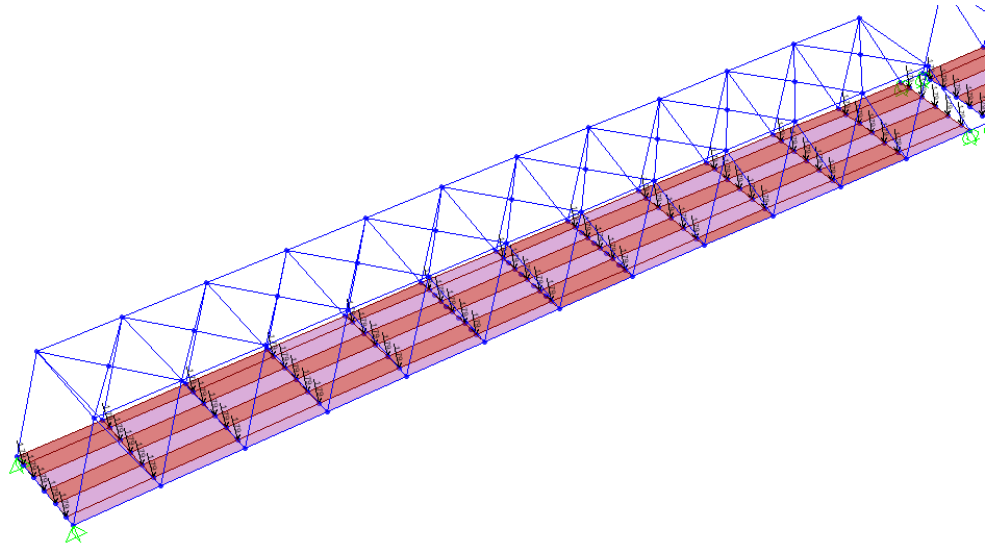
Perhitungan nilai beban angin kendaraan pada tiap *joint* gelagar memanjang.

Panjang jembatan,  $L = 60 \text{ m}$

Jumlah *joint*,  $n = 65$  buah

$$\begin{aligned} P_{EWL} &= \frac{Q_{EWL} \times L}{n} \\ &= \frac{1,944 \times 60 \times 1000}{65} \\ &= 1794,462 \text{ N} \\ &= 1,794 \text{ kN} \end{aligned}$$

Di bawah ini merupakan gambar pembebanan beban angin kendaraan ( $EW_L$ ) seperti berikut.



**Gambar 5.27 Beban Angin Kendaraan ( $EW_L$ ) pada Rangka Utama**

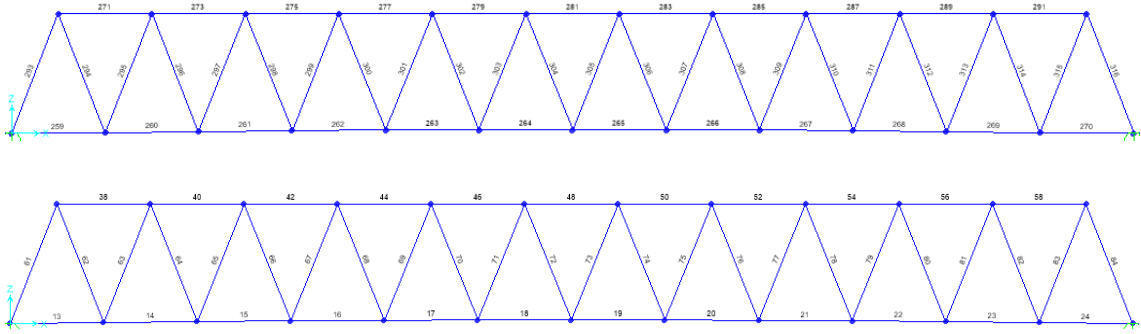
## 2. Analisis Struktur Rangka Utama

Berdasarkan perhitungan pembebanan yang berada di atas maka setelah itu akan dilakukan analisis menggunakan *SAP2000* agar mendapatkan gaya-gaya aksial pada masing-masing elemen struktur jembatan. Proses analisis tersebut menggunakan beberapa kombinasi beban yang telah ditetapkan berdasarkan SNI 1725:2016 seperti berikut ini.

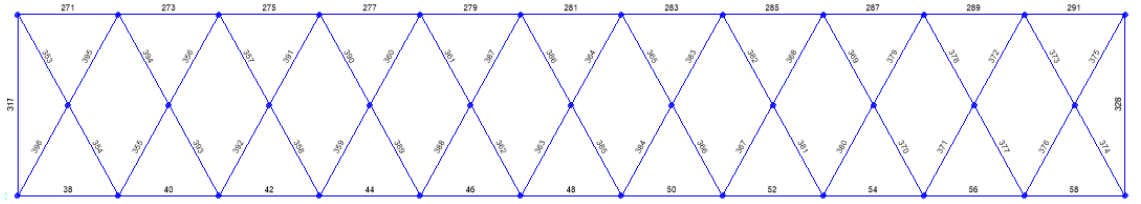
- a. Kuat I  $= 1,3 MS + 1,4 MA + 1,8 TT + 1,8 TD + 1,8 TB + 1,8 TP$
- b. Kuat II  $= 1,3 MS + 1,4 MA + 1,4 TT + 1,4 TD + 1,4 TB + 1,4 TP$
- c. Kuat III  $= 1,3 MS + 1,4 MA + 1,4 EW_s$
- d. Kuat IV  $= 1,3 MS + 1,4 MA$
- e. Kuat V  $= 1,3 MS + 1,4 MA + 0,4 EW_s + EW_L$
- f. Ekstrem I  $= 1,3 MS + 1,4 MA + EQ$
- g. Ekstrem II  $= 1,3 MS + 1,4 MA + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 0,5 TP$
- h. Daya Tahan I  $= MS + MA + TT + TD + TB + TP + 0,3 EW_s + EW_L$
- i. Daya Tahan II  $= MS + MA + 1,3 TT + 1,3 TD + 1,3 TB + 1,3 TP$
- j. Daya Tahan III  $= MS + MA + 0,8 TT + 0,8 TD + 0,8 TB + 0,8 TP$
- k. Daya Tahan IV  $= MS + MA + 0,7 EW_s$
- l. Fatik  $= 0,75 TT + 0,75 TD + 0,75 TB + 0,75 TP$

Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil dari analisis struktur jembatan menggunakan *SAP2000* beserta penomoran masing-masing batang rangka jembatan.





**Gambar 5.28 Penomoran Batang Rangka Atas, Rangka Bawah dan Diagonal**



**Gambar 5.29 Penomoran Batang Ikatan Angin**

**Tabel 5.1 Rekapitulasi Gaya Aksial Rangka Atas (*Top Chord*)**

Frame	Gaya Aksial (kN)								
	MS	MA	TB	TD	TT	TP	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	Kuat I
38	-485,4499	-111,103	-0,371	-383,4443	-106,078	-57,2097	3,761	-9,3415	-1771,415
40	-835,7805	-191,972	-0,527	-681,5898	-206,882	-98,8127	2,8858	-16,127	-3133,337
42	-1088,325	-250,371	-0,66	-921,3687	-310,059	-128,853	0,5881	-21,025	-4215,035
44	-1268,539	-291,956	-0,745	-1124,432	-423,708	-150,241	-1,599	-24,514	-5116,264
46	-1377,722	-317,099	-0,783	-1293,911	-550,182	-163,164	-3,418	-26,622	-5849,45
48	-1413,442	-325,313	-0,778	-1428,862	-658,46	-167,386	-4,71	-27,311	-6352,787
50	-1377,699	-317,093	-0,731	-1293,893	-639,555	-163,161	-5,422	-26,622	-6010,151
52	-1268,492	-291,945	-0,647	-1124,394	-492,906	-150,235	-5,494	-24,512	-5240,492
54	-1088,251	-250,354	-0,532	-921,3096	-360,649	-128,844	-4,88	-21,025	-4305,625
56	-835,6807	-191,949	-0,387	-681,5108	-240,54	-98,8004	-3,323	-16,125	-3193,344
58	-485,3493	-111,08	-0,213	-383,3644	-123,145	-57,1982	-1,31	-9,34	-1801,522
271	-485,4499	-111,103	-0,371	-383,4443	-106,078	-57,2097	-3,062	-9,3415	-1771,415
273	-835,7805	-191,972	-0,527	-681,5898	-206,882	-98,8127	-1,922	-16,127	-3133,337
275	-1088,325	-250,371	-0,66	-921,3687	-310,059	-128,853	0,2288	-21,025	-4215,035
277	-1268,539	-291,956	-0,745	-1124,432	-423,708	-150,241	2,3999	-24,514	-5116,264
279	-1377,722	-317,099	-0,783	-1293,911	-550,182	-163,164	4,1894	-26,622	-5849,45
281	-1413,442	-325,313	-0,778	-1428,862	-658,46	-167,386	5,4761	-27,311	-6352,787
283	-1377,699	-317,093	-0,731	-1293,893	-639,555	-163,161	6,1947	-26,622	-6010,151
285	-1268,492	-291,945	-0,647	-1124,394	-492,906	-150,235	6,2968	-24,512	-5240,492
287	-1088,251	-250,354	-0,532	-921,3096	-360,649	-128,844	5,7002	-21,025	-4305,625
289	-835,6807	-191,949	-0,387	-681,5108	-240,54	-98,8004	4,29	-16,125	-3193,344
291	-485,3493	-111,08	-0,213	-383,3644	-123,145	-57,1982	2,0129	-9,34	-1801,522

**Tabel 5.2 Rekapitulasi Gaya Aksial Rangka Bawah (*Bottom Chord*)**

Frame	Gaya Aksial (kN)								
	MS	MA	TB	TD	TT	TP	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	Kuat I
13	43,57	9,68	-13,247	32,982	8,728	4,979	51,1	0,812	130,387
14	109,842	25,027	-6,421	86,766	24,375	12,871	18,663	2,103	389,495
15	154,447	35,409	-5,814	127,014	39,774	18,193	7,711	2,974	572,854
16	187,78	43,105	-5,275	161,009	56,395	22,153	-0,293	3,619	726,17
17	210,537	48,338	-4,685	189,904	75,849	24,848	-4,683	4,058	856,02
18	221,903	50,949	-4,079	220,554	98,116	26,191	-6,864	4,277	973,207
19	221,903	50,949	-3,482	220,553	108,271	26,191	-7,873	4,277	992,562
20	210,522	48,335	-2,892	189,893	91,293	24,846	-8,159	4,058	886,998
21	187,72	43,092	-2,308	160,961	65,476	22,146	-8,07	3,618	747,659
22	154,383	35,394	-1,73	126,963	46,199	18,186	-7,279	2,972	591,562
23	112,961	25,734	-1,134	89,23	29,163	13,235	-5,699	2,163	417,766
24	48,56	10,81	-0,473	36,924	11,398	5,562	-2,365	0,907	174,403
259	43,57	9,68	-13,247	32,982	8,728	4,979	-51,111	0,812	130,387
260	109,842	25,027	-6,421	86,766	24,375	12,871	-18,602	2,103	389,495
261	154,447	35,409	-5,814	127,014	39,774	18,193	-7,569	2,974	572,854
262	187,78	43,105	-5,275	161,009	56,395	22,153	0,442	3,619	726,17
263	210,537	48,338	-4,685	189,904	75,849	24,848	4,836	4,058	856,02
264	221,903	50,949	-4,079	220,554	98,116	26,191	7,019	4,277	973,207
265	221,903	50,949	-3,482	220,553	108,271	26,191	8,028	4,277	992,562
266	210,522	48,335	-2,892	189,893	91,293	24,846	8,311	4,058	886,998
267	187,72	43,092	-2,308	160,961	65,476	22,146	8,217	3,618	747,659
268	154,383	35,394	-1,73	126,963	46,199	18,186	7,419	2,972	591,562
269	112,961	25,734	-1,134	89,23	29,163	13,235	5,878	2,163	417,766
270	48,56	10,81	-0,473	36,924	11,398	5,562	2,541	0,907	174,403

Tabel 5.3 Rekapitulasi Gaya Aksial Batang Diagonal

Frame	Gaya Aksial (kN)								
	MS	MA	TB	TD	TT	TP	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	Kuat I
61	-911,048	-203,417	-0,617	-703,841	-196,632	-104,743	7,513	-17,103	-3259,9
62	834,502	192,588	0,705	662,778	181,35	99,171	-7,477	16,194	3053,685
63	-635,664	-141,892	-0,285	-523,893	-177,819	-72,994	1,767	-11,905	-2419,995
64	606,923	142,408	0,257	524,587	176,962	73,261	-1,747	11,949	2383,491
65	-454,606	-101,218	-0,245	-416,686	-180,21	-52,066	-0,284	-8,49	-1901,267
66	440,555	103,85	0,221	425,051	181,831	53,421	0,275	8,711	1907,054
67	-325,522	-71,178	-0,158	-349,9	-197,345	-36,608	-1,072	-5,97	-1574,048
68	311,459	73,895	0,138	358,789	199,338	38,006	1,061	6,198	1581,636
69	-200,914	-42,219	-0,076	-289,38	-218,188	-21,698	-1,19	-3,541	-1273,109
70	185,958	44,976	0,059	298,748	221,434	23,116	1,181	3,772	1282,754
71	-74,518	-13,017	0,00091	-227,824	-184,909	-6,692	-0,962	-1,092	-870,061
72	58,955	15,789	-0,016	243,775	192,279	8,118	0,955	1,324	898,227
73	58,996	15,798	0,076	243,808	38,264	8,122	-0,606	1,325	621,299
74	-74,559	-13,026	-0,088	-227,856	-27,854	-6,697	0,601	-1,092	-587,654
75	186	44,986	0,14	298,781	258,487	23,121	-0,225	3,773	1349,734
76	-200,956	-42,228	-0,15	-289,413	-251,964	-21,702	0,221	-3,541	-1334,176
77	311,504	73,905	0,198	358,824	231,9	38,012	0,092	6,199	1640,504
78	-325,568	-71,188	-0,205	-349,936	-229,552	-36,613	-0,095	-5,971	-1632,253
79	440,606	103,861	0,252	425,091	211,696	53,426	0,404	8,712	1961,03
80	-446,357	-101,23	-0,256	-416,727	-209,808	-52,072	-0,406	-8,491	-1954,731
81	606,921	142,407	0,304	524,585	206,082	73,261	0,861	11,949	2435,985
82	-635,649	-141,888	-0,31	-523,881	-207,078	-72,992	-0,874	-11,905	-2472,657
83	834,325	192,548	0,406	662,638	211,167	99,151	1,537	16,19	3106,241
84	-910,878	-203,378	-0,35	-703,706	-227,625	-104,724	-1,519	-17,1	-3334,399

Tabel 5.3 Lanjutan Rekapitulasi Gaya Aksial Batang Diagonal

Frame	Gaya Aksial (kN)								
	MS	MA	TB	TD	TT	TP	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	Kuat I
293	-911,05	-203,42	-0,617	-703,84	-196,63	-104,74	-7,69	-17,103	-3259,9
294	834,502	192,588	0,705	662,778	181,35	99,171	7,671	16,194	3053,69
295	-635,66	-141,89	-0,285	-523,89	-177,82	-72,994	-1,921	-11,905	-2420
296	606,923	142,408	0,257	524,587	176,962	73,261	1,896	11,949	2383,49
297	-454,61	-101,22	-0,245	-416,69	-180,21	-52,066	0,18	-8,49	-1901,3
298	440,555	103,85	0,221	425,051	181,831	53,421	-0,173	8,711	1907,05
299	-325,52	-71,178	-0,158	-349,9	-197,35	-36,608	1,001	-5,97	-1574
300	311,459	73,895	0,138	358,789	199,338	38,006	-0,993	6,198	1581,64
301	-200,91	-42,219	-0,076	-289,38	-218,19	-21,698	1,15	-3,541	-1273,1
302	185,958	44,976	0,059	298,748	221,434	23,116	-1,144	3,772	1282,75
303	-74,518	-13,017	0,00091	-227,82	-184,91	-6,692	0,948	-1,092	-870,06
304	58,955	15,789	-0,016	243,775	192,279	8,118	-0,944	1,324	898,227
305	58,996	15,798	0,076	243,808	38,264	8,122	0,619	1,325	621,299
306	-74,559	-13,026	-0,088	-227,86	-27,854	-6,697	-0,616	-1,092	-587,65
307	186	44,986	0,14	298,781	258,487	23,121	0,264	3,773	1349,73
308	-200,96	-42,228	-0,15	-289,41	-251,96	-21,702	-0,263	-3,541	-1334,2
309	311,504	73,905	0,198	358,824	231,9	38,012	-0,022	6,199	1640,5
310	-325,57	-71,188	-0,205	-349,94	-229,55	-36,613	0,022	-5,971	-1632,3
311	440,606	103,861	0,252	425,091	211,696	53,426	-0,301	8,712	1961,03
312	-446,36	-101,23	-0,256	-416,73	-209,81	-52,072	0,299	-8,491	-1954,7
313	606,921	142,407	0,304	524,585	206,082	73,261	-0,712	11,949	2435,99
314	-635,65	-141,89	-0,31	-523,88	-207,08	-72,992	0,72	-11,905	-2472,7
315	834,325	192,548	0,406	662,638	211,167	99,151	-1,35	16,19	3106,24
316	-910,88	-203,38	-0,35	-703,71	-227,63	-104,72	1,348	-17,1	-3334,4

Tabel 5.4 Rekapitulasi Gaya Aksial Ikatan Angin

Frame	Gaya Aksial (kN)								
	MS	MA	TB	TD	TT	TP	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	Kuat I
317	6,101	1,394	0,00245	4,761	1,27	0,718	-1,815	0,117	22,036
328	5,95	1,36	0,00276	4,642	1,435	0,7	-1,817	0,114	21,842
353	-3,935	-0,897	-0,0044	-3,012	-0,756	-0,462	-3,411	-0,075	-13,993
354	-3,872	-0,882	-0,00435	-2,962	-0,742	-0,455	-3,415	-0,074	-13,76
355	-0,697	-0,162	0,00215	-0,552	-0,141	-0,083	1,63	-0,014	-2,526
356	-0,675	-0,157	0,00217	-0,532	-0,133	-0,08	1,631	-0,013	-2,434
357	-2,082	-0,479	0,00259	-1,668	-0,497	-0,247	-3,896	-0,04	-7,712
358	-2,063	-0,475	0,0026	-1,648	-0,487	-0,244	-3,896	-0,04	-7,625
359	-2,074	-0,478	0,00187	-1,867	-0,645	-0,246	0,356	-0,04	-8,325
360	-2,073	-0,477	0,00187	-1,862	-0,638	-0,246	0,357	-0,04	-8,302
361	-1,214	-0,279	0,00212	-0,816	-0,416	-0,144	-2,698	-0,023	-4,442
362	-1,213	-0,279	0,00212	-0,806	-0,407	-0,144	-2,698	-0,023	-4,408
363	-2,15	-0,495	0,00122	-3,037	-1,269	-0,255	-0,693	-0,042	-11,695
364	-2,15	-0,495	0,00122	-3,037	-1,264	-0,255	-0,693	-0,042	-11,687
365	-1,213	-0,279	0,00141	-0,806	-0,909	-0,144	-1,687	-0,023	-5,312
366	-1,214	-0,279	0,00141	-0,816	-0,914	-0,144	-1,687	-0,023	-5,34
367	-2,073	-0,477	0,00061	-1,862	-0,629	-0,246	-1,822	-0,04	-8,287
368	-2,073	-0,477	0,00061	-1,867	-0,638	-0,246	-1,822	-0,04	-8,313
369	-2,064	-0,475	0,00026	-1,649	-0,596	-0,244	-0,27	-0,04	-7,828
370	-2,082	-0,479	0,00025	-1,669	-0,607	-0,247	-0,27	-0,04	-7,917
371	-0,667	-0,155	0,00078	-0,526	-0,145	-0,08	-3,817	-0,013	-2,433
372	-0,689	-0,16	0,00076	-0,546	-0,155	-0,082	-3,818	-0,013	-2,527
373	-3,879	-0,884	-0,00098	-2,968	-0,864	-0,455	1,191	-0,074	-13,999

Tabel 5.4 Lanjutan Rekapitulasi Gaya Aksial Ikatan Angin

Frame	Gaya Aksial (kN)								
	MS	MA	TB	TD	TT	TP	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	Kuat I
374	-3,943	-0,898	-0,001	-3,018	-0,881	-0,463	1,195	-0,076	-14,237
375	-3,943	-0,898	-0,001	-3,018	-0,881	-0,463	-3,348	-0,076	-14,237
376	-3,879	-0,884	-0,001	-2,968	-0,864	-0,455	-3,352	-0,074	-13,999
377	-0,689	-0,16	0,00076	-0,546	-0,155	-0,082	0,72	-0,013	-2,527
378	-0,667	-0,155	0,00078	-0,526	-0,145	-0,08	0,721	-0,013	-2,433
379	-2,082	-0,479	0,00025	-1,669	-0,607	-0,247	-2,591	-0,04	-7,917
380	-2,064	-0,475	0,00026	-1,649	-0,596	-0,244	-2,592	-0,04	-7,828
381	-2,073	-0,477	0,00061	-1,867	-0,638	-0,246	-1,104	-0,04	-8,313
382	-2,073	-0,477	0,00061	-1,862	-0,629	-0,246	-1,103	-0,04	-8,287
383	-1,214	-0,279	0,00141	-0,816	-0,914	-0,144	-1,221	-0,023	-5,34
384	-1,213	-0,279	0,00141	-0,806	-0,909	-0,144	-1,221	-0,023	-5,312
385	-2,15	-0,495	0,00122	-3,037	-1,264	-0,255	-2,22	-0,042	-11,687
386	-2,15	-0,495	0,00122	-3,037	-1,269	-0,255	-2,22	-0,042	-11,695
387	-1,213	-0,279	0,00212	-0,806	-0,407	-0,144	-0,209	-0,023	-4,408
388	-1,214	-0,279	0,00212	-0,816	-0,416	-0,144	-0,209	-0,023	-4,442
389	-2,073	-0,477	0,00187	-1,862	-0,638	-0,246	-3,282	-0,04	-8,302
390	-2,074	-0,478	0,00187	-1,867	-0,645	-0,246	-3,282	-0,04	-8,325
391	-2,063	-0,475	0,0026	-1,648	-0,487	-0,244	1,034	-0,04	-7,625
392	-2,082	-0,479	0,00259	-1,668	-0,497	-0,247	1,035	-0,04	-7,712
393	-0,675	-0,157	0,00217	-0,532	-0,133	-0,08	-4,728	-0,013	-2,434
394	-0,697	-0,162	0,00215	-0,552	-0,141	-0,083	-4,729	-0,014	-2,526
395	-3,872	-0,882	-0,0044	-2,962	-0,742	-0,455	1,255	-0,074	-13,76
396	-3,935	-0,897	-0,0044	-3,012	-0,756	-0,462	1,259	-0,075	-13,993

### 1. Rangka Atas (*Top Chord*)

Berdasarkan tabel rekapitulasi gaya aksial rangka atas didapat gaya aksial terbesar pada *frame* 48 dan 281 dengan  $P_U = -6352,787$  kN. Rangka atas menggunakan profil IWF 400x400-13/21. Berikut merupakan perhitungan rangka atas sebagai berikut.

Tinggi, $h$	= 400 mm
Lebar, $b$	= 400 mm
Tebal badan, $tw$	= 13 mm
Tebal sayap, $tf$	= 21 mm
Berat, $q$	= 172 kg/m
Jari-jari, $r$	= 22 mm
Luas tampang, $A_g$	= 21870 mm <sup>2</sup>
Inersia x, $I_x$	= 666000000 mm <sup>4</sup>
Inersia y, $I_y$	= 224000000 mm <sup>4</sup>
Radius girasi x, $r_x$	= 175 mm
Radius girasi y, $r_y$	= 101 mm
Modulus elastis x, $S_x$	= 3330000 mm <sup>3</sup>
Modulus elastis y, $S_y$	= 1120000 mm <sup>3</sup>
Modulus plastis x, $Z_x$	= 23729600 mm <sup>3</sup>
Modulus plastis y, $Z_y$	= 1254400 mm <sup>3</sup>
Modulus elastisitas, $E$	= 200000 MPa
Tegangan putus, $F_U$	= 550 MPa
Tegangan leleh, $F_Y$	= 460 MPa
Panjang batang, $L$	= 5000 mm

#### a. Cek Kelangsingan Badan

$$\frac{h_0}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{400 - (2 \times 21) - (2 \times 22)}{13} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$24,154 \leq 31,069$$

Nilai rasio lebar lebih kecil daripada batas tidak langsing. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, profil tersebut termasuk kategori tidak langsing. Profil IWF tersebut dalam keadaan batas yang direncanakan adalah tekuk lentur ( $FB$ ) dan tekuk torsi ( $TB$ ).



## b. Cek Kelangsingan Sayap

$$\frac{b}{tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{400 \times 0,5}{21} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$9,524 \leq 11,677$$

Nilai rasio lebar lebih kecil daripada batas tidak langsing. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, profil tersebut termasuk kategori tidak langsing.

c. Tekuk Lentur ( $FB$ )

## 1) Rasio Kelangsingan Batang

K senilai 1 untuk tumpuan sendi-sendi.

$$\frac{KL}{ry} = \frac{1 \times 5000}{101}$$

$$= 49,505$$

## 2) Tegangan Tekuk Elastis

$$Fe = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/ry)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{(49,505)^2}$$

$$= 804,622 \text{ MPa}$$

## 3) Jenis Tekuk

$$\frac{KL}{ry} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1 \times 5000}{101} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$49,505 \leq 98,21$$

Nilai rasio kelangsingan batang lebih kecil daripada batas tekuk elastis. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, maka profil tersebut berjenis tekuk inelastis dengan nilai  $F_{CR}$ .

## 4) Tegangan Kritis

$$F_{CR} = \left(0,658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) \times Fy$$

$$= \left(0,658^{\frac{460}{804,622}}\right) \times 460$$

$$= 362,108 \text{ MPa}$$

## 5) Kuat Tekan Rencana

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times F_{CR} \times A_g \\ &= 0,9 \times 362,108 \times 21870 \times 10^{-3} \\ &= 7127,372 \text{ kN}\end{aligned}$$

d. Tekuk Torsi (*TB*)

## 1) Konstanta Pembengkokkan

$$\begin{aligned}C_w &= \frac{I_y \times h_0^2}{4} \\ &= \frac{2240000000 \times (400 - (2 \times 21) - (2 \times 22))^2}{4} \\ &= 5,521 \times 10^{12}\end{aligned}$$

## 2) Konstanta Torsi

$$\begin{aligned}J &= \frac{1}{3} \times [(2 \times t_f^3 \times b) + (t_w^3 \times h_0)] \\ &= \frac{1}{3} \times [(2 \times 21^3 \times 200) + (13^3 \times 314)] \\ &= 1464752,7 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

## 3) Tegangan Tekuk Elastis untuk Sumbu Simetri Ganda

$$\begin{aligned}F_e &= \left[ \left( \frac{\pi^2 \times E \times C_w}{K L^2} \right) + (G \times J) \right] \times \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left[ \left( \frac{\pi^2 \times 200000 \times 5,521 \times 10^{12}}{(1 \times 5000)^2} \right) + (77200 \times 1464752,7) \right] \times \\ &\quad \frac{1}{666 \times 10^6 + 224 \times 10^6} \\ &= 616,39 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

## 4) Jenis Tekuk

$$\begin{aligned}\frac{K L}{r_y} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1 \times 5000}{101} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ 49,505 &\leq 98,21\end{aligned}$$

Nilai rasio kelangsingan batang lebih kecil daripada batas tekuk elastis. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, maka profil tersebut berjenis tekuk inelastis dengan nilai  $F_{CR}$ .

## 5) Tegangan Kritis

$$\begin{aligned}
 F_{CR} &= \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y \\
 &= \left(0,658 \frac{460}{616,39}\right) \times 460 \\
 &= 336,592 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

## 6) Kuat Tekan Rencana

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= \phi \times F_{CR} \times A_g \\
 &= 0,9 \times 336,592 \times 21870 \times 10^{-3} \\
 &= 6625,134 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan yang digunakan, maka digunakan kuat tekan terkecil antara kondisi tekuk lentur (*FB*) dengan tekuk torsi (*TB*) sehingga nilai  $\phi P_n = 6625,134 \text{ kN}$ .

## e. Cek Keamanan Profil

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &> P_U \\
 6625,134 \text{ kN} &> 6352,787 \text{ kN (AMAN)}
 \end{aligned}$$

2. Rangka Bawah (*Bottom Chord*)

Berdasarkan tabel rekapitulasi gaya aksial rangka atas didapat gaya aksial terbesar pada *frame* 19 dan 265 dengan  $P_U = -992,562 \text{ kN}$ . Rangka atas menggunakan profil IWF 300x150-6,5/9. Berikut merupakan perhitungan rangka atas sebagai berikut.

Tinggi, $h$	= 300 mm
Lebar, $b$	= 150 mm
Tebal badan, $tw$	= 6,5 mm
Tebal sayap, $tf$	= 9 mm
Berat, $q$	= 36,7 kg/m
Jari-jari, $r$	= 13 mm
Luas tampang, $A_g$	= 4678 mm <sup>2</sup>
Inersia x, $I_x$	= 72100000 mm <sup>4</sup>
Inersia y, $I_y$	= 5080000 mm <sup>4</sup>
Radius girasi x, $r_x$	= 124 mm
Radius girasi y, $r_y$	= 32,9 mm
Modulus elastis x, $S_x$	= 481000 mm <sup>3</sup>
Modulus elastis y, $S_y$	= 67700 mm <sup>3</sup>
Modulus plastis x, $Z_x$	= 23729600 mm <sup>3</sup>

Modulus plastis y,  $Z_Y = 1254400 \text{ mm}^3$

Modulus elastisitas,  $E = 200000 \text{ MPa}$

Tegangan putus,  $F_U = 550 \text{ MPa}$

Tegangan leleh,  $F_Y = 460 \text{ MPa}$

Panjang batang,  $L = 5000 \text{ mm}$

a. Luas Penampang Bersih

Perencanaan baut mempunyai konfigurasi pemasangan dalam dua baris.

$$n = 2$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_h \times t_f) \\ &= 4678 - (2 \times 26 \times 9) \\ &= 4210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Luas Penampang Efektif

Berdasarkan SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, nilai  $U = 1$ . Nilai tersebut dikarenakan oleh semua komponen struktur tarik akan disalurkan pada sambungan.

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 1 \times 4210 \\ &= 4210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c. Kuat Tarik Rencana

1) Kuat Tarik untuk Kondisi Leleh pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_Y \times A_g \\ &= 0,9 \times 460 \times 4210 \times 10^{-3} \\ &= 1936,692 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Kuat Tarik Kriteria Fraktur Penampang Berlubang

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_U \times A_e \\ &= 0,75 \times 550 \times 4210 \times 10^{-3} \\ &= 1736,625 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas, maka nilai kuat tarik rencana yang digunakan  $\phi P_n = 1736,625 \text{ kN}$ .

d. Cek Keamanan Profil

$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_u \\ 1736,625 \text{ kN} &> 992,562 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

### 3. Batang Diagonal

#### a. Batang Tekan

Berdasarkan tabel rekapitulasi gaya aksial rangka atas didapat gaya aksial terbesar pada *frame* 84 dan 316 dengan  $P_U = -3334,399$  kN. Rangka atas menggunakan profil IWF 400x400-13/21. Berikut merupakan perhitungan rangka atas sebagai berikut.

Tinggi, $h$	= 400 mm
Lebar, $b$	= 400 mm
Tebal badan, $tw$	= 13 mm
Tebal sayap, $tf$	= 21 mm
Berat, $q$	= 172 kg/m
Jari-jari, $r$	= 22 mm
Luas tampang, $Ag$	= 21870 mm <sup>2</sup>
Inersia x, $I_X$	= 666000000 mm <sup>4</sup>
Inersia y, $I_Y$	= 224000000 mm <sup>4</sup>
Radius girasi x, $rx$	= 175 mm
Radius girasi y, $ry$	= 101 mm
Modulus elastis x, $S_X$	= 3330000 mm <sup>3</sup>
Modulus elastis y, $S_Y$	= 1120000 mm <sup>3</sup>
Modulus plastis x, $Z_X$	= 23729600 mm <sup>3</sup>
Modulus plastis y, $Z_Y$	= 1254400 mm <sup>3</sup>
Modulus elastisitas, $E$	= 200000 MPa
Tegangan putus, $F_U$	= 550 MPa
Tegangan leleh, $F_Y$	= 460 MPa
Panjang batang, $L$	= 6700 mm

#### 1) Cek Kelangsingan Badan

$$\frac{h_0}{tw} \leq 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{400 - (2 \times 21) - (2 \times 22)}{13} \leq 1,49 \times \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$24,154 \leq 31,069$$

Nilai rasio lebar lebih kecil daripada batas tidak langsing. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, profil tersebut termasuk kategori tidak langsing. Profil IWF tersebut dalam

keadaan batas yang direncanakan adalah tekuk lentur (*FB*) dan tekuk torsi (*TB*).

2) Cek Kelangsingan Sayap

$$\frac{b}{t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{400 \times 0,5}{21} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$9,524 \leq 11,677$$

Nilai rasio lebar lebih kecil daripada batas tidak langsing. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, profil tersebut termasuk kategori tidak langsing.

3) Tekuk Lentur

a) Rasio Kelangsingan Batang

$K = 1$ , untuk tumpuan sendi-sendi.

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1 \times 6700}{101}$$

$$= 66,337$$

b) Tegangan Tekuk Elastis

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r_y)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{(66,337)^2}$$

$$= 448,108 \text{ MPa}$$

c) Jenis Tekuk

$$\frac{KL}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1 \times 6700}{101} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$66,337 \leq 98,21$$

Nilai rasio kelangsingan batang lebih kecil daripada batas tekuk elastis. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, maka profil tersebut berjenis tekuk inelastis dengan nilai  $F_{CR}$ .

d) Tegangan Kritis

$$\begin{aligned} F_{CR} &= \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y \\ &= \left(0,658 \frac{460}{448,108}\right) \times 460 \\ &= 299,336 \text{ MPa} \end{aligned}$$

e) Kuat Tekan Nominal

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_{CR} \times A_g \\ &= 0,9 \times 299,336 \times 21870 \times 10^{-3} \\ &= 5891,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi

a) Konstanta Pembengkokkan

$$\begin{aligned} C_w &= \frac{I_y \times h_0^2}{4} \\ &= \frac{2240000000 \times (400 - (2 \times 21) - (2 \times 22))^2}{4} \\ &= 5,521 \times 10^{12} \end{aligned}$$

b) Konstanta Torsi

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{3} \times [(2 \times t f^3 \times b) + (t w^3 \times h_0)] \\ &= \frac{1}{3} \times [(2 \times 21^3 \times 200) + (13^3 \times 314)] \\ &= 1464752,667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

c) Tegangan Tekuk Elastis untuk Sumbu Simetri Ganda

$$\begin{aligned} F_e &= \left[ \left( \frac{\pi^2 \times E \times C_w}{K L^2} \right) + (G \times J) \right] \times \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left[ \left( \frac{\pi^2 \times 200000 \times 5,521 \times 10^{12}}{(1 \times 6700)^2} \right) + (77200 \times 1464752,667) \right] \times \\ &\quad \frac{1}{666 \times 10^6 + 224 \times 10^6} \\ &= 399,574 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

d) Jenis Tekuk

$$\begin{aligned} \frac{K L}{r_y} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1 \times 6700}{101} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ 66,337 &\leq 98,21 \end{aligned}$$

Nilai rasio kelangsingan batang lebih kecil daripada batas tekuk elastis.

Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung

Baja Struktural, maka profil tersebut berjenis tekuk inelastis dengan nilai  $F_{CR}$ .

e) Tegangan Kritis

$$\begin{aligned} F_{CR} &= \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y \\ &= \left(0,658 \frac{460}{399,574}\right) \times 460 \\ &= 284,115 \text{ MPa} \end{aligned}$$

f) Kuat Tekan Rencana

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_{CR} \times A_g \\ &= 0,9 \times 284,115 \times 21870 \times 10^{-3} \\ &= 5592,244 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan yang digunakan, maka digunakan kuat tekan terkecil antara kondisi tekuk lentur ( $FB$ ) dengan tekuk torsi ( $TB$ ) sehingga nilai  $\phi P_n = 5592,244 \text{ kN}$ .

5) Cek Keamanan Profil

$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_U \\ 5592,244 \text{ kN} &> 3334,399 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

b. Batang Tarik

Berdasarkan tabel rekapitulasi gaya aksial rangka atas didapat gaya aksial terbesar pada *frame* 83 dan 315 dengan  $P_U = 3106,241 \text{ kN}$ . Rangka atas menggunakan profil IWF 400x400-13/21. Berikut merupakan perhitungan rangka atas sebagai berikut.

Tinggi, $h$	= 400 mm
Lebar, $b$	= 400 mm
Tebal badan, $t_w$	= 13 mm
Tebal sayap, $t_f$	= 21 mm
Berat, $q$	= 172 kg/m
Jari-jari, $r$	= 22 mm
Luas tampang, $A_g$	= 21870 mm <sup>2</sup>
Inersia x, $I_x$	= 666000000 mm <sup>4</sup>
Inersia y, $I_y$	= 224000000 mm <sup>4</sup>
Radius girasi x, $r_x$	= 175 mm
Radius girasi y, $r_y$	= 101 mm



Modulus elastis x,  $S_X = 3330000 \text{ mm}^3$

Modulus elastis y,  $S_Y = 1120000 \text{ mm}^3$

Modulus plastis x,  $Z_X = 23729600 \text{ mm}^3$

Modulus plastis y,  $Z_Y = 1254400 \text{ mm}^3$

Modulus elastisitas,  $E = 200000 \text{ MPa}$

Tegangan putus,  $F_U = 550 \text{ MPa}$

Tegangan leleh,  $F_Y = 460 \text{ MPa}$

Panjang batang,  $L = 6700 \text{ mm}$

### 1) Luas Penampang Bersih

Perencanaan baut mempunyai konfigurasi pemasangan dalam dua baris.

$$n = 2$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_h \times t_f) \\ &= 21870 - (2 \times 26 \times 21) \\ &= 20778 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### 2) Luas Penampang Efektif

Berdasarkan SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, nilai  $U = 0,9$ . Nilai tersebut dikarenakan oleh semua komponen struktur tarik akan disambungkan oleh baut sebanyak  $> 3$  buah perbaris dan  $b/h > 2/3$ .

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 0,9 \times 20778 \\ &= 18700,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### 3) Kuat Tarik Rencana

#### a) Kuat Tarik untuk Kondisi Leleh pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_Y \times A_g \\ &= 0,9 \times 460 \times 21870 \times 10^{-3} \\ &= 9054,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b) Kuat Tarik Kriteria Fraktur Penampang Berlubang

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_U \times A_e \\ &= 0,75 \times 550 \times 18700,2 \times 10^{-3} \\ &= 7713,833 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas, maka nilai kuat tarik rencana yang digunakan  $\phi P_n = 7713,833 \text{ kN}$ .

## 4) Cek Keamanan Profil

$$\phi P_n > P_U$$

$$7718,833 \text{ kN} > 3106,241 \text{ kN (AMAN)}$$

## 4. Ikatan Angin

## a. Batang Tekan

Berdasarkan tabel rekapitulasi gaya aksial rangka atas didapat gaya aksial terbesar pada *frame* 374 dan 375 dengan  $P_U = -14,237 \text{ kN}$ . Rangka atas menggunakan profil IWF 100x100-6/8. Berikut merupakan perhitungan rangka atas sebagai berikut.

Tinggi, $h$	= 100 mm
Lebar, $b$	= 100 mm
Tebal badan, $tw$	= 6 mm
Tebal sayap, $tf$	= 8 mm
Berat, $q$	= 17,2 kg/m
Jari-jari, $r$	= 10 mm
Luas tampang, $A_g$	= 2190 mm <sup>2</sup>
Inersia x, $I_x$	= 3830000mm <sup>4</sup>
Inersia y, $I_y$	= 1340000 mm <sup>4</sup>
Radius girasi x, $r_x$	= 41,8 mm
Radius girasi y, $r_y$	= 24,7 mm
Modulus elastis x, $S_x$	= 76500 mm <sup>3</sup>
Modulus elastis y, $S_y$	= 26700 mm <sup>3</sup>
Modulus elastisitas, $E$	= 200000 MPa
Tegangan putus, $F_U$	= 550 MPa
Tegangan leleh, $F_Y$	= 460 MPa
Panjang batang, $L$	= 10500 mm

## 1) Cek Kelangsingan Badan

$$\frac{h_0}{tw} \leq 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{150 - (2 \times 10) - (2 \times 11)}{7} \leq 1,49 \times \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$10,667 \leq 31,069$$

Nilai rasio lebar lebih kecil daripada batas tidak langsing. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, profil tersebut termasuk kategori tidak langsing. Profil IWF tersebut dalam keadaan batas yang direncanakan adalah tekuk lentur (*FB*) dan tekuk torsi (*TB*).

2) Cek Kelangsingan Sayap

$$\frac{b}{t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{150 \times 0,5}{10} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$6,25 \leq 11,677$$

Nilai rasio lebar lebih kecil daripada batas tidak langsing. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, profil tersebut termasuk kategori tidak langsing.

3) Tekuk Lentur

a) Rasio Kelangsingan Batang

$K = 1$ , untuk tumpuan sendi-sendi.

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1 \times 10500}{24,7}$$

$$= 425,101$$

b) Tegangan Tekuk Elastis

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r_y)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{(425,101)^2}$$

$$= 10,912 \text{ MPa}$$

c) Jenis Tekuk

$$\frac{KL}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1 \times 10500}{24,7} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{460}}$$

$$425,101 \leq 98,21$$

Nilai rasio kelangsingan batang lebih besar daripada batas tekuk elastis. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, maka profil tersebut berjenis tekuk elastis dengan nilai  $F_{CR}$ .

d) Tegangan Kritis

$$\begin{aligned} F_{CR} &= 0,877 \times F_e \\ &= 0,877 \times 10,912 \\ &= 9,570 \text{ MPa} \end{aligned}$$

e) Kuat Tekan Nominal

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_{CR} \times A_g \\ &= 0,9 \times 9,570 \times 2190 \times 10^{-3} \\ &= 18,862 \text{ kN} \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi

a) Konstanta Pembengkokkan

$$\begin{aligned} C_w &= \frac{I_y \times h_0^2}{4} \\ &= \frac{1340000 \times (100 - (2 \times 8) - (2 \times 10))^2}{4} \\ &= 1,372 \times 10^9 \end{aligned}$$

b) Konstanta Torsi

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{3} \times [(2 \times t_f^3 \times b) + (t_w^3 \times h_0)] \\ &= \frac{1}{3} \times [(2 \times 8^3 \times 100) + (6^3 \times 64)] \\ &= 21674,667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

c) Tegangan Tekuk Elastis untuk Sumbu Simetri Ganda

$$\begin{aligned} F_e &= \left[ \left( \frac{\pi^2 \times E \times C_w}{K L^2} \right) + (G \times J) \right] \times \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left[ \left( \frac{\pi^2 \times 200000 \times 1,372 \times 10^9}{(1 \times 425,101)^2} \right) + (77200 \times 21675) \right] \times \frac{1}{383 \times 10^4 + 134 \times 10^4} \\ &= 328,4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

d) Jenis Tekuk

$$\begin{aligned} \frac{K L}{r_y} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1 \times 10500}{37,5} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ 425,101 &\leq 98,21 \end{aligned}$$

Nilai rasio kelangsingan batang lebih besar daripada batas tekuk elastis. Menurut SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, maka profil tersebut berjenis tekuk elastis dengan nilai  $F_{CR}$ .

e) Tegangan Kritis

$$\begin{aligned} F_{CR} &= 0,877 \times F_e \\ &= 0,877 \times 328,4 \\ &= 288,007 \text{ MPa} \end{aligned}$$

f) Kuat Tekan Rencana

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_{CR} \times A_g \\ &= 0,9 \times 288,007 \times 2190 \times 10^{-3} \\ &= 567,661 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan yang digunakan, maka digunakan kuat tekan terkecil antara kondisi tekuk lentur (*FB*) dengan tekuk torsi (*TB*) sehingga nilai  $\phi P_n = 18,862 \text{ kN}$ .

5) Cek Keamanan Profil

$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_U \\ 18,862 \text{ kN} &> 14,237 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

b. Batang Tarik

Berdasarkan tabel rekapitulasi gaya aksial rangka atas didapat gaya aksial terbesar pada *frame* 317 dengan  $P_U = 22,036 \text{ kN}$ . Rangka atas menggunakan profil IWF 100x100-6/8. Berikut merupakan perhitungan rangka atas sebagai berikut.

Tinggi, $h$	= 100 mm
Lebar, $b$	= 100 mm
Tebal badan, $t_w$	= 6 mm
Tebal sayap, $t_f$	= 8 mm
Berat, $q$	= 17,2 kg/m
Jari-jari, $r$	= 10 mm
Luas tampang, $A_g$	= 2190 mm <sup>2</sup>
Inersia x, $I_x$	= 3830000 mm <sup>4</sup>
Inersia y, $I_y$	= 1340000 mm <sup>4</sup>
Radius girasi x, $r_x$	= 41,8 mm
Radius girasi y, $r_y$	= 24,7 mm
Modulus elastis x, $S_x$	= 76500 mm <sup>3</sup>
Modulus elastis y, $S_y$	= 26700 mm <sup>3</sup>
Modulus elastisitas, $E$	= 200000 MPa
Tegangan putus, $F_U$	= 550 MPa

Tegangan leleh,  $F_Y = 460$  MPa

Panjang batang,  $L = 9200$  mm

1) Luas Penampang Bersih

Perencanaan baut mempunyai konfigurasi pemasangan dalam dua baris.

$$n = 2$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_h \times t_f) \\ &= 2190 - (2 \times 18 \times 8) \\ &= 1902 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Luas Penampang Efektif

Berdasarkan SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, nilai  $U = 0,9$ . Nilai tersebut dikarenakan oleh semua komponen struktur tarik akan disambungkan oleh baut sebanyak  $> 3$  buah perbaris dan  $b/h > 2/3$ .

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 0,9 \times 1902 \\ &= 1711,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Kuat Tarik Rencana

a) Kuat Tarik untuk Kondisi Leleh pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_Y \times A_g \\ &= 0,9 \times 460 \times 2190 \times 10^{-3} \\ &= 906,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Kuat Tarik Kriteria Fraktur Penampang Berlubang

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times F_U \times A_e \\ &= 0,75 \times 550 \times 1711,8 \times 10^{-3} \\ &= 706,118 \text{ kN} \end{aligned}$$

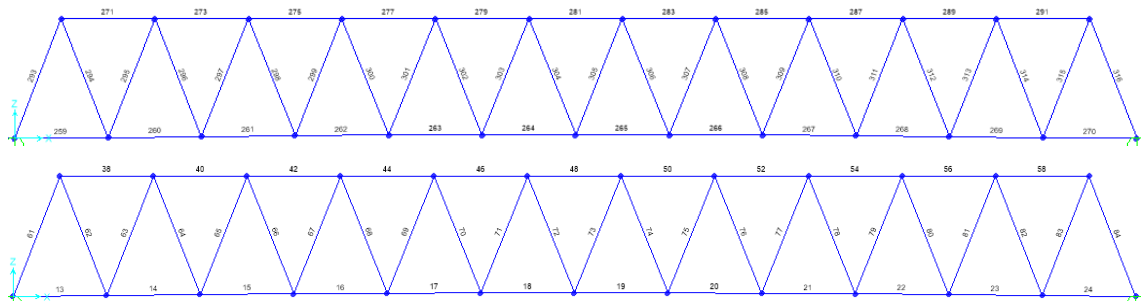
Berdasarkan hasil di atas, maka nilai kuat tarik rencana yang digunakan  $\phi P_n = 706,118$  kN.

4) Cek Keamanan Profil

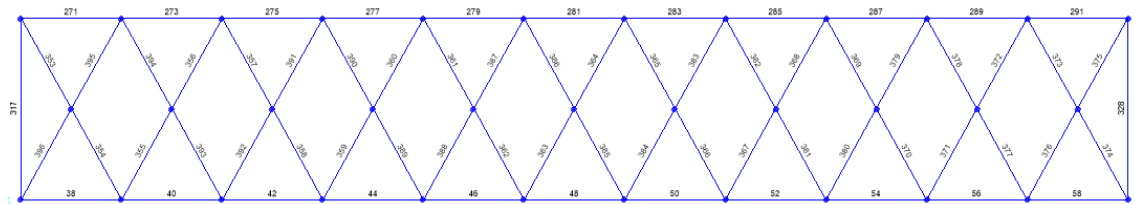
$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_U \\ 706,118 \text{ kN} &> 22,036 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

### 5.3 Analisis Rasio Tegangan

Rasio Tegangan merupakan rasio antara gaya atau momen ultimit pada penampang yang terjadi pada beban terfaktor terhadap kuat nominal penampang yang telah memasukkan faktor reduksi. Metode ini merupakan hasil dari *SAP2000* yang telah penulis analisis untuk mengetahui apakah suatu penampang pada elemen struktur telah memenuhi persyaratan perencanaan atau tidak. Suatu struktur dianggap telah memenuhi persyaratan kekuatan jika nilai  $R$  (rasio tegangan)  $\leq 1$ . Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil dari rasio tegangan struktur jembatan.



**Gambar 5.30 Penomoran Batang Rangka Atas, Rangka Bawah dan Diagonal**



**Gambar 5.31 Penomoran Batang Ikatan Angin**

Tabel 5.5 Rekapitulasi Rasio Tegangan Struktur Jembatan

No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio	No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio
1	13	Rangka Bawah	2,273	0,004788	0,000495	0,390964	0,396	21	267	Rangka Bawah	2,273	0,028547	0,000320	0,270771	0,300
2	14	Rangka Bawah	2,273	0,014294	0,000405	0,381525	0,396	22	268	Rangka Bawah	2,273	0,022365	0,000480	0,345725	0,369
3	15	Rangka Bawah	2,273	0,021620	0,000433	0,341049	0,363	23	269	Rangka Bawah	2,273	0,015380	0,000498	0,386505	0,402
4	16	Rangka Bawah	2,273	0,027683	0,000337	0,267172	0,295	24	270	Rangka Bawah	2,273	0,006478	0,001222	0,395884	0,404
5	17	Rangka Bawah	2,273	0,032840	0,000174	0,186296	0,219	25	38	Rangka Atas	2,273	0,202200	0,009445	0,330282	0,542
6	18	Rangka Bawah	2,273	0,037559	0,000000	0,096443	0,134	26	40	Rangka Atas	2,273	0,363812	0,003982	0,333084	0,701
7	19	Rangka Bawah	2,273	0,038350	0,000000	0,076046	0,114	27	42	Rangka Atas	2,273	0,495976	0,003773	0,279766	0,780
8	20	Rangka Bawah	2,273	0,034099	0,000138	0,188531	0,223	28	44	Rangka Atas	2,273	0,577867	0,001079	0,219535	0,798
9	21	Rangka Bawah	2,273	0,028547	0,000320	0,270771	0,300	29	46	Rangka Atas	2,273	0,617260	0,001605	0,143266	0,762
10	22	Rangka Bawah	2,273	0,022365	0,000480	0,345725	0,369	30	48	Rangka Atas	2,273	0,673162	0,000381	0,017409	0,691
11	23	Rangka Bawah	2,273	0,015380	0,000498	0,386505	0,402	31	50	Rangka Atas	2,273	0,635298	0,001372	0,135400	0,772
12	24	Rangka Bawah	2,273	0,006478	0,001222	0,395884	0,404	32	52	Rangka Atas	2,273	0,592825	0,001256	0,223919	0,818
13	259	Rangka Bawah	2,273	0,004788	0,000495	0,390964	0,396	33	54	Rangka Atas	2,273	0,507414	0,003879	0,285003	0,796
14	260	Rangka Bawah	2,273	0,014294	0,000405	0,381525	0,396	34	56	Rangka Atas	2,273	0,371346	0,004090	0,337623	0,713
15	261	Rangka Bawah	2,273	0,021620	0,000433	0,341049	0,363	35	58	Rangka Atas	2,273	0,205945	0,009651	0,334356	0,550
16	262	Rangka Bawah	2,273	0,027683	0,000337	0,267172	0,295	36	271	Rangka Atas	2,273	0,202200	0,009445	0,330282	0,542
17	263	Rangka Bawah	2,273	0,032840	0,000174	0,186296	0,219	37	273	Rangka Atas	2,273	0,363812	0,003982	0,333084	0,701
18	264	Rangka Bawah	2,273	0,037559	0,000000	0,096443	0,134	38	275	Rangka Atas	2,273	0,495976	0,003773	0,279766	0,780
19	265	Rangka Bawah	2,273	0,038350	0,000000	0,076046	0,114	39	277	Rangka Atas	2,273	0,577867	0,001079	0,219535	0,798
20	266	Rangka Bawah	2,273	0,034099	0,000138	0,188531	0,223	40	279	Rangka Atas	2,273	0,617260	0,001605	0,143266	0,762



Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Rasio Tegangan Struktur Jembatan

No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio	No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio
41	281	Rangka Atas	2,273	0,673162	0,000381	0,017409	0,691	61	75	Diagonal	2,273	0,089865	0,017044	0,099949	0,207
42	283	Rangka Atas	2,273	0,635298	0,001372	0,135400	0,772	62	76	Diagonal	2,273	0,299463	0,015002	0,097452	0,412
43	285	Rangka Atas	2,273	0,592825	0,001256	0,223919	0,818	63	77	Diagonal	2,273	0,218537	0,014126	0,140647	0,373
44	287	Rangka Atas	2,273	0,507414	0,003879	0,285003	0,796	64	78	Diagonal	2,273	0,367681	0,013830	0,156473	0,538
45	289	Rangka Atas	2,273	0,371346	0,004090	0,337623	0,713	65	79	Diagonal	2,273	0,260609	0,011068	0,185304	0,457
46	291	Rangka Atas	2,273	0,205945	0,009651	0,334356	0,550	66	80	Diagonal	2,273	0,441304	0,010666	0,214404	0,666
47	61	Diagonal	2,273	0,371000	0,000349	0,212753	0,584	67	81	Diagonal	2,273	0,318908	0,007783	0,218942	0,546
48	62	Diagonal	2,273	0,215698	0,000604	0,198054	0,414	68	82	Diagonal	2,273	0,321140	0,006255	0,193459	0,521
49	63	Diagonal	2,273	0,314047	0,006183	0,190640	0,511	69	83	Diagonal	2,273	0,219647	0,000555	0,200094	0,420
50	64	Diagonal	2,273	0,311792	0,007639	0,216916	0,536	70	84	Diagonal	2,273	0,377584	0,001160	0,216229	0,595
51	65	Diagonal	2,273	0,429067	0,010446	0,210773	0,650	71	293	Diagonal	2,273	0,371000	0,000349	0,212753	0,584
52	66	Diagonal	2,273	0,253330	0,010817	0,183967	0,448	72	294	Diagonal	2,273	0,215698	0,000604	0,198054	0,414
53	67	Diagonal	2,273	0,354594	0,013503	0,154480	0,523	73	295	Diagonal	2,273	0,314047	0,006183	0,190640	0,511
54	68	Diagonal	2,273	0,210703	0,013808	0,140300	0,365	74	296	Diagonal	2,273	0,311792	0,007639	0,216916	0,536
55	69	Diagonal	2,273	0,285743	0,014560	0,097297	0,398	75	297	Diagonal	2,273	0,429067	0,010446	0,210773	0,650
56	70	Diagonal	2,273	0,085398	0,016570	0,101014	0,203	76	298	Diagonal	2,273	0,253330	0,010817	0,183967	0,448
57	71	Diagonal	2,273	0,097574	0,017814	0,048253	0,164	77	299	Diagonal	2,273	0,354594	0,013503	0,154480	0,523
58	72	Diagonal	2,273	0,059857	0,017852	0,040136	0,118	78	300	Diagonal	2,273	0,210703	0,013808	0,140300	0,365
59	73	Diagonal	2,273	0,041371	0,018148	0,034913	0,094	79	301	Diagonal	2,273	0,285743	0,014560	0,097297	0,398
60	74	Diagonal	2,273	0,065877	0,018107	0,043157	0,127	80	302	Diagonal	2,273	0,085398	0,016570	0,101014	0,203

Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Rasio Tegangan Struktur Jembatan

No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio	No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio
81	303	Diagonal	2,273	0,097574	0,017814	0,048253	0,164	101	357	Ikatan Angin	2,307	0,016696	0,106728	0,010727	0,134
82	304	Diagonal	2,273	0,059857	0,017852	0,040136	0,118	102	358	Ikatan Angin	2,337	0,016500	0,057303	0,013472	0,087
83	305	Diagonal	2,273	0,041371	0,018148	0,034913	0,094	103	359	Ikatan Angin	2,314	0,018242	0,087804	0,013523	0,120
84	306	Diagonal	2,273	0,065877	0,018107	0,043157	0,127	104	360	Ikatan Angin	2,370	0,018187	0,038275	0,014286	0,071
85	307	Diagonal	2,273	0,089865	0,017044	0,099949	0,207	105	361	Ikatan Angin	2,328	0,009680	0,065732	0,014034	0,089
86	308	Diagonal	2,273	0,299463	0,015002	0,097452	0,412	106	362	Ikatan Angin	2,504	0,009600	0,016846	0,015152	0,042
87	309	Diagonal	2,273	0,218537	0,014126	0,140647	0,373	107	363	Ikatan Angin	2,378	0,026084	0,035966	0,015640	0,078
88	310	Diagonal	2,273	0,367681	0,013830	0,156473	0,538	108	364	Ikatan Angin	2,396	0,026065	0,030869	0,015905	0,073
89	311	Diagonal	2,273	0,260609	0,011068	0,185304	0,457	109	365	Ikatan Angin	2,543	0,011715	0,014664	0,015480	0,042
90	312	Diagonal	2,273	0,441304	0,010666	0,214404	0,666	110	366	Ikatan Angin	2,330	0,011783	0,063705	0,014525	0,090
91	313	Diagonal	2,273	0,318908	0,007783	0,218942	0,546	111	367	Ikatan Angin	2,368	0,018145	0,038981	0,014714	0,072
92	314	Diagonal	2,273	0,321140	0,006255	0,193459	0,521	112	368	Ikatan Angin	2,314	0,018208	0,088508	0,013825	0,121
93	315	Diagonal	2,273	0,219647	0,000555	0,200094	0,420	113	369	Ikatan Angin	2,336	0,016972	0,058368	0,013788	0,089
94	316	Diagonal	2,273	0,377584	0,001160	0,216229	0,595	114	370	Ikatan Angin	2,306	0,017174	0,107830	0,010966	0,136
95	317	Ikatan Angin	2,394	0,000987	0,015418	0,000000	0,016	115	371	Ikatan Angin	2,321	0,005204	0,074717	0,010612	0,091
96	328	Ikatan Angin	2,394	0,000962	0,015418	0,000000	0,016	116	372	Ikatan Angin	2,302	0,005417	0,123312	0,007636	0,136
97	353	Ikatan Angin	2,302	0,028857	0,125735	0,001297	0,156	117	373	Ikatan Angin	2,321	0,028900	0,076550	0,008331	0,114
98	354	Ikatan Angin	2,322	0,028364	0,075333	0,008169	0,112	118	374	Ikatan Angin	2,302	0,029403	0,126997	0,001310	0,158
99	355	Ikatan Angin	2,302	0,005411	0,122070	0,007489	0,135	119	375	Ikatan Angin	2,302	0,029403	0,126997	0,001310	0,158
100	356	Ikatan Angin	2,322	0,005203	0,073477	0,010386	0,089	120	376	Ikatan Angin	2,321	0,028900	0,076550	0,008331	0,114

Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Rasio Tegangan Struktur Jembatan

No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio	No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio
121	377	Ikatan Angin	2,302	0,005417	0,123312	0,007636	0,136	141	410	Gelagar Memanjang	1,143	0,004719	0,126768	0	0,131
122	378	Ikatan Angin	2,321	0,005204	0,074717	0,010612	0,091	142	411	Gelagar Memanjang	1,316	0,013863	0,110086	0	0,124
123	379	Ikatan Angin	2,306	0,017174	0,107830	0,010966	0,136	143	412	Gelagar Memanjang	1,143	0,021314	0,126761	0	0,148
124	380	Ikatan Angin	2,336	0,016972	0,058368	0,013788	0,089	144	413	Gelagar Memanjang	1,143	0,027469	0,126756	0	0,154
125	381	Ikatan Angin	2,314	0,018208	0,088508	0,013825	0,121	145	414	Gelagar Memanjang	1,143	0,032675	0,126753	0	0,159
126	382	Ikatan Angin	2,368	0,018145	0,038981	0,014714	0,072	146	415	Gelagar Memanjang	1,143	0,036707	0,126751	0	0,163
127	383	Ikatan Angin	2,330	0,011783	0,063705	0,014525	0,090	147	416	Gelagar Memanjang	1,143	0,037288	0,126751	0	0,164
128	384	Ikatan Angin	2,543	0,011715	0,014664	0,015480	0,042	148	417	Gelagar Memanjang	1,143	0,033758	0,126753	0	0,161
129	385	Ikatan Angin	2,396	0,026065	0,030869	0,015905	0,073	149	418	Gelagar Memanjang	1,143	0,028367	0,126756	0	0,155
130	386	Ikatan Angin	2,378	0,026084	0,035966	0,015640	0,078	150	419	Gelagar Memanjang	1,143	0,022132	0,126761	0	0,149
131	387	Ikatan Angin	2,504	0,009600	0,016846	0,015152	0,042	151	420	Gelagar Memanjang	1,316	0,014564	0,110086	0	0,125
132	388	Ikatan Angin	2,328	0,009680	0,065732	0,014034	0,089	152	421	Gelagar Memanjang	1,143	0,005548	0,126768	0	0,132
133	389	Ikatan Angin	2,370	0,018187	0,038275	0,014286	0,071	153	422	Gelagar Memanjang	1,143	0,004592	0,126768	0	0,131
134	390	Ikatan Angin	2,314	0,018242	0,087804	0,013523	0,120	154	423	Gelagar Memanjang	1,316	0,013142	0,110086	0	0,123
135	391	Ikatan Angin	2,337	0,016500	0,057303	0,013472	0,087	155	424	Gelagar Memanjang	1,143	0,020714	0,126761	0	0,147
136	392	Ikatan Angin	2,307	0,016696	0,106728	0,010727	0,134	156	425	Gelagar Memanjang	1,143	0,027005	0,126756	0	0,154
137	393	Ikatan Angin	2,322	0,005203	0,073477	0,010386	0,089	157	426	Gelagar Memanjang	1,143	0,032027	0,126753	0	0,159
138	394	Ikatan Angin	2,302	0,005411	0,122070	0,007489	0,135	158	427	Gelagar Memanjang	1,143	0,035269	0,126751	0	0,162
139	395	Ikatan Angin	2,322	0,028364	0,075333	0,008169	0,112	159	428	Gelagar Memanjang	1,143	0,035629	0,126751	0	0,162
140	396	Ikatan Angin	2,302	0,028857	0,125735	0,001297	0,156	160	429	Gelagar Memanjang	1,143	0,032847	0,126753	0	0,160

Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Rasio Tegangan Struktur Jembatan

No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio	No	Frame	Elemen Struktur	Faktor C	Rasio Pu	Rasio M1	Rasio M2	Total Rasio
161	430	Gelagar Memanjang	1,143	0,027900	0,126756	0,000000	0,155	181	450	Gelagar Memanjang	1,143	0,032027	0,126753	0,000000	0,159
162	431	Gelagar Memanjang	1,143	0,021460	0,126761	0,000000	0,148	182	451	Gelagar Memanjang	1,143	0,035269	0,126751	0,000000	0,162
163	432	Gelagar Memanjang	1,316	0,013434	0,110086	0,000000	0,124	183	452	Gelagar Memanjang	1,143	0,035629	0,126751	0,000000	0,162
164	433	Gelagar Memanjang	1,143	0,004999	0,126768	0,000000	0,132	184	453	Gelagar Memanjang	1,143	0,032847	0,126753	0,000000	0,160
165	434	Gelagar Memanjang	1,143	0,004534	0,126768	0,000000	0,131	185	454	Gelagar Memanjang	1,143	0,027900	0,126756	0,000000	0,155
166	435	Gelagar Memanjang	1,316	0,012893	0,110086	0,000000	0,123	186	455	Gelagar Memanjang	1,143	0,021460	0,126761	0,000000	0,148
167	436	Gelagar Memanjang	1,143	0,020524	0,126761	0,000000	0,147	187	456	Gelagar Memanjang	1,316	0,013434	0,110086	0,000000	0,124
168	437	Gelagar Memanjang	1,143	0,026841	0,126756	0,000000	0,154	188	457	Gelagar Memanjang	1,143	0,004999	0,126768	0,000000	0,132
169	438	Gelagar Memanjang	1,143	0,031785	0,126753	0,000000	0,159	189	458	Gelagar Memanjang	1,143	0,004719	0,126768	0,000000	0,131
170	439	Gelagar Memanjang	1,143	0,034810	0,126751	0,000000	0,162	190	459	Gelagar Memanjang	1,316	0,013863	0,110086	0,000000	0,124
171	440	Gelagar Memanjang	1,143	0,035113	0,126751	0,000000	0,162	191	460	Gelagar Memanjang	1,143	0,021314	0,126761	0,000000	0,148
172	441	Gelagar Memanjang	1,143	0,032527	0,126753	0,000000	0,159	192	461	Gelagar Memanjang	1,143	0,027469	0,126756	0,000000	0,154
173	442	Gelagar Memanjang	1,143	0,027723	0,126756	0,000000	0,154	193	462	Gelagar Memanjang	1,143	0,032675	0,126753	0,000000	0,159
174	443	Gelagar Memanjang	1,143	0,021226	0,126761	0,000000	0,148	194	463	Gelagar Memanjang	1,143	0,036707	0,126751	0,000000	0,163
175	444	Gelagar Memanjang	1,316	0,013065	0,110086	0,000000	0,123	195	464	Gelagar Memanjang	1,143	0,037288	0,126751	0,000000	0,164
176	445	Gelagar Memanjang	1,143	0,004852	0,126768	0,000000	0,132	196	465	Gelagar Memanjang	1,143	0,033758	0,126753	0,000000	0,161
177	446	Gelagar Memanjang	1,143	0,004592	0,126768	0,000000	0,131	197	466	Gelagar Memanjang	1,143	0,028367	0,126756	0,000000	0,155
178	447	Gelagar Memanjang	1,316	0,013142	0,110086	0,000000	0,123	198	467	Gelagar Memanjang	1,143	0,022132	0,126761	0,000000	0,149
179	448	Gelagar Memanjang	1,143	0,020714	0,126761	0,000000	0,147	199	468	Gelagar Memanjang	1,316	0,014564	0,110086	0,000000	0,125
180	449	Gelagar Memanjang	1,143	0,027005	0,126756	0,000000	0,154	200	469	Gelagar Memanjang	1,143	0,005548	0,126768	0,000000	0,132



Berdasarkan hasil rekapitulasi rasio tegangan pada struktur atas jembatan tersebut, maka nilai rasio tegangan pada struktur atas jembatan secara keseluruhan dapat dilakukan dengan perhitungan seperti berikut.

$$\begin{aligned} R &= \sum \frac{\text{Rasio Pu}}{\text{Faktor C}} \\ &= \frac{25,359}{442,451} \\ &= 0,057 \leq 1 \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

#### 5.4 Analisis Kapasitas Momen Lentur

Momen lentur merupakan gaya putar yang terjadi di ujung struktur bila terdapat tumpuan ataupun di sepanjang bidang struktur. Suatu komponen struktur apabila besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil dibandingkan momen lentur yang bekerja, maka efek dari gaya aksial tersebut dapat diabaikan dan untuk mengetahui besarnya dengan cara mengali jarak dan gaya vertikal yang ada. Berikut merupakan perhitungan dari kapasitas momen lentur pada struktur atas jembatan dapat dilihat di bawah ini.

##### 1. Gelagar Memanjang

###### a. Pembebanan Gelagar Memanjang

###### 1) Beban Sendiri ( $M_S$ )

###### a) Berat Sendiri Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang yang digunakan menggunakan profil IWF 450x200x9x14, sehingga berat sendiri gelagar memanjang ( $Q_{MS}$  gelagar) senilai 0,745 kN/m.

###### b) Berat Sendiri Pelat Beton

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tinggi pelat beton,  $h = 0,255$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri pelat.

$$\begin{aligned} Q_{MS} \text{ pelat} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 0,255 \times 1,7 \\ &= 10,404 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2) Beban Sendiri Tambahan ( $MA$ )

## a) Berat Sendiri Tambahan Aspal

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tebal aspal,  $h = 0,05$  m

Berat jenis aspal,  $\gamma_a = 22$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri aspal.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ aspal} &= \gamma_a \times h \times r \\ &= 22 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 1,87 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## b) Berat Sendiri Tambahan Hujan

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tebal hujan,  $h = 0,05$  m

Berat jenis air,  $\gamma_w = 10$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri hujan.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ hujan} &= \gamma_w \times h \times r \\ &= 10 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 0,85 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c) Berat Sendiri *Deck Slab*

Lebar *deck slab*,  $b = 1,7$  m

Tebal *deck slab*,  $h = 0,00085$  m

Berat jenis baja,  $\gamma_b = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri *deck slab*.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ deck slab} &= \gamma_b \times h \times b \\ &= 78,5 \times 1,7 \times 0,00085 \\ &= 0,113 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## d) Total Berat Sendiri Tambahan

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ total} &= Q_{MA} \text{ aspal} + Q_{MA} \text{ hujan} + Q_{MA} \text{ deck slab} \\ &= 1,87 + 0,85 + 0,113 \\ &= 2,833 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

3) Beban Lajur “D” (*TD*)a) Beban Terbagi Rata (*BTR*)

$$\text{Jarak antar gelagar, } r = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Bentang jembatan, } L = 60 \text{ m}$$

$$\text{Beban bina marga, } FBM = 100\%$$

$$\begin{aligned} q &= 9,0 \times (0,5 + 15/L) \\ &= 9,0 \times (0,5 + 15/60) \\ &= 6,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan beban terbagi rata (*BTR*).

$$\begin{aligned} Q_{BTR} &= q \times r \\ &= 6,75 \times 1,7 \\ &= 11,475 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Beban Garis Tegak (*BGT*)

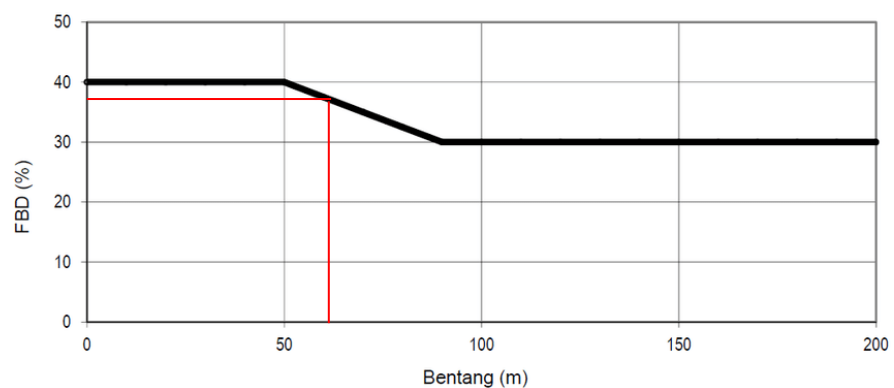
$$\text{Jarak antar gelagar, } r = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Intensitas BGT, } p = 49 \text{ kN/m}$$

$$\text{beban dinamis, } FBD = 37,5\%$$

$$\text{Beban bina marga, } FBM = 100\%$$

Berikut merupakan grafik Faktor Beban Dinamis dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 5.32 Faktor Beban Dinamis (*FBD*)**

Perhitungan beban garis tegak (*BGT*).

$$\begin{aligned} Q_{BGT} &= (1 + FBD) \times p \times r \\ &= (1 + 0,375) \times 49 \times 1,7 \\ &= 114,538 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



4) Gaya Rem ( $TB$ )

Beban terbagi rata,  $BTR = 11,475 \text{ kN/m}$

Berat gandar truk,  $T = 500 \text{ kN}$

Lebar lalu lintas,  $S = 7 \text{ m}$

Berat truk rencana,  $PTT = 1000 \text{ kN}$

Jumlah *joint*,  $n = 65 \text{ joint}$

a) Perhitungan 1 ( $TB1$ )

$$\begin{aligned} TB1 &= 25\% \times T \\ &= 25\% \times 500 \\ &= 125 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Perhitungan 2 ( $TB2$ )

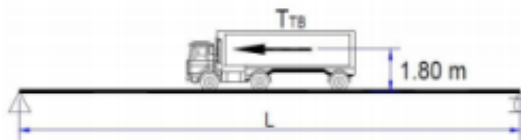
$$\begin{aligned} TB2 &= (5\% \times PTT) + (Q_{BTR} \times S) \\ &= (5\% \times 1000) + (11,475 \times 7) \\ &= 130,325 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1725:2016, hasil perhitungan gaya rem diambil nilai terbesar antara perhitungan  $TB1$  dan  $TB2$ . Dari hasil perhitungan tersebut nilai terbesar dari perhitungan gaya rem ( $TB$ ) adalah 130,325 kN yang didapat berdasarkan perhitungan 5% dari berat truk rencana.

Agar dapat mempermudah analisis gaya rem, maka beban gaya rem akan dibagi berdasarkan *joint* yang berada di permodelan jembatan. Berikut adalah perhitungan gaya rem tiap *joint*.

$$\begin{aligned} PTB &= \frac{TB}{n} \\ &= \frac{130,325}{65} \\ &= 2,005 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut merupakan gambar pembebanan akibat gaya rem dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 5.33 Beban Gaya Rem**

## b. Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Memanjang

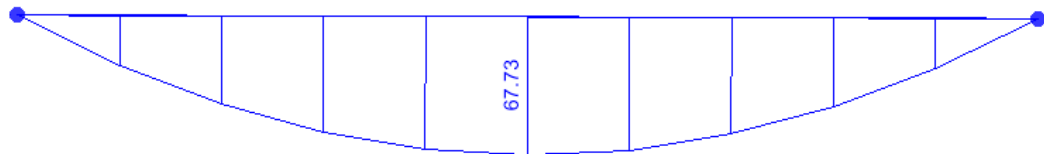
Rekapitulasi jumlah pembebanan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Memanjang**

Jenis Beban	Simbol	Nilai	Faktor Beban	Beban	Satuan
Beban Sendiri Beton	MS	10,404	1,3	13,525	kN/m
Beban Sendiri Baja		0,745		0,969	kN/m
Beban Mati Tambahan	MA	2,833	1,4	3,966	kN/m
Beban Terbagi Rata	TD	11,475	1,8	20,655	kN/m
Beban Garis Tegak		114,538		206,168	kN
Gaya Rem	TB	2,005	1,8	3,609	kN
Jumlah Beban Merata				39,115	kN/m
Jumlah Beban Titik				209,777	kN

## c. Analisis Kapasitas Momen Lentur

Analisis gelagar memanjang dengan bantuan aplikasi *SAP2000* untuk mendapatkan momen ultimit ( $M_u$ ) dari perhitungan pembebanan yang berada di atas. Dari hasil analisis *SAP2000* diperoleh sebagai berikut.



**Gambar 5.34 Diagram Momen Gelagar Memanjang**

$$M_u = 67,729 \text{ kNm}$$

## 1) Data Dimensi Profil

$$\text{Tinggi profil, } d = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar sayap, } b = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal badan, } t_w = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal sayap, } t_f = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jari-jari kelengkungan, } r = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas area profil, } A = 8412 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia sumbu x, } I_x = 237000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Inersia sumbu y, } I_y = 17400000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Jari-jari girasi sumbu x, } r_x = 168 \text{ mm}$$

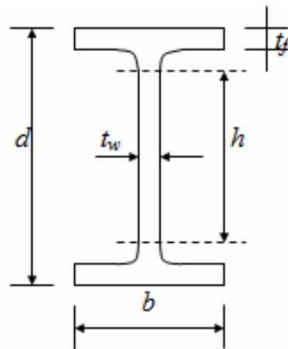
$$\text{Jari-jari girasi sumbu y, } r_y = 45,4 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus sumbu } x, Z_x = 1190000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus sumbu } y, Z_y = 174000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi, } h_t &= t_f + r \\ &= 13 + 16 \\ &= 29 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bersih, } h &= h_t - (2 \times h_t) \\ &= 400 - (2 \times 29) \\ &= 342 \text{ mm} \end{aligned}$$



Keterangan:

d = Tinggi Profil

b = Lebar Sayap

tw = tebal badan

tf = tebal sayap

**Gambar 5.35 Detail Profil IWF**

## 2) Tinjauan Lentur

$$\text{Tebal pelat lantai, } t_s = 255 \text{ mm}$$

Lebar efektif,  $b_E$

a) 1/5 panjang bentang

$$1/5 \times 60000 = 12000 \text{ mm}$$

b) Jarak antar gelagar,  $S = 1700 \text{ mm}$

c)  $12 \times t_s$

$$12 \times 255 = 3060 \text{ mm}$$

Lebar efektif yang terpakai adalah nilai terkecil, yaitu 1700 mm

$$\text{Kuat tekan beton, } f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja, } f_y = 460 \text{ MPa}$$

Perhitungan resultan gaya maksimum C dan T.

a) Gaya Tarik Maksimum

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 8412 \times 460 \\ &= 3869520 \text{ N} \\ &= 3869,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Gaya Tekan Maksimum

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \times f'_c \times b \times E \\ &= 0,85 \times 460 \times 1700 \\ &= 8670000 \text{ N} \\ &= 8670 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas, garis netral plastis pada pelat beton karena  $C > T$ .

c) Sumbu Netral

$$\begin{aligned} a &= \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{460 \times 8412}{0,85 \times 460 \times 1700} \\ &= 89,262 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_c &= t_s \\ &= 255 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= Y_c - \left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 255 - \left(\frac{89,262}{2}\right) \\ &= 210,369 \text{ mm} \end{aligned}$$

d) Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times f_y \times A_s \times \left(\frac{h}{2} + Y_2\right) \\ &= 0,9 \times 460 \times 8412 \times \left(\frac{400}{2} + 210,369\right) \\ &= 1429137454 \text{ Nmm} \\ &= 1429,137 \text{ kNm} \end{aligned}$$

e) Cek Keamanan Profil

$$\phi M_n = 1429,137 \text{ kNm}$$

$$M_u = 67,729 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$1429,137 \text{ kNm} \geq 67,729 \text{ kNm (AMAN)}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka profil baja gelagar memanjang aman terhadap momen lentur.

## 2. Gelagar Melintang

### a. Pembebanan Gelagar Melintang

#### 1) Beban Sendiri ( $MS$ )

##### a) Berat Sendiri Gelagar Melintang

Gelagar Melintang yang digunakan menggunakan profil IWF 900x300x16x28, sehingga berat sendiri gelagar melintang ( $Q_{MS}$  gelagar) senilai 1,83 kN/m.

##### b) Berat Sendiri Pelat Beton

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tinggi pelat beton,  $h = 0,255$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri pelat.

$$\begin{aligned} Q_{MS} \text{ pelat} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 0,255 \times 5 \\ &= 30,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### 2) Beban Mati Tambahan ( $MA$ )

##### a) Berat Sendiri Tambahan Aspal

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tebal aspal,  $h = 0,05$  m

Berat jenis aspal,  $\gamma_a = 22$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri aspal.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ aspal} &= \gamma_a \times h \times r \\ &= 22 \times 0,05 \times 5 \\ &= 5,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

##### b) Berat Sendiri Tambahan Hujan

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tebal hujan,  $h = 0,05$  m

Berat jenis air,  $\gamma_w = 10$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri hujan.

$$\begin{aligned}
 Q_{MA} \text{ hujan} &= \gamma_w \times h \times r \\
 &= 10 \times 0,05 \times 5 \\
 &= 2,5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

c) Berat Sendiri Trotoar

Jarak antar gelagar,  $r = 5 \text{ m}$

Tebal trotoar,  $h = 0,265 \text{ m}$

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$

Perhitungan berat sendiri trotoar.

$$\begin{aligned}
 Q_{MA} \text{ trotoar} &= \gamma_b \times h \times r \\
 &= 24 \times 5 \times 0,265 \\
 &= 31,8 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

d) Berat Sendiri *Deck Slab*

Jarak antar gelagar,  $r = 5 \text{ m}$

Tebal *deck slab*,  $h = 0,00085 \text{ m}$

Berat jenis baja,  $\gamma_b = 78,5 \text{ kN/m}^3$

Perhitungan berat sendiri *deck slab*.

$$\begin{aligned}
 Q_{MA} \text{ deck slab} &= \gamma_b \times h \times b \\
 &= 78,5 \times 5 \times 0,00085 \\
 &= 0,334 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

e) Total Berat Sendiri Tambahan

$$\begin{aligned}
 Q_{MA} \text{ total} &= Q_{MA} \text{ aspal} + Q_{MA} \text{ hujan} + Q_{MA} \text{ trotoar} + Q_{MA} \text{ deck slab} \\
 &= 5,5 + 2,5 + 31,8 + 0,334 \\
 &= 40,134 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3) Beban Lajur "D"

a. Beban Terbagi Rata (*BTR*)

Jarak antar gelagar,  $r = 5 \text{ m}$

Bentang jembatan,  $L = 60 \text{ m}$

Beban bina marga,  $FBM = 100\%$

$$\begin{aligned}
 q &= 9,0 \times (0,5 + 15/L) \\
 &= 9,0 \times (0,5 + 15/60) \\
 &= 6,75 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

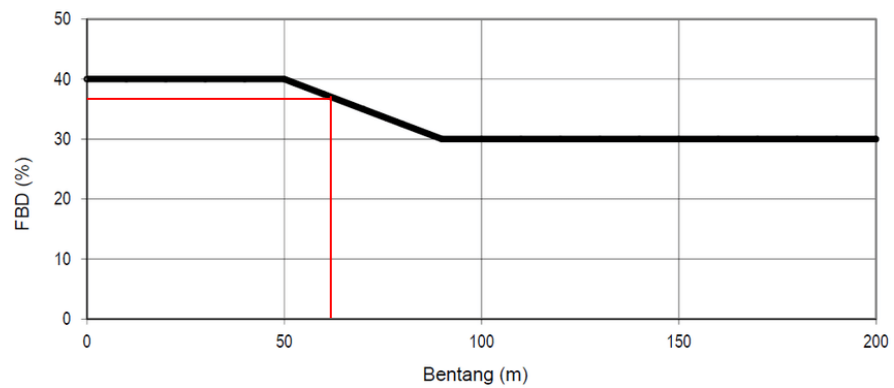
Perhitungan beban terbagi rata (*BTR*).

$$\begin{aligned} Q_{BTR} &= q \times r \\ &= 6,75 \times 5 \\ &= 33,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban Garis Tegak (*BGT*)

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar gelagar, } r &= 5 \text{ m} \\ \text{Intensitas BGT, } p &= 49 \text{ kN/m} \\ \text{beban dinamis, } FBD &= 37,5\% \\ \text{Beban bina marga, } FBM &= 100\% \end{aligned}$$

Berikut merupakan grafik Faktor Beban Dinamis dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 5.36 Faktor Beban Dinamis (*FBD*)**

Perhitungan beban garis tegak (*BGT*).

$$\begin{aligned} Q_{BGT} &= (1 + FBD) \times p \times r \\ &= (1 + 0,375) \times 49 \\ &= 67,375 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Melintang

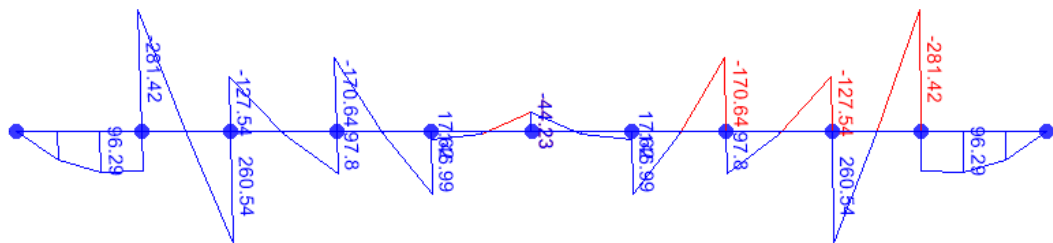
Berikut merupakan tabel rekapitulasi pembebanan pada gelagar melintang.

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Melintang**

Beban	Simbol	Nilai	Faktor Beban	Beban	Satuan
Beban Sendiri Profil	MS	1,83	1,3	2,379	kN/m
Beban Sendiri Pelat Lantai		30,6		39,78	kN/m
Beban Mati Tambahan	MA	40,134	1,4	56,188	kN/m
Beban Terbagi Rata	TD	33,75	1,8	60,75	kN/m
Beban Garis Tegak		67,375		121,275	kN/m
Jumlah Beban Merata				280,372	kN/m

c. Analisis Kapasitas Momen Lentur

Analisis gelagar melintang dengan bantuan aplikasi *SAP2000* untuk mendapatkan momen ultimit ( $M_u$ ) dari perhitungan pembebanan yang berada di atas. Dari hasil analisis *SAP2000* diperoleh sebagai berikut.



**Gambar 5.37 Diagram Momen Gelagar Melintang**

$$M_u = 281,416 \text{ kNm}$$

1) Data Profil

Tinggi,  $h$  = 800 mm

Lebar,  $b$  = 300 mm

Tebal Badan,  $t_w$  = 14 mm

Tebal Sayap,  $t_f$  = 26 mm

Berat,  $q$  = 1210 kg/m

Luas Penampang,  $A$  = 26740 mm<sup>2</sup>

Momen Inersia X,  $I_x$  = 2920000000 mm<sup>4</sup>

Momen Inersia Y,  $I_y$  = 117000000 mm<sup>4</sup>

Radius Girasi,  $r_x$  = 330 mm

Radius Girasi,  $r_y$  = 66,2 mm



Modulus Elastis X,  $S_x = 7290000 \text{ mm}^3$

Modulus Elastis Y,  $S_y = 782000 \text{ mm}^3$

Modulus Plastis X,  $Z_x = 8164800 \text{ mm}^3$

Faktor Reduksi,  $\phi = 0,9$

Tegangan Leleh,  $F_y = 460 \text{ MPa}$

Modulus Elastisitas,  $E = 200000 \text{ MPa}$

## 2) Cek Klasifikasi Profil Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{tw} \\ &= \frac{800}{14} \\ &= 57,143\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pw} &= 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 78,401\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rw} &= 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 118,853\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $\lambda \leq \lambda_{pw}$  dan  $\lambda \leq \lambda_{rw}$ , maka profil tersebut termasuk profil badan kompak.

## 3) Cek Klasifikasi Profil Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{0,5 \times b}{tf} \\ &= \frac{0,5 \times 300}{26} \\ &= 5,769\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pf} &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 7,924\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rf} &= \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 20,851\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $\lambda \leq \lambda_{pf}$  dan  $\lambda \leq \lambda_{rf}$ , maka profil tersebut termasuk profil sayap kompak.

4) Cek Batas Panjang Tanpa Bresing pada Kondisi Leleh

$$L_b = 1700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 66,2 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 2429,443 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $L_b < L_p$ , maka momen nominal yang digunakan sebagai berikut.

5) Momen Nominal terhadap Pelelehan

$$\begin{aligned}M_n &= M_p \\ &= Z_x \times F_y \\ &= 8164800 \times 460 \times 10^{-6} \\ &= 3755,808 \text{ kNm}\end{aligned}$$

6) Cek Keamanan Profil

$$\begin{aligned}M_u &= 281,416 \text{ kNm} \\ M_n &= 3755,808 \text{ kNm} \\ \phi M_n &\geq M_u \\ 0,9 \times 3755,808 &\geq 281,416 \\ 3380,227 \text{ kNm} &\geq 281,416 \text{ kNm (AMAN)}\end{aligned}$$

## 5.5 Analisis Kapasitas Gaya Geser

Gaya geser atau dapat disebut juga gaya vertikal merupakan gaya yang bekerja secara tegak lurus pada bidang struktur. Secara numerik, gaya geser adalah jumlah aljabar dari semua komponen vertikal gaya – gaya luar yang bekerja pada segmen yang terisolasi, tetapi dengan arah yang berlawanan dinotasikan dengan  $V$ . Berikut ini merupakan perhitungan kapasitas gaya geser struktur jembatan Nilo.

## 1. Gelagar Memanjang

### a. Pembebanan Gelagar Memanjang

#### 1) Beban Sendiri ( $MS$ )

##### a) Berat Sendiri Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang yang digunakan menggunakan profil IWF 450x200x9x14, sehingga berat sendiri gelagar memanjang ( $Q_{MS}$  gelagar) senilai 0,745 kN/m.

##### b) Berat Sendiri Pelat Beton

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tinggi pelat beton,  $h = 0,255$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri pelat.

$$\begin{aligned} Q_{MS} \text{ pelat} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 0,255 \times 1,7 \\ &= 10,404 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### 2) Beban Sendiri Tambahan ( $MA$ )

##### a) Berat Sendiri Tambahan Aspal

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tebal aspal,  $h = 0,05$  m

Berat jenis aspal,  $\gamma_a = 22$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri aspal.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ aspal} &= \gamma_a \times h \times r \\ &= 22 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 1,87 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

##### b) Berat Sendiri Tambahan Hujan

Jarak antar gelagar,  $r = 1,7$  m

Tebal hujan,  $h = 0,05$  m

Berat jenis air,  $\gamma_w = 10$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri hujan.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ hujan} &= \gamma_w \times h \times r \\ &= 10 \times 0,05 \times 1,7 \\ &= 0,85 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c) Berat Sendiri *Deck Slab*

$$\text{Lebar deck slab, } b = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Tebal deck slab, } h = 0,00085 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis baja, } \gamma_b = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

Perhitungan berat sendiri *deck slab*.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ deck slab} &= \gamma_b \times h \times b \\ &= 78,5 \times 1,7 \times 0,00085 \\ &= 0,113 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## d) Total Berat Sendiri Tambahan

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ total} &= Q_{MA} \text{ aspal} + Q_{MA} \text{ hujan} + Q_{MA} \text{ deck slab} \\ &= 1,87 + 0,85 + 0,113 \\ &= 2,833 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

3) Beban Lajur "D" (*TD*)a) Beban Terbagi Rata (*BTR*)

$$\text{Jarak antar gelagar, } r = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Bentang jembatan, } L = 60 \text{ m}$$

$$\text{Beban bina marga, } FBM = 100\%$$

$$\begin{aligned} q &= 9,0 \times (0,5 + 15/L) \\ &= 9,0 \times (0,5 + 15/60) \\ &= 6,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan beban terbagi rata (*BTR*).

$$\begin{aligned} Q_{BTR} &= q \times r \\ &= 6,75 \times 1,7 \\ &= 11,475 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Beban Garis Tegak (*BGT*)

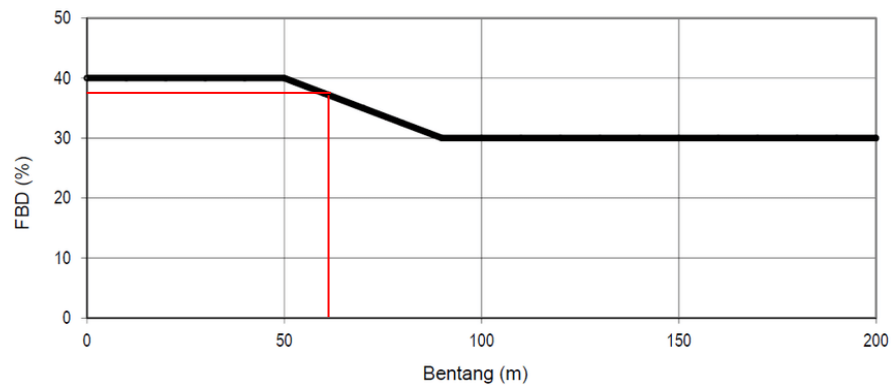
$$\text{Jarak antar gelagar, } r = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Intensitas BGT, } p = 49 \text{ kN/m}$$

$$\text{beban dinamis, } FBD = 37,5\%$$

$$\text{Beban bina marga, } FBM = 100\%$$

Berikut merupakan grafik Faktor Beban Dinamis dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 5.38 Faktor Beban Dinamis (FBD)**

Perhitungan beban garis tegak (*BGT*).

$$\begin{aligned}
 Q_{BGT} &= (1 + FBD) \times p \times r \\
 &= (1 + 0,375) \times 49 \times 1,7 \\
 &= 114,538 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4) Gaya Rem (*TB*)

Beban terbagi rata, *BTR* = 11,475 kN/m

Berat gandar truk, *T* = 500 kN

Lebar lalu lintas, *S* = 7 m

Berat truk rencana, *PTT* = 1000 kN

Jumlah *joint*, *n* = 65 *joint*

a) Perhitungan 1 (*TB1*)

$$\begin{aligned}
 TB1 &= 25\% \times T \\
 &= 25\% \times 500 \\
 &= 125 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan 2 (*TB2*)

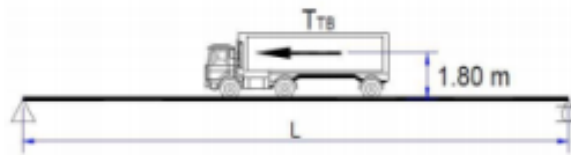
$$\begin{aligned}
 TB2 &= (5\% \times PTT) + (Q_{BTR} \times S) \\
 &= (5\% \times 1000) + (11,475 \times 7) \\
 &= 130,325 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1725:2016, hasil perhitungan gaya rem diambil nilai terbesar antara perhitungan *TB1* dan *TB2*. Dari hasil perhitungan tersebut nilai terbesar dari perhitungan gaya rem (*TB*) adalah 130,325 kN yang didapat berdasarkan perhitungan 5% dari berat truk rencana.

Agar dapat mempermudah analisis gaya rem, maka beban gaya rem akan dibagi berdasarkan *joint* yang berada di permodelan jembatan. Berikut adalah perhitungan gaya rem tiap *joint*.

$$\begin{aligned} PTB &= \frac{TB}{n} \\ &= \frac{130,325}{65} \\ &= 2,005 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut merupakan gambar pembebanan akibat gaya rem dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 5.39 Beban Gaya Rem**

b. Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Memanjang

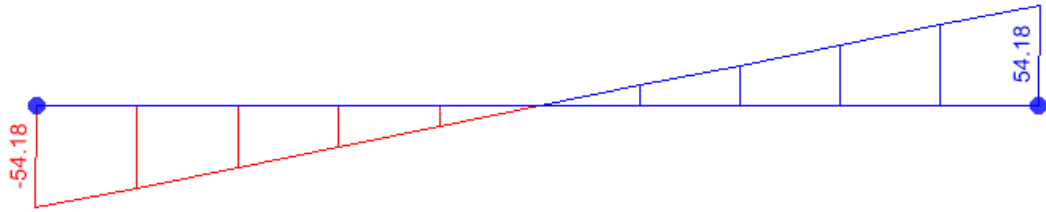
Rekapitulasi jumlah pembebanan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Memanjang**

Jenis Beban	Simbol	Nilai	Faktor Beban	Beban	Satuan
Beban Sendiri Beton	MS	10,404	1,3	13,525	kN/m
Beban Sendiri Baja		0,745		0,969	kN/m
Beban Mati Tambahan	MA	2,833	1,4	3,966	kN/m
Beban Terbagi Rata	TD	11,475	1,8	20,655	kN/m
Beban Garis Tegak		114,538		206,168	kN
Gaya Rem	TB	2,005	1,8	3,609	kN
Jumlah Beban Merata				39,115	kN/m
Jumlah Beban Titik				209,777	kN

c. Analisis Kapasitas Gaya Geser

Analisis gelagar memanjang dengan bantuan aplikasi *SAP2000* untuk mendapatkan momen ultimit ( $M_u$ ) beserta kuat geser ( $V_u$ ) dari perhitungan pembebanan yang berada di atas. Dari hasil analisis *SAP2000* diperoleh sebagai berikut.



**Gambar 5.40 Diagram Geser Gelagar Memanjang**

$$V_u = 54,18 \text{ kN}$$

1) Data Dimensi Profil

$$\text{Tinggi profil, } d = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar sayap, } b = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal badan, } t_w = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal sayap, } t_f = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jari-jari kelengkungan, } r = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas area profil, } A = 8412 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia sumbu x, } I_x = 237000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Inersia sumbu y, } I_y = 17400000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Jari-jari girasi sumbu x, } r_x = 168 \text{ mm}$$

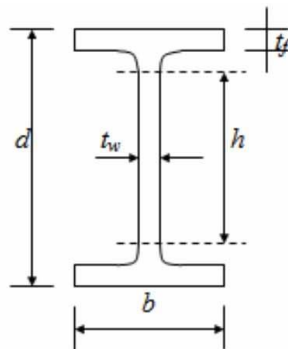
$$\text{Jari-jari girasi sumbu y, } r_y = 45,4 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus sumbu x, } Z_x = 1190000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus sumbu y, } Z_y = 174000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi, } h_t &= t_f + r \\ &= 13 + 16 \\ &= 29 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bersih, } h &= h_t - (2 \times h_t) \\ &= 400 - (2 \times 29) \\ &= 342 \text{ mm} \end{aligned}$$



Keterangan:

d = Tinggi Profil

b = Lebar Sayap

t<sub>w</sub> = tebal badan

t<sub>f</sub> = tebal sayap

**Gambar 5.41 Detail Profil IWF**

## 2) Tinjauan Pengaku Vertikal dan Perhitungan Geser

### a) Pengaku Vertikal

Berdasarkan RSNI T-03-2005, syarat diperlukannya pengaku adalah nilai  $a/h \leq 3,0$ . Akan tetapi, jika nilai  $a/h > 3,0$  maka pengaku pada balok tidak diperlukan. Berikut merupakan perhitungan pengaku vertikal pada balok.

$$\begin{aligned} a/h &= \frac{5000}{386} \\ &= 12,953 \text{ mm} > 3,0 \text{ (Maka balok tersebut tidak perlu pengaku)} \end{aligned}$$

### b) Kontrol Ketebalan Pelat Badan Tanpa Pengaku

Perhitungan hasil perbandingan tinggi terhadap tebal badan adalah untuk mengetahui ketebalan pelat badan tersebut telah aman atau tidak. Berikut adalah perhitungan kontrol ketebalan pelat badan tanpa pengaku.

Perbandingan tinggi terhadap tebal badan:

$$\begin{aligned} \frac{h}{t_w} &< 3,57 \times \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} \\ \frac{386}{9} &< 3,57 \times \sqrt{\left(\frac{200000}{460}\right)} \\ 42,889 &< 74,440 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut mendapatkan hasil  $42,889 < 74,440$ , maka ketebalan pelat badan tanpa pengaku tersebut aman.

### c) Tahanan Geser Nominal

Berikut adalah perhitungan dari tahanan geser nominal.

#### (1) Luas Penampang

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times h \\ &= 9 \times 386 \\ &= 3474 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### (2) Perhitungan $kn$

$$\begin{aligned} kn &= 5 + \left(\frac{5}{a+h}\right)^2 \\ &= 5 + \left(\frac{5}{4996,5 + 386}\right)^2 \\ &= 5 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} h/t_w &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{386}{9} \\ &= 42,889 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \text{ Syarat} &= 1,10 \times \sqrt{kn \frac{E}{f_y}} \\ &= 1,10 \times \sqrt{5 \frac{200000}{460}} \\ &= 51,288 \end{aligned}$$

(4) Dengan nilai perbandingan  $h/t_w \leq 1,10 \times \sqrt{kn \frac{E}{f_y}}$ , maka tahanan geser nominal menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_n &= 0,60 \times f_y \times A_w \\ &= 0,60 \times 460 \times 3474 \\ &= 958824 \text{ N} \\ &= 958,824 \text{ kN} \end{aligned}$$

(5) Tahanan Geser Nominal Tereduksi

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi_s \times V_n \\ &= 0,9 \times 958,824 \\ &= 862,942 \text{ kN} \end{aligned}$$

d) Cek Keamanan Profil

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 862,942 \text{ kN} \\ V_u &= 54,18 \text{ kN} \\ \phi V_n &\geq V_u \\ 862,942 \text{ kN} &\geq 54,18 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka profil baja gelagar memanjang aman terhadap gaya geser.

## 2. Gelagar Melintang

### a. Pembebanan Gelagar Melintang

#### 1) Beban Sendiri ( $M_S$ )

##### a) Berat Sendiri Gelagar Melintang

Gelagar Melintang yang digunakan menggunakan profil IWF 900x300x16x28, sehingga berat sendiri gelagar melintang ( $Q_{MS}$  gelagar) senilai 1,83 kN/m.

## b) Berat Sendiri Pelat Beton

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tinggi pelat beton,  $h = 0,255$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri pelat.

$$\begin{aligned} Q_{MS} \text{ pelat} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 0,255 \times 5 \\ &= 30,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2) Beban Mati Tambahan ( $MA$ )

## a) Berat Sendiri Tambahan Aspal

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tebal aspal,  $h = 0,05$  m

Berat jenis aspal,  $\gamma_a = 22$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri aspal.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ aspal} &= \gamma_a \times h \times r \\ &= 22 \times 0,05 \times 5 \\ &= 5,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## b) Berat Sendiri Tambahan Hujan

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tebal hujan,  $h = 0,05$  m

Berat jenis air,  $\gamma_w = 10$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri hujan.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ hujan} &= \gamma_w \times h \times r \\ &= 10 \times 0,05 \times 5 \\ &= 2,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## c) Berat Sendiri Trotoar

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tebal trotoar,  $h = 0,265$  m

Berat jenis beton,  $\gamma_b = 24$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri trotoar.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ trotoar} &= \gamma_b \times h \times r \\ &= 24 \times 5 \times 0,265 \\ &= 31,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

d) Berat Sendiri *Deck Slab*

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Tebal *deck slab*,  $h = 0,00085$  m

Berat jenis baja,  $\gamma_b = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan berat sendiri *deck slab*.

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ deck slab} &= \gamma_b \times h \times b \\ &= 78,5 \times 5 \times 0,00085 \\ &= 0,334 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## e) Total Berat Sendiri Tambahan

$$\begin{aligned} Q_{MA} \text{ total} &= Q_{MA} \text{ aspal} + Q_{MA} \text{ hujan} + Q_{MA} \text{ trotoar} + Q_{MA} \text{ deck slab} \\ &= 5,5 + 2,5 + 31,8 + 0,334 \\ &= 40,134 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## 3) Beban Lajur "D"

a) Beban Terbagi Rata (*BTR*)

Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Bentang jembatan,  $L = 60$  m

Beban bina marga,  $FBM = 100\%$

$$\begin{aligned} q &= 9,0 \times (0,5 + 15/L) \\ &= 9,0 \times (0,5 + 15/60) \\ &= 6,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan beban terbagi rata (*BTR*).

$$\begin{aligned} Q_{BTR} &= q \times r \\ &= 6,75 \times 5 \\ &= 33,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Beban Garis Tegak (*BGT*)

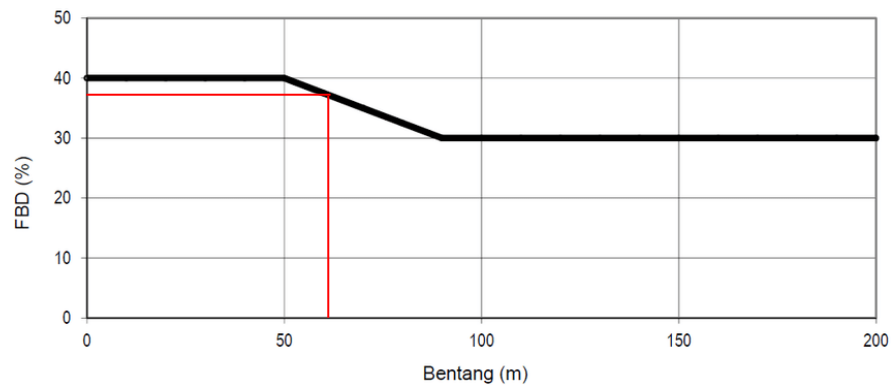
Jarak antar gelagar,  $r = 5$  m

Intensitas BGT,  $p = 49$  kN/m

beban dinamis,  $FBD = 37,5\%$

Beban bina marga,  $FBM = 100\%$

Berikut merupakan grafik Faktor Beban Dinamis dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 5.42 Faktor Beban Dinamis (FBD)**

Perhitungan beban garis tegak (*BGT*).

$$\begin{aligned}
 Q_{BGT} &= (1 + FBD) \times p \times \\
 &= (1 + 0,375) \times 49 \\
 &= 67,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b. Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Melintang

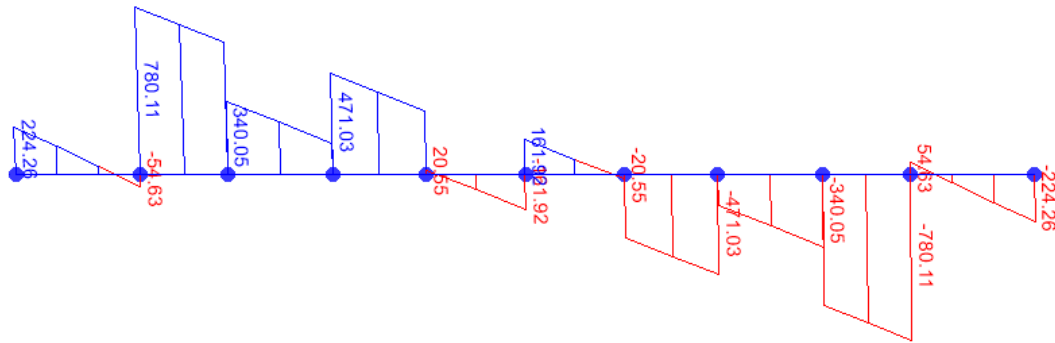
Berikut merupakan tabel rekapitulasi pembebanan pada gelagar melintang.

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Melintang**

Beban	Simbol	Nilai	Faktor Beban	Beban	Satuan
Beban Sendiri Profil	MS	1,83	1,3	2,379	kN/m
Beban Sendiri Pelat Lantai		30,6		39,78	kN/m
Beban Mati Tambahan	MA	40,134	1,4	56,188	kN/m
Beban Terbagi Rata	TD	33,75	1,8	60,75	kN/m
Beban Garis Tegak		67,375		121,275	kN
Jumlah Beban Merata				159,097	kN/m
Jumlah Beban Titik				121,275	kN

c. Analisis Gelagar Melintang

Analisis gelagar melintang dengan bantuan aplikasi *SAP2000* untuk mendapatkan momen ultimit (*Mu*) beserta kuat geser (*Vu*) dari perhitungan pembebanan yang berada di atas. Dari hasil analisis *SAP2000* diperoleh sebagai berikut.



**Gambar 5.43 Diagram Geser Gelagar Melintang**

$$V_u = 780,106 \text{ kN}$$

1) Data Profil

$$\text{Tinggi, } h = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar, } b = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Badan, } t_w = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Sayap, } t_f = 26 \text{ mm}$$

$$\text{Berat, } q = 1210 \text{ kg/m}$$

$$\text{Luas Penampang, } A = 26740 \text{ mm}^2$$

$$\text{Momen Inersia X, } I_x = 2920000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momen Inersia Y, } I_y = 117000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Radius Girasi, } r_x = 330 \text{ mm}$$

$$\text{Radius Girasi, } r_y = 66,2 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus Elastis X, } S_x = 7290000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus Elastis Y, } S_y = 782000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus Plastis X, } Z_x = 8164800 \text{ mm}^3$$

$$\text{Faktor Reduksi, } \phi = 0,9$$

$$\text{Tegangan Leleh, } F_y = 460 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus Elastisitas, } E = 200000 \text{ MPa}$$

2) Cek Klasifikasi Profil Badan

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{800}{14} \\ &= 57,143 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pw} &= 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 78,401\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rw} &= 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 118,853\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $\lambda \leq \lambda_{pw}$  dan  $\lambda \leq \lambda_{rw}$ , maka profil tersebut termasuk profil badan kompak.

### 3) Cek Klasifikasi Profil Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{0,5 \times b}{tf} \\ &= \frac{0,5 \times 300}{26} \\ &= 5,769\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pf} &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 7,924\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rf} &= \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 20,851\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $\lambda \leq \lambda_{pf}$  dan  $\lambda \leq \lambda_{rf}$ , maka profil tersebut termasuk profil sayap kompak.

### 4) Cek Batas Panjang Tanpa Bresing pada Kondisi Leleh

$$Lb = 1700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}Lp &= 1,76 \times ry \times \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 1,76 \times 66,2 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 2429,443 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $Lb < Lp$ , maka momen nonimal yang digunakan sebagai berikut.

5) Rasio Tinggi Tebal Kuat Geser

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{tw} \\ &= \frac{800}{14} \\ &= 57,143 \\ \lambda_{pf} &= 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 2,24 \times \sqrt{\frac{200000}{460}} \\ &= 53,003\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil di atas adalah  $\lambda > \lambda_{pf}$ , maka nilai  $\phi$  dan  $C_v$  dapat diketahui melalui perhitungan seperti berikut.

$$\begin{aligned}\phi &= 1 \\ C_v &= \frac{1,1 \times \sqrt{5,34 \times E}}{h \times tw} \\ &= \frac{1,1 \times \sqrt{5,34 \times 200000}}{800 \times 14} \\ &= 0,928\end{aligned}$$

6) Cek Keamanan Profil terhadap Geser

$$\begin{aligned}V_u &= 780,106 \text{ kN} \\ V_n &= \phi \times 0,6 \times F_y \times A_{web} \times C_v \\ &= 1 \times 0,6 \times 460 \times 800 \times 14 \times 0,928 \times 10^{-3} \\ &= 2867,243 \text{ kN} \\ V_n &> V_u \\ 2867,243 \text{ kN} &> 780,106 \text{ kN (AMAN)}\end{aligned}$$

## 5.6 Pembahasan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa struktur jembatan Nilo aman terhadap pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016. Hal tersebut dapat dilihat berdasarkan tabel rekapitulasi dari hasil perhitungan struktur jembatan yang berada di bawah.

### 5.6.1 Kapasitas Tarik dan Tekan

Rekapitulasi kapasitas tarik dan tekan dari analisis struktur atas jembatan Nilo dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Kapasitas Tarik dan Tekan Jembatan Nilo**

No.	Struktur	Kuat Tekan Rencana ( $\phi P_n$ ) (kN)	Gaya Aksial ( $P_u$ ) (kN)	Keterangan
1	Rangka Atas	6625,134	6352,787	AMAN
2	Rangka Bawah	1736,625	992,562	AMAN
3	Diagonal Tekan	5592,244	3334,399	AMAN
4	Diagonal Tarik	7718,833	3106,241	AMAN
5	Ikatan Angin Tekan	18,862	14,237	AMAN
6	Ikatan Angin Tarik	706,118	22,036	AMAN

Berdasarkan rekapitulasi kapasitas tarik dan tekan, nilai kuat tekan rencana ( $\phi P_n$ ) pada rangka atas, rangka bawah, diagonal, dan ikatan angin lebih besar daripada nilai gaya aksial ( $P_u$ ) yang diterima oleh jembatan Nilo, sehingga aman terhadap beban yang diterima agar tidak mengalami kegagalan struktur.

### 5.6.2 Rasio Tegangan

Berdasarkan rekapitulasi nilai rasio tegangan pada struktur atas jembatan Nilo pada Tabel 5.5 didapatkan data untuk menganalisis nilai rasio tegangan secara keseluruhan yang berjumlah 0,057, nilai tersebut dinyatakan aman terhadap persyaratan kekuatan perencanaan yang dilakukan dengan bantuan *SAP2000*.

### 5.6.3 Kapasitas Momen Lentur

Rekapitulasi hasil analisis terhadap kapasitas momen lentur pada jembatan Nilo dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Jembatan Nilo**

No.	Struktur	Momen Rencana ( $\phi M_n$ ) (kNm)	Momen Ultimit ( $M_u$ ) (kNm)	Keterangan
1	Gelagar Memanjang	1429,137	67,729	AMAN
2	Gelagar Melintang	3380,227	281,416	AMAN



Berdasarkan rekapitulasi kapasitas momen lentur, nilai momen rencana ( $\phi Mn$ ) pada gelagar memanjang dan gelagar melintang lebih besar daripada nilai momen ultimit ( $Mu$ ) yang diterima oleh jembatan Nilo, sehingga aman terhadap momen yang diterima agar tidak mengalami kegagalan struktur.

#### 5.6.4 Kapasitas Gaya Geser

Rekapitulasi hasil analisis terhadap kapasitas gaya geser pada jembatan Nilo dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Kapasitas Gaya Geser Jembatan Nilo**

No.	Struktur	Gaya Geser Rencana ( $\phi Vn$ ) (kN)	Kuat Geser ( $Vu$ ) (kN)	Keterangan
1	Gelagar Memanjang	862,942	54,18	AMAN
2	Gelagar Melintang	2867,243	780,106	AMAN

Berdasarkan rekapitulasi kapasitas gaya geser, nilai gaya geser ( $\phi Vn$ ) pada gelagar memanjang dan gelagar melintang lebih besar daripada nilai kuat geser ( $Vu$ ) yang diterima oleh jembatan Nilo, sehingga aman terhadap gaya yang diterima agar tidak mengalami kegagalan struktur.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka kapasitas struktur atas jembatan terhadap gaya dalam yang diterima Jembatan Rangka Baja Nilo berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut ini:

1. Kapasitas gaya aksial ( $\phi P_n$ ) pada jembatan Nilo:
  - a. Rangka atas (*top chord*) mempunyai nilai ( $\phi P_n$ ) sebesar 6625,134 kN > 6352,787 kN terhadap gaya aksial yang diterima pada kuat tekan.
  - b. Rangka bawah (*bottom chord*) mempunyai nilai ( $\phi P_n$ ) sebesar 1736,625 kN > 992,562 kN terhadap gaya aksial yang diterima pada kuat tekan.
  - c. Batang diagonal mempunyai nilai ( $\phi P_n$ ) sebesar 5592,244 kN > 3334,399 kN terhadap gaya aksial pada kuat tekan, sedangkan ( $\phi P_n$ ) 7718,833 kN > 3106,241 kN terhadap gaya aksial pada kuat tarik.
  - d. Ikatan angin mempunyai nilai ( $\phi P_n$ ) sebesar 18,862 kN > 14,237 kN terhadap gaya aksial pada kuat tekan, sedangkan ( $\phi P_n$ ) 706,118 kN > 22,036 kN terhadap gaya aksial pada kuat tarik.
2. Kapasitas gaya geser ( $\phi V_n$ ) pada jembatan Nilo:
  - a. Gelagar memanjang mempunyai nilai ( $\phi V_n$ ) sebesar 862,942 kN > 54,18 kN terhadap kuat geser.
  - b. Gelagar melintang mempunyai nilai ( $\phi V_n$ ) sebesar 2867,243 kN > 780,106 kN terhadap kuat geser.
3. Kapasitas momen lentur ( $\phi M_n$ ) pada jembatan Nilo:
  - a. Gelagar memanjang mempunyai nilai ( $\phi M_n$ ) sebesar 1429,137 kNm > 67,729 kNm terhadap momen ultimit.
  - b. Gelagar melintang mempunyai nilai ( $\phi M_n$ ) sebesar 3380,227 kNm > 281,416 kNm terhadap momen ultimit.
4. Rasio tegangan keseluruhan pada struktur atas jembatan Nilo sejumlah  $0,057 \leq 1$ .

Nilai kapasitas struktur atas Jembatan Rangka Baja Nilo lebih besar terhadap gaya dalam yang diterima, sehingga struktur atas jembatan telah aman terhadap kerusakan struktur dan memenuhi persyaratan perencanaan berdasarkan SNI 1725:2016.

## 6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang berada di atas didapat beberapa saran yang berguna untuk melengkapi segala kekurangan pada penelitian oleh penulis dan dapat menjadi acuan oleh penelitian yang dilakukan pada masa mendatang.

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan penambahan analisis sambungan jembatan rangka baja pada struktur atas jembatan.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan analisis struktur bawah jembatan sehingga beban yang diterima oleh jembatan akan lebih variatif dan mendapatkan hasil yang lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R. 2017. Analisis Kapasitas Penampang Jembatan Rangka Baja Kali Lekso Pada Kondisi Eksisting Dengan Adanya Peningkatan Kelas Jalan. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 1725:2016: Pembebanan untuk Jembatan. BSN. Jakarta.
- Bima dkk. 2018. Evaluasi Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Berdasarkan Pembebanan RSNI T-02-2005 dan SNI 1725:2016. E-jurnal pnl. ISSN XXX-XXX. Aceh.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2017. Surat edaran No. 05/SE/Db/2017. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Hakikie, P.N. dan Wahyuni, E. 2017. Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng II pada Jalan Tol Semarang-Bawen Menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja. Jurnal Teknik ITS. Vol.6 No.2 ISSN: 23337-3539. Surabaya.
- Lathiefah, U. 2017. Perencanaan Ulang Jembatan Rangka Baja Jl. Ir. Sutami Jurug. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Surakarta. Solo.
- Liansa, D. 2019. Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan Box Girder Baja Berdasarkan SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2016. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara. Padang.
- Novita, R. 2017. Analisis Pembebanan Peraturan RSNI T-02-2005 Dan SNI- 1725:2016 Pada Jembatan Standar Rangka Baja Bentang 45 Meter. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Andalas. Padang.
- Pratama dkk. 2013. Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode Terrestrial Laser Scanner. Jurnal Geodesi UNDIP. Vol.2 No.4 ISSN: 2337-845X. Semarang.
- Pusat Survei dan Pemetaan ABRI. 1987. Daftar Pulau-Pulau Indonesia. Pusat Survei dan Pemetaan ABRI. Jakarta.

- Putri dkk. 2007. Perencanaan Jembatan Rangka Baja Bentang 50 Meter. PROKONS: Jurnal Teknik Sipil. Vol. 9 No. 2 Hal. 106 – 113. Malang.
- Setiyarto, Y.D. 2017. Standar Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 2016. Repository. No. VII-10. Bandung.
- Witriyatna dkk. 2016. Analisis Perbandingan Modul Jembatan Gelagar I dan Gelagar Box Baja Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya. E-jurnal Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. P-ISSN 1410-3680 / E-ISSN 2541- 1233. Tangerang.
- Oentoeng. 1999. Konstruksi Baja. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Kristen PETRA. Surabaya.
- Struyk, H.J, Veen, K.H.C.W. van der. 1984. Jembatan. Pradnya Paramita. Jakarta

# LAMPIRAN