

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA KERETA API
JALUR GANDA ANTARA SOLO BALAPAN – KADIPIRO,
SURAKARTA PAKET 4**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung
Semarang**



Disusun Oleh :

Muhammad Hayu Arif W

NIM : 30201900139

Ryan Aditya Putra P

NIM : 30201900190

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA KERETA API
JALUR GANDA ANTARA SOLO BALAPAN – KADIPIRO, SURAKARTA
PAKET 4



Muhammad Hayu Arif W
NIM : 30201900139



Ryan Aditya Putra P
NIM : 30201900190

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, ... Juli 2023

Tim Penguji

1. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D**
NIDN: 06-0704-6802
2. **Dr. Ir. H. Sumirin, MS.**
NIDN: 00-0405-6302
3. **Muhammad Rusli Ahyar, ST, M. Eng**
NIDN: 06-2505-9102

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 06-2505-9102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 49 / A.3 / SA – T / VII / 2023

Pada hari ini tanggal Juli 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T.,Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Muhammad Hayu Arif W
NIM : 30201900139

Ryan Aditya Putra P
NIM : 30201900190

Judul : Perancangan Ulang Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api Jalur Ganda Antara Solo Balapan – Kadipiro, Surakarta Paket 4.

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	12/06/2023	ACC
3	Pengumpulan data	03/07/2023	
4	Analisis data	05/07/2023	
5	Penyusunan laporan	07/07/2023	
6	Selesai laporan	07/08/2023	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Stripsi ini dibuat Untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak – pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T.,Ph.D.

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. H. Sumrin, MS.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Hayu Arif W
NIM : 30201900139

Nama : Ryan Aditya Putra P
Nim : 30201900190

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api Jalur Ganda Antara Solo Balapan - Kadipiro, Surakarta Paket 4 benar benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yang membuat pernyataan

(materai Rp 10.000,-)

Muhammad Hayu Arif W
NIM : 30201900139

Semarang, Agustus 2023
Yang membuat pernyataan

(materai Rp 10.000,-)

Ryan Aditya Putra P
NIM : 30201900190



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Hayu Arif W

Nim : 30201900139

Judul : Perancangan Ulang Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api Jalur

Ganda Antara Solo Balapan – Kadipiro, Surakarta Paket 4.

Nama : Ryan Aditya Putra P

Nim : 30201900190

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang membuat pernyataan

Semarang, Agustus 2023

Yang membuat pernyataan

(materai Rp 10.000,-)

Muhammad Hayu Arif W

NIM : 30201900139

(materai Rp 10.000,-)

Ryan Aditya Putra P

NIM : 30201900190

MOTTO

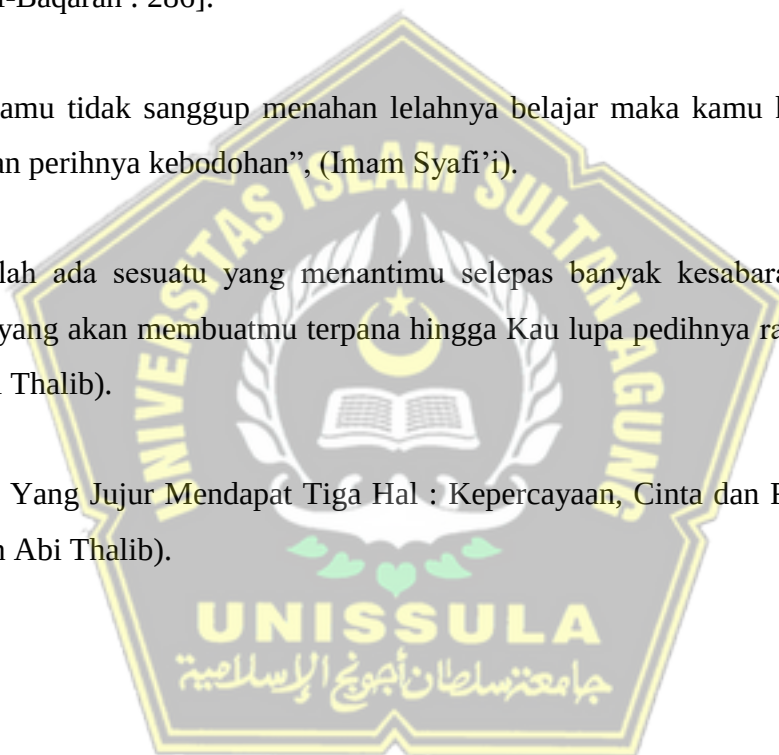
“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. [Q.S. Ali Imron : 110].

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”. [Q.S Al-Baqarah : 286].

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan”, (Imam Syafi’i).

“Yakinlah ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran (yang Kau jalani) yang akan membuatmu terpana hingga Kau lupa pedihnya rasa sakit”. (Ali bin Abi Thalib).

“Orang Yang Jujur Mendapat Tiga Hal : Kepercayaan, Cinta dan Rasa Hormat”, (Ali bin Abi Thalib).



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Muhammad Zunaidi dan Ibu Lulud Sri Rahayu, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Keluarga dan saudara dengan segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T.,Ph.D dan Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar membimbing saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Ryan Aditya Putra P selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman saya
7. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Muhammad Hayu Arif W
NIM : 30201900139

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak M Fauzan Dan Ibu Umi Heriana yang selalu memberikan kasih sayang, motivasi dan semangat untuk mewujudkan cita - cita saya. Terimakasih atas do'a dan dukunganya yang selalu diberikan.
2. Keluarga dan saudara, terkhusus untuk adik saya Ryan Abhiyaksa dan Nafa Bilqis atas segala motivasi dan dukungan yang telah diberikan kepada saya .
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D dan Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar membimbing saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik UNISSULA atas semua ilmu yang sangat bermanfaat.
5. Muhammad Hayu Arif W selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman terdekat saya, Rezky Arya, Nur Laila, Kanina Urfi, Fariz Atha, Muhammad Mirza, Anin Padmas, Azmi Fuad, Angga Aji dan teman teman Angkringan Bang Jack yang telah mendengarkan keluh kesah saya serta memberikan dukungan dan segala bantuanya
7. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, atas bantuan dan semangatnya.
8. Denisa Dhaniswara dan Danilla Jelita Poetri Riyadi, yang lagu – lagunya selalu menemani saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Ryan Aditya Putra P
NIM : 30201900190

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Perancangan Ulang Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api Jalur Ganda Antara Solo Balapan – Kadipiro, Surakarta Paket 4.”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan dorongan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus 2023

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
ABSTRACT.....	xix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Maksud dan Tujuan.....	1
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Lokasi Proyek	3
1.6 Sistematika Tugas Akhir.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Jembatan	5
2.2 Pengertian Jembatan Rangka	6
2.3 Pengertian Kereta Api.....	11
2.3.1 Jalan Rel	16
2.3.2 Bantalan Kayu	16
2.4 Pembebanan Jembatan.....	17
2.4.1 Beban Mati	17
2.4.2 Beban Hidup.....	18
2.4.3 Beban Kejut	20
2.4.4 Beban Lateral Kereta	21
2.4.5 Beban Rem dan Traksi	21

	Halaman
2.4.6 Beban Angin	21
2.4.7 Beban Gempa	22
2.4.8 Beban Kombinasi	25
2.5 Metode Kapasitas Penampang	26
2.5.1 Kapasitas Nominal Komponen Struktur	26
2.5.2 Komponen Struktur Batang Tarik	26
2.5.3 Komponen Struktur Batang Tekan	27
2.5.4 Komponen Struktur Lentur	30
2.5.5 Pengekang Lateral	32
2.5.6 Interaksi Aksial dan Lentur	34
2.6 Sambungan Baut	34
2.6.1 Tahanan Nominal Baut	35
2.6.2 Tahanan Geser Baut	36
2.6.3 Tahanan Tarik Baut	36
2.6.4 Tahanan Tumpu Baut	36
2.7 Pondasi	37
BAB III METODE PERANCANGAN	
3.1 Data yang Diperlukan	38
3.1.1 Tahap Persiapan	39
3.1.2 Tahap Pengumpulan Data	40
3.2 Standart yang Diacu	40
3.3 Langkah – Langkah Perancangan	40
BAB IV PERANCANGAN STRUKTUR	
4.1 Permodelan Struktur	
4.2 Pembebanan Struktur Jembatan	43
4.2.1 Beban Mati	55
4.2.2 Beban Hidup	57
4.2.3 Beban Kejut	59
4.2.4 Beban Rem	60

	Halaman
4.2.5 Beban Lateral.....	62
4.2.6 Beban Angin	63
4.2.7 Beban Gempa	64
4.2.8 Beban Kombinasi	68
4.3 Perhitungan Kapasitas Penampang.....	69
4.3.1 Perhitungan Kapasitas Momen Penampang	69
4.3.2 Perhitungan Kapasitas Aksial Tarik	74
4.4 Sambungan Baut	77
4.4.1 Sambungan pada Gelagar Memanjang	77
4.4.2 Sambungan terhadap Gaya Geser.....	79
4.4.3 Sambungan terhadap Tumpu.....	80
4.4.4 Hitungan Jumlah Baut	80
4.4.5 Kontrol Pelat Siku	81
4.5 Pondasi.....	81
4.5.1 Perhitungan Daya Dukung Metode Mayerhoff	81
4.5.2 Perhitungan Bore Pile.....	82
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	85
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Data Teknis Lokomotif CC.....	13
2.2 Standar Jalan Rel.....	16
2.3 Dimensi Bantalan Kayu dan Toleransi yang Diiijinkan di Indonesia.....	17
2.4 Berat Jenis Bahan.....	18
2.5 PGA dan Faktor Amplifikasi Untuk 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a).....	22
2.6 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_y).....	23
2.7 Faktor Beban.....	25
2.8 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal.....	28
2.9 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit	29
2.10 Panjang Bentang Untuk Pengekangan Lateral	33
4.1 Profil Baja Pada Jembatan Kereta Api.....	44
4.2 Gaya Aksial.....	53
4.3 Gaya Momen.....	54
4.4 Faktor Beban.....	68
4.5 Sifat Mekanis Baja Struktural	78
4.6 Faktor Reduksi	79
4.7 Spesifikasi Baut dan Paku Keling.....	79

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Peta Lokasi Jembatan Jalur Ganda Kereta Api Solo Balapan – Kadipiro	3
2.1 Tipe – Tipe Jembatan Rangka.....	7
2.2 Kategori Jembatan Busur Berdasarkan Letak Busurnya.....	8
2.3 Lokomotif BB	11
2.4 Lokomotif CC 206.....	12
2.5 Lokomotif CC 203.....	12
2.6 Lokomotif CC 201	12
2.7 Kereta Penumpang Eksekutif.....	14
2.8 Letak <i>Bogie</i> Pada Kereta	15
2.9 <i>Bogie</i> Kereta TB-1014	15
2.10 Nama Bagian dan Dimensi pada <i>Bogie</i>	15
2.11 Jumlah Berat Gandar 168 ton atau 87,5 ton/m	18
2.12 Jumlah Berat Gandar 24 ton atau 5 ton/m	19
2.13 Jika ada 6 atau 7 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan	19
2.14 Jika ada 5 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan	19
2.15 Jika ada 3 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan.....	19
2.16 Jika ada 2 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan.....	20
2.17 Jika ada 1 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan.....	20
2.18 Beban Lateral	21
2.19 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah	24
2.20 Faktor Panjang Tekuk.....	29
2.21 Tipe Baut	35
3.1 Diagram Alir Perancangan.....	41
3.2 Diagram Alir Perhitungan.....	42
4.1 Tampak 3D View Extrude Tahap Awal Sebelum Pemebebanan	43
4.2 Tampak Sumbu Global XZ.....	44
4.3 Profil Kode A.....	45
4.4 Profil Kode B.....	46
4.5 Profil Kode C.....	46
4.6 Profil Kode D.....	47

	Halaman
4.7 Profil Kode E	48
4.8 Profil Kode F	49
4.9 Profil Kode G.....	50
4.10Profil Kode H.....	50
4.11Profil Kode I	51
4.12Profil Kode J	52
4.13Gaya Aksial Beban Mati.....	55
4.14Proyeksi Arah Beban Mati Sumbu XZ	57
4.15Proyeksi Pembebanan Pada Lokomotif	58
4.16Proyeksi Pembebanan Pada Kereta / Gerbong	58
4.17Proyeksi Arah Datangnya Beban Kejut Lokomotif.....	60
4.18Proyeksi Arah Datangnya Beban Kejut Kereta	60
4.19Proyeksi Arah Datangnya Beban Rem Lokomotif	61
4.20Proyeksi Arah Datangnya Beban Rem Kereta.....	61
4.21Proyeksi Arah Datangnya Beban Lateral Lokomotif	62
4.22Proyeksi Arah Datangnya Beban Lateral Kereta.....	63
4.23 Grafik Tipikal Respon Spektra di Permukaan.....	66
4.24 Letak Profil I/WF 820x200	69
4.25 Diagram BMD Batang Nomor 346	73
4.26 Profil B390x240	74
4.27 Diagram NFD Batanng Nomor 1	77

DAFTAR NOTASI

W_{lok}	=	Beban lokomotif
P_b	=	Gaya pada <i>bogie</i>
P_g	=	Gaya gandar
P_s	=	Gaya roda statis
l	=	Panjang rel
W	=	Titik Berat rel
p	=	Panjang Bantalan Rel
l	=	Lebar Bantalan Rel
t	=	Tinggi Bantalan Rel
r	=	Jarak perletakaan Bantalan Rel
l	=	Total luas
f	=	Gaya angin
F_{pga}	=	nilai faktor amplifikasi
T	=	Permukaan Tanah untuk Periode Pendek
S_s	=	nilai koefisien gempa
F_a	=	nilai faktor amplifikasi
SDS	=	Parameter percepatan Spektrum Respon desain dalam rentang periode pendek
T	=	Waktu Geser
T_s	=	Waktu geser pada periode pendek
C_s	=	Nilai factor respon Gempa yang didapat dari Spektrum Respon Gempa
W_{dead}	=	Berat beban mati
W_{live}	=	Berat beban hidup
F_i	=	Beban gempa nominal static ekuivalen yang menangkap pada pusat massa
LF	=	Beban lateral
W_1	=	Beban angin (tanpa kereta)
W_2	=	Beban angin (dengan kereta)

B	=	Beban pengereman dan traksi
E	=	Beban gempa
E_x	=	Beban gempa arah x
E_y	=	Beban gempa arah y
t_3	=	Tinggi profil
t_2	=	Lebar profil
t_f	=	Tebal sayap profil
t_w	=	Tebal badan profil
dis	=	Jarak badan profil
A_g	=	Luas penampang bruto
I_x	=	Momen Inersia terhadap sumbu x (mm^4)
I_y	=	Momen Inersia terhadap sumbu y (mm^4)
F_e	=	Tegangan tekuk elastis (MPa)
d	=	Ketinggian penampang profil baja (mm)
A_s	=	Luas tulangan negative (mm^2)
b_f	=	Lebar sayap profil baja (mm)
E_c	=	Modulus elastisitas beton (MPa)
K	=	Faktor panjang efektif
F_y	=	Tegangan leleh profil baja (MPa)
E	=	Modulus elastisitas baja (MPa)
F_{cr}	=	Tegangan tekuk kritis (MPa)
h	=	Ketinggian badan profil (mm)
X	=	Eksentrisitas Sambungan
U	=	Faktor Reduksi
A_e	=	Luas Penampang Efektif
P_n	=	Kuat Tarik Nominal
M_u	=	Momen akibat beban terfaktor (Kn.m)
V_u	=	Gaya geser akibat beban terfaktor (kN)
P_u	=	Gaya aksial akibat beban terfaktor (Kn)

e	=	Eksentrisitas sambungan (mm)
f_y	=	Tegangan leleh baja (MPa)
f_{up}	=	Tegangan tarik putus plat (MPa)
h_p	=	Lebar plat sambungan pada badan (mm)
t_{pw}	=	Tebal plat sambungan pada badan (mm)
l_p	=	Lebar plat sambungan pada sayap (mm)
t_{pf}	=	Tebal plat sambungan pada sayap (mm)
f	=	Faktor Reduksi kekuatan tarik atau lentur plat
f_u^b	=	Tegangan tarik baut (MPa)
d	=	Diameter baut (mm)
f_t	=	Faktor reduksi kekuatan geser baut
d'	=	Diameter lubang (mm)
r_1	=	Faktor pengaruh ulir pada bidang geser
V_n	=	Tahanan geser nominal 1 baut
R_n	=	Tahanan tumpu nominal plat
A	=	Luas geser plat siku
Q_p	=	kapasitas dukung ujung tiang
Q_s	=	kapasitas daya dukung kulit
Q_u	=	Kapasitas daya dukung ultimate

PERANCANGAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA KERETA API JALUR GANDA ANTARA SOLO BALAPAN – KADIPIRO, SURAKARTA PAKET 4

Abstraks

Di Indonesia Jalan Kereta Api masih menggunakan satu jalur sehingga jadwal perjalanannya sering terhambat karena terjadi simpangan antara dua rangkaian Kereta Api. Oleh karena itu perlu adanya pembangunan prasarana yang mengarah pada pengembangan perkeretaapian. Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah agar memahami dan mampu menerapkan seluruh proses kegiatan perancangan dan perhitungan Jembatan Rangka dengan peruntukan sebagai Jembatan Kereta Api yang selama ini belum banyak dikenal. Dapat merencanakan preliminary design struktur jembatan, Dapat menentukan beban yang mempengaruhi Perancangan Struktur Atas Jembatan dan Dapat merencanakan sambungan dan perletakan pada struktur.

Dalam proses perancangan perlu dilakukan dengan teliti. Untuk melakukan perancangan yang baik diperlukan informasi berupa data-data yang lengkap disertai dengan teori yang relevan. Standar yang diacu sebagai dasar perancangan Jembatan Jalur Ganda Kereta Api menggunakan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 dan Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016.

Disimpulkan bahwa Bahwa Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api dinyatakan aman sesuai dengan peraturan pembebanan yang mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012. Standar Teknis Kereta Api untuk Jembatan Baja 2006 dan literasi lainnya serta penampang baja yang mengacu pada RSNI T-03-2005 dan literasi Metode LRFD

Kata Kunci : Jembatan Gantung Jalur Ganda; Perancangan ;;SAP 2000

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kereta api yang ekonomis, aman dan tertib, kian diminati publik. Namun, pelayanan perlu ditingkatkan seiring dengan pertumbuhan pengguna. Di Indonesia, hambatan jadwal karena jalur tunggal memerlukan pembangunan infrastruktur untuk pengembangan perkeretaapian.

Jembatan jalur ganda bisa jadi solusi untuk meminimalisir simpangan kereta api dengan kendaraan lain, mengurangi kemacetan di persimpangan.

Pembangunan jalur ganda kereta api Kadipiro-Solo Balapan, jalur utama Surakarta, diperlukan untuk meningkatkan pelayanan transportasi seiring dengan peningkatan mobilitas.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah bagaimana cara merancang ulang Struktur Jembatan Jalur Ganda Kereta Api Lintas Kadipiro - Solo Balapan.

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat merancang desain struktur Jembatan Rangka Baja.
2. Dapat menghitung beban yang ada dalam Perancangan Struktur Jembatan.
3. Analisis struktur menggunakan SAP2000.
4. Perancangan sambungan dan perletakan pada struktur.

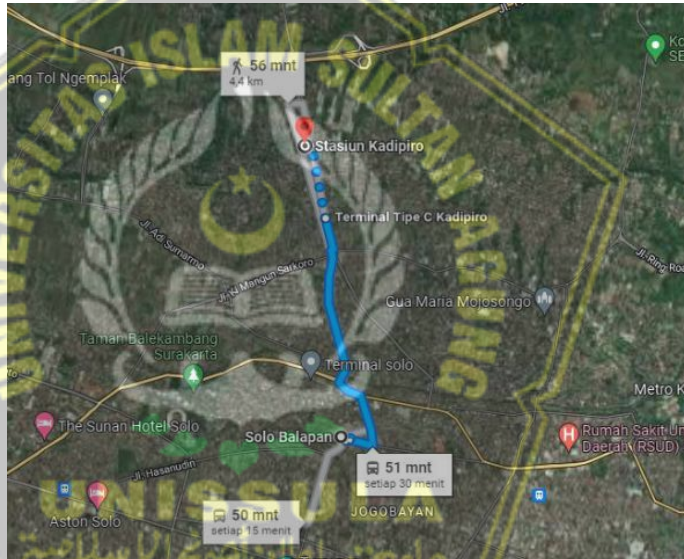
1.4. Batasan Masalah

Tugas Akhir Perancangan Ulang Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api Jalur Ganda Antara Solo Balapan - Kadipiro yang meliputi :

1. Perancangan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Kereta Api Jalur Ganda Antara Solo Balapan - Kadipiro.
2. Perancangan Struktur Bawah Jembatan Kereta Api Jalur Ganda Antara Solo Balapan - Kadipiro.

1.5. Lokasi Proyek

Lokasi Proyek Jembatan Jalur Ganda Kereta Api Jalur Ganda Kadipiro – Balapan Solo Paket 4 ada pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Jembatan

Sumber : (Google Maps: Stasiun Solo balapan – stasiun Kadipiro dalam <http://maps.google.com/>)

1.6. Sistematika Tugas Akhir

Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 (lima) bab dan memiliki struktur sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab menjelaskan tentang latar belakang tugas akhir, rumusan masalah tugas akhir, maksud dan tujuan tugas akhir, batasan permasalahan yang dibahas pada tugas akhir serta sistematika tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori yang dipakai dalam Tugas Akhir serta pengertian yang didapatkan dari sumber.

BAB III METODE PERANCANGAN

Bab ini berisi tentang langkah - langkah yang dipergunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

BAB IV PERANCANGAN STRUKTUR

Bab ini berisi tentang perhitungan yang ada pada perancangan proyek ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil perhitungan dan juga saran yang perlu ada pada perancangan ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah struktur yang memungkinkan jalan terus melalui rintangan yang tidak pada tingkat yang sama dan lebih rendah. (Struyk, 1984). Jika jembatan itu membentang di jalan biasa, itu dikenal sebagai Viaduct.. Dalam merancang jembatan, pertimbangan teknis dan ekonomis penting berdasarkan kebutuhan. Seiring perkembangan teknologi, bentuk dan material jembatan juga terus berkembang.

Sejarah jembatan dipengaruhi oleh perkembangan tipe dan materialnya. Awalnya, Jembatan diklasifikasikan menjadi lima jenis: balok, kantilever, lengkungan, gantung, dan rangka. Terkait material, jembatan dibagi tiga jenis: Komposit, Baja dan Beton. (Frans, 2016).

Perancangan jembatan melibatkan pertimbangan teknis dan ekonomis berdasarkan kebutuhan, dan terus beradaptasi dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan. Ini mencakup evolusi dalam jenis dan bentuk jembatan.

1. Menurut material

- a. Jembatan Komposit
- b. Jembatan Baja
- c. Jembatan Kayu
- d. Jembatan Beton

2. Menurut fungsi

- a. Jembatan Kereta
- b. Jembatan Pipa Irigasi
- c. Jembatan Jalan
- d. Jembatan Untuk Penyebrangan

3. Menurut bentang

- a. *Small Span Bridge*, Jembatan yang memiliki panjang 15 meter.
- b. *Medium Span Bridge*, Jembatan yang memiliki panjang 75 meter
- c. *Large Span Bridge*, Jembatan yang memiliki panjang 50 - 150 meter
- d. *Extra Span Bridge*, Jembatan yang memiliki panjang 150 meter

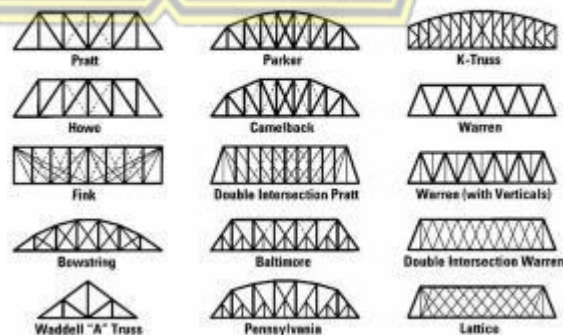
4. Menurut sistem struktur

- a. Sistem Struktur Gelagar
- b. Sistem Struktur Pelat
- c. Sistem Struktur Rangka batang
- d. Sistem Struktur Gantung
- e. Sistem Struktur Kabel

2.2 Jembatan Rangka

Jembatan Rangka adalah tipe jembatan dengan bentang lebih dari 55 meter. Dibuat menggunakan elemen batang, kemudian disatukan menggunakan baut, las, atau paku keling, membentuk bidang segitiga untuk kestabilan. Cocok untuk menahan beban besar, contohnya adalah tipe Warren. (Rosyidi,2016).

Contoh tipe Jembatan Rangka dapat dilihat di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tipe-Tipe Jembatan Rangka

Jembatan busur mempunyai struktur lengkung utama yang menangani semua gaya pada jembatan dan mampu memberikan reaksi

horizontal terhadap beban vertikal. Desainnya memungkinkan untuk meneruskan beban ke abutmen, sekaligus memberikan efisiensi momen lentur dibandingkan struktur paralel. (Irawan, 2007).

Jembatan busur adalah struktur yang menggunakan busur dan kabel untuk menopang beban. Bentuk lengkungnya mengurangi momen lentur jarak jauh.

Jembatan busur ideal untuk daerah berbukit dan tebing curam sebagai penyangga alami. Bentuk busurnya efektif dalam menangani momen lapangan dari beban luar, menjadikannya pilihan baik untuk jembatan bentang panjang.



Gambar 2.2 Jembatan Busur

1. Jenis Jembatan Busur

Jembatan busur dikategorikan berdasarkan posisi, gaya horizontal, jenis gelagar utama, dan lokasi lantai kendaraan. Pilihan bentuk busur dapat disesuaikan dengan medan terkait. Seperti diilustrasikan dalam Gambar 2.2, berikut adalah penjelasan singkat tentang masing-masing kategori jembatan.

- a. Berdasarkan perletakan
 - 1). Jembatan Busur Satu Sendi (Terjepit)
 - 2). Jembatan Busur Dua Sendi
 - 3). Jembatan Busur Tiga Sendi
- b. Berdasarkan gaya horizontal
 - 1). Busur Asli: reaksi horizontal dan komponen lainnya diterima oleh peletakan atau pangkal jembatan.
 - 2). Busur yang menggunakan Batang Tarik: gaya horizontal diterima oleh Bagian Batang Tarik dalam Busur.
- c. Berdasarkan jenis gelagar pemikul
 - utama1). Dinding Penuh
 - 2). Rangka Batang
- d. Berdasarkan posisi lantai kendaraan
 - 1). Jembatan Busur yang posisi lantai kendaraan di atasnya
 - 2). Jembatan Busur yang posisi lantai kendaraan di tengahnya
 - 3). Jembatan Busur yang posisi lantai kendaraan di bawahnya
- 2. Bentuk - bentuk Jembatan Busur

Jembatan Busur, dengan karakteristik penampang parabola, membagi beban secara merata. Mudah dikenali dari bentuk busur, tapi struktur ini lebih rumit dari yang terlihat. Ini adalah penjelasan lebih lanjut tentang bentuk-bentuk jembatan busur.

 - a. Busur terjepit biasanya memiliki penampang puncak lebih kecil.
 - b. Busur dindingpenuh dan bentuk box umumnya memiliki tinggi penampang yang sama.
 - c. Busur dua sendi seringkali memiliki penampang puncak lebih besar.

Khusus untuk busur berbatang tarik, Distribusi beban antara batang tarik dan busur menentukan bentuknya.

- a. Jika busur lebih kaku dari batang tarik, busur umumnya menanggung beban paling besar sehingga penampang puncak yang lebih kecil.
- b. Jika busur lebih lemah, batang tarik yang lebih kaku menerima beban utama sehingga penampang busur tetap sama tingginya.

3. Pemilihan Bentuk Jembatan

Faktor harus dipertimbangkan saat memilih jenis konstruksi dan bentuk busur.

- a. Kondisi tanah dasar menentukan tipe jembatan busur, misalnya tebing kokoh sukses dengan lantai kendaraan di atas, area terendam cocok untuk lantai tengah, dan tanah lemah cocok dengan busur bertarik.
- b. Tipe busur ditentukan oleh beban. Beban besar cocok dengan busur rangka batang, sedangkan beban ringan cocok untuk busur dinding penuh.
- c. Panjang bentang jembatan 600-2500 cm cocok untuk dinding penuh dan rangka batang, dan 2500-5000cm cocok untuk busur rangka batang.

2.3 Kereta Api

Kereta adalah kendaraan penggerak rel yang tersusun dari lokomotif dan gerbong. Dengan ukuran luas, Kereta api dapat mengangkut sejumlah besar penumpang atau komoditas.. Efektif sebagai transportasi massal, beberapa negara mengoptimalkannya sebagai angkutan utama. Setiap komponen kereta api memiliki dimensi dan gaya vertikal. Lokomotif, Gerbong, dan *Bogie* semuanya memiliki gaya vertikal dan dimensi sebagai berikut:

1. Gaya Lokomotif

Lokomotif yang dioperasikan oleh PT. KAI adalah lokomotif dua *bogie* dan dibagi menjadi dua jenis berdasarkan jumlah gandarnya. Lokomotif BB memiliki dua gandar per bogie, sedangkan Lokomotif CC memiliki tiga gandar per bogie.



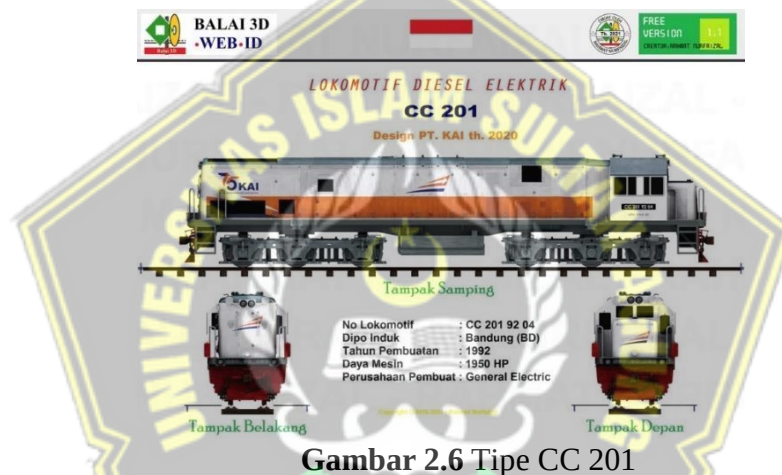
Gambar 2.3 Tipe BB



Gambar 2.4 Tipe CC 206



Gambar 2.5 Tipe CC 203



Gambar 2.6 Tipe CC 201

Masing-masing jenis beban sumbu dan beban roda lokomotif bisa dinyatakan seperti berikut. :

- a. Tipe BB. Beban lokomotif (W_{lok}) = 56 ton, maka:
 - 1) Gaya pada *bogie* (P_b) = $W_{lok}/2$ = $56/2$ = 28 ton
 - 2) Gaya gandar (P_g) = $P_b/2$ = $28/2$ = 14 ton
 - 3) Gaya roda statis (P_s) = $P_g/2$ = $14/2$ = 7 ton
- b. Tipe CC. Beban lokomotif (W_{lok}) = 84 ton, maka :
 - 1) Gaya pada *bogie* (P_b) = $W_{lok}/2$ = $84/2$ = 42 ton
 - 2) Gaya gandar (P_g) = $P_b/3$ = $42/3$ = 14 ton
 - 3) Gaya roda statis (P_s) = $P_g/2$ = $14/2$ = 7 ton

Ini adalah data teknis Tipe CC, lokomotif yang dipakai oleh PT.KAI.

Tabel 2.1 Data Tipe CC

Kecepatan maksimum	120 km / jam
Lebar sepur	1.067 mm
Jarak antar alat perangkai	15.214 mm
Tinggi alat perangkai	770 mm
Jarak antar pivot	7.680 mm
Berat kosong maksimal	88 ton
Panjang kereta	14.134 mm
Lebar kereta	2.642 mm
Tinggi maksimum	3.636 mm
Motor traksi	GE FDL-8T
Sistem pengereman	<i>Pressured Air Brake</i>
Kapasitas bahan bakar	3.028 liter

2. Gaya pada Kereta
Kereta, yang memiliki ciri khas kenyamanan dan kecepatan tinggi, digunakan oleh PT. KAI untuk pengangkutan penumpang. Kereta berbobot sekitar 40 ton dan ditopang dua bogie, masing-masing beratnya 20 ton dengan dua gandar, sehingga bobot per gandar menjadi 10 ton dan per roda menjadi 5 ton.



Gambar 2.7 Kereta Eksekutif

Ini adalah spesifikasi kereta api yang PT. KAI gunakan saat ini:

1. Kecepatan Kereta Maksimum : 120 km / jam
2. Lebar Kereta : 1.1 m
3. Beban gandar : 10 ton
4. Panjang : 20.9 m
5. Lebar : 2.9 m
6. Tinggi kereta dari atas rel : 3.8 m
7. Tinggi lantai kereta dari atas rel : 1 m
8. Material : *Stainless Steel*
9. Kapasitas penumpang (muatan) : 50 orang

3. Dimensi Ukuran *Bogie*

Bogie adalah sebutan teknis dalam dunia kereta api yang merujuk pada kumpulan roda, biasanya lebih dari dua gandar, baik pada kereta penggerak maupun non-penggerak. Berikut posisi *bogie*.

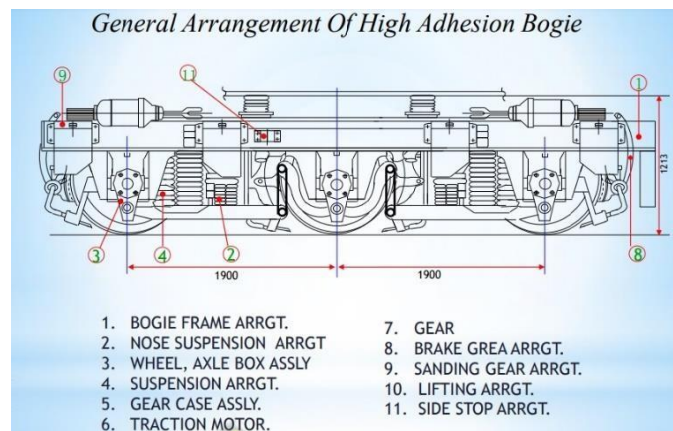


Gambar 2.8 Posisi *Bogie* di Kereta

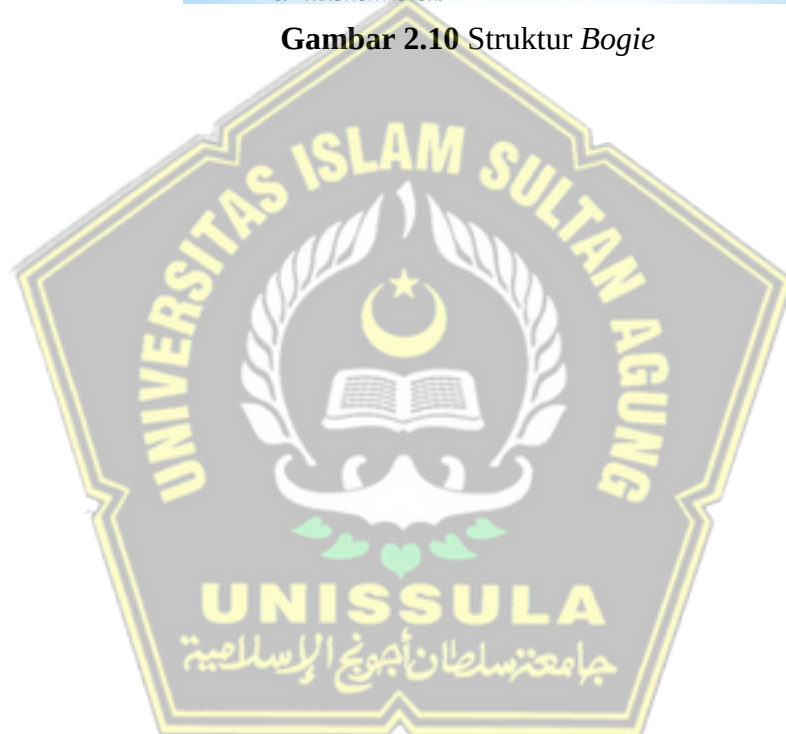


Gambar 2.9 *Bogie* pada tipe TB-1014

tipe TB-1014 adalah jenis yang sering digunakan di Indonesia,
Dimensi dan nama bagian-bagian *bogie* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.10 Struktur *Bogie*



2.3.1 Jalan Rel

Jalan rel dirancang sebagai infrastruktur kereta api, terdiri dari rangkaian super dan sub-struktur yang mendukung perjalanan kereta api dengan aman. Standar jalan rel di Indonesia bisa dilihat di Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Jalan Rel

Kelas Jalan Rel	Kapasitas Lintas Angkut (x10 ⁶ ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/Jarak (mm)	Jenis Penambat Rel
I	>20	120	R.60/R.54	Beton/600	Elastis Ganda
II	10 - 20	110	R.54/R.60	Beton/Kayu/600	Elastis Ganda
III	5 - 10	100	R.54/R.50/ R.42	Beton/Kayu/Baja/ 600	Elastis Ganda
IV	2,5 - 5	90	R.54/R.50/ R.42	Beton / Kayu / Baja/600	Elastis Ganda / Tunggal
V	< 2,5	80	R.42	Kayu / Baja/600	Elastis Tunggal

Jalan rel mempunyai beban sebagai berikut :

1. Tipe R.42 dengan beban = 42,59 kg/m
2. Tipe R.50 dengan beban = 50,40 kg/m
3. Tipe R.54 dengan beban = 54,43 kg/m
4. Tipe R.60 dengan beban = 60,34 kg/m

2.3.2 Bantalan Kayu

Untuk meminimalkan beban, rel di jembatan kereta rangka baja biasanya menggunakan bantalan kayu daripada beton.. Ukuran bantalan kayu ada di Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Ukuran Bantalan Kayu Indonesia dan Toleransi Ijinya

No.	Letak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
1.	Jalan Lurus	2000 (+40, -20)	220 (+20, -10)	130 (+10,-0)
2.	Jembatan	1800 (+40, -20)	220 (+20, -10)	200 (+10,-0)

2.4 Pembebanan Jembatan

Untuk merancang jembatan, kita harus mempertimbangkan berbagai beban yang akan diterima. Hal ini harus disesuaikan dengan standar terkini, termasuk STKAI Untuk Struktur Jembatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan No. PM.60/2012 dan literatur lainnya. Berdasarkan standar tersebut, tipe-tipe Beban berikut harus dipertimbangkan dalam desain jembatan

1. Beban Hidup
2. Beban Mati
3. Beban Kejut
4. Beban Horizontal
5. Beban Gempa
6. Beban Angin

2.4.1 Beban Mati

Beban mati merupakan bagian hitungan pembebanan, Berat material dan bagian tetap jembatan yang digunakan. Beban mati dihitung dengan menggunakan satuan berat dan kerapatan massa. Dapat dilihat di Tabel 2.4.

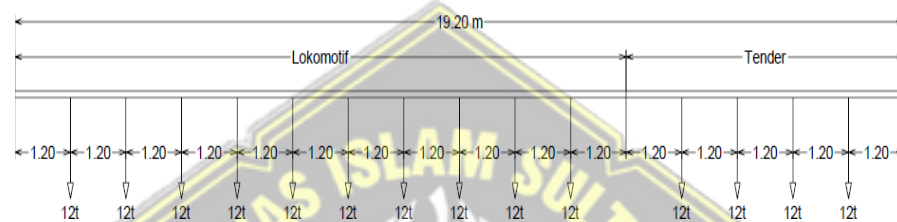
Tabel 2.4 Berat Jenis

Material	Berat Jenis (kN/m ³)
Baja, Baja Cor	78,50
Besi Cor	72,50
Kayu	8,00
Beton	24,00
Aspal Anti Air	11,00
<i>Ballast Gravel/Batu Pecah</i>	19,00

2.4.2 Beban Hidup

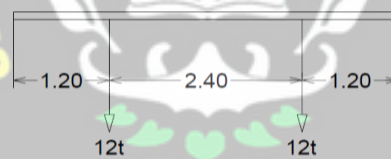
Beban gandar menentukan beban hidup di Kereta Api, yaitu beban yang diterima oleh rel dari gandar, dengan maksimum 18 ton di semua kelas jalur. Standar Teknis Kereta Api Indonesia dan Peraturan Menteri Perhubungan 2012 menentukan bahwa beban hidup pada jembatan ini dihasilkan oleh beban gerak dari kereta api, seperti skema dalam Rencana Muatan 1921 (RM-1921) seperti berikut.

1. Konfigurasi kereta api yang terdiri dari dua lokomotif yang menggunakan skema tender berikut dianggap sebagai muatan gerak..



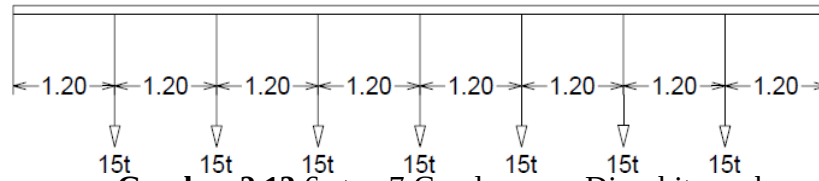
Gambar 2.11 Berat Gandar 168 ton

2. Jika kereta/gerbong dengan jumlah tidak tentu digunakan skema sebagai berikut.



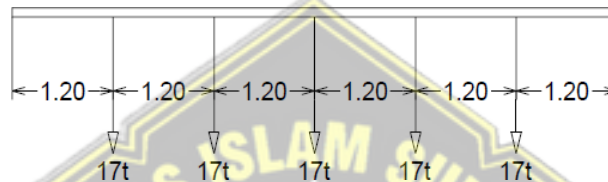
Gambar 2.12 Berat Gandar 24 ton

3. Saat ada 6 atau 7 gandar, berat gandar harus dinaikkan menjadi 15 ton, seperti yang ditunjukkan pada skema di bawah ini..



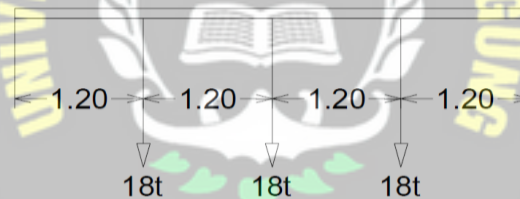
Gambar 2.13 6 atau 7 Gandar yang Diperhitungkan

4. Saat 5 gandar, berat gandar harus dinaikkan menjadi 17 ton seperti yang ditunjukkan skema dibawah ini.



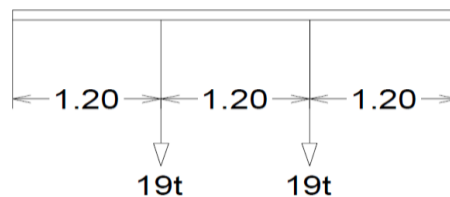
Gambar 2.14 Jika Ada 5 Gandar yang Diperhitungkan

5. Saat 3 gandar, berat gandar harus dinaikkan menjadi 18 ton seperti yang ditunjukkan skema dibawah ini.



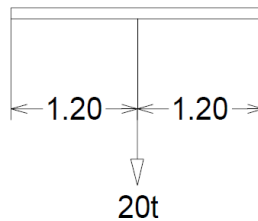
Gambar 2.15 Jika Ada 3 Gandar yang Diperhitungkan

6. saat 2 gandar, berat gandar harus dinaikkan menjadi 19 ton seperti yang ditunjukkan skema dibawah ini.



Gambar 2.16 Jika Ada 2 Gandar yang Diperhitungkan

7. Saat 1 gandar, berat gandar harus dinaikan menjadi 20 ton seperti yang ditunjukkan skema dibawah ini.



Gambar 2.17 Jika Ada 1 Gandar yang Diperhitungkan

Konsekuensi paling berisiko dipilih dalam rencana beban muatan gerak. Susunan Gerbong (W) dan Lokomotif (L) dapat satukan dengan pola tertentu untuk memaksimalkan pengaruh yang didapat:

- a. L-L-W-W-W
- b. L-W-W-W-W

2.4.3 Beban Kejut

Beban kejut dihitung dengan mengkali faktor i dengan beban kereta. Berikut perhitungan faktor i yang paling sederhana::

1. Rel alas balas

$$i = 0,1 + \frac{25}{50+L} \quad (2.1)$$

2. Rel di Perletakan Kayu

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

3. Rel pada Baja

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

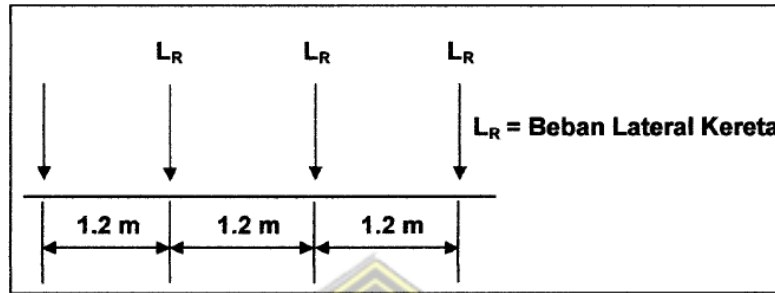
keterangan,

L = panjang bentang dalam meter (m)

i = faktor kejut

2.4.4 Beban Lateral pada Kereta

Beban lateral pada kereta seperti Gambar 2.18. Beban tersebut bekerja di atas dan tegak lurus terhadap arah rel, dengan arah horizontal. Untuk setiap lokomotif atau kereta listrik/diesel besarnya 15% sampai 20% dari beban gandar.



Gambar 2.18 Beban Lateral

2.4.5 Perhitungan Beban Rem dan Traksi

Akselerasi dan deselerasi kereta menyebabkan tekanan rem dan traksi. Beban ini berfungsi sebagai beban yang didistribusikan secara merata ke seluruh rel dalam bidang horizontal pada rel dan penyangga struktural.

Beban pengereman dan traksi, yang bekerja pada pusat gaya kereta di rel, masing-masing adalah 25% dari beban kereta.

2.4.6 Perhitungan Beban Angin

Beban angin beroperasi secara horizontal dan tegak lurus terhadap rel, dengan nilai tipikal sebagai berikut..

1. 3.0 kN/m^2 di area jembatan tanpa kereta. 2.0 kN/m^2 , di area rangka batang di arah datangnya angin.
2. 1.5 kN/m^2 di area kereta dan jembatan dengan kereta. 0.8 kN/m^2 di area rangka batang di arah datangnya angin.

2.4.7 Perhitungan Beban Gempa

Jembatan harus didesain sedemikian rupa sehingga memiliki kemungkinan runtuh yang rendah, sesuai dengan SNI 2833:2016. Namun, gempa dapat berpotensi menimbulkan kerusakan dan gangguan layanan yang cukup besar, dengan kemungkinan mencapai 7% dalam 75 tahun.

Faktor Amplifikasi untuk PGA perlu untuk menghitung Respon Spektral permukaan tanah, periode pendek ($T=0,2$) (SS), periode 1 detik (S1). PGA adalah percepatan batuan dasar puncak yang dihitung dengan menggunakan peta percepatan puncak di batuan dasar peluang 7% dilampaui dalam 75 tahun. Untuk

periode pendek, SS adalah parameter respons dari spektrum percepatan seismik. ($T=0,2$) untuk probabilitas melebihi 7% dalam kurun waktu 75 tahun dan S1 adalah parameter respon spektra percepatan seismik periode 1 detik, dengan kemungkinan dilampaui 7% dalam kurun waktu 75 tahun. Faktor Amplifikasi terbentuk oleh Faktor Amplifikasi PGA selama 0,2 detik F_{PGA}/F_a Faktor Amplifikasi selama 1 detik (F_v). Nilainya ditunjukkan pada Tabel 2.5 dan 2.6. F_{PGA} , F_a , F_v untuk jenis tanah berikut.

Tabel 2.5 PGA dan Faktor Amplifikasi Selama 0,2sec (F_{PGA}/F_a)

Kelas Situs	PGA $\leq 0,1$ SS $\leq 0,25$	PGA = 0,2 SS = 0,5	PGA = 0,3 SS = 0,75	PGA = 0,4 SS = 1,0	PGA > 0,4 SS $\geq 0,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 2.6 Besar Nilai Faktor Amplifikasi Selama 1sec (F_v)

Kelas Situs	S1 $\leq$,	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	Ss $\geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(SNI 2833:2016)

Tiga nilai Akselerasi digunakan untuk menentukan Respon Spektral di permukaan tanah. Titik tertinggi milik Peta Gempa di Indonesia., yaitu Peta Gempa Tahun 2017 dengan kemungkinan dilampaui 7% dalam 75 tahun (PGA, SS, S1), serta nilai Faktor Amplifikasi F_{PGA} , F_a , F_v . Berikut rumus perhitungan respon spektra,

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (2.4)$$

$$SDS = F_a \times SS \quad (2.5)$$

$$SD1 = F_v \times S1 \quad (2.6)$$

Koefisien Respons Gempa Elastis harus ditentukan untuk 3 keadaan periode untuk membangun Grafik Respons Spektral di permukaan tanah..

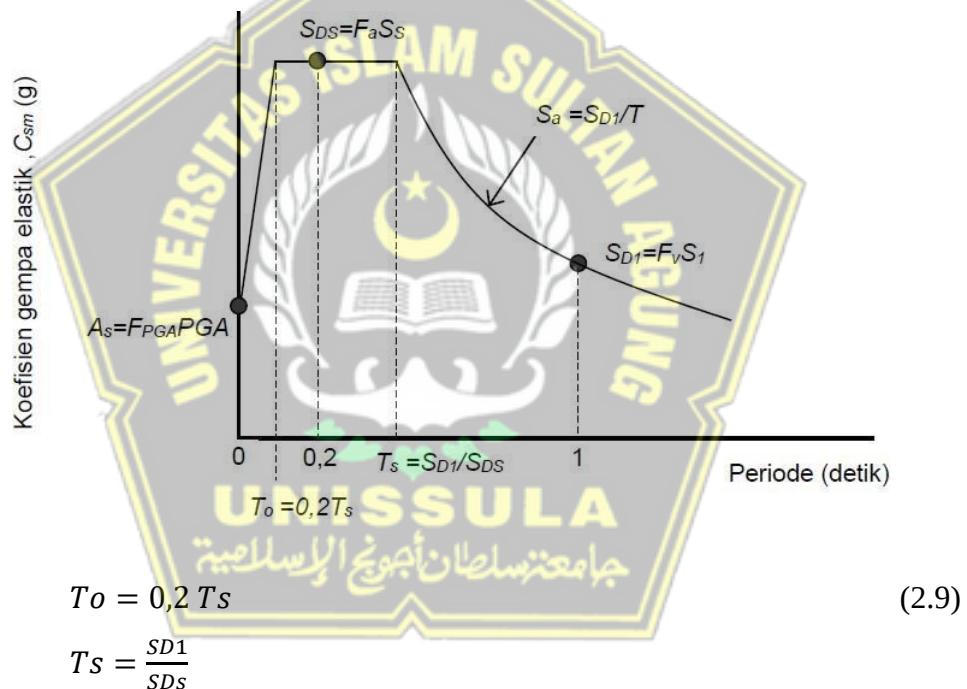
1. Untuk $T < T_o$, Persamaan berikut menghasilkan Koefisien Respon Gempa Elastis (C_{sm})

$$C_{sm} = (SDS - A_s) \frac{T}{T_o} + A_s \quad (2.7)$$

2. Untuk $T_o \leq T \leq T_s$, SDS sama dengan Koefisien Respon Gempa Elastis (C_{sm}).
3. Untuk periode $T > T_s$, Persamaan berikut menghasilkan Koefisien Respon Gempa Elastis (C_{sm}).

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \quad (2.8)$$

SDS merupakan nilai spektral permukaan tanah di periode (T) = 0,2, dan SD1 merupakan nilai spektral permukaan tanah di periode 1 detik. nilai T_o dan T_s dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.



Gambar 2.19 Tipikal Respon Spektra Permukaan Tanah

Perhitungan beban gempa dilakukan dengan mengalikan Elastic Response Koefisien (CSM) dengan bobot struktur ekuivalen, yang kemudian dimodifikasi dengan Respon Modifikasi Faktor (R_d) dengan menggunakan rumus yang mengacu pada RSNI T-03-2005, seperti yang ditunjukkan di bawah ini..

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

keterangan :

E_Q = Gaya gempa (kN)

C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis

R_d = Faktor modifikasi respon

W_t = Berat total struktur

Koefisien Respon Elastis (CSM) dihitung dengan menggunakan peta dan spektrum percepatan batuan dasar, serta daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan dihitung dari peta gempa diperparah dengan Faktor Amplifikasi tergantung kondisi tanah hingga kedalaman 30 meter di bawah struktur bangunan.

2.4.8 Perhitungan Kombinasi Bebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan pada struktur jembatan ini sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012 tentang Jembatan Kereta Api. Konstruksi jembatan ditentukan dengan menggunakan hasil kombinasi pembebanan terbesar seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor Beban

No Kombinasi pembebanan	Faktor									
	Beban tetap	Beban transien								
		D	L	I (Lxi)	C (Lxα)	L _R	L _F	B	W ₁	W ₂
1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0					
2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0			1.0	
3	1.0	1.1			1.0		1.0		1.0	
4	1.0							1.2		
5					1.0		1.1			
6						1.1			1.0	
7							1.1		1.0	
8	1.0	1.0		1.0						1.0
9										1.0
10	1.0	1.0		1.0						

Keterangan

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

I : ($L \times i$) = Beban kejut

C : ($L \times \alpha$) = Beban sentrifugal

L_F : Beban Lateral

L_R : Beban rel panjang longitudinal

W_1 : Beban angin (Tanpa kereta)

B : Beban pengereman dan traksi

W_2 : Beban angin (Dengan Kereta)

E : Beban Gempa

2.5 Metode Kapasitas Penampang

2.5.1 Kapasitas Komponen Struktur

Kapasitas yang dapat digunakan oleh suatu kualitas pada elemen material menentukan kekuatan Struktur Jembatan Rangka Baja. Kapasitas nominal komponen struktur pada desain ini dihitung secara analisis menggunakan RSNI T-03-2005 serta literatur teknik LRFD.

2.5.2 Komponen Batang Tarik

Komponen struktural tegangan aksial perlu memenuhi persyaratan seperti:

1. Syarat kuat tarik

$$P_u \leq \phi P_n \text{ atau } N_u \leq \phi N_n \quad (2.11)$$

Keterangan

$\phi = 0,90$ dalam kondisi leleh

$\phi = 0,75$ dalam kondisi fraktur

P_n = kuat tarik penampang

a. Kuat tarik yang terletak di penampang sebagai berikut:

$$P_n = A_g \times f_y \quad (2.12)$$

b. Kuat tarik yang terletak pada penampang efektif sebagai berikut:

$$P_n = A_e \times f_u \quad (2.13)$$

Dengan

A_g = luas penampang (mm^2)

A_e = luas penampang efektif (mm^2)

f_y = tegangan leleh (MPa)

f_u = tegangan tarik putus (MPa)

2. Luas Penampang

Luas penampang yang efektif dari batang tegang dihitung sebagai berikut:

$$A_e = A \times U$$

$$U = 1 - \left(\frac{x}{l}\right) \leq 0,90 \quad (2.14)$$

Keterangan :

A_e = luas penampang (mm^2)

U = Faktor geser untuk sambungan menuju struktur tarik

x = Eksentrisitas sambungan, dinyatakan dalam milimeter, adalah jarak terhadap arah gaya tarik ke pusat gravitasi penampang komponen yang disambungkan dan bidang sambungan. (mm)

l = Panjang sambungan dalam tarik, dinyatakan dalam milimeter, adalah jarak dua baut terjauh dalam sambungan atau panjang jarak las dalam tarik (mm).

2.5.3 Komponen Batang Tekan

Fenomena tekuk berkaitan dengan kekakuan elemen struktur. Elemen dengan kekakuan yang rendah akan mudah bengkok daripada elemen dengan kekakuan yang tinggi. Konstruksi LRFD yang mengalami kompresi aksial terfaktor harus memenuhi persyaratan berikut menurut RSNT-03-2005 dan Metode Literasi:

$$P_u \leq \phi P_n \text{ atau } N_u \leq \phi N_n \quad (2.15)$$

Keterangan:

$$\phi = 0,85$$

$$P_u = \text{beban terfaktor, } (P_u = N_u)$$

$$P_n = \text{kuat tekan komponen struktur, } (P_n = N_n)$$

1. Perbandingan kelangsingan:

a). Kelangsingan elemen pada penampang, (Tabel 3.5) $< \lambda_r$ (2.16)

b). Kelangsingan pada struktur kompresi $\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140$ (2.17)

2. Kekuatan tekan lentur nominal dihitung sebagai berikut:

$$N_n = 0,66^{\lambda c^2} \times A_g \times f_y \text{ dengan } \lambda c \leq 1,5 \quad (2.18)$$

$$N_n = \frac{0,88^{\lambda c^2}}{\lambda c^2} \times A_g \times f_y \text{ dengan } \lambda c \geq 1,5 \quad (2.19)$$

$$\lambda c = \frac{L_k}{r y_{\pi}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.20)$$

$$L_k = k c \times L \quad (2.21)$$

Dengan:

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

$$f_y = \text{tegangan leleh (MPa)}$$

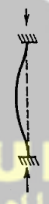
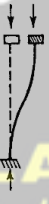
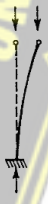
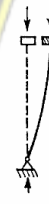
λ_c = parameter kelangsingan
 E = Modulus Elastisitas baja(MPa)
 L = panjang batang baja (mm)
 L_k = panjang batang tekuk baja (mm)

Perbandingan lebar dengan ketebalan dapat dilihat di Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Perbandingan Maksimum Lebar

Jenis Elemen	Λ	λ_p (kompak)	λ_p (tidak kompak)
Pelat Sayap Balok – I	b/t	$170 / \sqrt{f_y}$	$370 / \sqrt{f_y - f_r}$
Pelat Badan	h/t_w	$1680 / \sqrt{f_y}$	$2550 / \sqrt{f_y}$

Gambar 2.20 menunjukkan faktor panjang tekuk, sedangkan Tabel 2.9 menunjukkan faktor penurunan kekuatan untuk kondisi batas ultimit.

	Kolom Tak Bergoyang			Kolom Bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan penahan ujung	 = Rotasi terjepit, translasi terjepit  = Rotasi bebas, translasi terjepit			 = Rotasi terjepit, translasi bebas  = Rotasi bebas, translasi bebas		

Gambar 2.20 Kekuatan Faktor Panjang Tekuk

Tabel 2.9 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimate

Situasi Rencana	Faktor Reduksi (ϕ)
a. Lentur	0,90
b. Geser	0,90
c. Aksial Tekan	0,85
d. Aksial Tarik	
1. Kuat Tarik Leleh	0,90
2. Kuat Tarik <i>Fraktur</i>	0,75
e. Penghubung Geser	0,75
f. Sambungan Baut	0,75
g. Hubungan Las Sambungan	
1. Las Tumpul Penetrasi	0,90
2. Las Sudut / Las Tumpul Penetrasi	0,75

2.5.4 Komponen pada Struktur Lentur

Menurut RSNI T-03-2005, komponen struktur akan mengalami momen lentur terhadap sumbu kuat perlu memenuhi parameter yang tercantum di bawah ini:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (2.22)$$

Dengan

$$\phi = 0,90$$

M_u = momen terfaktor (Nmm)

M_n = momen nominal (Nmm)

Momen lentur nominal perlu memenuhi sebagai berikut:

1. Penampang Sama

Penampang harus yang dapat memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur penampang:

$$M_n = M_p = f_y \times Z \quad (2.23)$$

2. Penampang Tidak Sama

Penampang harus yang dapat memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, kuat lentur penampang:

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

$$M_r = (f_y - f_r) \times S \quad (2.25)$$

3. Penampang Langsing

Pelat sayap harus yang memenuhi $\lambda \geq \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang:

$$M_n = M_r \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 \quad (2.26)$$

Pelat badan yang dapat memenuhi $\lambda \geq \lambda_r$, kuat lentur penampang:

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr} \quad (2.27)$$

$$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{120+300 \times a_r}\right) \times \left(\frac{h}{t_w} \times \frac{2500}{\sqrt{f_{cr}}}\right) \quad (2.28)$$

Dapat ditentukan dengan :

1) Elemen harus dapat memenuhi $\lambda_G \leq \lambda_p$

$$f_{cr} = f_y \quad (2.29)$$

2) Elemen harus dapat memenuhi $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$

$$f_{cr} = C_b \times f_y \times \left(1 - \frac{\lambda_G - \lambda_p}{2(\lambda_r - \lambda_p)}\right) \leq f_y \quad (2.30)$$

3) Elemen yang dapat memenuhi $\lambda_r \leq \lambda_G$

$$f_{cr} = f'c \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_g}\right)^2 \quad (2.31)$$

$$f'c = \left(\frac{C_b \times f_y}{2}\right) \leq f_y \quad (2.32)$$

$$C_b = \left(\frac{12,5 \times M_{max}}{2,5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC}\right) \leq 2,3 \quad (2.33)$$

Keterangan:

M_p = Momen lentur plastis penampang adalah momen lentur yang menginduksi tegangan leleh di seluruh penampang. (Nmm)

S = modulus pada penampang elastis (mm^3)

Z = modulus pada penampang plastis (mm^3)

Z = $1,1 \times S$

λ_p = parameter kelangsingan untuk penampang yang sama

λ_r = parameter kelangsingan untuk penampang yang tidak sama

λ_G = faktor kelangsingan dari ketebalan pelat sayap yang diperoleh dengan rumus $\left(\frac{bf}{2 \times tf}\right)$

f_r = tegangan tekan pada sisa pelat sayap

= 70 MPa untuk penampang yang dilas keadaan panas

= 110 MPa untuk penampang yang dilas

f_{cr} = Tegangan kritis pada baja

a_r = perbandingan area luas pelat badan dibanding pelat sayap tekan

C_b = faktor pengaruh momen

M_{max} = momen absolut terbesar dalam rentang yang sudah ditinjau, dan MA, MB, dan MC adalah momen mutlak struktur pada bentang 1/4, bentang 1/2 dan bentang 3/4.

2.5.5 Pengekang pada lateral

Kekuatan lentur nominal penampang wajib mampu menahan efek tekukan lateral dan ditentukan oleh panjang bentang antara bresing lateral yang saling berdekatan. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung tekuk lateral berdasarkan RSNI T-03-2005.

1. Bentang pada Pendek
Komponen struktur yang sesuai $L \leq L_p$:

$$M_n = M_p \quad (2.34)$$

2. Bentang pada Menengah
Komponen yang strukturnya sesuai $L_p \leq L \leq L_r$:

$$M_n = C_b (M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r L_p}) \leq M_p \quad (2.35)$$

3. Bentang pada Panjang
Komponen struktur yang sesuai $L \geq L_r$:

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (2.36)$$

Dengan :

L = Bentang antara dua penahan lateral pada perpindahan lateral sayap tekan, atau antara dua penahan untuk menahan potongan pada puntiran (mm).

Tabel 2.10 menunjukkan cara menghitung panjang bentang untuk penahan lateral.

Tabel 2.10 Panjang Bentang pada Pengekangan Lateral

Profil	L_p	L_r
Profil-I dan kanal	$1,76\gamma_y\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dengan $\gamma_y\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	$\gamma_y\left[\frac{X_1}{f_L}\right]\sqrt{1 + \sqrt{1 + X_1^2 \frac{f_y^2}{f_L^2}}}$ dengan $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S}\sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = \frac{S^2 I_w}{4(GJ) I_y}$
Profil kotak pejal / berongga	$0,13E\gamma_y\sqrt{\frac{JA}{M_F}}$	$2E\gamma_y\sqrt{\frac{JA}{M_f}}$

(Sumber: RSNI T-03-2005)

$$f_L = f_y - f_r \quad (2.37)$$

$$J = \frac{1}{3} x (bxt^3) \quad (2.38)$$

$$I_w = I_y x \left(\frac{h}{2}\right)^2 \quad (2.39)$$

$$G = \frac{E}{(2x(1+\nu))} \quad (2.40)$$

Keterangan :

E = Modulus elastisitas pada baja

I_y = Inersia sumbu y (mm⁴)

G = Modulus pada geser baja

I_w = Konstanta *warping* (mm⁶)

J = Konstanta pada torsi (mm⁴)

R_y = Jari-jari pada sumbu y (mm)

2.5.6 Interaksi Aksial dan Lentur

Interaksi Aksial dan lentur harus dirancang menjadi komponen struktur yang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\text{Jika } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \quad (2.41)$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2.42)$$

$$\text{Jika } \frac{N_u}{\phi N_n} \leq 0,2 \quad (2.43)$$

$$\frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2.44)$$

Dengan :

N_u = gaya aksial pada terfaktor(N)

N_n = kuat nominal pada penampang (N)

Φ_c = faktor reduksi kekuatan komponen tekan

M_{ux} = momen lentur terfaktor pada sumbu x

M_{uy} = momen lentur terfaktor pada sumbu y

M_{nx} = kuat nominal lentur penampang pada sumbu X (Nmm)

M_{ny} = kuat nominal lentur penampang tepada sumbu Y (Nmm)

Φ_b = faktor reduksi kuat lentur penampang

2.6 Sambungan Baut

Setiap struktur baja terdiri dari komponen anggota dan pengencang seperti baut berkualitas tinggi (A325 & A490) dan normal (A307). Baut ini memiliki kepala segi enam.

Baut A325 dan A490 berbentuk kepala segi enam dan bahan utamanya baja dengan kekuatan leleh yang berbeda. Ukuran baut biasanya berkisar antara ½ - 1½ inci, umumnya digunakan dalam konstruksi bangunan dan jembatan. Saat memasang baut, diperlukan gaya tarik yang dihasilkan dari pengencangan awal, dikenal sebagai proof load.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[d_b \frac{0,9743}{n} \right]^2 \quad (2.45)$$

dengan :

d_b = diameter baut

n = jumlah ulir/millimeter.

Tipe Baut	Diameter (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik Min.(MPa)
A307	6.35 - 104	-	60
A325	12.7 – 25.4	585	825
	28.6 – 38.1	510	725
A490	12.7 – 38.1	825	1035

Gambar 2.21 Tipe Baut

2.6.1 Tahanan pada Nominal Baut

Baut yang menahan beban terfaktor, R_u , harus memenuhi syarat LRFD berikut:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \quad (2.46)$$

Dimana R_n menunjukkan resistansi nominal baut dan diasumsikan 0,75. Jumlah R_n bervariasi tergantung pada jenis sambungan.

2.6.2 Tahanan pada Geser Baut

Persamaan tersebut dipenuhi oleh resistansi satu baut yang menahan gaya geser:

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2.47)$$

Keterangan:

$r_1 = 0,50$, baut tanpa ulir

$r_1 = 0,40$, baut dengan ulir

f_u^b = kuat tarik pada baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut di yang tak berulir, m adalah jumlah bidang geser.

2.6.3 Tahanan pada Tarik Baut

Baut dengan gaya tarik resistif nominal dihitung sebagai berikut :

$$R_n = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2.48)$$

Dengan :

f_u^b = kuat tarik pada baut (MPa)

A_b = luas penampang pada baut di daerah yang tak berulir

2.6.4 Tahanan pada Tumpu Baut

Resistensi bantalan nominal ditentukan oleh kondisi terlemah baut atau komponen pelat yang disambung. Jumlahnya dihitung dengan:

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.49)$$

Keterangan

d_b = diameter baut pada yang tak berulir

t_p = tebal pelat

f_u = kuat tarik putus paling rendah dari baut atau pelat

pada lubang baut slot panjang berlaku :

$$R_n = 2,0 . d_b . t_p . f_u \quad (2.50)$$

2.7 Pondasi

Desain dan ukuran jembatan rangka baja harus sedemikian rupa sehingga dapat memikul kapasitas dari beban jembatan itu sendiri, serta beban yang ada pada jembatan. Dengan tetap memperhitungkan tanah tempat bangunan tersebut berdiri. Setelah menentukan tulangan yang akan digunakan, semua gaya yang bekerja pada pondasi Jembatan Rangka dihitung. Studi beban dilakukan pada jembatan untuk menentukan gaya yang akan ditahan oleh pondasi.

Setelah mendapatkan data kerja pada Pondasi Jembatan Rangka, maka harus dihitung daya dukung kekuatan tanah di lokasi tersebut.

$$Q_c = \frac{4D \text{ keatas} + 4D \text{ kebawah}}{n} \quad (2.51)$$

$$P \text{ tanah} = \frac{A \times C_n}{n} + \frac{A \times JHP}{n} \quad (2.52)$$

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1 DATA YANG DIPERLUKAN

Proses desain harus dilakukan dengan hati-hati; semakin canggih tantangan yang dihadapi, semakin kompleks pula prosedurnya. Desain yang baik membutuhkan pengetahuan berupa data yang lengkap dilengkapi dengan teori yang berlaku.

Informasi yang diperlukan untuk desain Jembatan Kereta Api Jalur Ganda dibagi dua:

1. Berdasarkan Fungsi

- a. Data Teknis

Data teknis yaitu data yang secara langsung relevan dengan desain transisi jalan dan peningkatan fasilitas jalan, seperti contohnya volume lalu lintas Kereta Api di jalur yang sedang akan dirancang dan peta topografi.

- b. Data Non-Teknis

Data non-teknis adalah informasi yang digunakan untuk membantu pengambilan keputusan perkembangan lalu lintas di suatu daerah, contohnya arah perkembangan daerah.

2. Berdasarkan Sifatnya

- a. Data Primer

Data primer adalah informasi yang dikumpulkan langsung melalui survei data di lapangan, yang mengharuskan dilakukannya survei langsung di tempat, dapat digunakan untuk mengumpulkan data. Hal ini diperlukan untuk memahami kondisi tapak proyek yang sebenarnya sehingga tidak tercipta perancangan yang tidak sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Survei dilakukan pada Proyek Jembatan Jalur Ganda Kereta Api dalam hal ini.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan informasi yang diperoleh dari instansi lainnyayang terkait. Data sekunder berikut akan dipertimbangkan dalam penyusunan laporan ini :

- Data Volume Lalu Lintas Kereta Api
- Data Peta Topografi
- Data Tanah

Tahapan proses desain dibahas pada sub-bab berikut yang terdiri dari tahap persiapan dan pengumpulan data.

3.1.1 Tahap Persiapan

Tahap Persiapan adalah serangkaian langkah yang harus diselesaikan sebelum pengumpulan dan pengolahan data dapat dimulai. Tugas-tugas penting harus diselesaikan sesegera mungkin untuk mengefisienkan waktu dalam pengerjaan. Berikut ini termasuk dalam tahap pendahuluan:

1. Tinjauan literatur bahan desain untuk mengembangkan garis besar proses perancangan.
2. Tentukan kebutuhan akan semua data.
3. Mendata pihak - pihak yang bisa dijadikan narasumber data.
4. Memenuhi persyaratan terutama persyaratan administrasi untuk pengumpulan data.
5. Melakukan survei lokasi agar mendapatkan gambaran kondisi lapangan, dan data yang akurat.

Persiapan sebelumnya dilakukan agar menghindari pengulangan terhadap pekerjaan, sehingga menghasilkan pengumpulan data yang efisien dan optimal. Bersamaan dengan tahapan ini, diperlukan kajian literatur terkait penelitian yang akan dilakukan.

3.1.2 Tahap Pengumpulan Data

Setelah tahap pendahuluan, pertama yang dilakukan dalam mendesain ulang Struktur Jembatan Rel Kereta Api adalah pengumpulan data. Prosedur pengumpulan data berikut digunakan :

- Data desain teknis dan non teknis dikumpulkan melalui survei kelembagaan dan lapangan.
- Meninjau temuan survei lapangan membantu menentukan asumsi pendekatan.

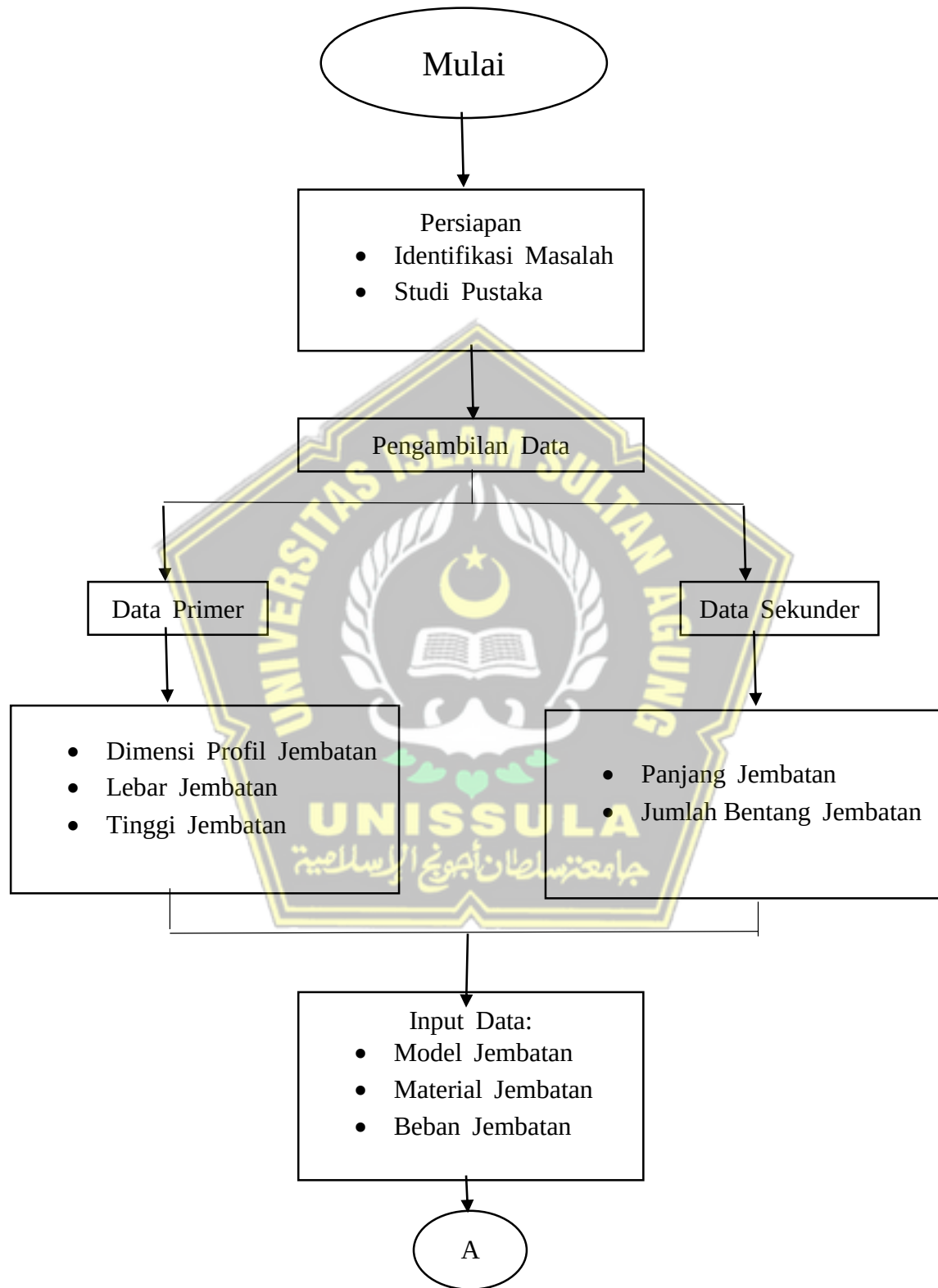
3.2 STANDAR YANG DIACU

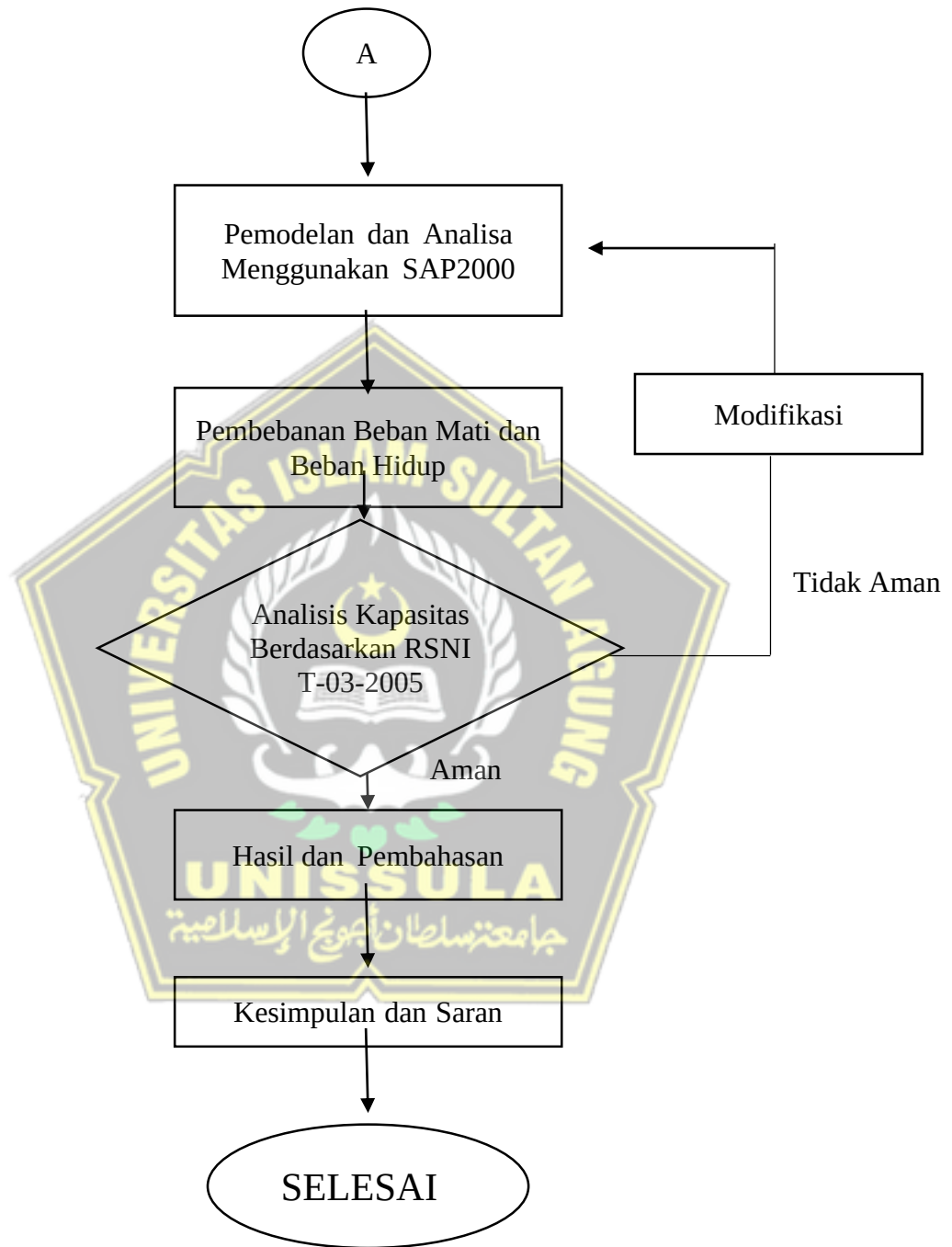
Standar yang diacu sebagai dasar perancangan Jembatan Jalur Ganda Kereta Api menggunakan dasar – dasar sebagai berikut:

- Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012.
- Analisis kapasitas penampang menggunakan Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005)
- Kombinasi pembebanan sesuai SNI 1725-2016
- Pembebanan jembatan kereta api menggunakan Standar Teknis Kereta Api Indonesia pada Struktur Jembatan Baja 2006

3.3 LANGKAH LANGKAH PERANCANGAN

Perancangan jembatan jalur ganda kereta api ditentukan dari perhitungan data data yang dikumpulkan dilanjutkan dengan perancangan dan menganalisa struktur baik struktur atas maupun struktur bawah seperti pada diagram alir berikut :





BAB IV

PERANCANGAN STRUKTUR

4.1 Pembebanan Struktur Jembatan

Konstruksi jembatan dirancang untuk menahan beban statis dan dinamis, termasuk perhitungan beban mati dan beban hidup kendaraan. Perhitungan ini berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan PM.60 Tahun 2012, Standar Teknis Perkeretaapian 2006, dan berbagai literasi lainnya.

4.1.1 Faktor Beban Mati

Unsur paling awal jembatan, termasuk baja rel kereta api dan bantalan kayu, dikenal sebagai faktor beban mati. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Beban Jalan Rel

Panjang jalan rel (l) = 96 m

Jenis baja rel = Tipe R.54

Berat baja rel (W) = 54,43 kg/m

Jarak kedua rel = 1067 mm

2. Beban Bantalan Kayu

Panjang bantalan kayu (p) = 1800 mm

Lebar bantalan kayu (l) = 220 mm

Tinggi bantalan kayu (t) = 200 mm

Jarak perletakaan bantalan kayu (r) = 0,75 m

3. Perhitungan Berat Rel

Titik Berat Rel Kereta (W) = 54,43 kg/m

Berat 0,75 m Rel Kereta = 54,43 x 0,75

= 40, 822 kg

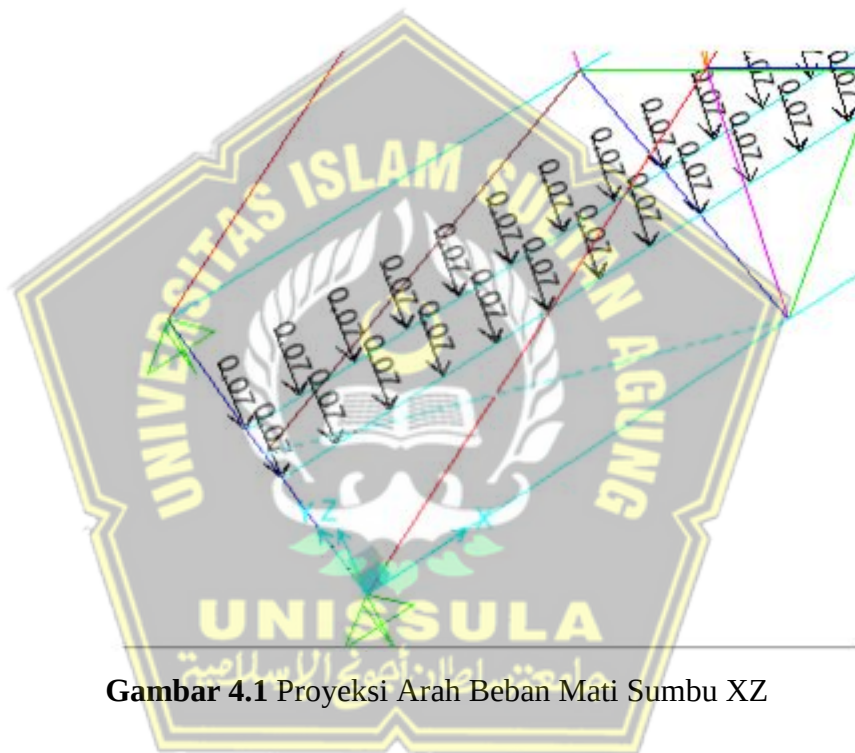
= 0,408 kN

$$\begin{aligned}
 \text{Tumpuan Bantalan kayu} &= \text{Volume} \times \text{Masa jenis} / 2 \\
 &= (p \times l \times t \times 8 \text{ kN/m}^3) / 2 \\
 &= (1,8 \text{ m} \times 0,22 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^3) / 2 \\
 &= 0,317 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Titik Berat} &= 0,408 + 0,317 \\
 &= 0,73 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Proyeksi Beban Mati Terhadap SAP2000

Di Jembatan Kereta Api, arah beban mati diproyeksikan.



Gambar 4.1 Proyeksi Arah Beban Mati Sumbu XZ

4.1.2 Faktor Beban Hidup

Faktor beban hidup adalah beban yang bergerak, seperti rangkaian lokomotif dan kereta Pada Jembatan Kereta Api, beban hidup ditentukan berdasarkan PM.60 2021

1. Berat Titik Lokomotif type CC

Berat lok (W_{lok}) = 108 ton

Gaya pada bogie lok (P_b) = 54 ton

Gaya pada gandar (P_g) = $P_g/3 = 54/3 = 18$ ton

Gaya pada roda statis (P_s) = $P_s/2 = 18/2 = 9$ ton



Gambar 4.2 Pembebanan pada Kereta

2. Kereta Api

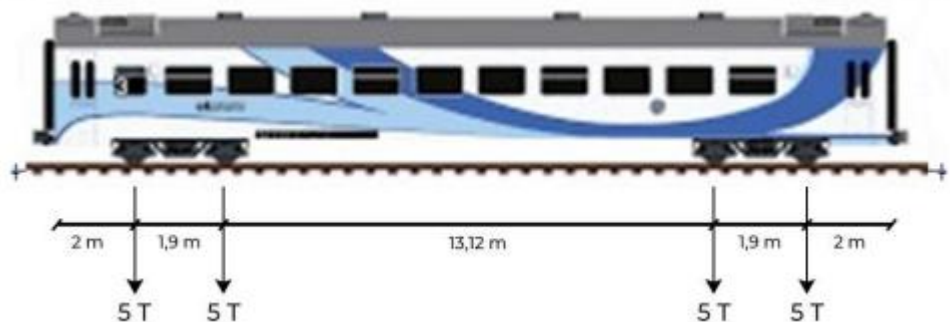
Kereta api merupakan bagian dari sistem kereta api yang berfungsi untuk pengangkutan penumpang. Kereta api dipilih sebab dapat membawa beban yang lebih berat daripada gerbong yang mengangkut komoditas. Kereta mempunyai empat bogie, masing-masing punya dua roda stasioner. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di PT. Depot KA KAI, kereta api tersebut kini memiliki beban 40 ton. Berat Titik Kereta:

Berat lokomotif (W_{lok}) = 40 ton

Gaya pada bogie lok (P_b) = 20 ton

Gaya pada gandar (P_g) = $P_g/2 = 20/2 = 10$ ton

Gaya pada roda statis (P_s) = $P_s/2 = 10/2 = 5$ ton



Gambar 4.3 Pembebanan pada Gerbong

3. Bogie

Jarak As 1,9 m adalah jarak antara roda statis pada poros bogie dan poros.

4.1.3 Faktor Beban Kejut

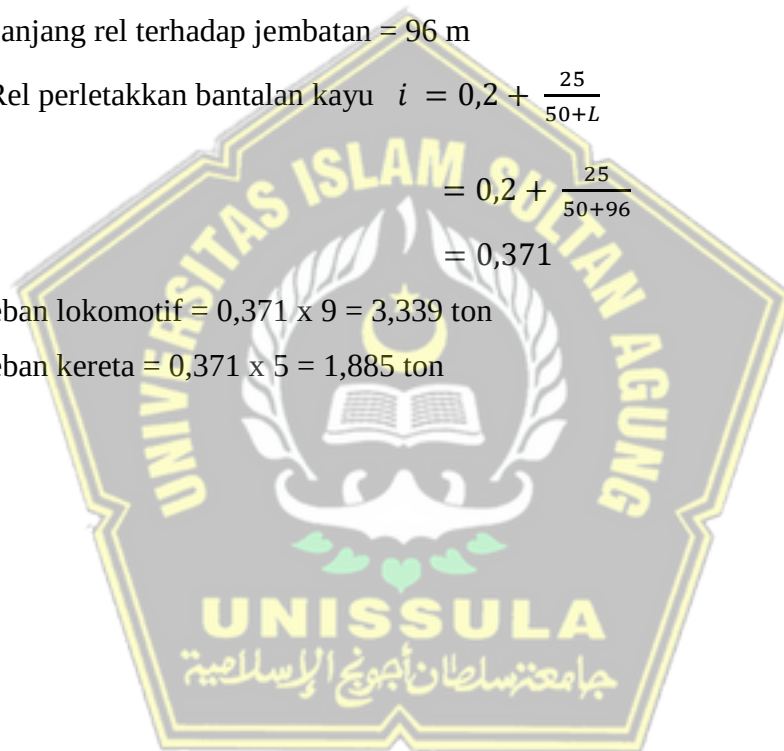
Beban kejut dihitung dengan mengalikan faktor i dengan beban Kereta Api, yang dihitung dengan menjumlahkan beban masing-masing roda statis lokomotif dan kereta atau gerbong. Proyeksi arah datangnya gaya dari lokomotif beroda tiga statis ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan proyeksi arah datang gaya dari kereta atau gerbong beroda dua statis ditunjukkan pada Gambar 4.5.

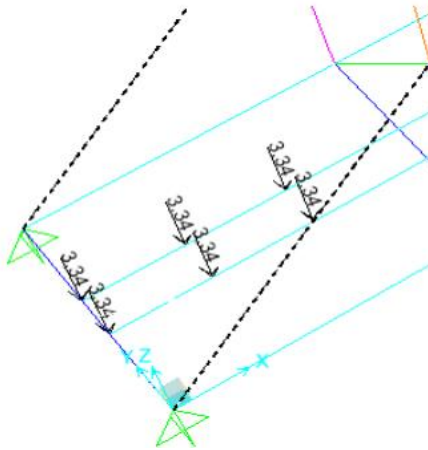
Panjang rel terhadap jembatan = 96 m

$$\begin{aligned}\text{Rel perletakkan bantalan kayu } i &= 0,2 + \frac{25}{50+L} \\ &= 0,2 + \frac{25}{50+96} \\ &= 0,371\end{aligned}$$

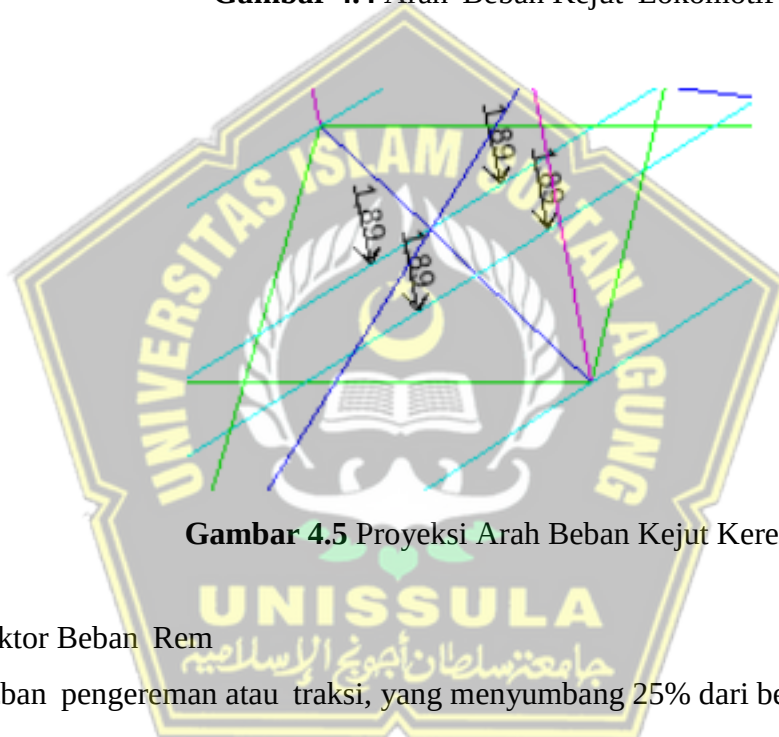
Beban lokomotif = $0,371 \times 9 = 3,339$ ton

Beban kereta = $0,371 \times 5 = 1,885$ ton





Gambar 4.4 Arah Beban Kejut Lokomotif



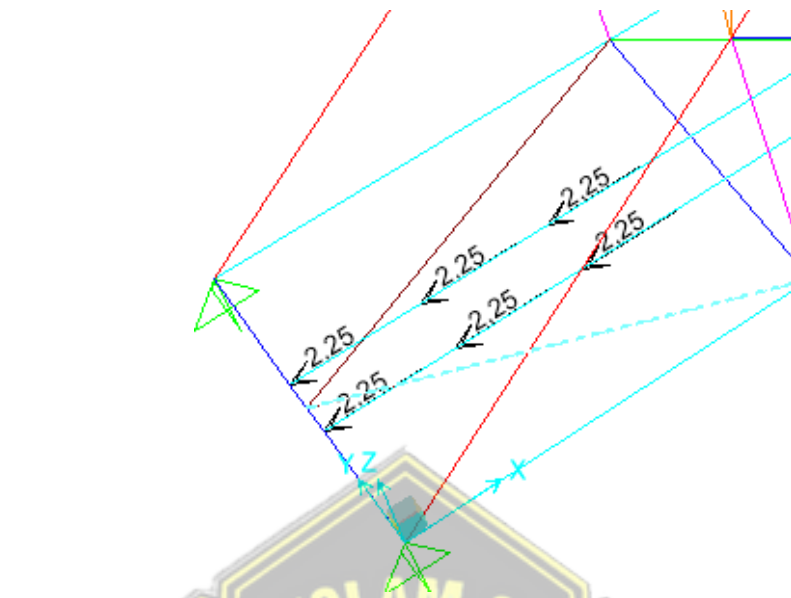
Gambar 4.5 Proyeksi Arah Beban Kejut Kereta

4.1.4 Faktor Beban Rem

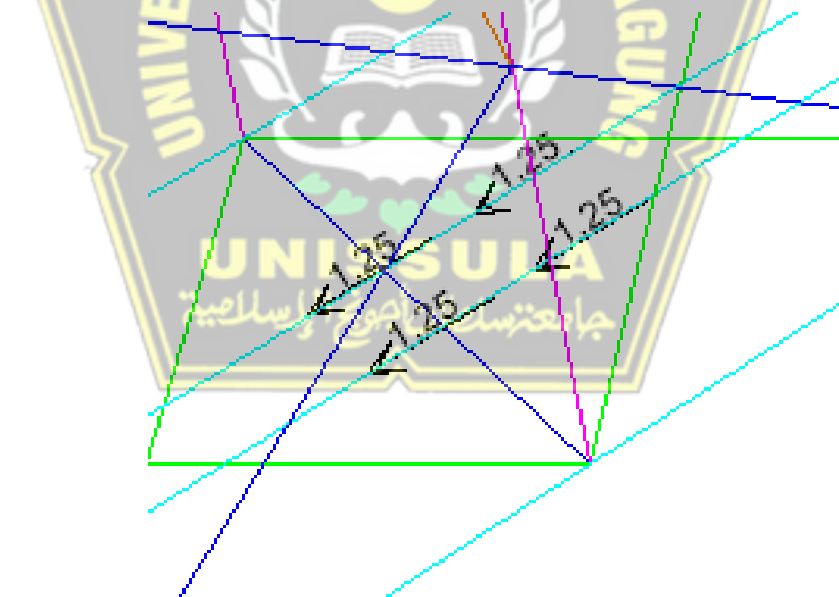
Beban pengereman atau traksi, yang menyumbang 25% dari beban kereta sendiri, diterapkan dari pusat gravitasi kereta ke rel. Beban kereta ditentukan oleh beban statis masing-masing roda pada lokomotif dan kereta/gerbong.

Beban lokomotif = $0,25 \times 9 = 2,25$ ton

Beban kereta / gerbong = $0,25 \times 5 = 1,25$ ton



Gambar 4.6 Arah Beban Rem Lokomotif



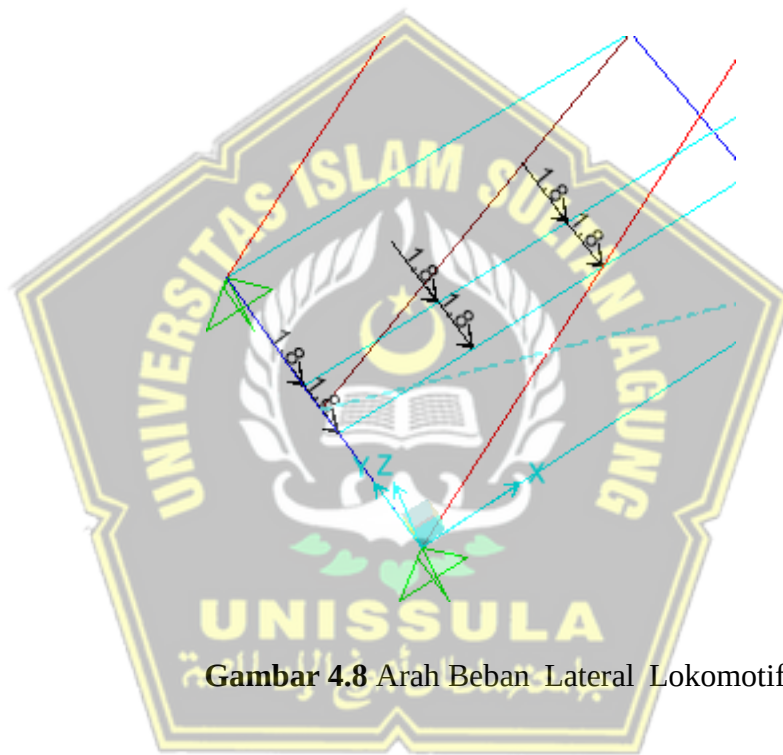
Gambar 4.7 Arah Beban Rem Kereta

4.1.5 Faktor Beban Lateral

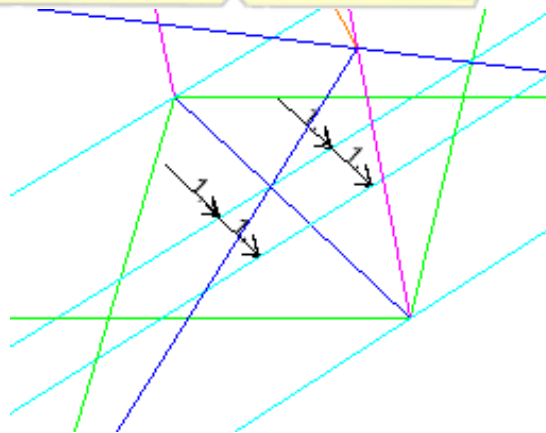
Beban lateral, yang beroperasi secara horizontal dan tegak lurus terhadap rel, masing-masing sebanding dengan 15% atau 20% beban gandar untuk lokomotif atau kereta listrik/diesel. Karena lebih besar, diambil 20%. Beban kereta ditentukan oleh beban pada setiap roda statis, baik untuk lokomotif maupun kereta/gerbong.

Beban lokomotif = $0,2 \times 9 = 1,8$ ton

Beban kereta = $0,2 \times 5 = 1$ ton



Gambar 4.8 Arah Beban Lateral Lokomotif



Gambar 4.9 Arah Beban Lateral Kereta

4.1.6 Faktor Beban Angin

Area rangka yang diantisipasi dalam arah angin adalah 0,8 kN/m². Mengingat luas keseluruhan jembatan adalah 1129,5 m² dan jumlah sambungannya adalah 80, berikut ini yang benar:

$$\text{Total luas angin } (l) = 1129,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Gaya angina } (f) = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total beban angin} = \text{Total luas angin} \times \text{gaya angin}$$

$$= L \times f$$

$$= 903,6 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah joint} = 80$$

$$\text{Faktor Beban angin} = \text{Total beban angin} \times \text{Jumlah joint}$$

$$= 903,6 \times 80$$

$$= 11,295 \text{ kN}$$

$$= 1,15 \text{ ton}$$

4.1.7 Faktor Beban Gempa

Pembebanan gempa mengacu pada SNI 2833:2016 yaitu Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Sebuah desain respon spektrum juga akan diperoleh. Gempa yang akan direkam adalah gempa di wilayah Surakarta. Rumusnya:

1. Nilai Level Gempa

SNI 2833: Peta Gempa 2016 dengan tingkat gempa lebih dari 7% dalam 75 tahun atau tingkat bahaya gempa (possible hazard) selama 1000 tahun.

2. Nilai Kelas Situs

Berdasarkan data terkini di lapangan, kelas tapak dikenal sebagai Tanah Sedang (D).

3. Menghitung Respon Spektral Periode Nol Kedua

Dengan menggunakan peta pada Gambar 1 SNI 2833:2016, nilai koefisien gempa (S_{pga}) untuk wilayah Surakarta sebesar 0,4 g

4. Menghitung Nilai PGA dan As

Nilai faktor amplifikasi ditentukan oleh nilai PGA dan kelas situs. Pada Tabel 3 SNI 2833:2016, nilai PGA diplot menggunakan pendekatan interpolasi linier untuk menghasilkan nilai faktor amplifikasi (F_{pga}) = 1,085.

Maka $A_s = F_{pga} \times S_{pga} = 1,085 \times 0,415 = 0,450$ g.

5. Respon Spektral di Permukaan Tanah untuk Periode Singkat ($T = 0,2$ detik).

Dengan menggunakan peta pada Gambar 2 SNI 2833:2016, dihitung nilai koefisien gempa (S_s 0,2 sekon) = 0,4 g untuk wilayah Surakarta. Faktor amplifikasi (F_a) dihitung dengan menggunakan nilai S_s 0,2 detik dan kelas situs.

6. Menghitung Nilai Faktor Amplifikasi (F_a)

Faktor amplifikasi (F_a) = 1,132 dihitung dengan memplot nilai F_a pada Tabel 3 SNI 2833:2016 dengan menggunakan pendekatan interpolasi linier. Nilai S_{MS} dan S_{DS} kemudian dapat dihitung sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,132 \times 0,919 = 1,041$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s = 1,041$$

7. Menghitung Respon Spektra di Permukaan Tanah untuk Periode 1 detik

Dengan menggunakan peta pada Gambar 3 SNI 2833:2016, dihitung nilai koefisien gempa (S_s 1 sekon) = 0,366 g untuk wilayah Surakarta. Faktor amplifikasi (F_v) dihitung menggunakan nilai S_s 1 detik dan kelas situs.

8. Menghitung Nilai Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi (F_v) = 1,667 disajikan pada Tabel 4 SNI 2833:2016 dengan menggunakan pendekatan interpolasi linier. Nilai $SM1$ dan $SD1$ kemudian dapat dihitung sebagai berikut:

$$SM1 = F_v \times S_s = 1,667 \times 0,366$$

$$SD1 = F_v \times S_s = 0,407$$

9. Menghitung nilai T_0 dan T_s

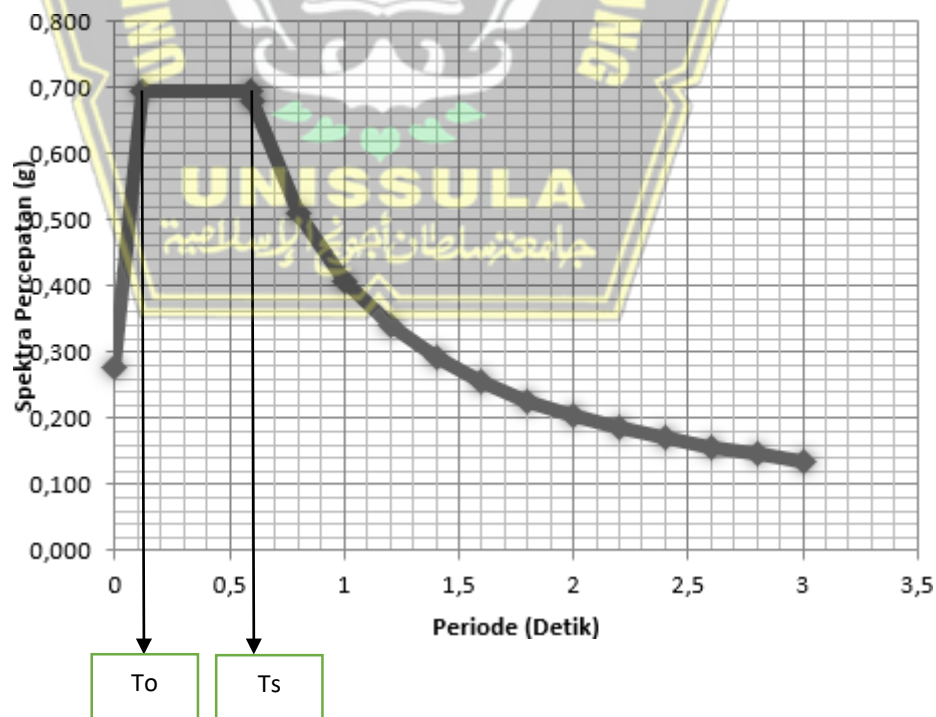
Nilai berikut diperoleh untuk nilai T_s :

$$\begin{aligned} T_s &= SD1 : SDS = 0,407 : 0,694 \\ &= 0,586 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai-nilai berikut diperoleh untuk nilai T_0 :

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times T_s = 0,2 \times 0,586 \\ &= 0,117 \text{ detik} \end{aligned}$$

10. Grafik Tipikal Respon Spektra di Permukaan



Gambar 4.10 Grafik Tipikal Respon Spektra di Permukaan

11. Menghitung Nilai Penggunaan

Jika nilai prioritas struktur untuk sebuah jembatan adalah 1, maka $I = 1$.

Tingkat Daktilitas Struktur (R)

Nilai R sebesar 8 ditentukan dari Tabel 6 SNI 2833:2016.

12. Menghitung Periode Getar Struktur

Elemen tertinggi H (tinggi) adalah 15,35 m. Kemudian menurut SNI 2833:2016, T (periode) baja pemikul momen adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T \text{ pada pemikul momen} &= 0,0724 \times H \times 0,8 \\ &= 0,0724 \times 15,35 \times 0,8 \\ &= 0,644 \end{aligned}$$

13. Menghitung C_s

Kemudian periksa C_s , yang akan kita anggap sebagai V .

$$\begin{aligned} V (C_{s1}) &= (S_{DS} \times I) / R \\ &= (0,694 \times 1) / 8 \\ &= 0,0867 \\ V (C_{s2}) &= (S_{D1} \times I) / (T \times R) \\ &= (0,407 \times 1) / (0,644 \times 8) \\ &= 0,0789 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V (C_{s3}) &= 0,044 \times S_{DS} \times I \\ &= 0,044 \times 0,694 \times 1 \\ &= 0,0305 \end{aligned}$$

14. Menghitung C_s Ambil

Ketika V yang digunakan (C_{s1}) lebih dari V di batas bawah (C_{s3}) dan kurang dari V di batas atas (C_{s2}), V yang digunakan adalah V yang digunakan (C_{s1}). Ketika $V (C_{s1})$ lebih besar dari batas atas $V (C_{s2})$, batas atas $V (C_{s2})$ digunakan. Jika $C_{s2} > C_{s1} > C_{s3}$ maka digunakan C_{s1} , dan jika $C_{s1} > C_{s2}$ maka digunakan C_{s2} . Nilai C_s yang digunakan adalah C_{s2} , yaitu sebesar 0,0789 (batas atas V).

15. Menghitung Berat Total Jembatan

Berat faktor beban mati (W_{dead}) = W_{dead} x beban

$$= 418,244 \times 1$$

$$= 418,24 \text{ ton}$$

Berat faktor beban hidup (W_{live}) = W_{live} x beban

$$= 248 \times 1,1$$

$$= 272,8 \text{ ton}$$

$$W_{Tot} = W_{dead} + W_{live}$$

$$= 691,045 \text{ ton}$$

16. Faktor Beban Gempa

$$F_i = 1 \times C_s \times W_{tot} \times \text{Total Joint}$$

$$= 1 \times 0,0789 \times 691,0446 \times 80$$

$$= 0,68 \text{ ton}$$

Faktor pembebanan beban gempa dengan demikian adalah 0,68 ton.

4.1.8 Beban Kombinasi

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk struktur jembatan ini berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012. Hasil kombinasi pembebanan terbesar menurut Tabel 4.1 Faktor Beban berikut digunakan untuk menghitung pembangunan jembatan.

Tabel 4.1 Faktor Beban

Nomor Kombinasi Pembebanan	Faktor							
	Beban Tetap	Beban						
		D	L	I	L_F	B	W_1	W_2
1	1.0	1.1	1.1					
2	1.0	1.1	1.1	1.0			1.0	
3	1.0	1.1			1.0		1.0	
4	1.0					1.2		
5	1.0	1.0						1.0
6	1.0	1.0						1.0

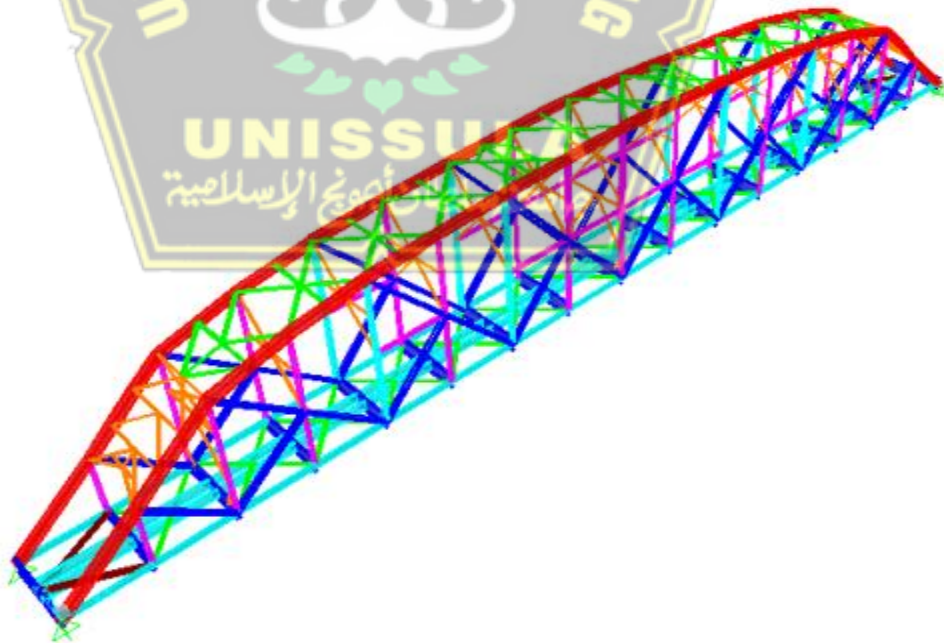
dengan,

D	: Faktor beban mati	L	: Faktor beban hidup
I	: Faktor beban kejut	B	: Faktor beban pengereman dan traksi
L_F	: Faktor beban lateral	E	: Faktor beban gempa
W_1	: Faktor beban angin (tanpa kereta)	E_x	: Faktor beban gempa arah x
W_2	: Faktor beban angin (dengan kereta)	E_y	: Faktor beban gempa arah y

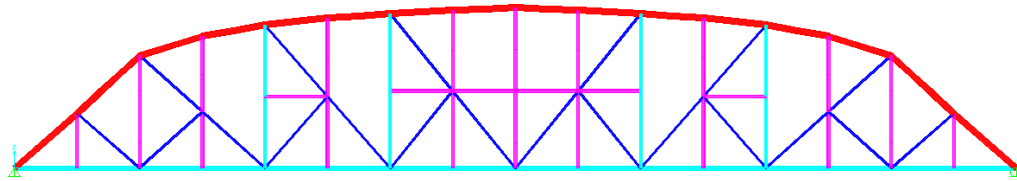
Karena gempa diduga berasal dari dua arah, kombinasi kelima dan keenam dikalikan 0,3 dari beban gempa arah x dan beban gempa arah y. Total dari enam kombinasi ini kemudian disebut beban "ENVE", yang merupakan gaya internal maksimum dan minimum dari semua kombinasi 1-6.

4.2 Permodelan Struktur Jembatan

Pemodelan Struktur jembatan Kereta Api dimodelkan menggunakan program SAP2000 v.22 yang didasarkan pada data lapangan dan asumsi. Dengan beberapa masukan yang diberikan ke program, keluarannya adalah gaya internal dari beban yang dimuat.



Gambar 4.11 Tampak 3-D Tahap Awal

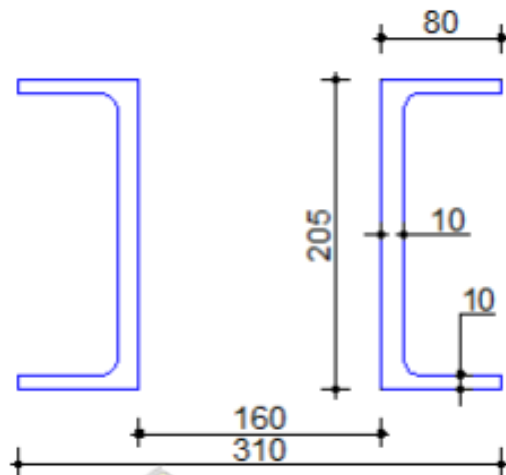


Gambar 4.12 Tampak Global XZ

Profil baja berikut akan digunakan dalam desain struktur jembatan rangka baja.

Tabel 4.2 Profil Baja pada Jembatan Kereta Api

N0	NAMA ELEMEN	PROFIL	NAMA KODE
1	Ikatan Angin Bawah	2C205x80	A
2	Batang Diagonal	2C220x90	B
3	Batang Vertikal Tengah	2C240x90	C
4	Gelagar Memanjang Atas	2C580x155	D
5	Ikatan Angin Tengah	2L85	E
6	Ikatan Angin Atas & Bawah	2L125	F
7	Gelagar Memanjang Bawah	B390x240	G
8	Batang Vertikal	W280x172	H
9	Gelagar Rel	W820x200	I
10	Diafragma	W1400X255	J



Gambar 4.13 Profil Kode A (mm)

Dimensi profil Kode A berdasarkan Gambar 4.13 antara lain :

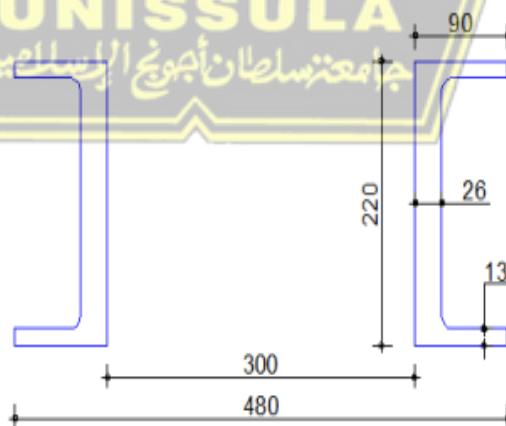
Tinggi profil baja (t_3) = 0,205 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,31 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,01 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,01 m

Jarak badan profil baja (dis) = 0,16 m



Gambar 4.14 Profil Kode B

Dimensi profil Kode B berdasarkan Gambar 4.14 antara lain :

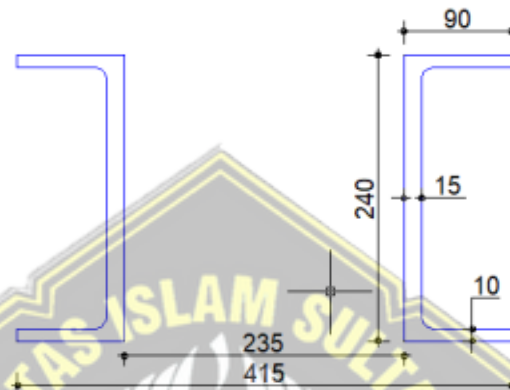
Tinggi profil baja (t_3) = 0,22 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,48 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,013 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,026 m

Jarak badan profil baja (dis) = 0,3 m



Gambar 4.15 Profil Kode C

Dimensi profil Kode C berdasarkan Gambar 4.15 antara lain :

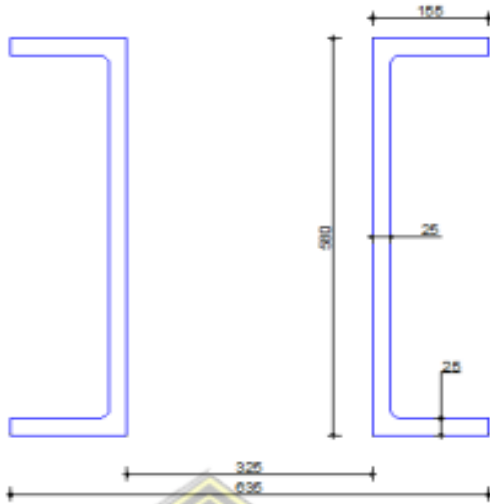
Tinggi profil baja (t_3) = 0,24 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,415 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,01 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,015 m

Jarak badan profil baja (dis) = 0,235 m



Gambar 4.16 Profil Kode D

Dimensi profil Kode D berdasarkan Gambar 4.16 antara lain :

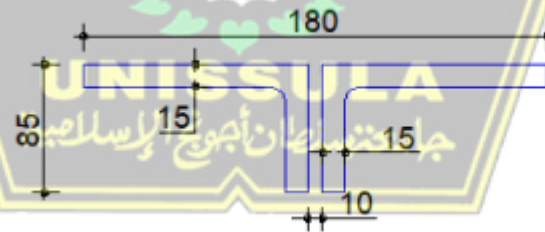
Tinggi profil baja (t_3) = 0,58 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,635 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,025 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,025 m

Jarak badan profil baja (dis) = 0,325 m



Gambar 4.17 Profil Kode E

Dimensi profil Kode E berdasarkan Gambar 4.17 antara lain :

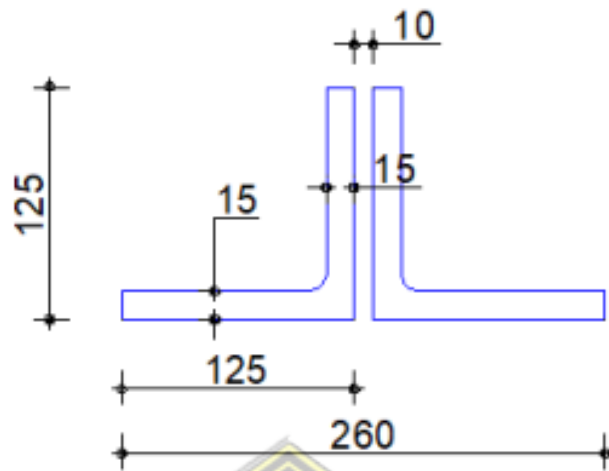
Tinggi profil baja (t_3) = 0,085 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,18 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,015 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,015 m

Jarak badan profil baja (dis) = 0,01 m



Gambar 4.18 Profil Kode F

Dimensi profil Kode F berdasarkan Gambar 4.18 antara lain ::

Tinggi profil baja (t_3) = 0,125 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,26 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,015 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,015 m

Jarak badan profil baja (dis) = 0,01 m



Gambar 4.19 Profil Kode G

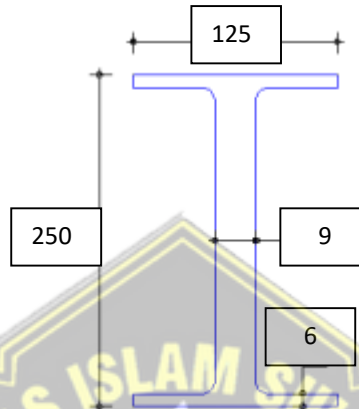
Dimensi profil Kode G berdasarkan Gambar 4.19 antara lain :.

Tinggi profil baja (t_3) = 0,39 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,29 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,025 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,04 m



Gambar 4.20 Profil Kode H

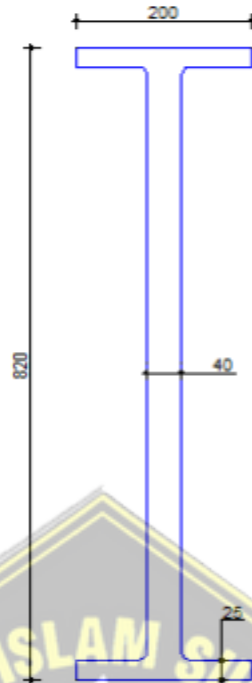
Dimensi profil Kode H berdasarkan Gambar 4.20 antara lain :.

Tinggi profil baja (t_3) = 0,25 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,125 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,06 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,09 m



Gambar 4.21 Profil Kode I

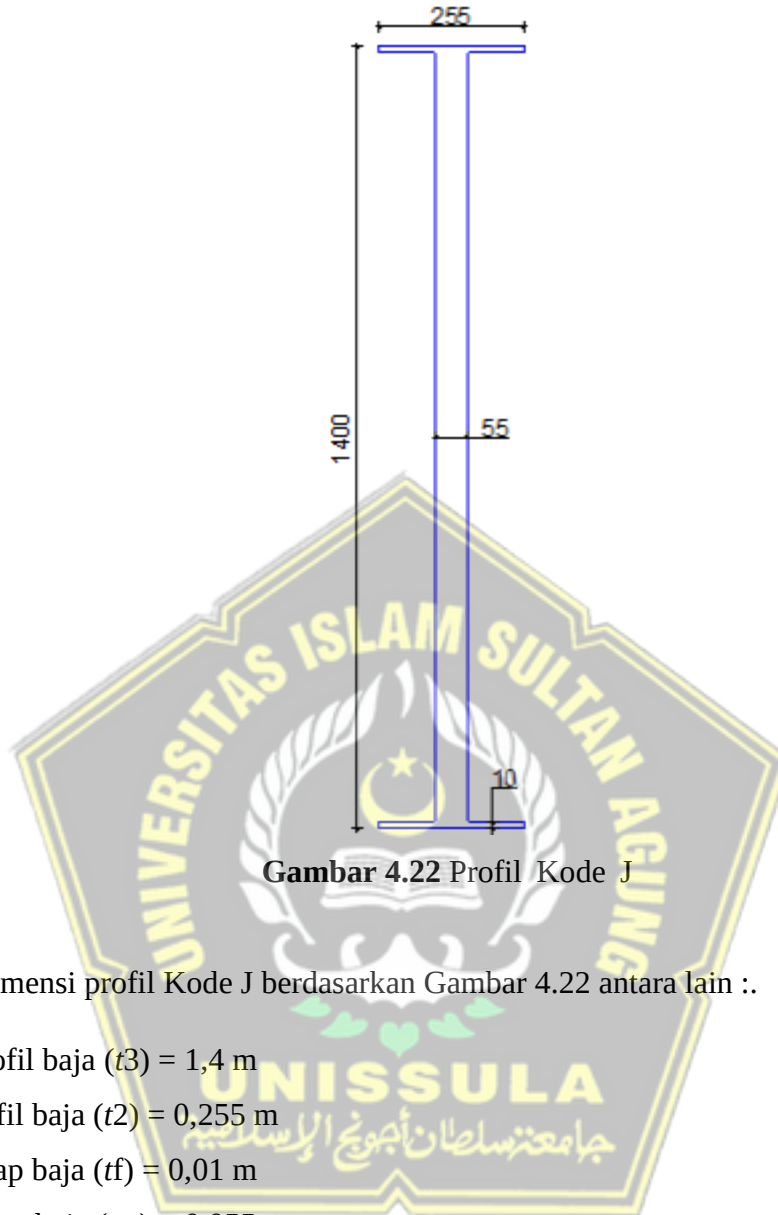
Dimensi profil Kode I berdasarkan Gambar 4.21 antara lain :

Tinggi profil baja (t_3) = 0,82 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,2 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,025 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,04 m



Gambar 4.22 Profil Kode J

Dimensi profil Kode J berdasarkan Gambar 4.22 antara lain :.

Tinggi profil baja (t_3) = 1,4 m

Lebar profil baja (t_2) = 0,255 m

Tebal sayap baja (t_f) = 0,01 m

Tebal badan baja (t_w) = 0,055 m

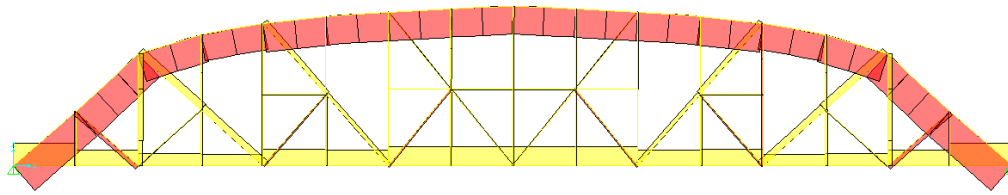
Tabel 4.3 Gaya Aksial

No.	Nama Profil	Profil	Nama Kode	Gaya Aksial (KN)		Frame
1	Ikatan Angin Bawah	2C205x80	A	Max	509,626	54
				Min	-831,836	55
2	Batang Diagonal	2C220x90	B	Max	399,812	203
				Min	-279,899	177
3	Btang Vertikal Tengah	2C240x90	C	Max	66,44	694
				Min	-78,646	135
4	Batang Memanjang Atas	2C580x155	D	Max	-402,549	17
				Min	-2,396,368	156
5	Ikatan Angin Tengah	2L85	E	Max	299,275	736
				Min	-290,549	735
6	Ikatan Angin Atas dan Bawah	2L125	F	Max	478,641	64
				Min	-392,104	67
7	Batnag Memanjang Bawah	B390x240	G	Max	2,628,943	1
				Min	-886,87	140
8	Batang Vertikal	I/WF250x125	H	Max	709,373	741
				Min	-191,954	744
9	Gelagar Rel	I/WF820x200	I	Max	530,77	323
				Min	131,802	305
10	Diafragma	I/WF1400x255	J	Max	308,558	290
				Min	-308,559	292

Tabel 4.4 Gaya Momen

No.	Nama Profil	Profil	Nama Kode	Gaya Momen (KNm)		Frame
1	Ikatan Angin Bawah Pojok	2C205x80	A	Max	102,521	55
				Min	-141,199	55
2	Batang Diagonal	2C220x90	B	Max	96,912	177
				Min	-171,644	177
3	Batang Vertikal Tengah	2C240x90	C	Max	110,252	691
				Min	-110,252	691
4	Batang Memanjang Atas	2C580x155	D	Max	4,987,961	483
				Min	-5,101,127	17
5	Ikatan Angin Tengah	2L85	E	Max	19,073	735
				Min	-20,657	735
6	Ikatan Angin Atas Bawah	2L125	F	Max	65,582	358
				Min	-7,41	358
7	Batang Memanjang Bawah	B390x240	G	Max	2,892,479	1
				Min	-3,085,065	1
8	Batang Vertikal	I/WF250x125	H	Max	363,283	172
				Min	-363,283	172
9	Gelagar Rel	I/WF820x200	I	Max	9,415,792	346
				Min	-1,324,405	346
10	Diafragma	I/WF1400x255	J	Max	8,360,988	290
				Min	-843,201	290

Berikut Berikut adalah diagram Gaya Aksial dan Gaya Momen akibat beban mati pada sumbu XZ dari hasil Run Analysis SAP2000 v.22.



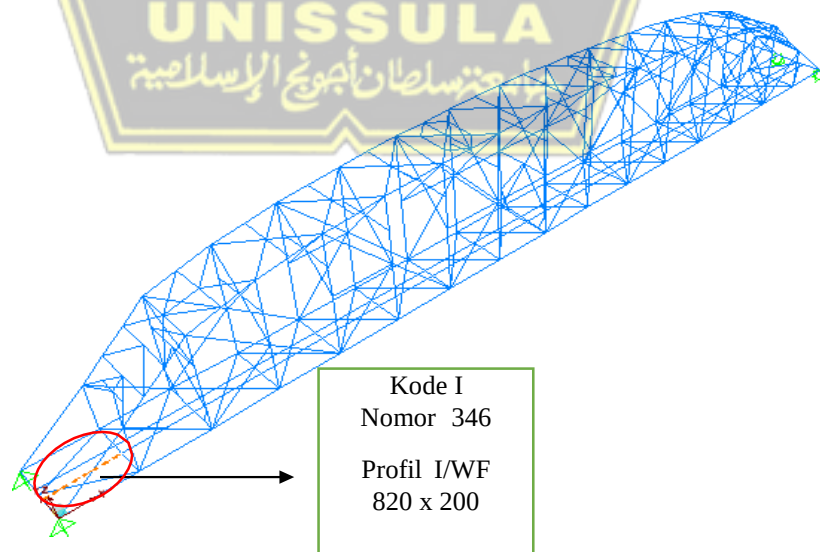
Gambar 4.23 Gaya Aksial Beban Mati

4.3 Perhitungan Kapasitas Penampang

Temuan perhitungan dari masing-masing studi kapasitas cross-sectional profil akan dijelaskan dalam sub-bab ini untuk menentukan apakah profil tersebut aman atau tidak. Aplikasi SAP2000 v.22 digunakan untuk mencari rekapitulasi dari setiap ultimate state yang terjadi pada tampilan. Dalam perhitungan ini, kapasitas satu profil dihitung menggunakan contoh. Momen dan kapasitas tarik/tekan aksial termasuk dalam perkiraan kapasitas.

4.3.1 Perhitungan Kapasitas Momen Penampang

Kapasitas momen pada penampang gelagar rel yaitu profil I/WF 820x200 dihitung sebagai berikut. Gaya momen terbesar diketahui setelah rekapitulasi program SAP2000 v.22..



Gambar 4.24 Posisi Profil I/WF 820x200

a) Profil I/WF 820x200

$$B = 2 \text{ Cm}$$

$$H = 8,2 \text{ Cm}$$

$$T_w = 0,4 \text{ Cm}$$

$$T_f = 0,25 \text{ Cm}$$

$$A_g = 40800 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 3102000000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 37440000 \text{ mm}^4$$

$$R_x = 2,76 \text{ cm}$$

$$R_y = 0,3 \text{ cm}$$

$$S_x = 7566732 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 374400 \text{ mm}^3$$

$$Z_x = 9904000 \text{ mm}^3$$

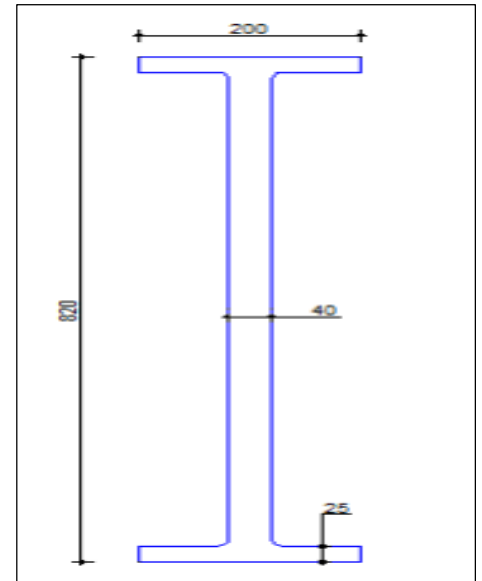
$$K = 1$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

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

$$F_r = 70 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000$$



b) Data Profil dan Gaya yang Bekerja

Didapat data momen terbesar pada batang nomor 346

$$L = 60 \text{ cm}$$

$$Nu_1 = 740,05 \text{ kN}$$

$$Nu_2 = 740,05 \text{ kN}$$

$$M_{nt1} = 301,422 \text{ kN.m}$$

$$M_{nt2} = 301,4227 \text{ kN.m}$$

$$Nu \text{ pakai} = 740,05 \text{ kN}$$

$$Mu \text{ pakai} = 301,4227 \text{ kN.m}$$

c) Efek Kolom / Tekuk

$$KL/r_x = 21,76$$

$$KL/r_y = 198,07$$

$$\lambda_c = 2,183$$

Untuk,

$$\lambda_c < 0.25 \text{ maka } \omega = 1$$

$$0.25 < \lambda_c < 1.2 \text{ maka } \omega = 1.43 / (1.6 - 0.67 \cdot \lambda_c)$$

$$\lambda_c \geq 1.2 \text{ maka } \omega = 1.25 \lambda_c^2$$

$$\omega = 5,96$$

$$f_{cr} = 40,28 \text{ Mpa}$$

$$\phi_c \cdot N_n = 1397 \text{ KN}$$

d) Efek Balok

$$M_p = f_y \cdot Z_x = 2377 \text{ KNm}$$

$$M_r = (f_y - f_r) \cdot S_x = 1286 \text{ KNm}$$

Panjang batang maksimum yang dapat menerima momen plastis:

$$L_p = 1,76 r_y \left(\frac{E}{f_y} \right)^{0,5}$$

$$= 1.539 \text{ m}$$

Momen kritis tekuk torsi lateral menentukan panjang bentang minimum di mana kekuatan dimulai, dengan $f_L = f_y - f_r = 170 \text{ Mpa}$

Konstanta puntir torsi,

$$J = \Sigma (bt^3)/3 = 18510000 \text{ mm}^4$$

Konstanta puntir lengkung,

$$I_w = (I_f \cdot h^2)/2 = 5,26688 \text{E}+12 \text{ mm}^6$$

$$X1 = (3,1416/Sx). ((E. G. J. Ag)/2)^{0,5} = 32284,53778 \text{ Mpa}$$

$$X2 = 4. \left(\frac{Sx}{G} \cdot J\right)^3 \cdot \left(\frac{lw}{ly}\right)$$

Maka,

$$Lr = 8,520 \text{ m}$$

Karena $Lp < L < Lr$ jadi kekuatan nominal anggota struktur terhadap momen lentur adalah

$$Mn = Cb ((M1+(Mp-Mr).(Lr-L)/(Lr-Lp)) \leq Mp$$

Diperiksa apakah profil WF 820x200 cukup kompak untuk $fy = 240 \text{ MPa}$.

Syarat penampang kompak :

$$\text{Tekuk lokal flens} = \lambda_p = 170/(fy)^{0,5} = 10,973$$

$$\text{Tekuk lokal badan} = \lambda_p = 1680/(fy)^{0,5} = 108,444$$

Nilai tekuk lokal flens baja profil yang digunakan $b/2tf = 4 < 10,973$ (ok!)

Nilai tekuk lokal badan baja profil yang digunakan $h/tw = 20,5 < 108,44$ (ok!)

Penampang tersebut kompak.

$$Mn = Cb ((Mr+(Mp-Mr).(Lr-L)/(Lr-Lp)) \leq Mp$$

$$Cb = 12.5.M_{max}/(2.5 M_{max} + 3 MA + 4 MB + 3 MC) \leq 2.3$$

$$MA = 1/4 L = 1500 \text{ mm} = 477,8226 \text{ kN.m}$$

$$MB = 1/2 L = 3000 \text{ mm} = 74,5707 \text{ kN.m}$$

$$MC = 3/4 L = 4500 \text{ mm} = 508,207 \text{ kN.m}$$

$$M_{max} = 301,4227 \text{ kN.m}$$

$$C_b = 0,940 > 2,3 \text{ (ok!)}$$

$$M_n = 3864,180 > M_p = 2377 \text{ kN.m, (ok!)}$$

$$\text{Maka digunakan } M_n = M_p = 2376,960 \text{ kN.m}$$

e) Perbesaran Momen

$$\delta b = C_m / (1 - (N_u / N_{crb})) \geq 1$$

$$C_m = 0.6 - (0.4 (\beta_m)) \leq 1$$

$$\beta_m = M_1 / M_2 = 1,00086$$

Maka,

$$C_m = 0,19965$$

$$\lambda_c = 2,183$$

$$N_{crb} = ((A_g \cdot f_y) / (\lambda_c)^2) = 2054,53 \text{ kN}$$

$$\delta b = 0,31$$

karena $\delta b < 1$, maka nilai δb diambil sama dengan

$$1 M_{ux} = \delta b \cdot M_{nt} = 301,42 \text{ kN.m}$$

$$\text{karena } (N_u / (\phi N_n)) = 0,53 > 0,2$$

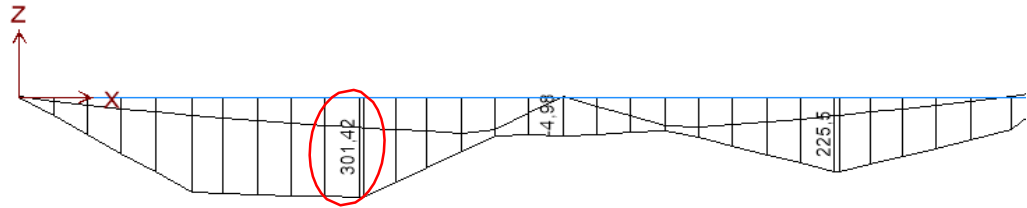
Maka,

$$(N_u / (\phi \cdot N_u)) + (8/9)((M_{ux} / (\phi b \cdot M_{nx})) < 1$$

$$0,655 < 1 \text{ (Ok!)}$$

Maka Profil I/WF 820 x 200 dapat digunakan.

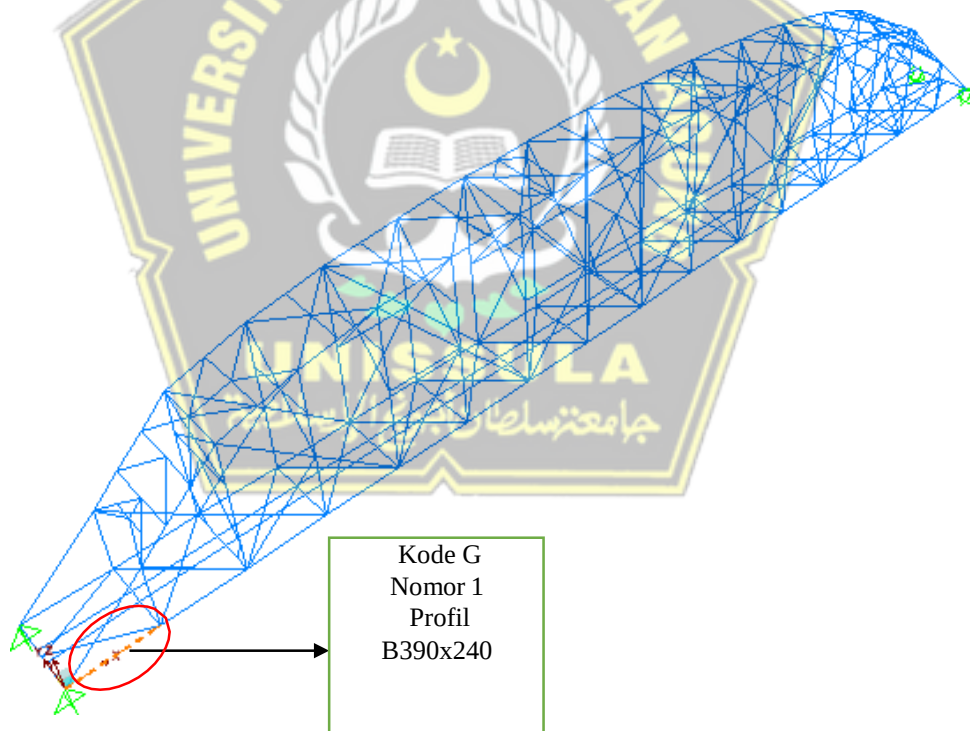
f) Berikut merupakan gambar diagram momen (BMD) dari batang nomor 346 yang menunjukkan angka 301,4227 kN.m



Gambar 4.25 Diagram BMD Batang Nomor 346

4.3.2 Perhitungan Kapasitas Aksial Tarik

Berikut merupakan contoh perhitungan kapasitas aksial tarik menggunakan RSNI T-03-2005 yang diambil pada profil B390x240, karena pada profil inilah gaya aksial tarik terbesar terjadi dengan beban 1 jembatan. Pada perhitungan kapasitas ini yang akan dihitung adalah perhitungan aksial tarik dari profil kode G.



Gambar 4.26 Posisi Profil B390x240

a) Data Profil B390x240

$$B = 2,9 \text{ Cm}$$

$$H = 3,9 \text{ Cm}$$

$$T_w = 0,4 \text{ Cm}$$

$$T_f = 0,25 \text{ Cm}$$

$$A_g = 41700 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 745700000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 530200000 \text{ mm}^4$$

$$R_x = 1,34 \text{ cm}$$

$$R_y = 1,12 \text{ cm}$$

$$S_x = 3824218 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 3656879 \text{ mm}^3$$

$$Z_x = 4958250 \text{ mm}^3$$

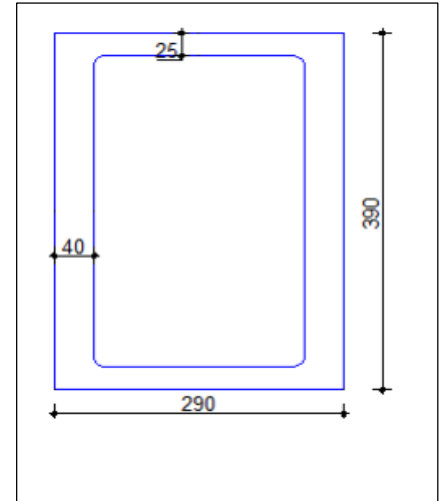
$$K = 1$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

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

$$F_r = 70 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000$$



b) Luas Penampang

$$\begin{aligned} \text{Netto Ant} &= A_g - (n \times d \times t_f) \\ &= 41700 - (2 \times 24 \times 25) \\ &= 40500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c) Eksentrisitas Sambungan

$$\begin{aligned} X &= (0,5 \times t_f) + t_b \\ &= (0,5 \times 25) + 10 \\ &= 22,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

d) Faktor Reduksi

$$\begin{aligned}U &= 1 - x / L_s \\&= 1 - 22,5 / 370 \\&= 0,939\end{aligned}$$

e) Luas Penampang Efektif

$$\begin{aligned}A_e &= A_n \times U \\&= 40500 \times 0,939 \\&= 38037,162 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

f) Kuat Tarik Nominal

Berdasarkan keelehan pada penampang bruto

$$\begin{aligned}1. P_n &= \phi \times A_g \times F_y \\&= 0,9 \times 41700 \times 240 \\&= 9007200 \text{ N} \\&= 9007,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan fraktur pada penampang efektif

$$\begin{aligned}2. P_n &= \phi \times A_e \times F_u \\&= 0,75 \times 38037,162 \times 370 \\&= 10555312,48 \text{ N} \\&= 10555,312 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kuat tarik yang dipakai = 9007,2 kN

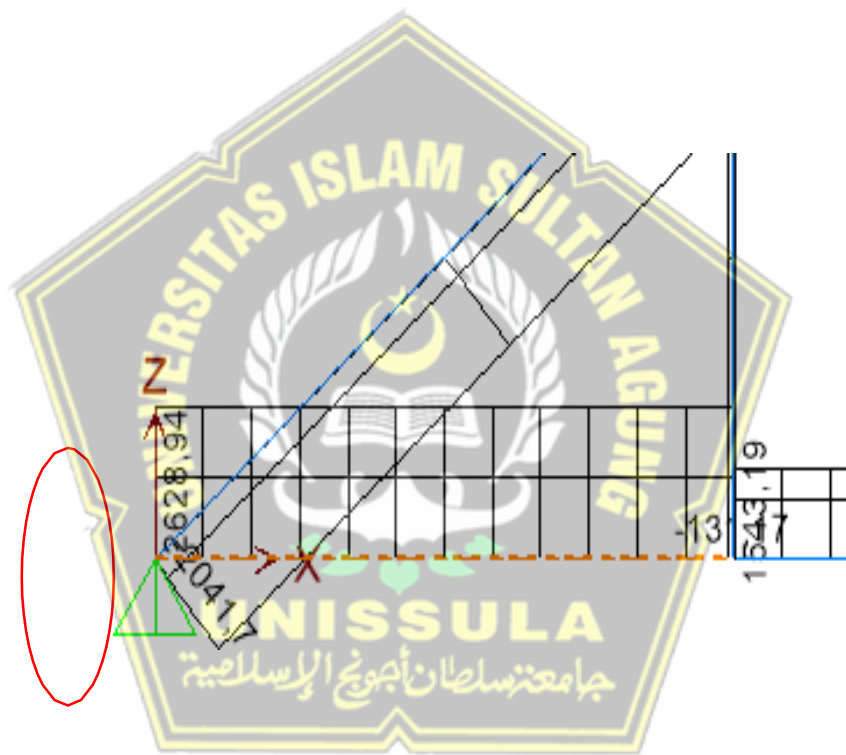
g) Cek Keamanan Profil

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$2628,943 \leq 9007,2 \text{ (Aman)}$$

Maka Profil B390x240 dapat digunakan

h) Berikut merupakan gambar diagram aksial (NFD) dari batang nomor 1. Dilihat dari diagram batang NFD berikut ini, batang nomor 1 merupakan batang aksial tarik yang menunjukkan angka 2628,94 kN.



Gambar 4.27 Diagram NFD Batang Nomor 1

4.4 Sambungan Baut

4.4.1 Sambungan pada Gelagar Memanjang

a. Beban pada sambungan

Momen akibat beban terfaktor

$$M_u = 1324,405 \text{ kN.m}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor

$$V_u = 1173,384 \text{ kN}$$

Gaya aksial akibat beban terfaktor

$$P_u = 2628,943 \text{ kN}$$

Eksentrisitas sambungan

$$E = 110 \text{ mm}$$

b. Plat sambungan

Tegangan leleh baja = 240 MPa

Tegangan tarik putus plat = 370 MPa

Lebar plat sambungan pada badan = 250 mm

Tebal plat sambungan pada badan = 20

Lebar plat sambungan pada sayap = 250

Tebal plat sambungan pada sayap = 20

Faktor Reduksi kekuatan tarik atau lentur plat = 0,9

Tabel 4.5 Sifat mekanis baja struktural

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

Harga faktor reduksi (ϕ)			
Kuat rencana untuk	ϕ	Kuat rencana untuk	ϕ
Balok lentur	0,90	Kuat tekan (komp.)	0,95
Pelat badan lentur	0,90	Kuat tumpu beton	0,60
Tekan (penampang)	0,85	Kuat lentur plastik	0,85
Tekan (komponen)	0,85	Kuat lentur elastik	0,90
Batang tarik leleh	0,90	Baut geser	0,90
Batang tarik fraktur	0,75	Baut tumpu	0,75
Kombinasi lentur	0,90	Las tumpul	0,90
Kombinasi tekan	0,85	Las pengisi	0,75

Gambar 4.29 Faktor Reduksi

c. Baut

Jenis sambungan baut Type Baut = A-325

Jenis sambungan baut = 825 MPa

Jenis sambungan baut = 24 mm

Diameter lubang = 26,4

Faktor reduksi kekuatan geser baut = 0,75

SPESIFIKASI BAUT DAN PAKU KELING				
Baut	Mutu	d_b (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik min. , f_u (MPa)
A307	Normal	6,35 – 10,4	-	60
A325	Tinggi	12,7 – 25,4	585	825
		28,6 – 38,1	510	725
A490	Tinggi	12,7 – 38,1	825	1035
Keling	Normal		-	370

Gambar 4.30 Spesifikasi Baut

4.4.2 Terhadap Gaya Geser

Kondisi sambungan baut geser ganda maka nilai :

$$m = 3$$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser

$$r_1 = 0,4$$

Luas penampang baut

$$\left(\frac{\frac{22}{7}}{4}\right) \times \frac{24}{2} = 452,57 \text{ mm}^2$$

Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75

Tahanan geser nominal 1 baut

$$\begin{aligned} V_n &= r_1 \cdot m \cdot A_b \cdot f_u^b \\ &= 0,4 \cdot 3 \cdot 452,57 \cdot 825 \\ &= 448045,714 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan geser 1 baut

$$\begin{aligned} V_d &= f_r \times V_n \\ &= 0,75 \cdot 448045,714 \\ &= 336034,286 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.4.3 Terhadap tumpu

Diameter baut $d = 24 \text{ mm}$

Tebal plat badan $t_w = 20 \text{ mm}$

Tegangan tarik putus plat = 370 MPa

Tahanan tumpu nominal plat

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \cdot d \cdot t_w \cdot f_u^p \\ &= 2,4 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 370 \\ &= 426420 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu plat

$$F_f \times R_n = 0,75.426420 = 319680 \text{ N}$$

4.4.4 Menghitung jumlah baut

Jumlah baut :

$$n = \frac{Pu}{f_r \cdot V_n} = \frac{2628943}{336034,3} = 7.823$$
$$= 8$$

Syarat jarak baut berdasarkan segi pelaksanaan $d = 2,4 \text{ cm}$.

Jarak baut ke tepi plat diambil minimum 30 mm sesuai jarak tepi minimum pada SNI 1729-2015.

4.4.5 Kontrol plat siku

Luas geser plat siku (250x125)

$$A = 3700 \text{ mm}^2$$

Kuat Rencana

$$\phi R_n = \phi \cdot 0,6 \cdot A_{nv}$$
$$= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 3700 \cdot 370,3,3$$
$$= 2032965 \text{ kN}$$

$$2\phi R_n = \frac{2 \times 2032965}{1000}$$
$$= 4065,93 \text{ Kn}$$

$$2 \phi R_n \geq Pu$$

$$4065,93 \text{ kN} \geq 2628,943 \text{ kN} \quad (\text{AMAN})$$

4.5 Pondasi

Perhitungan pondasi jembatan rangka merupakan perhitungan pondasi yang akan digunakan pada jembatan direncanakan fondasi dapat menahan beban dari jembatan gantung.

Kedalaman tiang pancang : 34 m

Dimensi tiang pancang : $\Phi 1000$ mm

Mutu beton : 30 MPa

Mutu baja : 320 MPa

4.5.1 Perhitungan daya dukung Metode Mayerhoff

$$\text{Diameter Tiang } (D) = 100 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling Tiang } (p) &= \pi \times D \\ &= 3,14 \times 100 \\ &= 314 \text{ cm} = 3,14 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Tiang } (A_p) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 100^2 \\ &= 2827,43 \text{ cm}^2 = 0,2827 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Q_p)

$$\begin{aligned}q_c &= \frac{qc_1 + qc_2}{2} \\ &= \frac{13,76 + 161,5}{2} \\ &= 87,63 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_p &= q_c \times A_p \\ &= 87,63 \times 7850 \\ &= 687895,5 \text{ kg} = 687,895 \text{ ton}\end{aligned}$$

Perhitungan kapasitas daya dukung kulit (Q_s)

$$\begin{aligned}Q_s &= JHL \times p \\ &= 302 \times 314 \\ &= 94828 \text{ kg} = 94,828 \text{ ton}\end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 687,89 + 94,828 \\ &= 782,723 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{q_p}{3} + \frac{Q_s}{5} \\ &= \frac{687,895}{3} + \frac{94,828}{5} \\ &= 248,2641 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.5.2 Perhitungan Bored Pile

Dari hasil analisis struktur diperoleh gaya-gaya sebagai berikut :

M_y : 486 kgm

M_x : 9739 kgm

P_u : 153111 kg

V_x : 15351 kg

V_y : 510 kg

Ukuran Pile cap : 2,5 m x 2,5 m x 1 m

Berat Jenis Beton : 2400 kg/ cm³

Gaya normal rencana :

- Berat pile cap : $2,5 \times 2,5 \times 1 \times 2400 = 15000 \text{ Kg}$

$\Sigma P_u = 168111 \text{ kg}$

Jumlah tiang yang diperlukan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\Sigma P_u}{P_{ijin}} = \frac{168111 \text{ kg}}{59569 \text{ kg}} = 2,82 \text{ kg} \approx 4 \\ &1\theta \frac{(n.1)m + (m.1)m}{90.m.n} \end{aligned}$$

Efisiensi (n) tiang :

$$\begin{aligned} \theta &= \arctg \frac{D}{S} = \arctg \frac{62,5}{125} \\ 1.26.565 &= \frac{(2.1)^2 + (2.1)^2}{90.2.2} = 0,7 \end{aligned}$$

$$X \text{ maks} = 0,625 \text{ m}$$

$$Y \text{ maks} = 0,625 \text{ m}$$

$$\Sigma X \text{ maks} = (0,625^2) + (0,625^2) = 0,781 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y \text{ maks} = (0,625^2) + (0,625^2) = 0,781 \text{ m}^2$$

$$N = 4 \text{ buah}$$

$$N_x = 2 \text{ Buah}$$

$$N_y = 2 \text{ Buah}$$

$$P_{\text{maks}} \frac{\sum Pu}{n} + \frac{0,3 My \times X \text{ maks}}{EX^2} = \frac{My \times Y \text{ maks}}{EY^2} \leq P_{\text{ult}}$$

$$P_{\text{maks}} \frac{168111}{4} + \frac{0,3.486 \times 0,625}{0,781} = \frac{9739 \times 0,625}{0,781} \leq 49935,6 \text{ kg}$$

$$P_{\text{min}} \frac{\sum Pu}{n} + \frac{0,3 My \times X \text{ maks}}{EX^2} = \frac{My \times Y \text{ maks}}{EY^2} \leq P_{\text{ult}}$$

$$P_{\text{min}} \frac{168111}{4} + \frac{0,3.486 \times 0,625}{0,781} = \frac{9739 \times 0,625}{0,781} \leq 34119,9 \text{ kg}$$

Jadi beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 49935,6 Kg

$$Q \text{ tiang pancang} = \eta \times Q_u \text{ ijin 1 tiang}$$

$$= 0,832 \times 140242,13 \text{ Kg}$$

$$= 116681,45 \text{ Kg} > P_{\text{max}} = 49935,6 \text{ Kg}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bahwa Struktur Jembatan Rangka Baja Kereta Api telah dirancang dapat dikatakan aman dan sesuai dengan peraturan pembebanan sebagaimana dimaksud dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012. Penampang baja mengikuti RSNI T-03-2005 dan literasi metode LRFD, khususnya dengan gaya momen lentur maksimum sebesar 301,4227 kN.m yang terdapat pada Profil I/WF 820x200 batang nomor 346 (space frame). Gaya aksial tarik (space truss) memiliki gaya aksial maksimum sebesar 2706,792 kN (beban kereta sebesar 0,75 jembatan) dan diposisikan pada profil B390x240.

5.2 Saran

1. Untuk memperoleh hasil analisis struktur, pemodelan dan input data pada Program SAP2000 dilakukan secara cermat dengan menggunakan asumsi-asumsi yang telah ditetapkan.
2. Perhitungan beban mati dan hidup diperhitungkan secara tepat demi memperoleh konstruksi yang aman.
3. Meski demikian, perhitungan analisis Jembatan Rangka ini bukan final dan masih ada teori serta perhitungan lain yang terus berkembang
4. Perhitungan Jembatan Rangka Baja menggunakan berbagai pedoman, tetapi masih belum final. Evaluasi dan perbaikan perhitungan perlu dilakukan pada perancangan berikutnya.