

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR ATAS JEMBATAN DI KABUPATEN DEMAK
DENGAN STRUKTUR RANGKA BAJA

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



Disusun Oleh:

Galang Roqim Mustaqim

NIM: 30202200267

Reyhan Irfan Fauzan

NIM: 30202200277

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN DI KABUPATEN DEMAK DENGAN STRUKTUR RANGKA BAJA



Galang Roqim Mustaqim
NIM: 30202200267



Reyhan Irfan Fauzan
NIM: 30202200277

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 5 Agustus 2024

Tim Penguji

1. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D**

NIDN: 06-0704-6802

2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**

NIDN: 06-2505-9102

3. **Prof. Dr. Ir. Antonius, MT**

NIDN: 06-0504-6703

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:

Pada Hari Senin tanggal 5 Agustus 2024 berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal Penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa Mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir.

Galang Roqim Mustaqim
NIM: 30202200267

Reyhan Irfan Fauzan
NIM: 30202200277

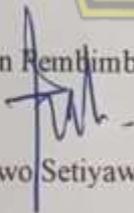
Judul: Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan di Kabupaten Demak dengan Struktur Rangka Baja

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukkan Dosen Pembimbing	11/11/2023	Acc
2	Seminar Proposal	04/07/2024	Acc
3	Pengumpulan Data	06/07/2024	Acc
4	Analisis Data	08/07/2024	Acc
5	Penyusunan Laporan	15/07/2024	Acc
6	Selesai Laporan	27/07/2024	Acc

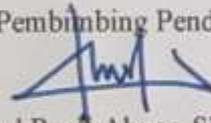
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir/Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh Pihak-Pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama



Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D

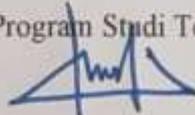
Dosen Pembimbing Pendamping



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Galang Roqim Mustaqim

NIM : 30202200267

Nama : Reyhan Irfan Fauzan

NIM : 30202200277

Judul Tugas Akhir :

**PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN DI
KABUPATEN DEMAK DENGAN STRUKTUR RANGKA BAJA.**

Benar bebas dari plagiasi dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka Kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini Kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 5 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,


Galang Roqim Mustaqim

NIM: 30202200267


Reyhan Irfan Fauzan

NIM: 30202200277



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Galang Roqim Mustaqim

NIM : 30202200267

Nama : Reyhan Irfan Fauzan

NIM : 30202200277

Judul Tugas Akhir :

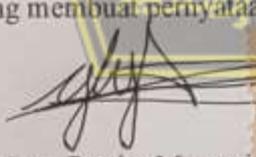
**PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN DI
KABUPATEN DEMAK DENGAN STRUKTUR RANGKA BAJA.**

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

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

Demikian pernyataan ini kami buat

Semarang, 5 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan 1,  Yang membuat pernyataan 2,

Galang Roqim Mustaqim

NIM: 30202200267



Reyhan Irfan Fauzan

NIM: 30202200277

MOTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ
عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ
لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ
الْفَاسِقُونَ ﴿١١٠﴾

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) 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.” (QS. Ali ‘Imran : 110)

Ilmu itu ada 3 tingkatan:

Tingkat pertama, Ia akan sombong.

Tingkat kedua, Ia akan menjadi seorang yang rendah hati. Tingkat ketiga, Ia akan merasa bahwa Ia tidak tahu apa-apa.

(Abdullah bin Mubarak)

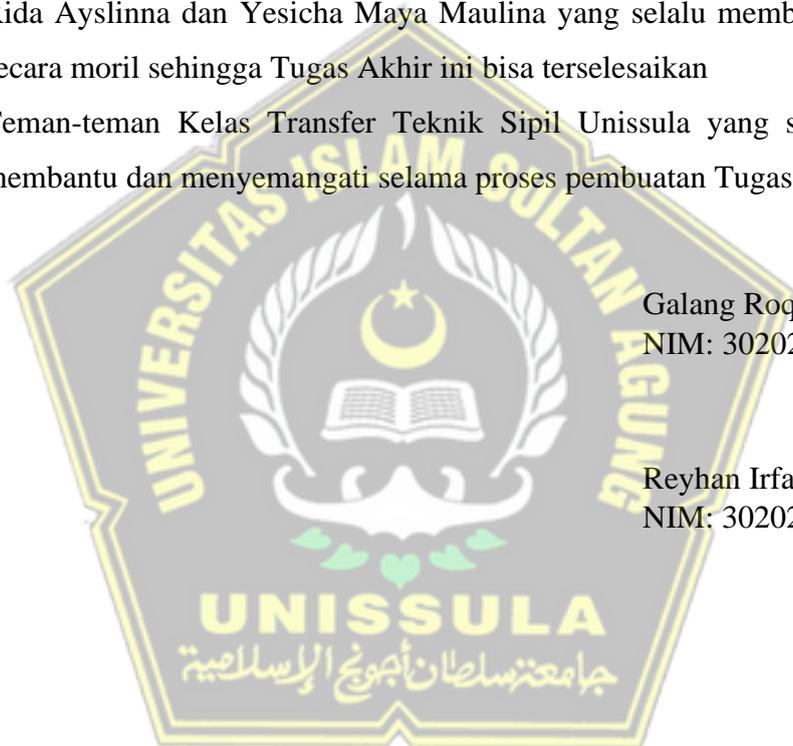
Whatever torch we kindle, and whatever space it may illuminate, our horizon will always remain encircled by the depth of night.

(Arthur Schopenhauer)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini Penulis persembahkan untuk:

1. Orang tua Saya yang senantiasa membantu dalam suka maupun duka
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D dan Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. yang telah berkenan membimbing Kami dari awal hingga akhir Laporan ini dibuat
3. Rida Ayslinna dan Yesicha Maya Maulina yang selalu memberi dukungan secara moril sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan
4. Teman-teman Kelas Transfer Teknik Sipil Unissula yang sudah banyak membantu dan menyemangati selama proses pembuatan Tugas Akhir.



Galang Roqim Mustaqim
NIM: 30202200267

Reyhan Irfan Fauzan
NIM: 30202200277

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya yang tak terhingga. Berkat rahmat-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN DI KABUPATEN DEMAK DENGAN STRUKTUR RANGKA BAJA” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari keterbatasan dan kekurangan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai Pihak, dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih 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 Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan telah memberikan arahan serta dorongan dalam penulisan Skripsi ini.
3. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan telah memberikan arahan serta dorongan dalam penulisan Skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah berbagi pengetahuan dan ilmu mereka kepada Penulis.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam Tugas Akhir ini, baik dari segi konten maupun struktur penyajian. Semoga Karya ini dapat memberikan manfaat tidak hanya bagi Penulis, tetapi juga bagi para Pembaca yang akan mengeksplorasi hasil Tugas Akhir ini.

Semarang, 5 Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR BAGAN.....	xiv
ABSTRAKSI	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Jembatan.....	4
2.2 Jenis Jembatan	4
2.3 Jembatan Rangka Baja	12
2.4 Langkah Perancangan Jembatan	14
2.4.1 <i>Preliminary Design</i>	14
2.4.2 Perhitungan Pembebanan.....	14
2.4.3 Teori Desain Struktur Baja	23

BAB III METODE PERANCANGAN.....	27
3.1 Desain Awal	27
3.2 Spesifikasi Jembatan	27
3.3 Tahap Perancangan.....	28
3.4 Bagan Alir	29
BAB IV HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Data Teknis Jembatan	32
4.2 Pembebanan Struktur Atas Jembatan	32
4.2.1 Beban Mati Sendiri.....	33
4.2.2 Beban Mati Tambahan	34
4.2.3 Beban Lajur	36
4.2.4 Beban Truk.....	37
4.2.5 Beban Rem	38
4.2.6 Beban Temperatur	39
4.2.7 Beban Gempa	40
4.2.8 Beban Kombinasi	48
4.3 Perancangan Struktur Atas Jembatan	48
4.3.1 Momen Maksimum dan Gaya Aksial Maksimum	48
4.3.2 Lendutan Maksimum.....	50
4.3.3 Perancangan Gelagar Memanjang.....	51
4.3.4 Perancangan Gelagar Melintang	56
4.3.5 Perancangan <i>Top Chord</i>	60
4.3.6 Perancangan <i>Beam Diagonal</i>	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jembatan Berdasarkan Kegunaannya	5
Gambar 2.2 Jembatan Kayu.....	6
Gambar 2.3 Jembatan Beton.....	6
Gambar 2.4 Jembatan Beton Prategang.....	7
Gambar 2.5 Jembatan Baja.....	7
Gambar 2.6 Jembatan Komposit	8
Gambar 2.7 Jembatan Pelat	8
Gambar 2.8 Jembatan Pelat Berongga.....	9
Gambar 2.9 Jembatan Gelagar.....	9
Gambar 2.10 Jembatan Rangka.....	10
Gambar 2.11 Jembatan Pelengkung	10
Gambar 2.12 Jembatan Gantung	11
Gambar 2.13 Jembatan Kabel.....	11
Gambar 2.14 Detail Struktur Jembatan Rangka Baja.....	12
Gambar 2.15 Tipe Jembatan Rangka Baja	13
Gambar 2.16 Jembatan <i>Warren Truss</i>	13
Gambar 2.17 Beban Lajur “D”	17
Gambar 2.18 Pembebanan Truck “T” (500KN).....	17
Gambar 2.19 Faktor Beban Dinamis (FBD).....	19
Gambar 3.1 Model Jembatan.....	27
Gambar 3.2 Model Melintang Jembatan	28
Gambar 4.1 Pembagian Dimensi Parapet	35
Gambar 4.2 Distribusi Pembebanan Truk	38
Gambar 4.3 Lokasi Jembatan	42
Gambar 4.4 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA).....	44
Gambar 4.5 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (S_s). 45	
Gambar 4.6 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar (S_1)	45
Gambar 4.7 Grafik Respon Spektrum Jembatan	48
Gambar 4.8 Hasil Desain SAP 2000	49
Gambar 4.9 <i>Output</i> Gaya Aksial	50

Gambar 4.10 Lendutan Hasil SAP 2000	51
Gambar 4.11 Profil Baja WF 400 x 400	51
Gambar 4.12 Data Profil Baja WF 400 x 400	52
Gambar 4.13 Profil Baja WF 400 x 400	56
Gambar 4.14 Data Profil Baja WF 400 x 400	56
Gambar 4.15 Profil Baja WF 500 x 300	60
Gambar 4.16 Data Profil Baja WF 500 x 300	61
Gambar 4.17 Profil Baja WF 500 x 300	65
Gambar 4.18 Data Profil Baja WF 500 x 300	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri	15
Tabel 2.2 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan.....	16
Tabel 2.3 Faktor Beban Akibat Beban Lajur “D”	16
Tabel 2.4 Faktor Akibat Pembebanan Truck “T”	18
Tabel 2.5 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Berbagai Kondisi Hulu	20
Tabel 2.6 Tekanan Angin Dasar	21
Tabel 2.7 Standar Temperatur Lantai Jembatan	21
Tabel 2.8 Faktor Modifikasi Respon (RD)	22
Tabel 2.9 Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ (Keadaan Batas Ultimit).....	26
Tabel 3.1 Kombinasi Pembebanan Jembatan	29
Tabel 4.1 Rekapitulasi Beban Sendiri Jembatan	34
Tabel 4.2 Berat Parapet	35
Tabel 4.3 Rekapitulasi Beban Mati Tambahan (MA)	36
Tabel 4.4 Rekapitulasi Beban Lajur	37
Tabel 4.5 Standar Temperatur Lantai Jembatan	39
Tabel 4.6 Uji Sondir pada Lokasi Jembatan di Kabupaten Demak.....	42
Tabel 4.7 Klasifikasi Situs.....	43
Tabel 4.8 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan Periode 0,2 Detik.....	46
Tabel 4.9 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik	47
Tabel 4.10 Gaya Aksial Maksimum.....	49
Tabel 4.11 Lendutan Maksimum.....	50

DAFTAR BAGAN

Bagan 3.1 Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir.....	31
Bagan 4.1 Perancangan Beban Jembatan	33
Bagan 4.2 Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa	41



ABSTRAKSI

Jembatan merupakan infrastruktur penting dalam Sistem Transportasi yang berfungsi sebagai penghubung antara wilayah yang terpisah oleh hambatan seperti sungai, lembah atau jalan raya. Keberadaan jembatan sangat vital untuk mendukung konektivitas dan mobilitas, memfasilitasi pergerakan orang, barang dan layanan dari satu daerah ke daerah lain. Perancangan Ulang jembatan menggunakan Struktur Rangka Baja Tipe *Warren Truss* menjadi pilihan yang baik. *Warren Truss* adalah Tipe Struktur Jembatan yang menggunakan Rangka Segitiga yang saling terhubung untuk mendistribusikan beban secara merata.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menentukan Profil Baja yang aman digunakan untuk Perancangan Ulang Jembatan dan menganalisis lendutan yang terjadi pada Jembatan dengan bentang 30 m. Metode Kuantitatif digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dengan menggunakan penelitian sebelumnya sebagai verifikasi model pada SAP 2000.

Hasil Analisis menunjukkan Profil Baja yang aman digunakan untuk Struktur Jembatan adalah Profil *Wide Flange* (WF) dengan Mutu Baja BJ 37 dan ukuran yang bervariasi. Nilai Lendutan Maksimum yang terjadi pada Jembatan dengan bentang 30 m adalah sebesar 3,6 cm dan dikategorikan sebagai Kondisi Aman.

Kata Kunci: Jembatan, *Warren Truss*, Profil Baja, Lendutan.

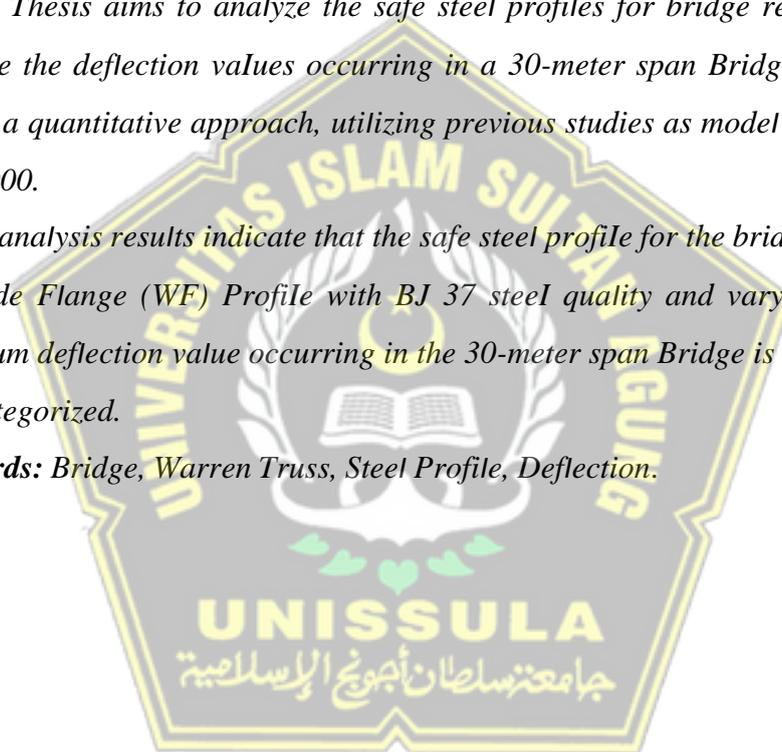
ABSTRACT

Bridges are crucial infrastructure in the transportation system, serving as connectors between areas separated by obstacles such as rivers, valleys or highways. The presence of bridge is vital for supporting connectivity and mobility, facilitating the movement of people, goods and services from one region to another. The redesign of bridges using the Warren Truss Steel Structure is an excellent choice. Warren Truss is a type of bridge structure that uses interconnected triangular frames to evenly distribute loads.

This Thesis aims to analyze the safe steel profiles for bridge redesign and to examine the deflection values occurring in a 30-meter span Bridge. The method used is a quantitative approach, utilizing previous studies as model verification in SAP 2000.

The analysis results indicate that the safe steel profile for the bridge structure is the Wide Flange (WF) Profile with BJ 37 steel quality and varying sizes. The maximum deflection value occurring in the 30-meter span Bridge is 3.6 cm, so it is safe categorized.

Keywords: *Bridge, Warren Truss, Steel Profile, Deflection.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin maju mendorong terjadinya perubahan dan improvisasi agar tetap sejalan dengan laju modernisasi. Dalam rangka mencapai kemajuan suatu daerah perlu diimbangi dengan kondisi sarana dan prasarana yang memadai, salah satunya adalah jembatan sebagai prasarana transportasi.

Jembatan adalah struktur atau bangunan yang menghubungkan dua rute atau lintasan berbeda oleh sungai, selat, saluran, jalan raya, jalur kereta api dan lintasan lainnya. (Budiadi, 2008) Jembatan adalah salah satu aspek penting dalam agenda pembangunan suatu daerah. Oleh sebab itu, pembangunan jembatan perlu mendapatkan perhatian besar sehingga dapat memberikan manfaat yang optimal. Jenis-jenis jembatan berdasarkan fungsi, letak, material konstruksi dan jenis strukturnya kini mengalami perkembangan yang pesat sesuai dengan zaman dan teknologi, dari yang sederhana hingga yang paling kompleks dengan menggunakan material antara lain bambu, kayu, baja dan beton.

Jembatan Rangka Baja merupakan salah satu jenis konstruksi jembatan umum yang sangat banyak dibangun di Indonesia. Jembatan Rangka Baja terdiri dari kumpulan Batang Baja yang disambungkan. Struktur ini akan memikul beban dan muatan melalui Gaya Tekan dan Tarik melalui Titik Buhul Batang. Untuk mencegah Momen Sekunder, Garis Netral tiap Batang yang bertemu pada Titik Buhul harus saling berpotongan pada suatu Titik. (Asiyanto, 2008)

Jembatan Rangka Baja memiliki beberapa keuntungan, salah satunya adalah konstruksinya lebih ringan dan pekerjaan di lapangan lebih mudah karena bagian-bagiannya telah dibuat sebelumnya dan kemudian diangkut ke lokasi jembatan. Jembatan Rangka Baja memiliki beberapa model untuk menyesuaikan faktor di lapangan di antaranya adalah *Warren Truss*, *Pratt Truss* dan *Baltimore Truss*.

James Warren dan Willoughby Theobald Monzani menemukan Tipe Jembatan *Warren Truss* pada tahun 1848 di Britania Raya. Dalam bentuk rangkanya, Jembatan Rangka Tipe *Warren Truss* tidak memiliki Batang Vertikal yang

membentuk segitiga sama kaki atau segitiga sama sisi. Sebagian Batang Diagonalnya mengalami Gaya Tekan (*Compression*) dan sebagian lainnya mengalami Gaya Tarik (*Tension*).

Jembatan Rangka Baja *Warren Truss* memiliki keunggulan dalam pengerjaan yang lebih mudah sehingga cocok dijadikan model perancangan ulang untuk jembatan yang akan diperbaiki atau dibangun ulang. Semakin bertambahnya beban kendaraan akan memerlukan peningkatan daya dukung jembatan. Oleh karena itu, diperlukan adanya Perancangan Ulang untuk menopang beban yang melintas pada jembatan dan tetap stabil di bawah beban kendaraan sekaligus sebagai alternatif model jembatan apabila terdapat Perancangan Ulang jembatan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana cara merancang ulang Jembatan Rangka Baja dan mengetahui:

1. Dimensi Baja yang aman dari hasil Perancangan Ulang Jembatan.
2. Nilai lendutan yang terjadi pada Jembatan *Warren Truss* dengan panjang 30 m

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini meliputi:

1. Merancang Struktur Atas Jembatan menggunakan Baja Tipe *Warren Truss*.
2. Merancang Profil Baja menggunakan *Software SAP 2000* hingga mendapatkan Profil yang aman.
3. Beban Angin tidak dihitung dalam Pembebanan Jembatan.
4. Perancangan Ulang menggunakan Metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD).

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang ulang Struktur Atas Jembatan untuk memperoleh Profil Baja yang aman dengan Tipe *Warren Truss*.
2. Menganalisis Nilai Lendutan pada Jembatan *Warren Truss* dengan panjang 30 m.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Sebagai bagian dari Sistem Transportasi Nasional, Jalan dan Jembatan memiliki peran penting dalam mendukung bidang ekonomi, sosial, dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan. Peran ini dilakukan melalui pendekatan pengembangan wilayah untuk mencapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah menurut UU 38 Tahun 2004. Jembatan adalah struktur yang menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh berbagai situasi, seperti lembah, alur sungai, danau, irigasi, jalan kereta api dan sebagainya.

Jembatan, menurut Struyk dan Veen (1995) adalah konstruksi yang digunakan sebagai jalan melewati rintangan yang lebih rendah. Rintangan ini dapat berupa jalan lain seperti jalan air atau jalan lalu lintas biasa.

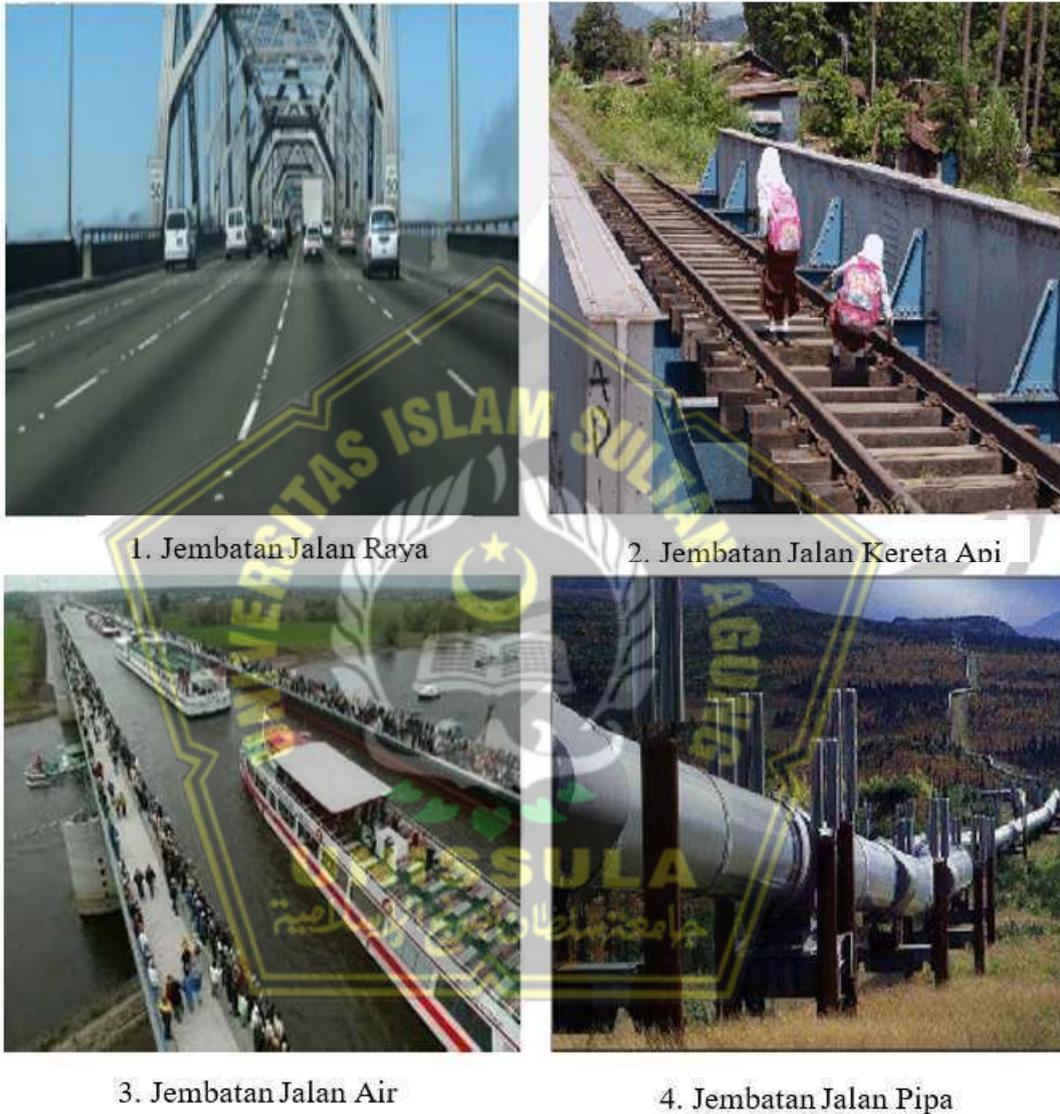
Jembatan, menurut Supriyadi dan Agus (2007) merupakan bagian infrastruktur yang sangat penting karena berfungsi untuk menghubungkan dua lokasi yang berbeda dalam beberapa situasi. Umur Rencana Minimum setiap jembatan, baik lima puluh atau seratus tahun untuk jembatan besar, menunjukkan bahwa selain kekuatan dan kemampuan untuk melayani lalu lintas, juga diperlukan pemeliharaan yang baik.

2.2 Jenis Jembatan

Berdasarkan kegunaan, bahan yang digunakan untuk membangun, dan jenis struktur, jenis jembatan saat ini telah berkembang pesat. Berdasarkan kegunaannya jembatan dapat dibedakan sebagai berikut (Manu, 1995)

1. Jembatan Jalan Raya (*Highway Bridge*)
2. Jembatan Jalan Kereta Api (*Railway Bridge*)
3. Jembatan Jalan Air (*Waterway Bridge*)
4. Jembatan Jalan Pipa (*Pipeway Bridge*)

Klasifikasi jembatan menurut kegunaannya ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jembatan berdasarkan Kegunaannya

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

Berdasarkan bahan konstruksinya, Jembatan dapat digolongkan menjadi beberapa macam antara lain:

1. Jembatan Kayu (*Log Bridge*)

Jembatan Kayu adalah Jembatan yang terbuat dari kayu dan memiliki bentang yang relatif pendek. Jembatan Kayu dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jembatan Kayu

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

2. Jembatan Beton (*Concrete Bridge*)

Jembatan Beton merupakan jembatan yang bahan utamanya terbuat dari material beton. Jembatan Beton dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jembatan Beton

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

3. Jembatan Beton Prategang (*Prestressed Concrete Bridge*)

Untuk membuat Jembatan Beton Prategang, material Beton Bertulang diberi Gaya Longitudinal. Gaya ini diberikan dengan memasang Kabel atau Tendon sebelum beton dituangkan. Jembatan Beton Prategang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jembatan Beton Prategang

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

4. Jembatan Baja (*Steel Bridge*)

Jembatan Baja adalah jembatan yang terbuat dari baja yang terdiri dari berbagai macam bagian Struktur Baja seperti *Deck*, *Girder*, Rangka Batang, Pelengkung dan Penggantungan Kabel. Jembatan Baja ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jembatan Baja

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

5. Jembatan Komposit (*Composite Bridge*)

Jembatan Komposit terdiri dari Pelat Lantai Beton yang dihubungkan dengan *Girder* atau Gelagar Baja untuk mendukung beban. *Girder* menahan Tarik dan Pelat Beton menahan Momen Lendutan. Jembatan Komposit dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jembatan Komposit

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

Berdasarkan Tipe Strukturnya, jembatan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam yaitu (Supriyadi dan Agus, 2007):

1. Jembatan Pelat (*Slab Bridge*)

Jembatan Pelat adalah jembatan yang paling ekonomis untuk menahan Gaya Geser dan Lentur. Selain itu, Jembatan Pelat memiliki Momen Inersia yang besar untuk berat yang relatif rendah. Jembatan Pelat dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jembatan Pelat

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

2. Jembatan Pelat Berongga (*Voided Slab Bridge*)

Jembatan Pelat Berongga terdiri dari Pelat Beton Bertulang yang memiliki rongga-rongga (*Void*s) di dalamnya. Rongga-rongga ini biasanya berbentuk silinder atau persegi panjang dan disusun secara teratur di sepanjang area Pelat. Jembatan Pelat Berongga dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Jembatan Pelat Berongga

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

3. Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)

Jembatan Gelagar adalah jembatan yang meneruskan beban bersama melalui Gelagar Utama yang disambungkan secara melintang dengan Balok Lantai yang terbuat dari beton. Jembatan Gelagar ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Jembatan Gelagar

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

4. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan Rangka adalah jembatan yang terdiri dari elemen-elemen (batang) yang disusun dengan pola dasar menerus dalam Struktur Segitiga Kaku. Pada ujungnya, elemen-elemen dihubungkan dengan Sambungan Sendi. Setiap batang menahan Beban Aksial yang dapat berupa Gaya Tarik atau Tekan. Jembatan Rangka dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Jembatan Rangka

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

5. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan Pelengkung adalah jembatan dengan Geometri Pelengkung berfungsi sebagai Struktur Busur Vertikal yang mampu menahan Tegangan Aksial. Jembatan Pelengkung dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Jembatan Pelengkung

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

6. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan Gantung adalah jembatan di mana Gelagar digantung pada Penggantung Vertikal. Kemudian, Gelagar digantung pada Kabel Penggantung Utama, yang melewati Menara dari satu titik ke titik lainnya. Jembatan Gantung ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Jembatan Gantung

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

7. Jembatan Kabel (*Cable Stayed Bridge*)

Jembatan Kabel adalah jembatan dimana Gelagar digantung oleh Kabel Berkekuatan Tinggi dari satu atau lebih Menara. Desain ini lebih sesuai untuk Jembatan dengan Bentang Panjang. Jembatan Kabel dapat dilihat pada Gambar 2.13.

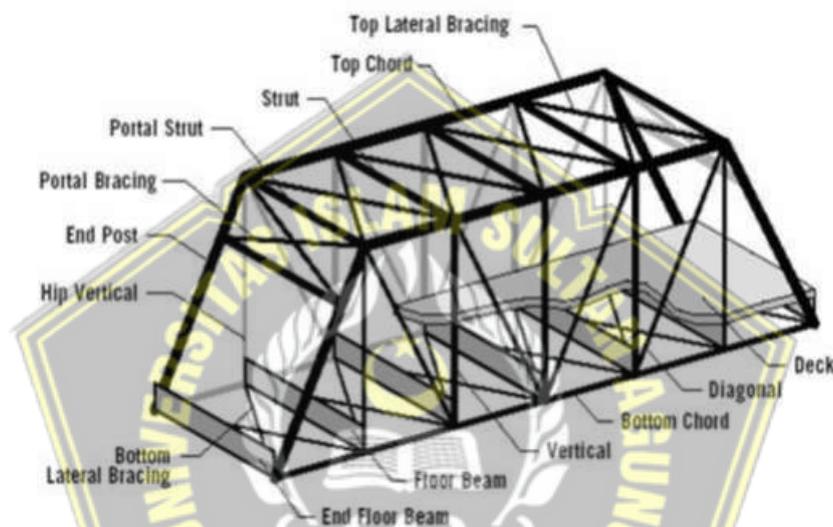


Gambar 2.13 Jembatan Kabel

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

2.3 Jembatan Rangka Baja

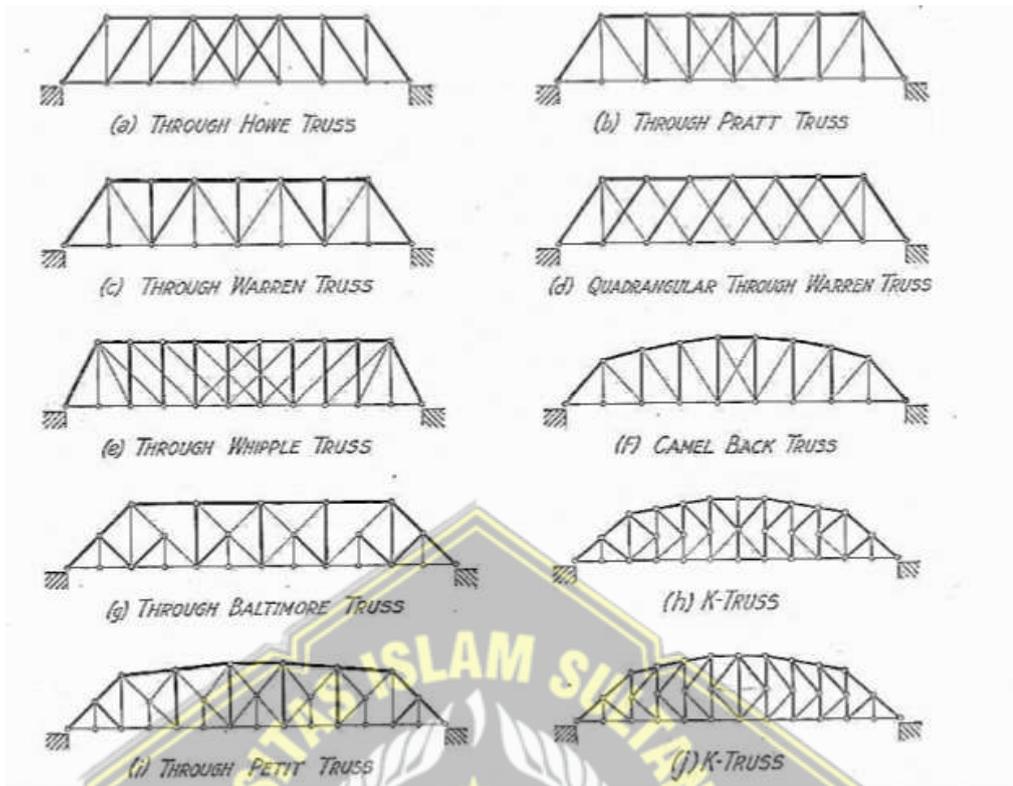
Struktur Jembatan Rangka Baja terdiri dari berbagai Batang Baja yang disambungkan. Jembatan Rangka, juga dikenal sebagai *Truss Bridge*, terdiri dari batang-batang yang diikat satu sama lain dengan Pelat Buhul dan diikat dengan paku keling, baut, atau las. Batang-batang rangka ini hanya memikul Gaya Dalam Aksial Tekan atau Tarik, berbeda dengan Jembatan Gelagar yang memikul Gaya Dalam Lintang dan Momen Lentur. Detail Struktur Jembatan Rangka Baja dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Detail Struktur Jembatan Rangka Baja

(Sumber: Asiyanto, 2005)

Beberapa Tipe Jembatan Rangka Baja adalah *Howe Truss*, *Pratt Truss*, *Warren Truss*, *Whipple Truss*, *Camel Back Truss*, *Baltimore Truss*, *K-Truss* dan *Petit Truss*. (Ketchum, 2000) Tipe Jembatan Rangka Baja ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Tipe Jembatan Rangka Baja

(Sumber: Ketchum, 2000)

James Warren dan Willoughby Theobald Monzani menemukan Jenis Jembatan *Warren Truss* pada tahun 1848 di Britania Raya. Rangka utamanya berbentuk trapesium dari beberapa segitiga. (Asiyanto, 2008) Jembatan *Warren Truss* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Jembatan *Warren Truss*

(Sumber: Kadir, Hanafi dan Zaifuddin, 2021)

Jembatan Rangka *Warren Truss* memiliki beberapa kelebihan. Jembatan ini dapat digunakan untuk struktur yang panjang dan memiliki desain rangka yang sederhana sehingga membuatnya lebih ringan. Desain segitiga dari jembatan ini juga memungkinkan beban didistribusikan lebih merata sepanjang struktur.

Salah satu kelemahan Jembatan Rangka Tipe *Warren Truss* adalah pembangunan dan perawatan jembatan membutuhkan banyak tempat dan biaya.

2.4 Langkah Perancangan Jembatan

2.4.1 Preliminary Design

Untuk mempermudah proses menentukan jenis material dan kualitas yang akan digunakan, tahap awal Perancangan Jembatan adalah pengumpulan Data Teknis Jembatan, termasuk rencana panjang dan lebar jembatan, jumlah lajur, tinggi dan lebar Trotoar.

Pada tahap ini, diperkirakan jenis, kualitas, dan dimensi material yang akan digunakan. Perkiraan ini didasarkan pada desain rencana awal dan kondisi lapangan. Jembatan yang dibangun memiliki kekuatan yang lebih besar jika material yang digunakan berkualitas tinggi. Namun, pada tahap ini juga perlu mempertimbangkan anggaran. (Budiadi, 2008)

2.4.2 Perhitungan Pembebanan

Hal utama yang perlu dilakukan dalam perancangan struktur pada suatu konstruksi adalah melakukan estimasi beban yang akan didukung oleh konstruksi tersebut yang dikenal dengan istilah pembebanan. Pada Perancangan Ulang Jembatan Rangka Baja ini, beban yang bekerja pada konstruksi dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 Peraturan Pembebanan Untuk Jembatan.

A. Beban Primer

Beban Primer merupakan beban utama berupa perhitungan tegangan pada suatu perencanaan struktur jembatan. Beban Primer meliputi beberapa beban, yaitu:

1. Beban Mati (MS)

Beban mati mencakup Beban Permanen yang berasal dari Berat Beban Struktur Jembatan itu sendiri.

Menentukan besarnya Beban Mati tersebut bergantung pada jenis material yang digunakan dengan nilai sebagai berikut:

- a. Beton Bertulang 2,50 t/m³
- b. Baja 7,85 t/m³
- c. Air 1,00 t/m³

Selain itu, Faktor Beban untuk Berat Sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layanan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban Mati Tambahan adalah komponen non-struktur yang menimbulkan beban pada Jembatan dan dapat berubah seiring bertambahnya usia jembatan. Nilai Faktor Beban pada Beban Mati tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layanan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 (1)	2,00	0,70
	Khusus	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾	Faktor Beban Layan sebesar 1,3 digunakan untuk Berat Utilitas			

(Sumber: SNI 1725:2016)

B. Beban Lalu Lintas

Dalam perancangan jembatan, Beban Lalu Lintas terdiri dari Beban Lajur "D" dan Beban Truk "T".

1. Beban Lajur "D" (TD)

Beban Lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada Jembatan. Beban Lajur "D" yang bekerja tergantung pada panjang jalur kendaraan itu sendiri. Beban Lajur "D" terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR) yang digabung dengan Beban Garis Terpusat (BGT). Faktor Beban Akibat Beban Lajur "D" ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Beban Akibat Beban Lajur "D"

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

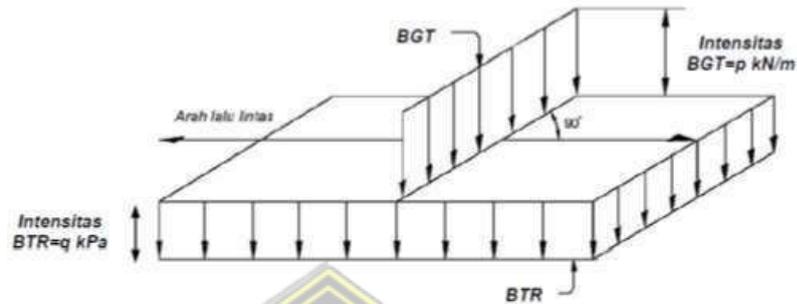
(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban Terbagi Rata (BTR) mempunyai Intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada Panjang Total l yang dibebani seperti berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m; } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m; } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada Jembatan, Beban Garis Terpusat (BGT) dengan Intensitas $p = 49,0$ kN/m harus tegak lurus dari arah laju lintas. Beban "D" harus disusun melintang untuk menghasilkan Momen Maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari Beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.17.

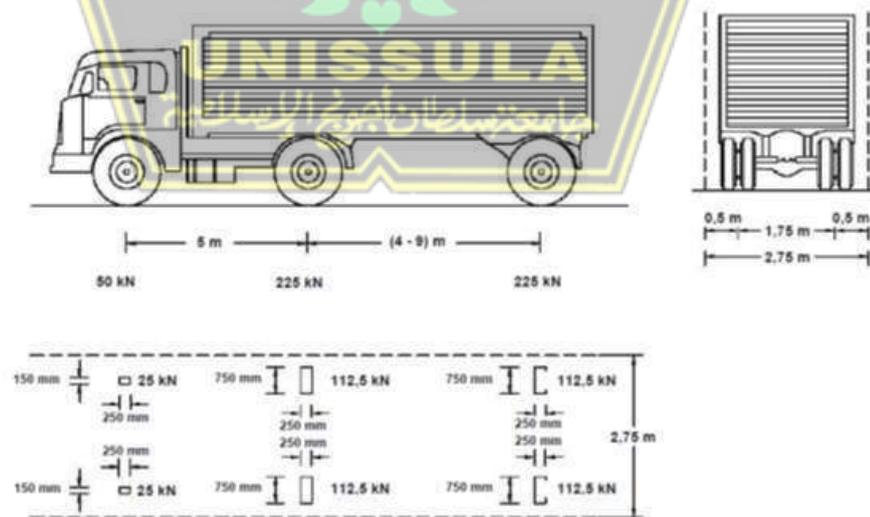


Gambar 2.17 Beban Lajur "D"

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Beban Truk "T" (TT)

Beban truk "T" adalah kendaraan berat dengan tiga gandar yang ditempatkan pada berbagai posisi di lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar memiliki dua bidang kontak pembebanan yang dimaksudkan untuk mensimulasikan pengaruh roda kendaraan berat. Pembebanan Truk dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.18 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

(Sumber: SNI 1725:2016)

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.18, Beban Truk "T" terdiri dari kendaraan Truk Semi-Trailer dengan susunan dan Berat Gandar yang sama. Berat masing-masing Gandar disebarakan menjadi dua beban yang sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan Lantai. Jarak antara dua gandar dapat diubah dari 4,0 m hingga 9,0 m. Faktor Akibat Pembebanan Truk ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor Akibat Pembebanan Truk "T"

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

(Sumber: SNI 1725:2016)

3. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor Beban Dinamis adalah adalah hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Menentukan besarnya Faktor Beban Dinamis dapat dilihat pada ketentuan berikut.

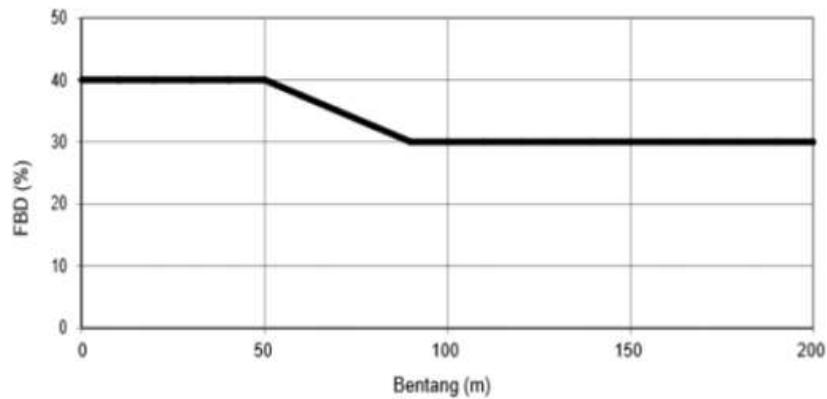
1. Faktor Beban Dinamis untuk Beban "T" adalah 0,3
2. Faktor Beban Dinamis untuk (KEL) diambil sebagai berikut:

$$DLA = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

$$DLA = 0,4 - 0,0025 \times (L - 50) \quad \text{untuk } 50 \text{ m} < L < 90 \text{ m}$$

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

Beban yang diberikan pada Truk menggunakan FBD sebesar 30%. Pada pembebanan dari Lajur "D" bisa dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Faktor Beban Dinamis (FBD)

(Sumber: SNI 1725:2016)

4. Gaya Rem (TB)

Penempatan Gaya Rem ditempatkan pada semua lajur rencana yang dibebani dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya Rem diambil yang paling besar dari:

- 25% dari Berat Gandar Truk Desain, atau
- 5% dari Berat Truk Rencana ditambah Beban Lajur Terbagi Rata (BTR).

Gaya Rem bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal. Jika jembatan menggunakan jalur satu arah, semua lajur rencana harus dibebani secara bersamaan saat menghitung besarnya Gaya Rem.

C. Beban Sekunder

Beban Sekunder adalah beban sementara dan menghasilkan tegangan yang lebih rendah daripada Beban Primer. Beban Sekunder meliputi beberapa beban sebagai berikut.

1. Tekanan Angin Horizontal

Angin rencana dengan Kecepatan Dasar (V_B) 90 - 126 km/jam dianggap sebagai penyebab Tekanan Angin Horizontal. Pada permukaan yang terekspos angin, Beban Angin harus didistribusikan secara merata. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing*, yang diposisikan tegak lurus terhadap arah angin. Kecepatan Angin Rencana (V_{DZ}) harus dihitung untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih dari 10.000 mm di atas permukaan air atau tanah menggunakan persamaan berikut.

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- V_{DZ} = Kecepatan Angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
- V_{10} = Kecepatan Angin pada Elevasi 1000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air rencana (km/jam)
- V_B = Kecepatan Angin rencana (km/jam)
- Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana Beban Angin dihitung ($Z > 10000$ mm)
- V_0 = Kecepatan gesekan angin (km/jam)
- Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik Kecepatan Angin Dasar untuk berbagai Periode Ulang
- Survei angka pada lokasi jembatan
- Jika tidak ada data yang lebih baik, Perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = 90$ s/d 126 km/jam.

Nilai V_0 dan Z_0 dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Kondisi Hulu

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

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Beban Angin pada Struktur

Perencana dapat menggunakan Kecepatan Angin yang berbeda dari Kecepatan Angin Rencana Dasar untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi Beban Angin yang bekerja pada kendaraan. Kecuali ditentukan secara terpisah dalam Pasal 9.6.3, arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Jika tidak ada data yang lebih tepat, Tekanan Angin Rencana dalam MPa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_D = P_B \left(\frac{v_{DZ}}{v_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

P_B = Tekanan Angin Dasar seperti yang ditentukan pada Tabel 2.6 (MPa)

Tabel 2.6 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

(Sumber: SNI 1725:2016)

3. Beban Temperatur (E_{un})

Faktor Suhu yang berbeda di antara bagian-bagian jembatan menyebabkan Gaya Beban Suhu. Besaran Rentang Simpangan akibat Beban Temperatur (ΔT) harus berdasarkan Temperatur Maksimum dan Minimum yang didefinisikan dalam rumus sebagai berikut.

$$\Delta T = T_{maks} - T_{min} \dots\dots\dots (2.5)$$

Berikut adalah Tabel Beban Temperatur pada Lantai Jembatan menurut SNI 1725-2016.

Tabel 2.7 Standar Temperatur Lantai Jembatan

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-Rata Maksimum
Lantai Beton di atas Gelagar atau Box Beton	15° C	40° C
Lantai Beton di atas Gelagar atau Rangka Baja	15° C	40° C
Lantai Pelat Baja di atas Gelagar atau Rangka Baja	15° C	45° C

CATATAN (1) Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum bisa dikurangi 5° C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut

(Sumber: SNI 1725:2016)

4. Beban Gempa (E_Q)

Jembatan harus dirancang dengan cara yang meminimalkan kemungkinan runtuh, meskipun gempa dapat menyebabkan kerusakan besar dan gangguan pelayanan. Dalam beberapa situasi, struktur mungkin perlu diganti secara parsial atau penuh. Beban Gempa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

E_Q = Gaya Gempa Horizontal Statis (kN)

C_{sm} = Koefisien Respons Gempa Elastis

R_d = Faktor Modifikasi Respons

W_t = Berat Total Struktur terdiri dari Beban Mati dan Beban Hidup yang sesuai

Koefisien Respons Elastik (C_{sm}) dihitung dengan menggunakan Peta Percepatan Batuan Dasar dan Spektra Percepatan yang disesuaikan dengan Daerah Gempa dan Periode Ulang Gempa yang direncanakan. Koefisien Percepatan yang diperoleh dari Peta Gempa dikalikan dengan Faktor Amplifikasi berdasarkan kondisi tanah. Faktor Modifikasi Respons (R_d) bisa dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor Modifikasi Respons (*R_d*)

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

(Sumber: SNI 2833:2016)

2.4.3 Teori Desain Struktur Baja

Struktur Jembatan ini pada umumnya terdiri dari Gaya Aksial untuk Rangka sehingga dapat diuraikan sebagai berikut.

A. Perancangan Batang Tarik

Berdasarkan Beban Tarik yang bekerja, Mutu Baja dan Jenis Profil dapat ditentukan profil yang kuat namun cukup hemat. Proses pemilihan ukuran profil seperti dimaksudkan di atas dinamakan Perancangan Batang Tarik. Perancangan Batang Tarik yang baik harus ditinjau dari beberapa segi yakni:

1. Tegangan (*Stress*)

Tegangan yang terjadi harus kurang atau sama dengan Tegangan Tarik Izin. Perbandingan antara Tegangan Tarik Izin dan Tegangan yang terjadi akan menunjukkan seberapa hemat perancangan itu. Semakin dekat dengan tegangan, perancangan akan lebih hemat biaya.

2. Pelayanan (*Servicability*)

Struktur tidak boleh menunjukkan perilaku yang mengkhawatirkan pemakai, seperti defleksi yang berlebihan atau bergetarnya bagian struktur oleh kendaraan yang bergetar.

3. Daktilitas (*Ductility*)

Ini adalah kebutuhan yang sangat penting. Distribusi tidak akan terjadi tanpa Daktilitas yang baik, yang membuat perhitungan menjadi mudah. Hal ini berlaku dalam Perancangan Plastis.

4. Ketahanan (*Durability*)

Ketahanan dari cuaca panas dan dingin, korosi atau suhu yang meningkat perlu diperhatikan.

B. Perancangan Batang Tekan

Batang Tekan adalah bagian dari Rangka yang menerima Gaya Tekan searah panjang batang, yang biasanya merupakan Bagian Tepi Atas Rangka.

Batang Tekan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga menjamin stabilitas (tidak ada bahaya Tekuk). Nilai Faktor Resistensi berdasarkan LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) adalah:

$$\Phi_c \cdot P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2.7)$$

(SNI 1729-2020)

Keterangan:

ϕ_c = 0,9; Faktor Resistensi untuk Batang Tekan

P_n = Kekuatan Nominal Batang Tekan

P_u = Beban Layan Terfaktor

Kekuatan Nominal P_n dari Batang Tekan adalah:

$$P_n = A_g \times f_{cr} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

A_g = Luas Penampang Bruto Batang Tekan

f_{cr} = Tegangan Kritis

Untuk memberikan keamanan batang dari bahaya Tekuk maka LRFD pada Program SAP 2000 memberikan spesifikasi tersendiri untuk Parameter Kelangsingan (SNI 1729-2020) sebagai berikut.

1. Untuk Sayap Kompak (λ_p)

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2.9)$$

2. Untuk Sayap Non Kompak (λ_r)

$$\lambda_r = 1,35 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2.10)$$

3. Untuk Badan Kompak (λ_p)

$$\lambda_p = 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2.11)$$

4. Untuk Badan Non Kompak (λ_r)

$$\lambda_r = 4,4 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan,

E = Modulus Elastisitas Baja (MPa)

f_y = Tegangan Leleh Baja (MPa)

Nilai f_{cr} tergantung pada Parameter KeLangsingan (λ) (SNI 1729-2020) sebagai berikut.

1. Untuk $\lambda \leq \lambda_p$

$$f_{cr} = f_y \dots\dots\dots (2.13)$$

2. Untuk $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$

$$f_{cr} = C_b \times f_y \times \left(1 - \frac{(\lambda - \lambda_p)}{2 \times (\lambda_r - \lambda_p)}\right) \leq f_y \dots\dots\dots (2.14)$$

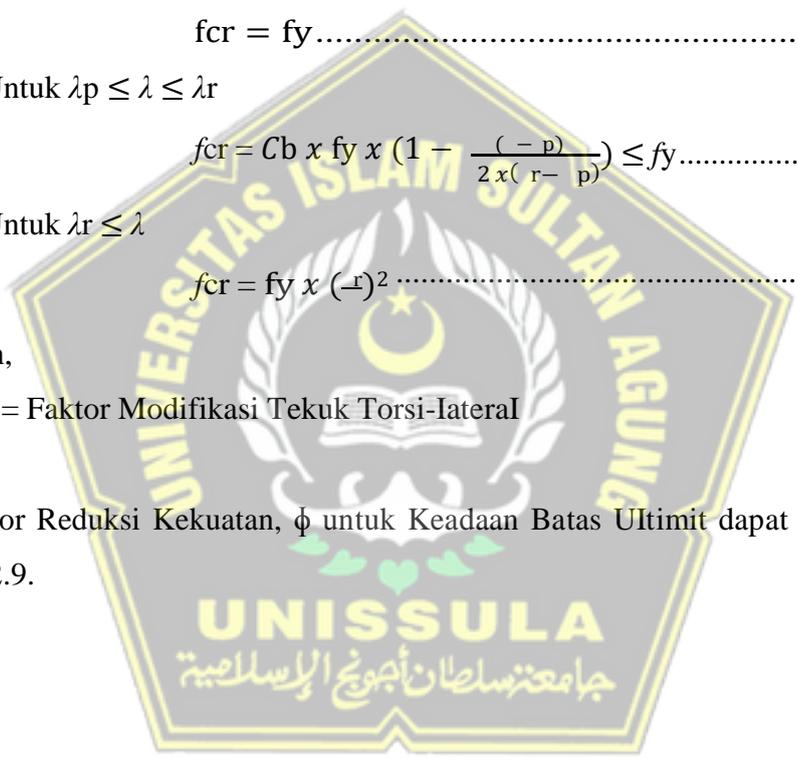
3. Untuk $\lambda_r \leq \lambda$

$$f_{cr} = f_y \times (\lambda_r)^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan,

C_b = Faktor Modifikasi Tekuk Torsi-lateral

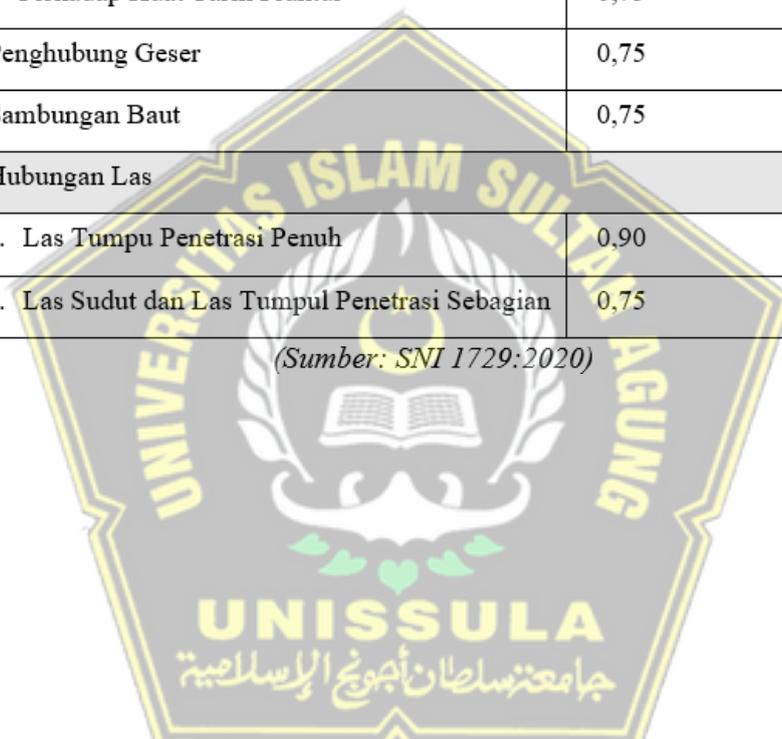
Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ untuk Keadaan Batas Ultimit dapat dilihat pada Tabel 2.9.



Tabel 2.9 Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ (Keadaan Batas Ultimit)

Situasi Rencana		Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ
A	Lentur	0,90
B	Geser	0,90
C	Aksial Tekan	0,85
D	Aksial Tarik	
	1. Terhadap Kuat Tarik Leleh	0,90
	2. Terhadap Kuat Tarik Fraktur	0,75
E	Penghubung Geser	0,75
F	Sambungan Baut	0,75
G	Hubungan Las	
	1. Las Tumpu Penetrasi Penuh	0,90
	2. Las Sudut dan Las Tumpul Penetrasi Sebagian	0,75

(Sumber: SNI 1729:2020)



BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1 Desain Awal

Desain awal juga dikenal sebagai desain pertama jembatan yang terdiri dari estimasi dimensi, kualitas, dan jenis material yang akan digunakan untuk membuat struktur, serta penetapan ukuran dimensi dan beban. Penetapan jenis, kualitas dan dimensi penilaian untuk dipegang oleh Perencana.

Pada saat perancangan awal, spesifikasi yang disebutkan dalam desain awal bukanlah spesifikasi yang akan diterapkan di lapangan, namun spesifikasi struktur yang akan dimodelkan pada Software SAP 2000 Versi 20 untuk diuji dengan pembebanan melalui identifikasi sebelumnya. Pada titik ini, struktur atas jembatan akan menjadi fokus utama karena keduanya berhubungan langsung dengan Beban Mati dan Beban Hidup disalurkan ke jembatan.

3.2 Spesifikasi Jembatan

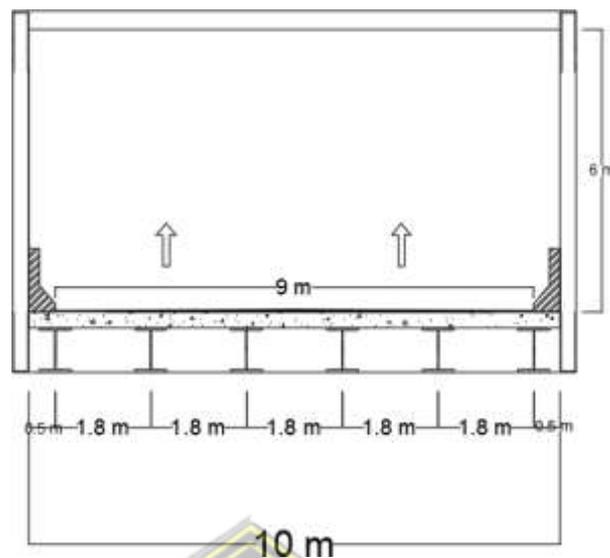
Perancangan Jembatan menggunakan Gelagar Profil Baja untuk bentang jembatan yang akan dirancang sepanjang 30 m dan memiliki Lebar Jembatan 10 m. Model jembatan yang akan dirancang ulang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Model Jembatan

Jembatan dirancang dengan Perkerasan Aspal dengan Tebal 5 cm. Data-data Jembatan yang akan dirancang ulang ditunjukkan pada poin-poin berikut:

1. Panjang Jembatan = 30 m
2. Lebar Jembatan = 10 m
3. Tinggi Jembatan = 6 m
4. Tebal Perkerasan = 0,05 m



Gambar 3.2 Model Melintang Jembatan

3.3 Tahap Perancangan

Pada Tahap Perancangan disesuaikan dengan desain jembatan yang ada. Berikut adalah Tahapan Perancangan Jembatan yang akan dirancang ulang:

1. Menentukan Spesifikasi Jembatan.
2. Melakukan perhitungan pembebanan yang akan dimasukkan ke dalam Pemodelan Struktur Jembatan melalui Program Analisis Struktur, berdasarkan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Jembatan,
3. Memodelkan Struktur Jembatan dengan *Software* SAP 2000 Versi 20 dengan tahapan sebagai berikut:
 - Perancangan *Top Chord* dan *Bracing*
 - Perancangan Batang Diagonal
 - Perancangan Pelat Lantai
 - Perancangan *Bottom Chord*
 - Perancangan Gelagar Melintang dan Gelagar Memanjang
4. Memasukkan beban-beban yang telah dihitung sebelumnya ke *Software* SAP 2000 Versi 20. Beban-beban yang di-*input* antara lain:
 - Beban Mati
 - Beban Hidup
 - Beban Rem

- Beban Gempa
 - Beban Kombinasi
5. Dengan menggunakan software SAP 2000 Versi 20 untuk menentukan bahan dan jenis profil baja masing-masing bagian jembatan.
 6. Menentukan kombinasi beban yang akan dimasukkan ke Model Struktur Jembatan menggunakan Software SAP 2000 Versi 20. kombinasi pembebanan dilakukan untuk menentukan Beban Maksimal yang dapat digunakan dari semua beban yang dimasukkan ke Model Struktur Jembatan. Tabel Beban Kombinasi berikut sesuai dengan SNI 1725:2016.

Tabel 3.1 Kombinasi Pembebanan Jembatan

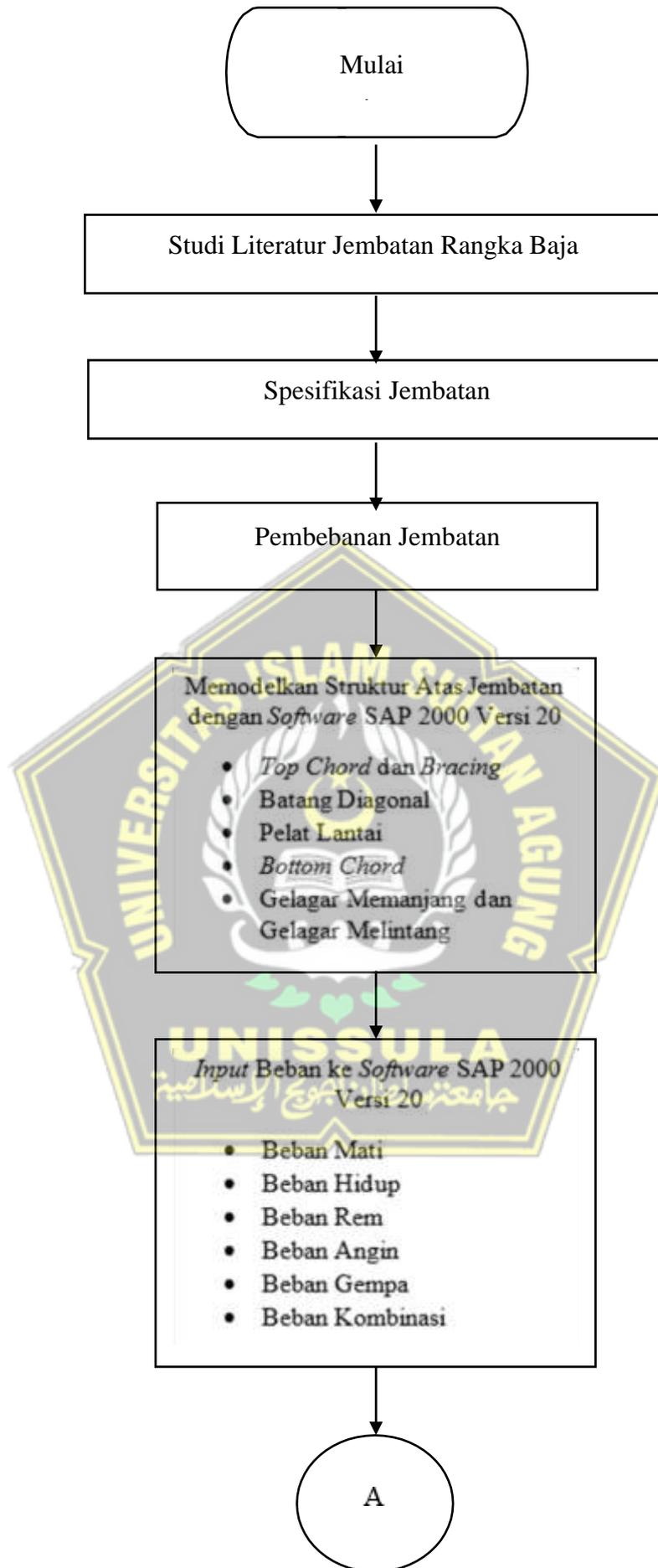
Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan Salah Satu		
										EQ	TC	TV
Kuat 1	γ_p	1,8	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	
Kuat 2	γ_p	1,4	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	
Kuat 4	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	
Ekstrem 1	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	

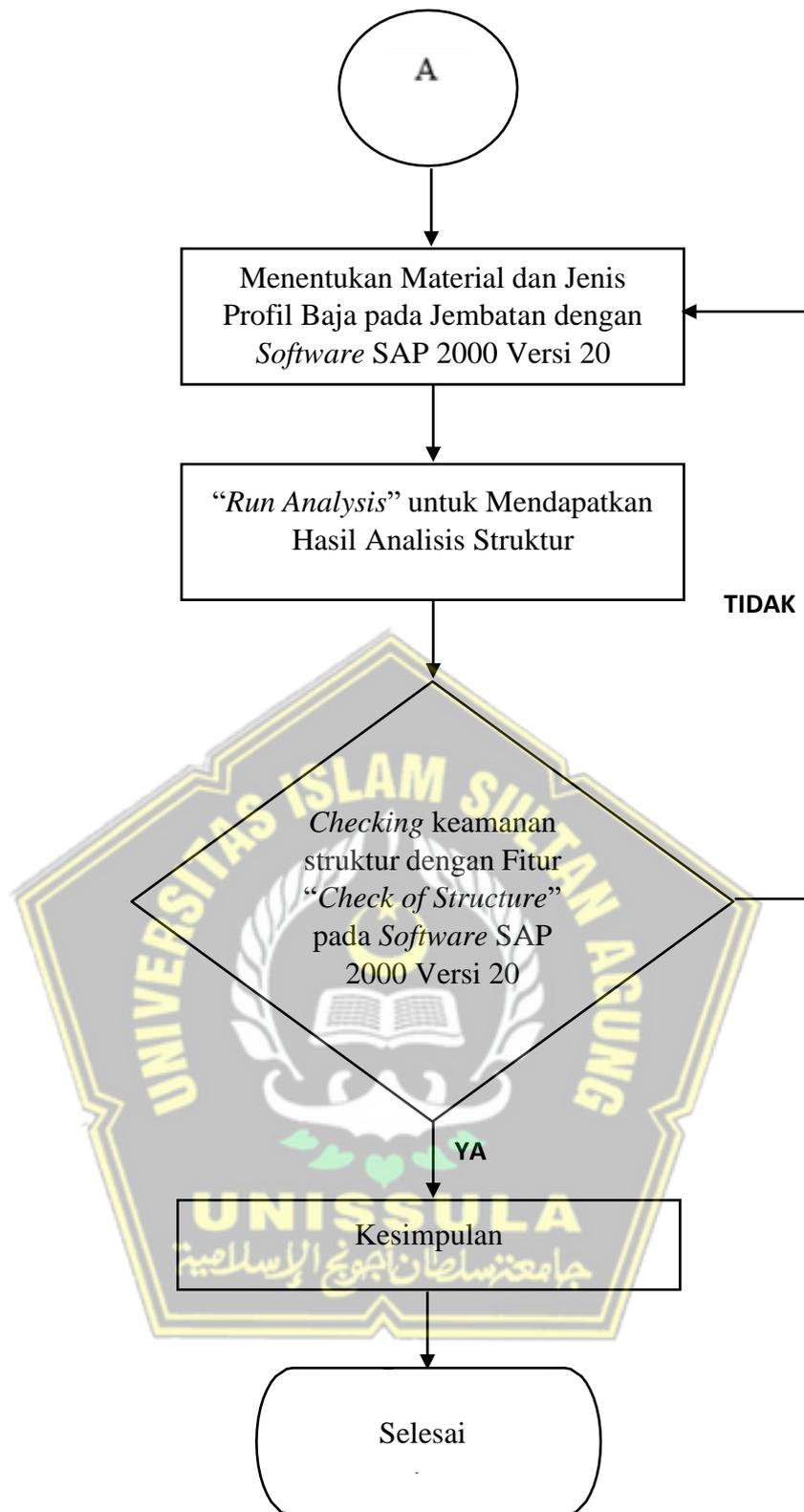
(Sumber: SNI 1725:2016)

7. Mengecek Model Struktur Jembatan yang telah dirancang pada *Software* SAP 2000 Versi 20. Hal penting yang harus dicek adalah jenis dimensi profil yang dimodelkan dan beban-beban yang bekerja pada Jembatan.
8. Melakukan “*Run Analysis*” untuk mendapatkan hasil analisis struktur dari Pemodelan Jembatan yang dirancang.
9. Mengecek Struktur Jembatan yang dimodelkan Sudah Aman atau Belum Aman dengan menggunakan fungsi “*Check of Structure*” pada *Software* SAP 2000.

3.4 Bagan Alir

Untuk memudahkan penyusunan Tugas Akhir, proses yang dilakukan digambarkan dalam diagram alir, seperti yang ditunjukkan dalam Bagan 3.1, yang menunjukkan jenis diagram alir yang digunakan..





Bagan 3.1 Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir

BAB IV

HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis Jembatan

Data teknis jembatan yang dirancang dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

A. Data Jembatan

1. Jenis Jembatan = Rangka Baja Tipe *Warren Truss*
2. Bentang Jembatan = 30 meter
3. Tinggi Jembatan = 6 meter
4. Lebar Jembatan = 10 meter
5. Lebar Lajur = 9 meter
6. Jumlah Lajur = 1 Lajur 2 Jalur
7. Tebal Perkerasan = 0,05 meter
8. Tebal Pelat Lantai = 0,3 meter
9. Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
10. Mutu Baja = BJ 37 ($f_y = 240$ MPa, $f_u = 370$ MPa)

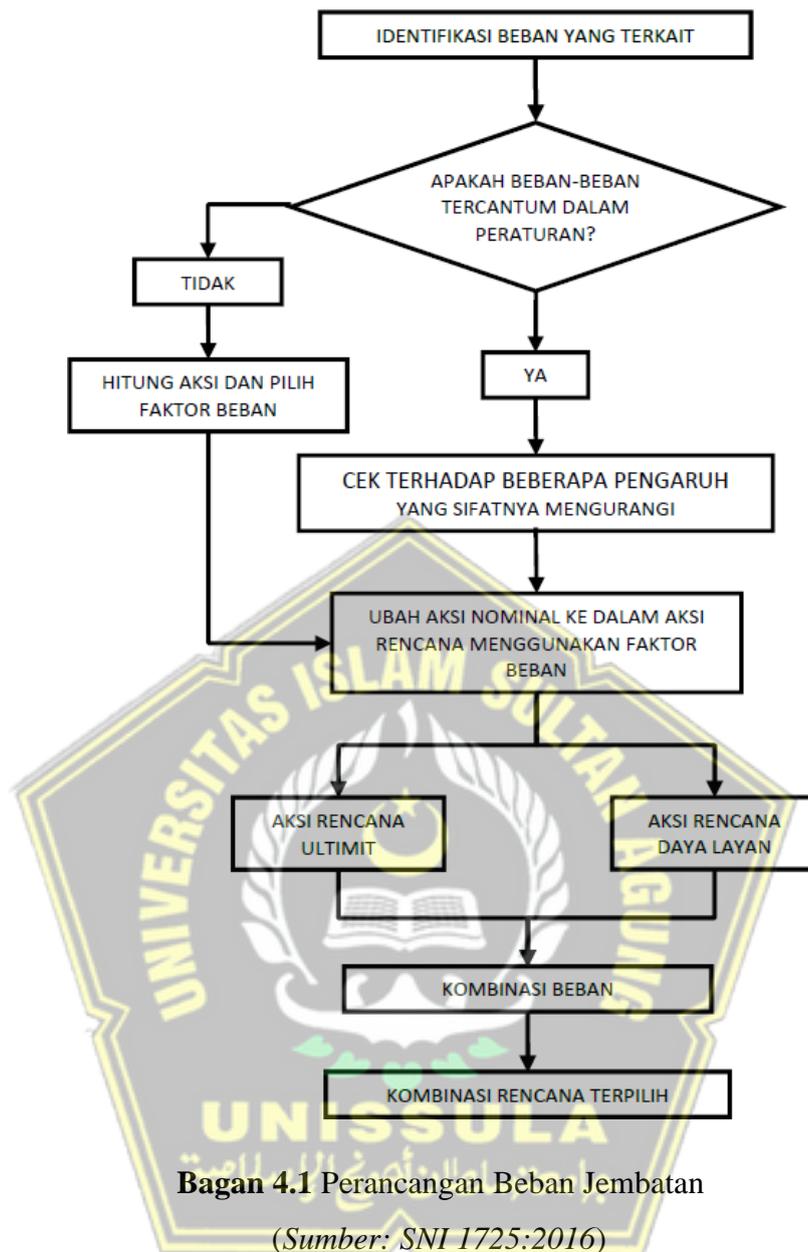
B. Standar Desain Acuan

Berikut adalah beberapa Standar Acuan yang digunakan dalam analisis dan desain Struktur Jembatan dalam Tugas Akhir ini:

1. SNI 1725-2016: "Pembebanan untuk Jembatan"
2. SNI 2833-2016: "Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa"
3. SNI 1729-2020: "Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural"

4.2 Pembebanan Struktur Atas Jembatan

Perhitungan Pembebanan pada jembatan sesuai dengan SNI 1725-2016 dengan Bagan Alir sebagai berikut.



4.2.1 *Beban Mati Sendiri*

Beban Mati Sendiri dihitung secara manual yang terdiri dari Beban Rangka Jembatan.

A. Beban Rangka Jembatan

Konstruksi jembatan ini menggunakan Profil Baja *Wide Flange* (WF) dengan ukuran sebagai berikut:

- *Top Chord* = WF 500 x 300
- *Bottom Chord* = WF 500 x 300

- *Beam Diagonal* = WF 500 x 300
- *Top Bracing* = WF 200 x 200
- *Stringer* = WF 400 x 400
- *Cross Girder* = WF 400 x 400

Perhitungan Beban Rangka Jembatan dilakukan secara otomatis pada *Software* SAP 2000 sehingga didapatkan hasil Beban Rangka Jembatan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Beban Sendiri Jembatan

Bagian Rangka Baja	Beban (kN)
<i>Top Chord</i>	60,701
<i>Bottom Chord</i>	72,841
<i>Beam Diagonal</i>	189,386
<i>Top Bracing</i>	83,435
<i>Stringer</i>	297,248
<i>Cross Girder</i>	115,596
Total (Wt)	819,207

B. Beban Pelat Lantai

Pelat Lantai pada jembatan ini memiliki Tebal (h) = 0,3 meter dengan Berat Jenis Beton (W_c) sebesar 24 kN/m^3 sehingga diperoleh Beban Pelat Lantai sebesar:

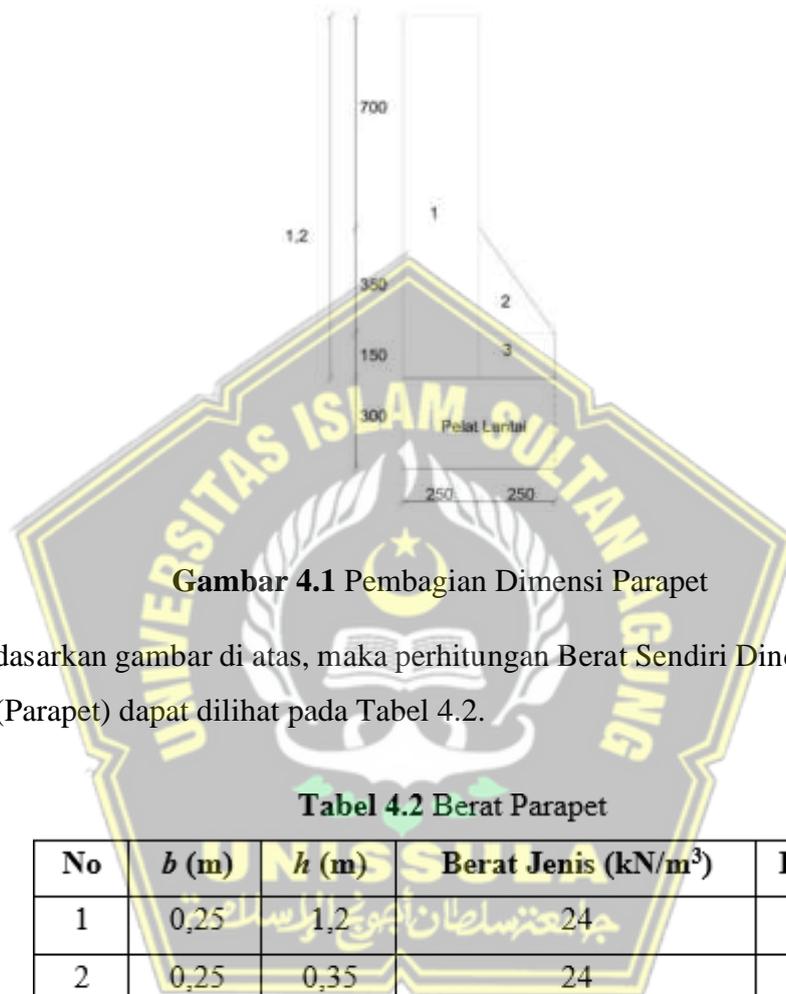
$$\begin{aligned}
 MS_{\text{lantai}} &= h_{\text{pelat}} \times W_c \\
 &= 0,3 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 7,2 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.2 Beban Mati Tambahan

Nilai Beban Mati Tambahan (MA) bervariasi tergantung pada jenis material yang digunakan. Nilai MA harus dimasukkan secara manual ke dalam Program SAP 2000. Perhitungan Beban Mati Tambahan untuk lalu lintas di jembatan ini dengan material perkerasan aspal adalah sebagai berikut:

A. Beban Dinding Sandaran Beton (Parapet)

Dimensi Parapet terbagi menjadi 3 bagian dengan ketentuan Berat Jenis Beton (W_c) sebesar 24 kN/m^3 . Dimensinya dibagi menjadi tiga bagian, sesuai pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Pembagian Dimensi Parapet

Berdasarkan gambar di atas, maka perhitungan Berat Sendiri Dinding Sandaran Beton (Parapet) dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Berat Parapet

No	b (m)	h (m)	Berat Jenis (kN/m^3)	Berat (kN/m)
1	0,25	1,2	24	7,2
2	0,25	0,35	24	2,1
3	0,25	0,15	24	0,9
Total				10,2

B. Beban Aspal dan Overlay

Berdasarkan SNI 1725-2016, Tebal Perkerasan harus ditambah dengan Lapisan Permukaan (*Overlay*) untuk meningkatkan Kekuatan Struktur Jalan agar dapat melayani lalu lintas yang dirancang selama Umur Rencana. Perhitungan Beban Aspal dan *Overlay* ditunjukkan pada uraian berikut:

- Berat Jenis Aspal (SNI 1725-2016) = 22 kN/m³
- Tebal Aspal (SNI 1725-2016) = 0,05 m (1 lapis + *Overlay*)

Maka Beban Aspal adalah:

$$\begin{aligned} \text{Beban Aspal} &= \gamma \times (\text{Tebal Aspal} + \text{Overlay}) \\ &= 22 \text{ kN/m}^3 \times 0,05 \text{ m} \\ &= 1,1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

C. Beban Air Hujan

Berdasarkan SNI 1725-2016, Pembebanan Air Hujan dengan Tinggi Rencana Air Hujan (h) sebesar 0,05 m sehingga Perhitungan Beban Air Hujan dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Beban Air Hujan} &= \gamma_w \times h_{\text{hujan}} \\ &= 9,81 \text{ kN/m}^3 \times 0,05 \text{ m} \\ &= 0,491 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Beban Mati Tambahan (MA) dapat dilihat pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Rekapitulasi Beban Mati Tambahan (MA)

Jenis Beban Mati	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	W
Parapet	Sesuai Spek	24	10,2 kN/m
Aspal + <i>Overlay</i>	0,05	22	4,95 kN/m ²
Air Hujan	0,05	9,81	0,491 kN/m ²

4.2.3 Beban Lajur

Beban kendaraan yang diterapkan pada struktur jembatan dalam bentuk Beban Lajur (D) terdiri dari dua komponen, yaitu Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Intensitas Beban Garis Terpusat, yang dinyatakan sebagai q (kN/m), bervariasi tergantung pada panjang jembatan (L) yang mengalami beban lalu lintas, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m; } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m; } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (4.2)$$

Nilai L sudah diketahui sebesar 30 meter sehingga nilai q adalah:

$$q = 9,0 \text{ kN/m}^2$$

Nilai q tersebut adalah Nilai BTR sehingga dapat diketahui BTR adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= q \\ &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Beban Garis Terpusat (BGT) memiliki arah melintang terhadap sumbu jalan. Nilai BGT menurut SNI 1725-2016 ditentukan $p = 49 \text{ kN/m}$. Nilai p harus dikalikan dengan Lebar Jembatan yang ditinjau dan Faktor Beban Dinamis dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{DLA} &= 0,4 && \text{untuk } L \leq 50 \text{ m} \\ \text{DLA} &= 0,4 - 0,0025 \times (L - 50) && \text{untuk } 50 \text{ m} < L < 90 \text{ m} \\ \text{DLA} &= 0,3 && \text{untuk } L \geq 90 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari ketentuan di atas, Faktor Beban Dinamis yang diambil adalah 0,4 karena Bentang Jembatan (L) sebesar 30 m. Perhitungan Nilai Beban Garis Terpusat (BGT) dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= p \times (1 + \text{FBD}) \\ \text{BGT} &= 49 \text{ kN/m} \times (1 + 0,4) \\ \text{BGT} &= 68,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel yang menyatakan Rekapitulasi Beban Lalu Lintas yang bekerja di jembatan ini.

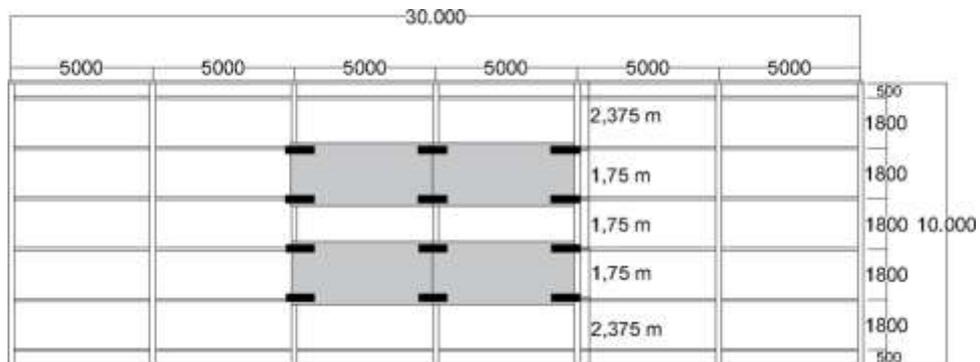
Tabel 4.4 Rekapitulasi Beban Lajur (TD)

Jenis Beban Lajur	Bentang (m)	Arah	W	Satuan
BTR	30	Memanjang	9,0	kN/m ²
BGT	10	Melintang	68,6	kN/m

4.2.4 Beban Truk

Pembebanan truk didistribusikan pada Gandar Truk yang dibagi menjadi 3 Titik Beban Roda Utama, yaitu Roda 1 (50 kN) dan Roda 2 (225 kN) dengan Jarak Roda 5 meter. Kemudian Roda 3 (225 kN) dengan jarak dari Roda 2 yang dapat diubah antara 4-9 meter. Pada *Re-desain* ini, perancangan beban akan digunakan dengan jarak 5 meter antara Roda 2 dan Roda 3. Hal ini dikarenakan jarak antara *Girder* Bawah Jembatan sebesar 5 meter sehingga simulai pembebanan SAP 2000 dapat

dilakukan. Simulasi distribusi Pembebanan Gandar Truk disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Distribusi Pembebanan Truk

Pembebanan pada Truk harus dikalikan dengan Faktor Beban Dinamis (FBD). Besarnya FBD untuk Beban Truk sesuai ketentuan sebesar 0,3. Jika Nilai Faktor Beban Dinamis sudah diketahui, maka besar Beban Truk harus dikalikan dengan FBD sehingga menghasilkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Gandar Depan} &= 50 \text{ kN} \times (1 + \text{Faktor Beban Dinamis}) \\ &= 50 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \\ &= 65 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gandar Tengah} &= 225 \text{ kN} \times (1 + \text{Faktor Beban Dinamis}) \\ &= 225 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \\ &= 292,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gandar Belakang} &= 225 \text{ kN} \times (1 + \text{Faktor Beban Dinamis}) \\ &= 225 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \\ &= 292,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Truk Total} &= 65 \text{ kN} + 292,5 \text{ kN} + 292,5 \text{ kN} \\ &= 650 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.5 *Beban Rem*

Pembebanan lain dari Truk yang perlu diperhitungkan adalah Beban Akibat Gaya Rem. Gaya Rem harus ditentukan yang terbesar dari hasil perhitungan berikut:

1) 25% dari Berat Gandar Truk Desain atau,

$$\begin{aligned} TB &= 25\% \times \text{Berat Gandar Truk} \\ &= 25\% \times 292,5 \text{ kN} \\ &= 73,125 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) 5% dari Berat Truk Rencana ditambah Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned} TB &= 5\% \times [TT + (0,5 \times \text{Lebar Jembatan} \times \text{Panjang Jembatan} \times \text{BTR})] \\ &= 5\% \times [650 \text{ kN} + (0,5 \times 10 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 9,0 \text{ kN/m}^2)] \\ &= 100 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui Beban Rem terbesar pada Poin Kedua sehingga Beban Rem yang digunakan pada pembebanan sebesar 100 kN. Lalu besarnya Beban Rem harus dibagi dengan Jumlah *Joint* Jembatan dengan perhitungan sebagai berikut:

- *Joint* Jembatan = 56 buah
 - TB Maksimum = 100 kN
- $$\begin{aligned} TB &= \frac{TB \text{ Maks}}{\text{Jumlah } Joint \text{ Jembatan}} \\ &= \frac{100 \text{ kN}}{56} \\ &= 1,79 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.6 Beban Temperatur

Beban Temperatur (*Eun*) dihitung dengan selisih antara Temperatur Maksimum dan Temperatur Minimum. Berikut adalah Tabel Beban Temperatur pada Lantai Jembatan berdasarkan SNI 1725-2016.

Tabel 4.5 Standar Temperatur Lantai Jembatan

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-Rata Maksimum
Lantai Beton di atas Gelagar atau <i>Box</i> Beton	15° C	40° C
Lantai Beton di atas Gelagar atau Rangka Baja	15° C	40° C
Lantai Pelat Baja di atas Gelagar atau Rangka Baja	15° C	45° C
CATATAN (1) Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum bisa dikurangi 5° C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut		

(Sumber: SNI 1725:2016)

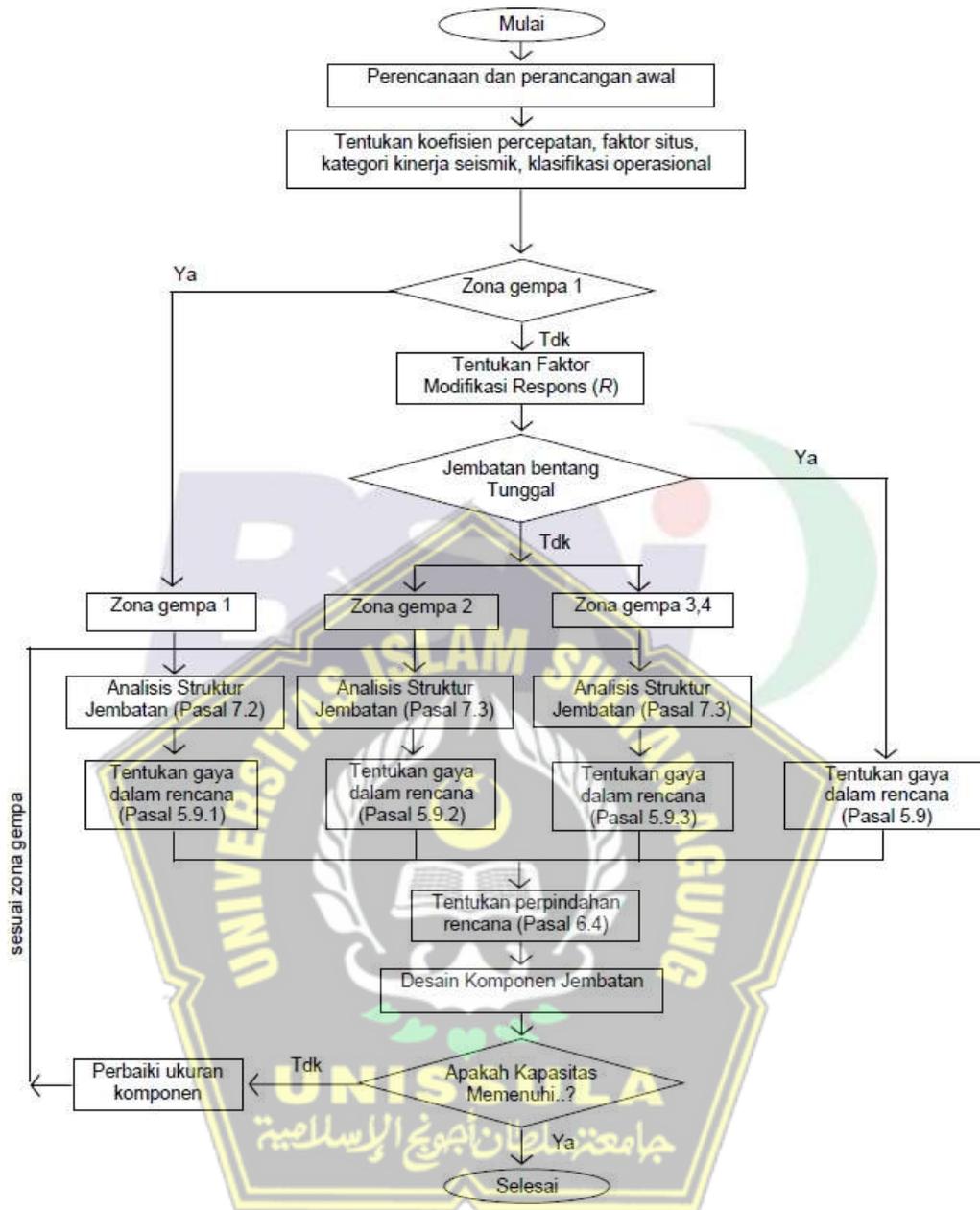
Maka dari tabel tersebut dipilih Tipe Bangunan Atas yaitu Lantai Pelat Beton di atas Gelagar atau Rangka Baja. Perhitungan Beban Temperatur dapat dilihat pada uraian berikut.

- $T_{\min} = 15^{\circ} \text{C}$
 - $T_{\text{maks}} = 40^{\circ} \text{C}$
- $$\Delta T = 40^{\circ} \text{C} - 15^{\circ} \text{C}$$
- $$= 25^{\circ} \text{C}$$

4.2.7 *Beban Gempa*

Beban Gempa (EQ) diartikan sebagai gaya horizontal yang dihitung dengan mengalikan Koefisien Respon Elastik (Csm) terhadap Berat Struktur Ekuivalen (Wt), lalu hasilnya dimodifikasi menggunakan Faktor Modifikasi Respon (R). Prosedur perancangan Beban Gempa mengikuti pedoman yang ditetapkan dalam SNI 2833-2016, dengan urutan langkah yang disajikan dalam diagram alir berikut.





Bagan 4.2 Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa

(Sumber: SNI 2833-2016)

Pada perancangan ini, lokasi Jembatan berada di Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Lokasi Jembatan

Prosedur awal yang harus dilakukan adalah menentukan Kelas Situs untuk membuat Respon Spektra Rencana. Tujuan dari analisis probabilitas gerak tanah pada lokasi spesifik adalah untuk memperoleh Respon Spektra Percepatan yang mempertimbangkan probabilitas terlampaui sebesar 7% dalam kurun waktu 75 tahun terhadap Nilai Spektra. Tabel 4.6 berikut adalah hasil dari uji sondir yang dilakukan di lokasi lokasi jembatan untuk mengetahui karakteristik Kelas Situs area.

Tabel 4.6 Uji Sondir pada Lokasi Jembatan di Kabupaten Demak

No	Kedalaman (m)	Konsistensi	N-SPT
1	5 – 12	<i>Soft</i>	4
2	12 – 23,5	<i>Soft</i>	7
3	23,5 – 29	<i>Soft</i>	12
4	29 – 33,5	<i>Soft</i>	14
5	33,5 – 39	<i>Medium</i>	19
6	39 – 41	<i>Medium</i>	20
7	41 – 44	<i>Medium</i>	21
8	44 – 51,5	<i>Medium</i>	23
9	51,5 – 54	<i>Medium</i>	26

Berlanjut

Tabel 4.6 Uji Sondir pada Lokasi Jembatan di Kabupaten Demak (Lanjutan)

10	54 – 56	Medium	27
11	56 – 57,5	Medium	28
12	57,5 – 58,5	Medium	29
13	58,5 – 69	Medium	31
14	69 – 69,5	Medium	33
15	69,5 – 70,5	Medium	35

(Sumber: Ismoyojati dan Tegar, 2011)

Untuk menentukan Klasifikasi Situs di lokasi Jembatan ini dapat ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Klasifikasi Situs

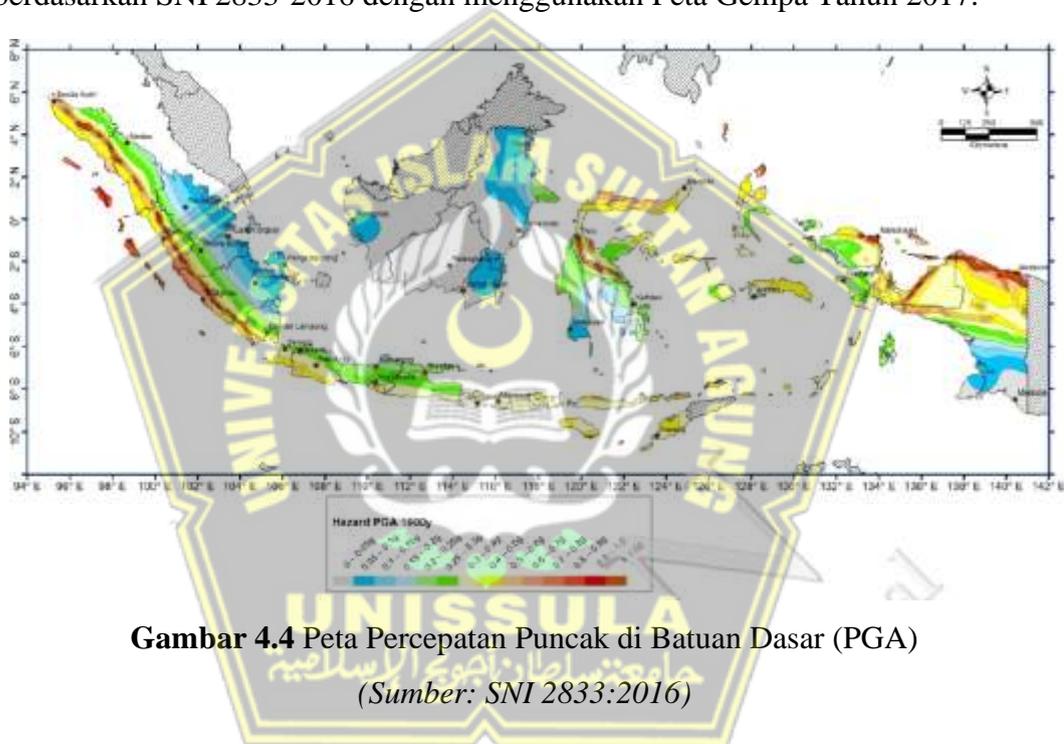
Klasifikasi Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N}_{SPT} , atau $\bar{N}_{SPT\ ch}$	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$. 2. Kadar air, $(w) \geq 40\%$ dan 3. Kuat geser niralir, $s_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan, $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa 		
CATATAN N/A = tidak dapat dipakai			
\bar{N}_{SPT} adalah nilai rata rata tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata.			
$\bar{N}_{SPT\ ch}$ adalah nilai rata rata tahanan penetrasi standar untuk lapisan tanah non kohesif.			
\bar{v}_s adalah nilai rata rata kecepatan gelombang geser (m/detik).			
\bar{s}_u adalah nilai rata rata kuat geser niralir lapisan (kPa).			

(Sumber: SNI 2833-2016)

Dari hasil Pengujian Sondir tersebut dapat diidentifikasi bahwa Nilai N-SPT pada Lokasi Jembatan ini beragam mulai dari 4-35 sehingga dapat ditentukan

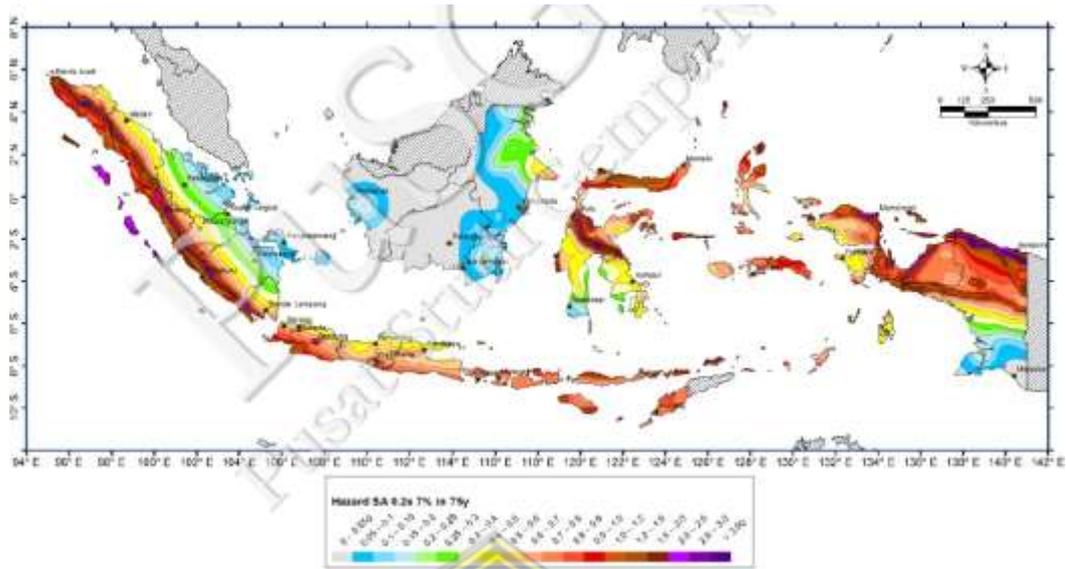
bahwa Kelas Situs untuk Perancangan Gempa pada lokasi tersebut yaitu Tanah Sedang (SD).

Setelah mengetahui Klasifikasi Situs pada lokasi perancangan, selanjutnya adalah menentukan Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA) dan Respon Spektra Percepatan 0,2 detik (S_s) serta Respon Spektra Percepatan 1 detik (S_1) di Batuan Dasar yang mewakili Potensi Bahaya (*Level Hazard*) Gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Berikut adalah Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (Gambar 4.4), Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik (Gambar 4.5) dan Peta Respon Spektra Percepatan 1 detik (Gambar 4.6) berdasarkan SNI 2833-2016 dengan menggunakan Peta Gempa Tahun 2017.

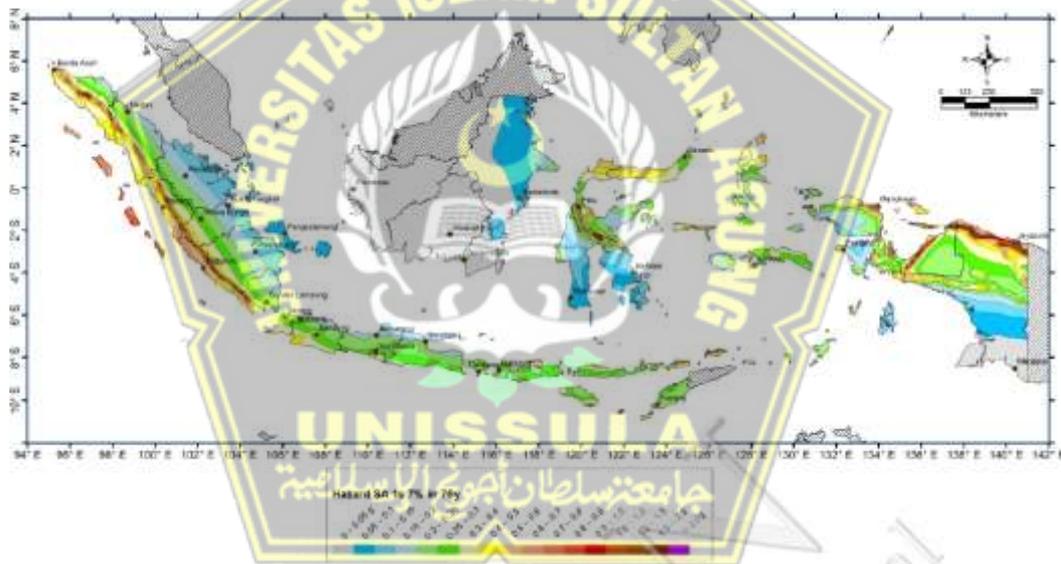


Gambar 4.4 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA)

(Sumber: SNI 2833:2016)



Gambar 4.5 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (S_s)
(Sumber: SNI 2833:2016)



Gambar 4.6 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar (S_1)
(Sumber: SNI 2833:2016)

Perhitungan Beban Gempa dimulai dari menentukan Parameter Percepatan Gempa sesuai dengan Lokasi Jembatan. Berdasarkan peta di atas maka didapatkan perhitungan sebagai berikut.

1) Parameter Percepatan Gempa

Berdasarkan Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA) dan Respon Spektra Percepatan 0,2 detik (S_s) serta 1 detik (S_1) di Batuan Dasar yang mewakili Potensi Bahaya (*Level Hazard*) Gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun, Lokasi Jembatan terletak di Kabupaten Demak maka diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

- PGA = 0,2 g – 0,25 g, diambil 0,2 g
- S_s = 0,4 g – 0,5 g, diambil 0,5 g
- S_1 = 0,15 g – 0,2 g, diambil 0,2 g

Dengan g adalah gal (*Gravitational Acceleration*) dimana $1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2) Faktor Situs

Faktor amplifikasi mencakup Faktor Amplifikasi Periode Pendek (F_a), Faktor Amplifikasi Percepatan (F_v), serta Amplifikasi Getaran yang berkaitan dengan percepatan pada periode getaran 0 detik (FPGA). Faktor Amplifikasi untuk PGA dan Periode 0,2 detik ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan Periode 0,2 Detik

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

(Sumber: SNI 2833:2016)

Menentukan Nilai F_{PGA} dan F_a dapat ditentukan dari tabel di atas sebagai berikut.

$$F_{PGA} = 1,4$$

$$F_a = 1,4$$

Selanjutnya dalam menghitung Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 detik dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	S_s	S_s	S_s	S_s	S_s

(Sumber: SNI 2833:2016)

Berdasarkan Tabel 4.9, Kelas Situs Tanah di Lokasi Jembatan ini adalah Tanah Sedang (SD) dan Respon Spektra Percepatan 1 detik (S_1) di Kabupaten Demak sebesar 0,2 sehingga Nilai F_v diambil sebesar 2,0.

3) Grafik Respon Spektrum

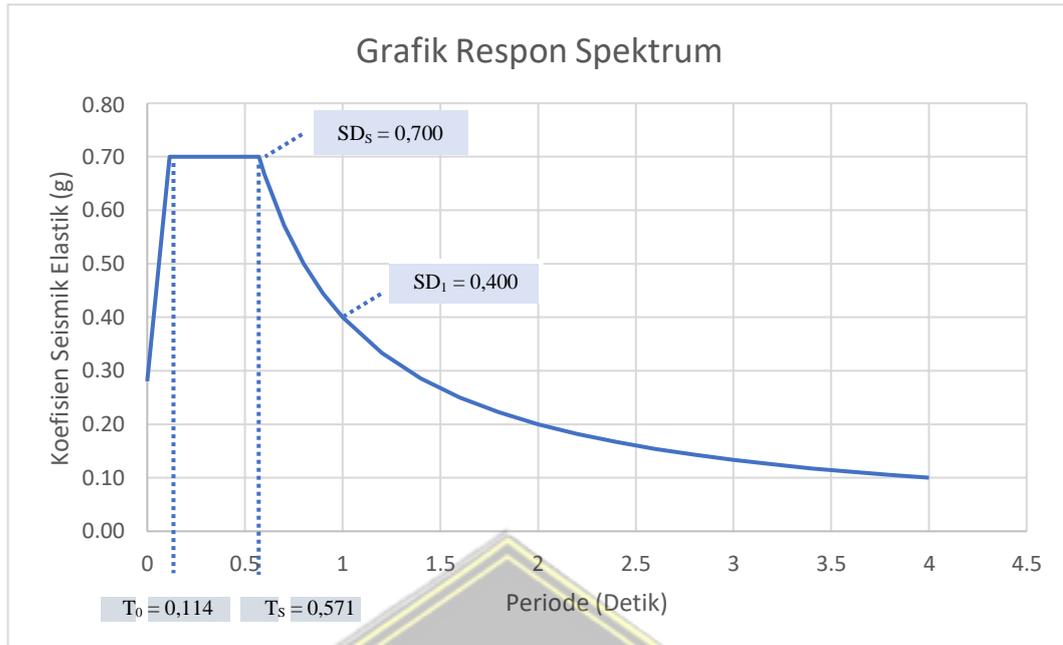
Grafik Respon Spektrum adalah Grafik yang menunjukkan hubungan antara Periode Getar Struktur dengan Koefisien Seismik Elastik. Untuk menentukan besaran Grafik Respon Spektrum dapat ditunjukkan pada perhitungan berikut:

- $A_s = F_{PGA} \times PGA = 1,4 \times 0,2 = 0,280 \text{ g}$
- $SD_s = F_a \times S_s = 1,4 \times 0,5 = 0,700 \text{ g}$
- $SD_1 = F_v \times S_1 = 2,0 \times 0,2 = 0,400 \text{ g}$

Besaran Nilai Waktu Getar Alami Struktur dapat ditunjukkan pada perhitungan berikut:

- $T_s = SD_1 / SD_s = 0,400 / 0,700 = 0,571 \text{ detik}$
- $T_0 = 0,2 \times T_s = 0,2 \times 0,571 = 0,114 \text{ detik}$

Apabila sudah mengetahui Nilai Waktu Getar Alami, maka dapat digambarkan Grafik Respon Spektrum untuk Jembatan seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Respon Spektrum Jembatan

4.2.8 *Beban Kombinasi*

Beban Kombinasi yang digunakan untuk Analisis Struktur dengan *Software* SAP 2000 mengacu pada SNI 1725-2016 adalah sebagai berikut:

- Kuat 1 : 1,1 MS + 2 MA + 1,8 TT + 1,8 TD + 1,8 TB + 1,2 Eun
- Kuat 2 : 1,1 MS + 2 MA + 1,4 TT + 1,4 TD + 1,4 TB + 1,2 Eun
- Kuat 4 : 1,1 MS + 2 MA + 1,2 Eun
- Ekstrem 1 : 1,1 MS + 2 MA + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 1 EQ

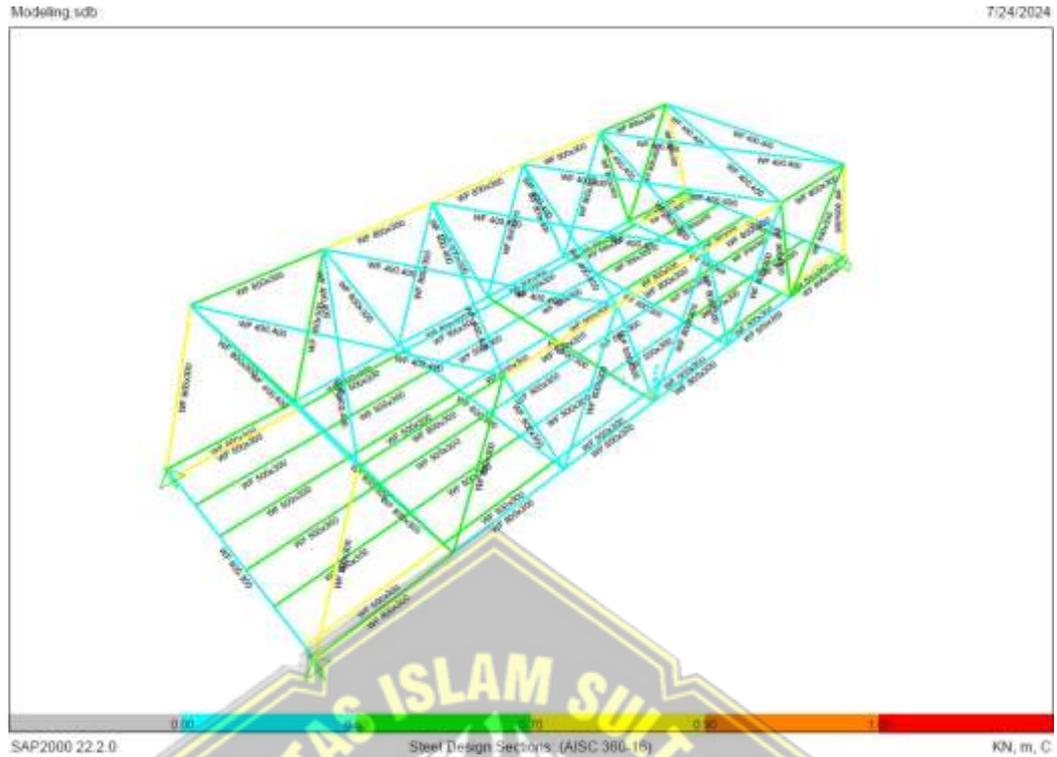
Sedangkan Kombinasi Beban Gempa dihitung berdasarkan SNI 2833-2016 yaitu:

- Gempa 1: 1 MA + 1 MS + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 0,3 EQ_y + 1 EQ_x
- Gempa 2: 1 MA + 1 MS + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 1 EQ_y + 0,3 EQ_x

4.3 Perancangan Struktur Atas Jembatan

4.3.1 *Gaya Aksial Maksimum*

Hasil dari *Trial and Error* pada SAP 2000 untuk mendapatkan desain Profil Baja yang aman ditunjukkan pada Gambar 4.8.



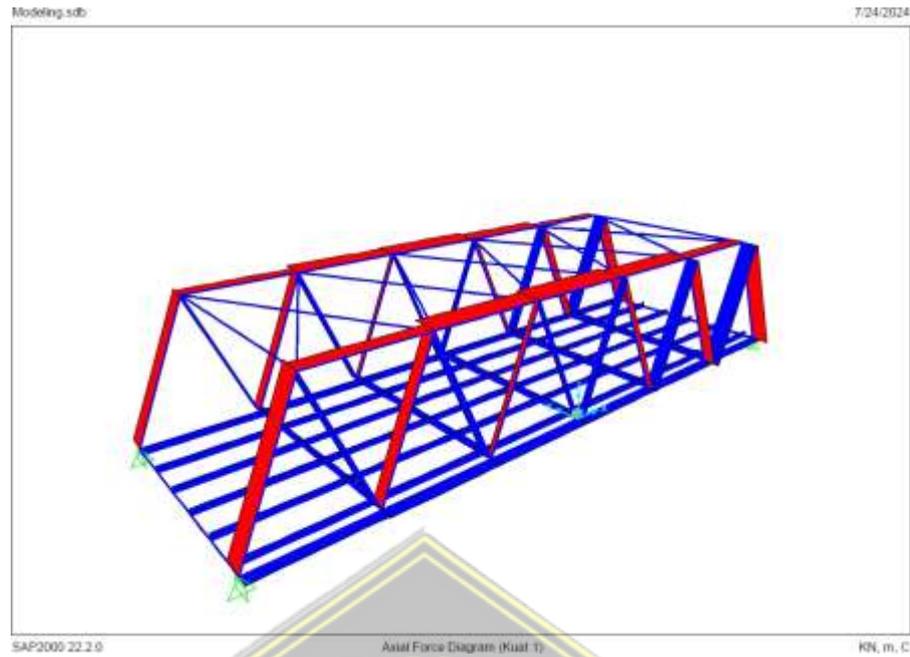
Gambar 4.8 Hasil Desain SAP 2000

Dari hasil analisis didapat *output* Gaya Dalam dari setiap komponen Struktur Jembatan. Berikut adalah Gaya Aksial (Tarik dan Tekan) Maksimum.

Tabel 4.10 Gaya Aksial Maksimum

No	Komponen	Profil Baja	Aksial Maks. (kN)	Kombinasi
1	Gelagar Melintang	WF 400 x 400	1420,766	Kuat 1
2	Gelagar Memanjang	WF 400 x 400	1004,533	Kuat 1
3	<i>Top Chord</i>	WF 500 x 300	2705,642	Kuat 1
4	<i>Beam Diagonal</i>	WF 500 x 300	1788,185	Kuat 1

Berikut hasil analisis dari *Software* SAP 2000 untuk Gaya Aksial (Gambar 4.9).



Gambar 4.9 Output Gaya Aksial

4.3.2 Lendutan Maksimum

Dari Hasil Analisis SAP 2000 dapat diidentifikasi Lendutan Maksimum untuk setiap Kombinasi Beban yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

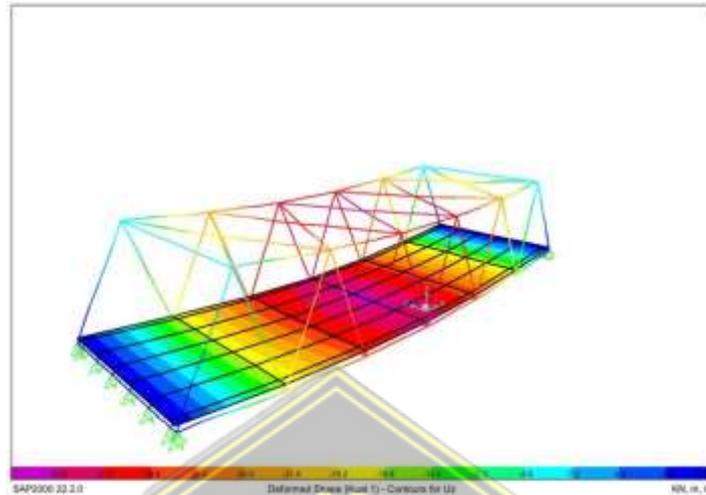
Tabel 4.11 Lendutan Maksimum

Kombinasi	Lendutan (cm)	Keterangan
Kuat 1	3,45	AMAN
Kuat 2	3,12	AMAN
Kuat 4	1,81	AMAN
Ekstrem 1	2,02	AMAN
Gempa 1	1,64	AMAN
Gempa 2	1,67	AMAN
Maksimum	3,45	Kuat 1

Lendutan Maksimum terjadi pada Kombinasi Kuat 1 dengan nilai sebesar 3,45 cm. Batas Lendutan pada Jembatan Baja tidak boleh melebihi 1/800 Bentang Jembatan.

$$\frac{L}{800} = \frac{30}{800} = 0,0375 \text{ m} = 3,75 \text{ cm}$$

Oleh karena itu, keseluruhan Lendutan Maksimum semua Kombinasi telah memenuhi Standar Ketentuan dan dikategorikan sebagai “AMAN”. Berikut adalah Gambar Lendutan Hasil Analisis Program SAP 2000.

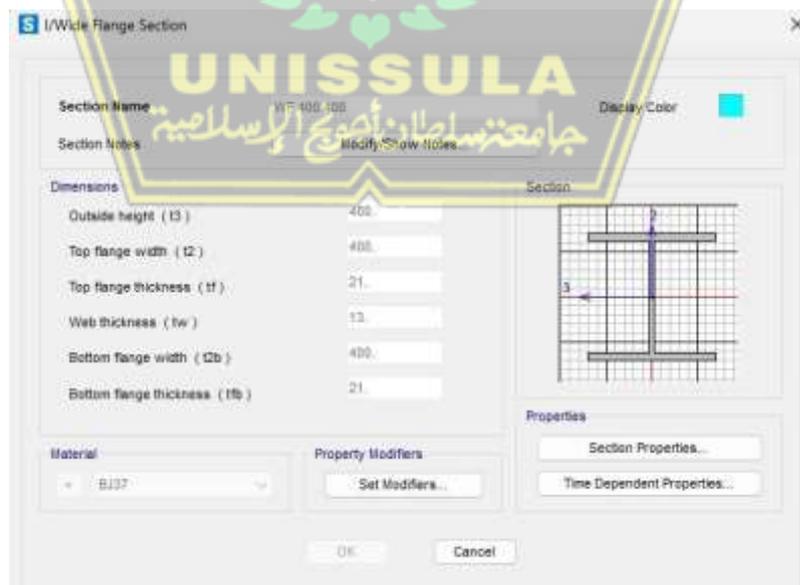


Gambar 4.10 Lendutan Hasil SAP 2000

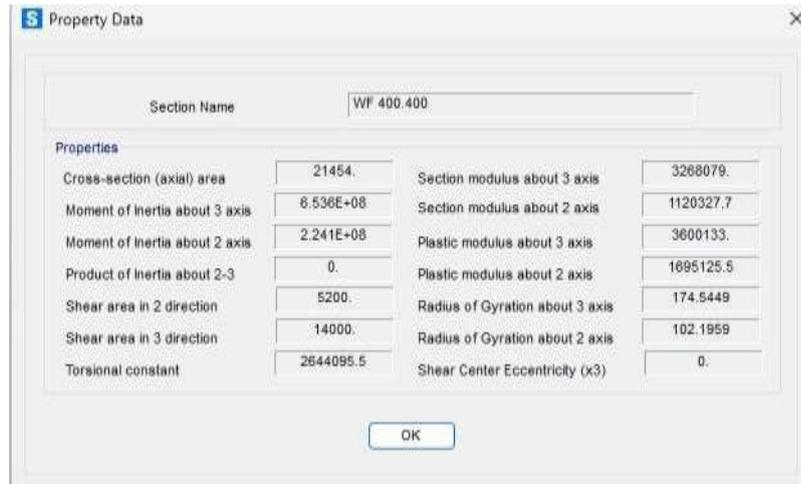
4.3.3 Perancangan Gelagar Memanjang

1. Profil Gelagar Memanjang

Profil Baja yang digunakan untuk Gelagar Memanjang adalah WF 400 x 400 dengan Mutu Baja BJ 37. Profil Baja WF 400 x 400 (Gambar 4.11) dan Data Profil Baja WF 400 x 400 (Gambar 4.12) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.11 Profil Baja WF 400 x 400



Gambar 4.12 Data Profil Baja WF 400 x 400

- Lebar Sayap (bf) = 0,4 m = 400 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,021 m = 21 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,013 m = 13 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,4 m = 400 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (ho) = 379 mm
- Luas Penampang (Ag) = 21454 mm²
- Inersia Sumbu X (I_x) = $6,54 \times 10^{-4}$ m⁴ = 653600000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (I_y) = $2,24 \times 10^{-4}$ m⁴ = 224100000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (r_x) = 0,175 m = 174,5449 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (r_y) = 0,102 m = 102,1959 mm
- Modulus Elastis Penampang (S_x) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (S_y) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_x) = 3600133 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_y) = 1695125,5 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (f_y) = 240 MPa

2. Menentukan Kelangsingan Profil Baja

Pertama harus menentukan batasan untuk Kelangsingan Profil dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 10,969 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Sayap Non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,35 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 38,971 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Badan Kompak } (\lambda_p) &= 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 50,807 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Badan Non Kompak } (\lambda_r) &= 4,4 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 4,4 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 127,017 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times bf}{tf} \\ &= \frac{0,5 \times 300}{18} \\ &= 9,524 < 10,969 \text{ (Sehingga Profil Kompak)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Badan } (\lambda) &= \frac{d-2tf}{tw} \\ &= \frac{488 - 2 \times 18}{11} \\ &= 27,534 < 50,807 \text{ (Sehingga Profil Kompak)} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menentukan Nilai Momen Nominal harus meninjau pada beberapa kondisi berikut.

- Untuk $\lambda \leq \lambda_p$, maka

$$M_n = M_p$$

- Untuk $\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r$, maka

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

- Untuk $\lambda \geq \lambda_r$, maka

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

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa $\lambda = 8,333 \text{ m} \leq \lambda_p = 10,969 \text{ m}$, maka Momen Nominal adalah:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= Z_x \times f_y \\ &= 864,032 \text{ kN.m} \\ \Phi &= 0,9 \text{ (LRFD)} \\ M_u &= \Phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 864,032 \\ &= 777,629 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

3. Menghitung Tegangan Kritis

Untuk menghitung Tegangan Kritis tergantung pada Kelangsingan Profil (λ) yang diambil terendah dengan uraian sebagai berikut.

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, maka
- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, maka

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

Dengan,

C_b = Faktor Pengali Momen

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$

$$f_{cr} = f_y \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2$$

Dari ketentuan di atas maka dapat ditentukan Nilai f_{cr} adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 240 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Kontrol Kuat Tarik Nominal

Perhitungan Kuat Tarik Nominal dapat ditunjukkan pada uraian berikut

- Kuat Tarik Nominal (P_n)

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{f_{cr} \times A_g}{1000} \\ &= \frac{240 \times 21454}{1000} \\ &= 5148,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kuat Tarik Ultimit (P_u)

$$\begin{aligned} P_u &= \Phi \times P_n \\ &= 0,9 \times 5148,96 \\ &= 4634,064 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Interaksi Gaya Aksial dan Lentur

$$\text{Apabila Rasio} = \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tarik Ultimit})} \geq 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{P_{\text{maks}}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) \text{ harus } \leq 1$$

$$\text{Apabila Rasio} = \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tarik Ultimit})} < 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{P_{\text{maks}}}{2 \times P_u} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) \text{ harus } \leq 1$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tarik Ultimit})} \\ &= \frac{1004,533}{4634,064} \\ &= 0,217 \geq 0,2 \end{aligned}$$

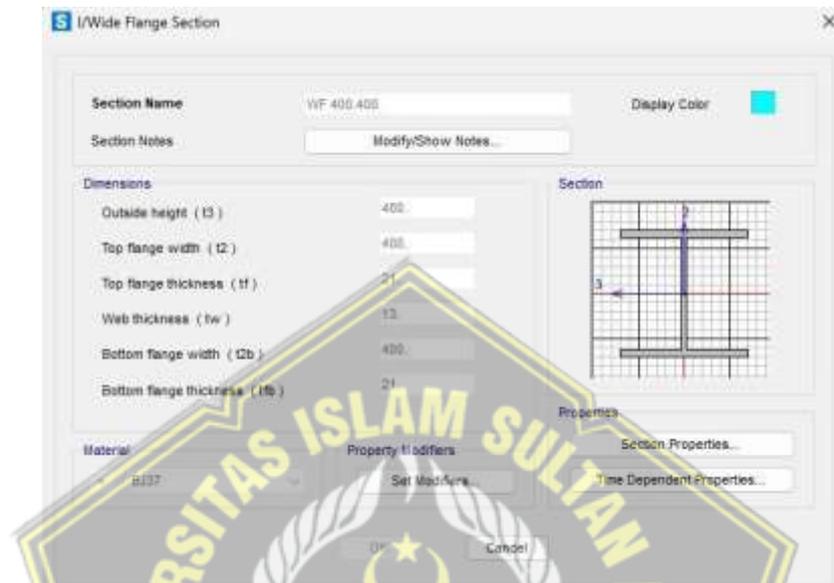
Sehingga, karena Rasio $\geq 0,2$ maka

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{maks}}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) &\leq 1 \\ = \frac{1004,533}{4634,064} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{391,056}{777,629} \right) &\leq 1 \\ = 0,217 + 0,447 &\leq 1 \\ = 0,664 &\leq 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

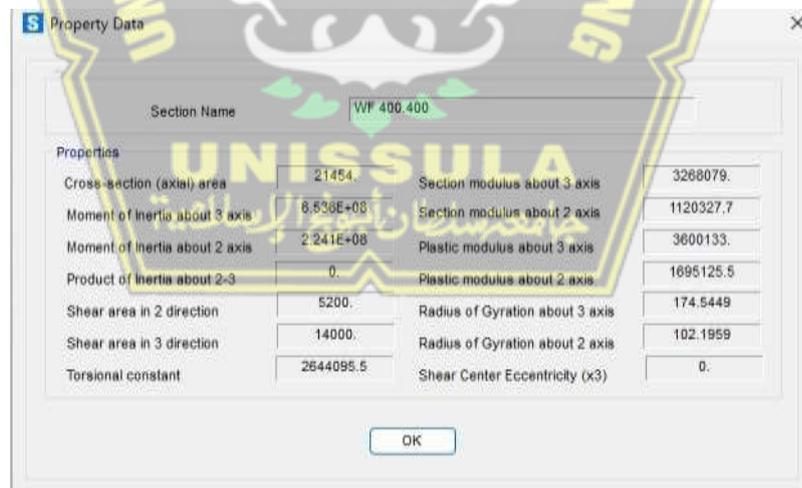
4.3.4 Perancangan Gelagar Melintang

1. Profil Gelagar Melintang

Profil Baja yang digunakan untuk Gelagar Melintang adalah WF 400 x 400 dengan Mutu Baja BJ 37. Profil Baja WF 400 x 400 (Gambar 4.13) dan Data Profil Baja WF 400 x 400 (Gambar 4.14) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.13 Profil Baja WF 400 x 400



Gambar 4.14 Data Profil Baja WF 400 x 400

- Lebar Sayap (bf) = 0,4 m = 400 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,021 m = 21 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,013 m = 13 mm

- Tinggi Total Profil (d) = 0,4 m = 400 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (h_o) = 379 mm
- Luas Penampang (A_g) = 21454 mm²
- Inersia Sumbu X (I_x) = $6,54 \times 10^{-4}$ m⁴ = 653600000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (I_y) = $2,24 \times 10^{-4}$ m⁴ = 224100000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (r_x) = 0,175 m = 174,5449 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (r_y) = 0,102 m = 102,1959 mm
- Modulus Elastis Penampang (S_x) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (S_y) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_x) = 3600133 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_y) = 1695125,5 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (f_y) = 240 MPa

2. Menentukan Kelangsingan Profil Baja

Pertama harus menentukan batasan untuk Kelangsingan Profil dengan rumus sebagai berikut.

- Sayap Kompak (λ_p) = $0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 10,969$
- Sayap Non Kompak (λ_r) = $1,35 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 1,35 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 38,971$
- Badan Kompak (λ_p) = $1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 50,807$

- Badan Non Kompak (λ_r) $= 4,4 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 4,4 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 127,017$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut.

- Sayap (λ) $= \frac{0,5 \times bf}{tf}$
 $= \frac{0,5 \times 300}{18}$
 $= 9,524 < 10,969$ (Sehingga Profil Kompak)
- Badan (λ) $= \frac{d-2tf}{tw}$
 $= \frac{488 - 2 \times 18}{11}$
 $= 27,534 < 50,807$ (Sehingga Profil Kompak)

Selanjutnya untuk menentukan Nilai Momen Nominal harus meninjau pada beberapa kondisi berikut.

- Untuk $\lambda \leq \lambda_p$, maka $M_n = M_p$
- Untuk $\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r$, maka $M_n = M_p - (M_p - M_r) \times \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$
- Untuk $\lambda \geq \lambda_r$, maka $M_n = M_r \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa $\lambda = 8,333 \text{ m} \leq \lambda_p = 10,969 \text{ m}$, maka Momen Nominal adalah:

$$M_n = M_p$$

$$= Z_x \times f_y$$

$$= 864,032 \text{ kN.m}$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (LRFD)}$$

$$M_u = \Phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 864,032$$

$$= 777,629 \text{ kN.m}$$

3. Menghitung Tegangan Kritis

Untuk menghitung Tegangan Kritis tergantung pada Kelangsingan Profil (λ) yang diambil terendah dengan uraian sebagai berikut.

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, maka

$$f_{cr} = f_y$$

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, maka

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

Dengan,

C_b = Faktor Pengali Momen

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$

$$f_{cr} = f_y \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2$$

Dari ketentuan di atas maka dapat ditentukan Nilai f_{cr} adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 240 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Kontrol Kuat Tarik Nominal

Perhitungan Kuat Tarik Nominal dapat ditunjukkan pada uraian berikut

- Kuat Tarik Nominal (P_n)

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{f_{cr} \times A_g}{1000} \\ &= \frac{240 \times 21454}{1000} \\ &= 5148,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kuat Tarik Ultimit (P_u)

$$\begin{aligned} P_u &= \Phi \times P_n \\ &= 0,9 \times 5148,96 \\ &= 4634,064 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Interaksi Gaya Aksial dan Lentur

Apabila Rasio = $\frac{P_{maks} \text{ (Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000)}}{P_u \text{ (Kuat Tarik Ultimit)}} \geq 0,2$ maka

$$\frac{P_{maks}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{maks}}{\Phi \times M_n}\right) \text{ harus } \leq 1$$

Apabila Rasio = $\frac{P_{maks} \text{ (Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000)}}{P_u \text{ (Kuat Tarik Ultimit)}} < 0,2$ maka

$$\frac{P_{maks}}{2 \times P_u} \times \left(\frac{M_{maks}}{\Phi \times M_n} \right) \text{ harus } \leq 1$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \frac{P_{maks} \text{ (Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000)}}{P_u \text{ (Kuat Tarik Ultimit)}} \\ &= \frac{1420,766}{4634,064} \\ &= 0,307 \geq 0,2 \end{aligned}$$

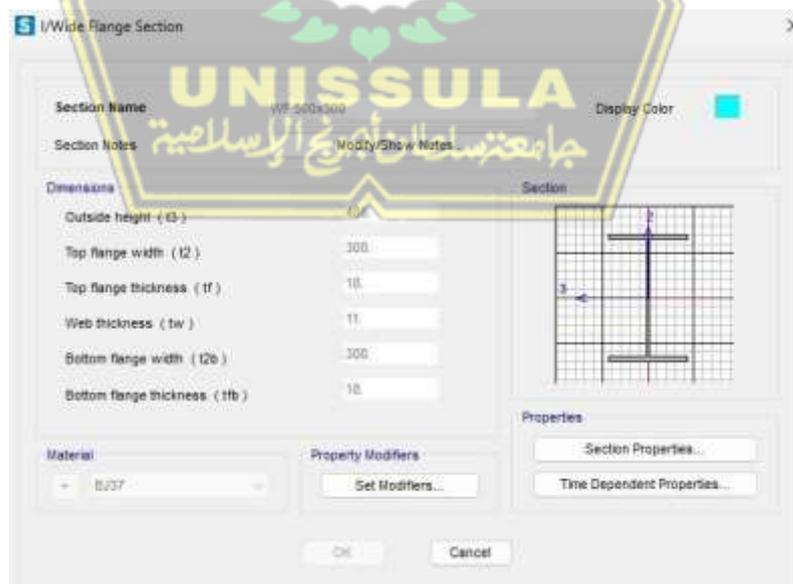
Sehingga, karena Rasio $\geq 0,2$ maka

$$\begin{aligned} \frac{P_{maks}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{maks}}{\Phi \times M_n} \right) &\leq 1 \\ = \frac{1420,766}{4634,064} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{33,948}{777,629} \right) &\leq 1 \\ = 0,307 + 0,039 &\leq 1 \\ = 0,346 &\leq 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

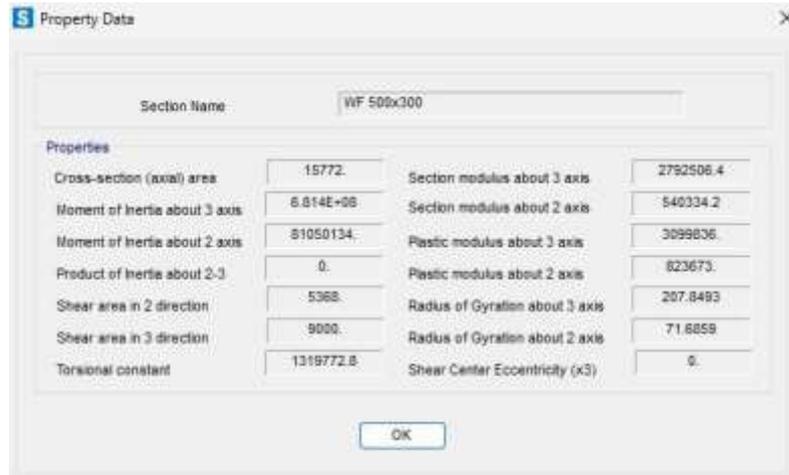
4.3.5 Perancangan Top Chord

1. Profil Top Chord

Profil Baja yang digunakan untuk *Top Chord* adalah WF 500 x 300 dengan Mutu Baja BJ 37. Profil Baja WF 500 x 300 (Gambar 4.15) dan Data Profil Baja WF 500 x 300 (Gambar 4.16) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.15 Profil Baja WF 500 x 300



Gambar 4.16 Data Profil Baja WF 500 x 300

- Lebar Sayap (bf) = 0,3 m = 300 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,018 m = 18 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,011 m = 11 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,488 m = 488 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (ho) = 470 mm
- Luas Penampang (A_g) = 15722 mm²
- Inersia Sumbu X (I_x) = $6,81 \times 10^{-4}$ m⁴ = 681400000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (I_y) = $8,11 \times 10^{-5}$ m⁴ = 81050134 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (r_x) = 0,207 m = 207,8493 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (r_y) = 0,072 m = 71,6859 mm
- Modulus Elastis Penampang (S_x) = 2792506,4 mm³
- Modulus Elastis Penampang (S_y) = 540334,2 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_x) = 3099836 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_y) = 823673 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (f_y) = 240 MPa

2. Menentukan Kelangsingan Profil Baja

Pertama harus menentukan batasan untuk Kelangsingan Profil dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 10,969 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Sayap Non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,35 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 38,971 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Badan Kompak } (\lambda_p) &= 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 50,867 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Badan Non Kompak } (\lambda_r) &= 4,4 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 4,4 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 127,017 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times bf}{tf} \\ &= \frac{0,5 \times 300}{26} \\ &= 8,333 < 10,969 \text{ (Sehingga Profil Kompak)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Badan } (\lambda) &= \frac{d-2tf}{tw} \\ &= \frac{800-2 \times 26}{14} \\ &= 41,091 < 50,807 \text{ (Sehingga Profil Kompak)} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menentukan Nilai Momen Nominal harus meninjau pada beberapa kondisi berikut.

- Untuk $\lambda \leq \lambda_p$, maka

$$M_n = M_p$$

- Untuk $\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r$, maka

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

- Untuk $\lambda \geq \lambda_r$, maka

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

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa $\lambda = 5,769 \text{ m} \leq \lambda_b = 10,969 \text{ m}$, maka Momen Nominal adalah:

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= Z_x x f_y \\ &= 743,961 \text{ kN.m} \\ \Phi &= 0,9 \text{ (LRFD)} \\ M_u &= \Phi x M_n \\ &= 0,9 x 743,961 \\ &= 669,565 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

3. Menghitung Tegangan Kritis

Untuk menghitung Tegangan Kritis tergantung pada Kelangsingan Profil (λ) yang terendah dengan uraian sebagai berikut.

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, maka

$$f_{cr} = f_y$$

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, maka

$$f_{cr} = C_b x f_y x \left(1 - \frac{(\lambda - \lambda_p)}{2 x (\lambda_r - \lambda_p)}\right) \leq f_y$$

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$

$$f_{cr} = f_y x \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2$$

Dari ketentuan di atas maka dapat ditentukan Nilai f_{cr} adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 240 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Kontrol Kuat Tekan Nominal

Perhitungan Kuat Tekan Nominal dapat ditunjukkan pada uraian berikut

- Kuat Tekan Nominal (P_n)

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{f_{cr} \times A_g}{1000} \\ &= \frac{240 \times 15772}{1000} \\ &= 3785,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kuat Tekan Ultimit (P_u)

$$\begin{aligned} P_u &= \Phi \times P_n \\ &= 0,9 \times 2785,28 \\ &= 3406,752 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Interaksi Gaya Aksial dan Lentur

$$\text{Apabila Rasio} = \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tekan Ultimit})} \geq 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{P_{\text{maks}}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) \text{ harus} \leq 1$$

$$\text{Apabila Rasio} = \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tekan Ultimit})} < 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{P_{\text{maks}}}{2 \times P_u} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) \text{ harus} \leq 1$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tekan Ultimit})}$$

$$= \frac{2705,642}{3406,752}$$

$$= 0,794 \geq 0,2$$

Sehingga, karena Rasio $\geq 0,2$ maka

$$\frac{P_{\text{maks}}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) \leq 1$$

$$= \frac{2705,642}{3406,752} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{4,038}{669,565} \right) \leq 1$$

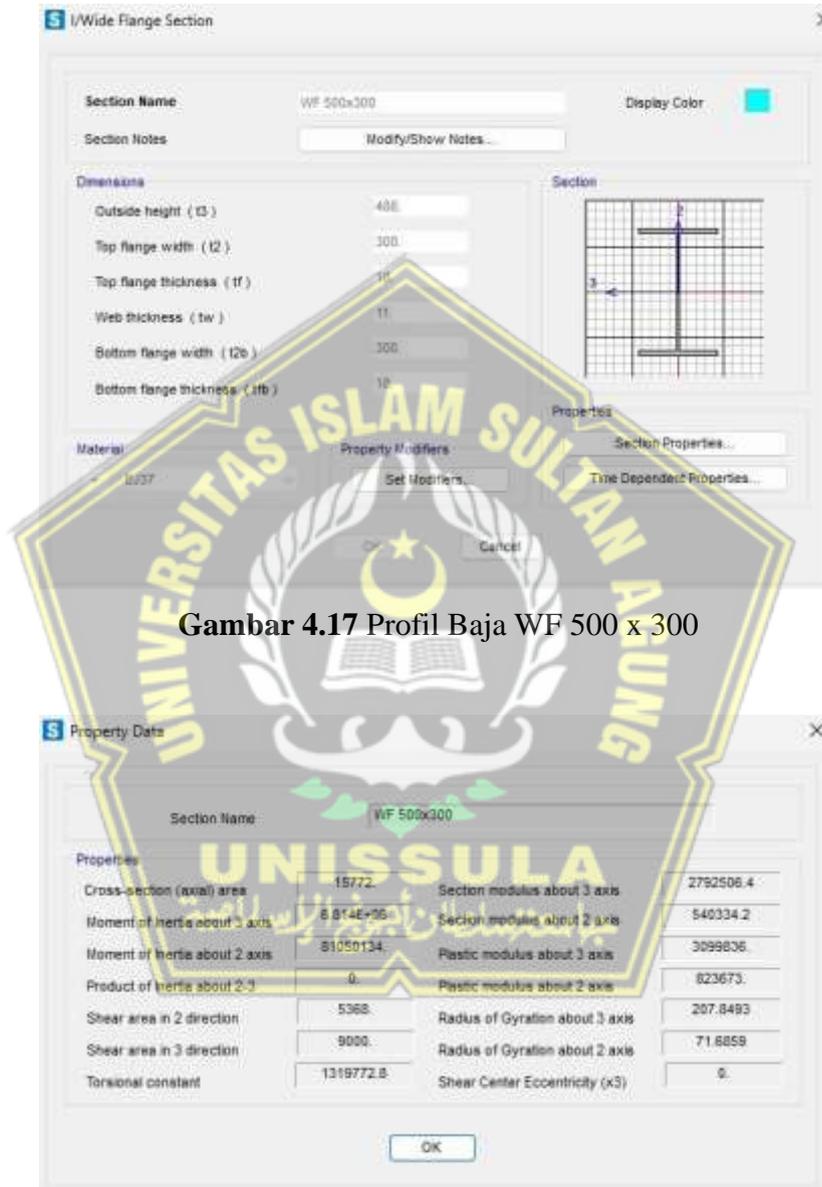
$$= 0,794 + 0,005 \leq 1$$

$$= 0,799 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.3.6 Perancangan Beam Diagonal

1. Profil Beam Diagonal

Profil Baja yang digunakan untuk *Beam Diagonal* adalah WF 500 x 300 dengan Mutu Baja BJ 37. Profil Baja WF 500 x 300 (Gambar 4.17) dan Data Profil Baja WF 500 x 300 (Gambar 4.18) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.17 Profil Baja WF 500 x 300

Gambar 4.18 Data Profil Baja WF 500 x 300

- Lebar Sayap (bf) = 0,3 m = 300 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,018 m = 18 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,011 m = 11 mm

- Tinggi Total Profil (d) = 0,488 m = 488 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (h_o) = 470 mm
- Luas Penampang (A_g) = 15722 mm²
- Inersia Sumbu X (I_x) = $6,81 \times 10^{-4}$ m⁴ = 681400000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (I_y) = $8,11 \times 10^{-5}$ m⁴ = 81050134 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (r_x) = 0,207 m = 207,8493 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (r_y) = 0,072 m = 71,6859 mm
- Modulus Elastis Penampang (S_x) = 2792506,4 mm³
- Modulus Elastis Penampang (S_y) = 540334,2 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_x) = 3099836 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_y) = 823673 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (f_y) = 240 MPa

2. Menentukan Kelangsingan Profil Baja

Pertama harus menentukan batasan untuk Kelangsingan Profil dengan rumus sebagai berikut.

- Sayap Kompak (λ_p) = $0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 10,969$
- Sayap Non Kompak (λ_r) = $1,35 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 1,35 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 38,971$
- Badan Kompak (λ_p) = $1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 50,867$

- Badan Non Kompak (λ_r) $= 4,4 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $= 4,4 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$
 $= 127,017$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut.

- Sayap (λ) $= \frac{0,5 \times bf}{tf}$
 $= \frac{0,5 \times 300}{26}$
 $= 8,333 < 10,969$ (Sehingga Profil Kompak)
- Badan (λ) $= \frac{d-2tf}{tw}$
 $= \frac{800-2 \times 26}{14}$
 $= 41,091 < 50,807$ (Sehingga Profil Kompak)

Selanjutnya untuk menentukan Nilai Momen Nominal harus meninjau pada beberapa kondisi berikut.

- Untuk $\lambda \leq \lambda_p$, maka $M_n = M_p$
- Untuk $\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r$, maka $M_n = M_p - (M_p - M_r) \times \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$
- Untuk $\lambda \geq \lambda_r$, maka $M_n = M_r \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa $\lambda = 5,769 \text{ m} \leq \lambda_b = 10,969 \text{ m}$, maka Momen Nominal adalah:

$$M_n = M_p$$

$$= Z_x \times f_y$$

$$= 743,961 \text{ kN.m}$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (LRFD)}$$

$$M_u = \Phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 743,961$$

$$= 669,565 \text{ kN.m}$$

3. Menghitung Tegangan Kritis

Untuk menghitung Tegangan Kritis tergantung pada Kelangsingan Profil (λ) yang terendah dengan uraian sebagai berikut.

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, maka

$$f_{cr} = f_y$$

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, maka

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

- Komponen Struktur yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$

$$f_{cr} = f_y \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2$$

Dari ketentuan di atas maka dapat ditentukan Nilai F_{cr} adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 240 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Kontrol Kuat Tarik Nominal

Perhitungan Kuat Tarik Nominal dapat ditunjukkan pada uraian berikut

- Kuat Tekan Nominal (P_n)

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{f_{cr} \times A_g}{1000} \\ &= \frac{240 \times 15772}{1000} \\ &= 3785,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kuat Tekan Ultimit (P_u)

$$\begin{aligned} P_u &= \Phi \times P_n \\ &= 0,9 \times 2785,28 \\ &= 3406,752 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Interaksi Gaya Aksial dan Lentur

$$\text{Apabila Rasio} = \frac{P_{maks} \text{ (Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000)}}{P_u \text{ (Kuat Tarik Ultimit)}} \geq 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{P_{maks}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{maks}}{\Phi \times M_n}\right) \text{ harus} \leq 1$$

$$\text{Apabila Rasio} = \frac{P_{maks} \text{ (Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000)}}{P_u \text{ (Kuat Tarik Ultimit)}} < 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{P_{maks}}{2 \times P_u} \times \left(\frac{M_{maks}}{\Phi \times M_n}\right) \text{ harus} \leq 1$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \frac{P_{\text{maks}} (\text{Tekanan Aksial Maksimum output SAP 2000})}{P_u (\text{Kuat Tarik Ultimit})} \\ &= \frac{1788,185}{3406,752} \\ &= 0,525 \geq 0,2 \end{aligned}$$

Sehingga, karena Rasio $\geq 0,2$ maka

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{maks}}}{P_u} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{\text{maks}}}{\Phi \times M_n} \right) &\leq 1 \\ = \frac{1811,185}{3406,752} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{25,277}{669,565} \right) &\leq 1 \\ = 0,525 + 0,034 &\leq 1 \\ = 0,559 &\leq 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa desain Struktur Atas Jembatan di Kabupaten Demak dikategorikan aman dengan menggunakan Mutu Baja BJ 37 dan Profil Baja sebagai berikut.

- *Top Chord* = WF 500 x 300
- *Bottom Chord* = WF 500 x 300
- *Beam Diagonal* = WF 500 x 300
- *Top Bracing* = WF 200 x 200
- *Stringer* = WF 400 x 400
- *Cross Girder* = WF 400 x 400

2. Nilai Lendutan Maksimum yang terjadi pada Jembatan di Kabupaten Demak dengan Bentang 30 m adalah 3,45 cm dan dikategorikan aman terhadap Batas Lendutan Jembatan yaitu sebesar 3,75 cm.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisis menggunakan *Software* ETABS sebagai perbandingan Pembebanan pada Jembatan.
2. Untuk langkah selanjutnya, perlu dilakukan Perancangan Struktur Bawah Jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto. 2008. *Metode Konstruksi Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: UI Press.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 1725-2016. Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2833-2016. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. SNI 1729-2020. Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Budiadi, Andri. 2008. *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Gunawan, Rudy. 2015. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Kadir, Hamdan., Hanafi Ashad., dan Zaifuddin. 2021. “Studi Model Struktur Rangka Baja Jembatan”. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, Vol. 1, No. 2.
- Ketchum, Milo S. 2000. *The Design of Highway Bridges of Steel, Timber and Concrete*. New York: McGraw-Hill.
- Manu, Agus. 1995. *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Mediatama Saptakarya.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2004. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Jakarta.
- Prayogo, Andri., Ester Priskasari., dan Sudirman Indra. 2021. “Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Baja Tipe *Subdivided Warren* Pada Jembatan Kelutan-Papar”. *e-journal Gelagar*, Vol. 3, No. 1.
- Silaban, Pedro., Faisal., dan Erwin Sutandar. 2023. “Perencanaan Jembatan Baja *Type Truss* di Jembatan Melawi II, Kecamatan Nanga Pinoh, Kabupaten Melawi”. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, Vol. 10, No. 3.
- Struyk, J. H., Van Der Veen dan Soemargono. 1995. *Jembatan*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar. 2007. *Jembatan* (Edisi Ke-IV).
Yogyakarta: Beta Offset.

