

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STRUKTUR ATAS JEMBATAN PABELAN
MENGUNAKAN METODE *RATING FACTOR*
(*STRUCTURE ANALYSIS OF THE PABELAN BRIDGE
USING THE RATING FACTOR METODE*)**

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



**Rifat Hidayat
20511350**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

TUGAS AKHIR
ANALISIS STRUKTUR ATAS JEMBATAN PABELAN
MENGGUNAKAN METODE *RATING FACTOR*
(*STRUCTURE ANALYSIS OF THE PABELAN BRIDGE*
***USING THE RATING FACTOR METODE*)**

Disusun oleh

Rifat Hidayat
20511350

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

Diuji pada tanggal 28 Februari 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

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

Penguji I

Jafar S.T., MURP., M.T.
NIK:185111305

Penguji II

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.
NIK:845110101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 28 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Rifat Hidayat

20511350

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis struktur Atas Jembatan Pabelan Menggunakan Metode *Rating Factor*. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan, masukan, serta motivasi yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran, pembelajaran, ilmu yang baru dan nasihat baik serta motivasi hingga akhir.
4. Bapak, Ibu, Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu mendoakan dan mendukung serta begitu banyak pengorbanan yang telah dilakukan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi selama masa kuliah sampai selesai penyusunan Tugas Akhir.
6. Semua pihak yang terkait yang turut bekerja sama, sehingga memperlancar penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 28 Februari 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rifat Hidayat', written in a cursive style.

Rifat Hidayat

20511350

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINAJUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.3 Keaslian Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Struktur Rangka Jembatan	13
3.2 Pembebanan	14
3.2.1 Aksi tetap (<i>Permanent Actions</i>)	14
3.2.2 Aksi Sementara (<i>Transient Action</i>)	16
3.3 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan	20
3.4 Kapasitas Nominal Komponen Struktur	20
3.3.1 Komponen Struktur Batang Tarik	20

3.3.2	Komponen Struktur Batang Tekan	22
3.3.3	Komponen Struktur Lentur	25
3.3.4	Pengekang Lateral	27
3.3.5	Komponen Struktur Geser	29
3.3.6	Interaksi Aksial dan Lentur	29
3.5	Metode Rating Factor	30
3.4.1	Persamaan Umum	32
3.4.2	Faktor Kondisi, ϕ_c (<i>condition factor</i>)	33
3.4.3	Faktor Sistem, ϕ_s (<i>system factor</i>)	34
BAB IV METODE PENELITIAN		35
4.1	Umum	35
4.2	Lokasi Jembatan	35
4.3	Data Yang Diperlukan	36
4.3.1	Data Administrasi	36
4.3.2	Material Jembatan	36
4.3.3	Data Dimensi Jembatan	37
4.3.4	Data Profil Jembatan	37
4.4	Bagan Alir Penelitian	41
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		45
5.1	Analisis Pembebanan	45
5.1.1	Beban Permanen	45
5.1.2	Beban Lalu Lintas	48
5.2	Permodelan Struktur Jembatan	51
5.2.1	Template Model 2D Trusses	51
5.2.2	Penyesuaian Posisi Elemen Batang Rangka Jembatan	52
5.2.3	Material Properties Baja dan Beton	52
5.2.4	Define Frame Section Properties	54
5.2.5	Replicate and Drawing Frame	57
5.2.6	Define and Drawing Area Section	58
5.2.7	Joint Offset Overwrites Pelat Lantai	58
5.2.8	Releases Partial Fixity	59

5.2.9	Define Load Cases	60
5.2.10	Define Load combination	61
5.3	Hasil Analisis SAP2000	63
5.4	Analisis Kapasitas Tampang	67
5.4.1	Perhitungan Kapasitas Penampang	67
5.4.2	Perhitungan Kapasitas Momen	71
5.4.3	Perhitungan Kapasitas Geser	74
5.5	Perhitungan <i>Rating Factor</i>	79
5.5.1	Kapasitas Nominal Terfaktor	79
5.5.2	Perhitungan <i>Rating Factor</i> Hasil <i>SAP2000</i> (Kondisi Kuat dan Layan)	82
5.6	Pembahasan	88
5.6.1	Metode Analisis <i>Rating Factor</i>	88
5.6.2	Pengukuran Dimensi Jembatan	88
5.6.3	Mutu Material Baja	89
5.6.4	Pembebanan pada Jembatan	89
5.6.5	Analisis <i>SAP2000</i>	90
5.6.6	Kelayakan Struktur Atas Jembatan	90
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		93
6.1	Kesimpulan	93
6.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN		97

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Berat isi untuk beban mati	15
Tabel 3. 2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	15
Tabel 3. 3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	16
Tabel 3. 4 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit	24
Tabel 3. 5 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal untuk elemen Tertekan	25
Tabel 3. 6 Panjang Bentang untuk Pengekal Lateral	28
Tabel 3. 7 Faktor Kondisi, ϕ_c	33
Tabel 3. 8 Faktor Sistem, ϕ_s	34
Tabel 4. 1 Dimensi Profil Rangka Diagonal	40
Tabel 4. 2 Dimensi Profil Rangka Tepi	40
Tabel 4. 3 Dimensi Profil Bracing Atas	41
Tabel 4. 4 Dimensi Profil Gelagar Melintang dan Memanjang	41
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Gaya Tekan Aksial Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)	64
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Gaya Tarik Aksial Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)	65
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Momen Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)	66
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Gaya Geser Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)	67
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kapasitas Tekan Profil	75
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kapasitas Tarik Profil	76
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Profil	76
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Kapasitas Geser Profil	77
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tekan	81
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tarik	81
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Lentur	82
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Geser	82
Tabel 5. 13 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Aksial Tekan (Kondisi Kuat)	85
Tabel 5. 14 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Aksial Tarik (Kondisi Kuat)	85
Tabel 5. 15 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Momen Lentur (Kondisi Kuat)	85

Tabel 5. 16 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Gaya Geser (Kondisi Kuat)	85
Tabel 5. 17 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Aksial Tekan (Kondisi Layan)	86
Tabel 5. 18 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Aksial Tarik (Kondisi Layan)	86
Tabel 5. 19 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Momen Lentur (Kondisi Layan)	86
Tabel 5. 20 Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Gaya Geser (Kondisi Layan)	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jembatan Pabelan	3
Gambar 3. 1 Komponen Jembatan Rangka	13
Gambar 3. 2 Beban Lajur “D”	17
Gambar 3. 3 Beban Lajur “T”	18
Gambar 3. 4 Faktor Beban Dinamis (FBD)	19
Gambar 3. 5 Faktor Panjang Tekuk	24
Gambar 3. 6 Tahapan untuk Penilaian Beban	31
Gambar 4. 1 Lokasi Jembatan Pabelan	35
Gambar 4. 2 Kodefikasi Rangka Tampak Samping Jembatan Pabelan	38
Gambar 4. 3 Kodefikasi Rangka Tampak Atas Jembatan Pabelan	38
Gambar 4. 4 Kodefikasi Rangka Tampak Bawah Jembatan Pabelan	39
Gambar 4. 5 Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 5. 1 Output Berat Mati Sendiri	45
Gambar 5. 2 Input Beban Lapisan Aspal + Overlay	46
Gambar 5. 3 Input Beban Trotoar	47
Gambar 5. 4 Input Beban Pipa Railing	47
Gambar 5. 5 Input Beban Lajur D (BTR)	48
Gambar 5. 6 Input Beban Lajur D (BGT)	49
Gambar 5. 7 Input Beban Rem	50
Gambar 5. 8 Input Beban Pejalan Kaki	51
Gambar 5. 9 <i>Template Model 2D Trusses</i>	51
Gambar 5. 10 Penyesuaian Posisi Batang Rangka Utama	52
Gambar 5. 11 <i>Material Property Data</i> Beton	53
Gambar 5. 12 <i>Material Property Data</i> Baja	53
Gambar 5. 13 <i>Input Frame Section Properties</i>	54
Gambar 5. 14 <i>Input Frame</i> Batang Atas (BA1)	54
Gambar 5. 15 <i>Input Frame</i> Batang Tepi Atas (BTA1)	55
Gambar 5. 16 <i>Input Frame</i> Batang Tepi Bawah (BTB1)	55

Gambar 5. 17 <i>Input Frame Batang Diagonal (D1)</i>	56
Gambar 5. 18 <i>Input Frame Gelagar Melintang (GM)</i>	56
Gambar 5. 19 <i>Input Frame Gelagar Panjang (GP)</i>	57
Gambar 5. 20 Hasil Permodelan Struktur Rangka Jembatan	57
Gambar 5. 21 <i>Define Area Section</i>	58
Gambar 5. 22 <i>Draw Area Section</i>	58
Gambar 5. 23 <i>Joint Offset Overwrites Pelat Lantai</i>	59
Gambar 5. 24 Posisi pelat Lantai Setelah <i>Offset</i>	59
Gambar 5. 25 <i>Releases partial fixity</i>	60
Gambar 5. 26 <i>Load Assignment</i>	60
Gambar 5. 27 <i>Load Combination</i>	61
Gambar 5. 28 <i>Input Combination KUAT 1</i>	61
Gambar 5. 29 <i>Input Combination KUAT 1 T</i>	62
Gambar 5. 30 <i>Input Combination LAYAN</i>	62
Gambar 5. 31 <i>Input Combination LAYAN 1 T</i>	63
Gambar 5. 32 <i>Running Linear Analysis – Axial Forces</i>	63
Gambar 5. 33 <i>Running Linear Analysis – Moment pada gelagar memanjang</i>	64
Gambar 5. 34 <i>Running Linear Analysis – Moment pada gelagar melintang</i>	64
Gambar 5. 35 Grafik Rekapitulasi Gaya Tekan Aksial Terfaktor	65
Gambar 5. 36 Grafik Rekapitulasi Gaya Tarik Aksial Terfaktor	66
Gambar 5. 37 Grafik Rekapitulasi Momen Lentur Terfaktor	66
Gambar 5. 38 Grafik Rekapitulasi Gaya Geser Terfaktor	67
Gambar 5. 39 Detail Posisi Profil WF 400.400.16.33 (BTB3)	68
Gambar 5. 40 Detail Posisi Profil WF 400.400.16.33 (BTA2)	68
Gambar 5. 41 Detail Posisi Profil WF 750.300.20.30 (GM)	71
Gambar 5. 42 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Tekan Profil	75
Gambar 5. 43 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Tarik Profil	76
Gambar 5. 44 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Profil	77
Gambar 5. 45 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Geser Profil	77
Gambar 5. 46 Grafik Perbandingan P_n dan P_u Elemen Tekan	78
Gambar 5. 47 Grafik Perbandingan P_n dan P_u Elemen Tarik	78

Gambar 5. 48 Grafik Perbandingan M_n dan M_u Elemen Momen	78
Gambar 5. 49 Grafik Perbandingan M_n dan M_u Elemen Geser	79
Gambar 5. 50 Grafik Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Kondisi Kuat	87
Gambar 5. 51 Grafik Rekapitulasi <i>Rating Factor</i> Kondisi Layan	87
Gambar 5. 52 Detail Posisi Profil WF 400.350.10.13 (D3)	92
Gambar 5. 53 Detail Posisi Profil WF 200.100.10.11 (BA2)	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Pengambilan Data KESBANGPOL Magelang	98
Lampiran 2 Surat izin penelitian DPMPTSP Magelang	99
Lampiran 3 Surat Izin Pengambilan Data Dinas PU Magelang	100
Lampiran 4 Surat izin penelitian dari Dinas PU Magelang	101
Lampiran 5 Pengukuran Tinggi Profil Diagonal	102
Lampiran 6 Pengukuran Lebar Profil Diagonal	102
Lampiran 7 Pengukuran Tinggi Profil Batang Bawah	103
Lampiran 8 Pengukuran Lebar Profil Batang Bawah	103
Lampiran 9 Pencatatan Hasil Dimensi Profil	104

ABSTRAK

Jembatan memiliki peran krusial dalam mendukung aktivitas manusia, terutama dalam memastikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan yang melintas di atasnya. Namun, seiring berjalannya waktu, kondisi jembatan dapat menurun akibat faktor usia dan peningkatan beban lalu lintas. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi struktur atas jembatan melalui analisis *rating factor* guna mengetahui kapasitas sisa jembatan dalam menanggung beban kerja serta memastikan kelayakan operasionalnya.

Metode penelitian dimulai dengan pengukuran langsung elemen rangka jembatan, diikuti dengan analisis kapasitas penampang dan pembebanan menggunakan *SAP2000* untuk memperoleh gaya-gaya dalam pada tiap elemen. Setelah mendapatkan kapasitas dan gaya dalam tersebut, dilakukan perhitungan nilai *rating factor*. Penelitian ini berpedoman pada RSNI T-03-2005 untuk kapasitas penampang, SNI 1725:2016 untuk pembebanan jembatan, serta *Pedoman Penentuan Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting (03/SE/M/2016) untuk analisis *rating factor*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *rating factor* paling kritis adalah 1,092 pada kondisi kuat dan 1,052 pada kondisi layan. Dengan demikian, berdasarkan metode ini, struktur atas Jembatan Pabelan masih dinilai layak untuk melayani beban lalu lintas di atasnya.

Kata Kunci: Rangka Jembatan, Rating Factor, Kondisi Kuat, Kondisi Layan

ABSTRACT

Bridges have a crucial role in supporting human activities, especially in ensuring safety and comfort for road users traveling on them. However, over time, the condition of the bridge can decline due to age and increased traffic loads. Therefore, it is necessary to evaluate the bridge's upper structure through rating factor analysis to determine the bridge's remaining capacity to bear workloads and ensure its operational feasibility.

The research method begins with direct measurement of bridge frame elements, followed by analysis of cross-sectional capacity and loading using SAP2000 to obtain internal forces on each element. After obtaining the capacity and internal force, the rating factor value was calculated. This research is guided by RSNI T-03-2005 for cross-sectional capacity, SNI 1725: 2016 for bridge loading, and Guidelines for Determining Bridge Load Rating for Existing Bridges (03/SE/M/2016) for rating factor analysis.

The analysis results show that the most critical rating factor values are 1.092 under strong conditions and 1.052 under service conditions. Thus, based on this method, the upper structure of the Pabelan Bridge is still considered feasible to serve the traffic load on it.

Keywords: Bridge Truss, Rating Factor, Strong Condition, Serviceable Condition

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur transportasi memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kelancaran mobilitas manusia. Salah satu komponen utama dari infrastruktur ini adalah jembatan. Jembatan berfungsi sebagai penghubung antara dua lokasi yang terpisah oleh rintangan alami seperti lembah, sungai, laut, atau selat, serta jalur-jalur transportasi seperti jalan raya dan rel kereta api (Manu, 1995).

Keamanan dan kenyamanan pengguna jalan yang melintasi jembatan merupakan aspek yang sangat penting. Seiring berjalannya waktu, kondisi jembatan dapat menurun karena berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi kondisi eksternal seperti pengaruh lingkungan (erosi air, gempa, korosi, dan longsor), serta faktor internal seperti ketahanan jembatan terhadap beban berlebih dan kondisi fisik struktur jembatan itu sendiri. Oleh karena itu, struktur jembatan harus mampu menghadapi dan mengakomodasi faktor-faktor tersebut agar tetap dapat berfungsi dengan optimal.

Jembatan pada penelitian ini yaitu Jembatan Pabelan yang berada di Desa Progowati, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Jembatan ini menggunakan struktur rangka baja dengan panjang bentang 60 m dan lebar 10 m yang memiliki 2 lajur jalan. Jembatan ini menggunakan baja tipe *warren truss* yang dibangun pada tahun 2017. Selama Jembatan Pabelan beroperasi, bagian struktur atas jembatan mengalami sedikit kerusakan fisik, yaitu terdapat retak pada plat lantai sehingga perlu adanya evaluasi pada jembatan. Dapat dilihat pada gambar 1.1 di halaman selanjutnya.

Masa layan sebuah jembatan yang berdiri sejak 2017 dapat mengalami penurunan kondisi akibat berbagai faktor, seperti beban kendaraan yang melebihi kapasitas yang telah direncanakan untuk ditanggung oleh struktur jembatan, serta faktor lingkungan seperti cuaca, bencana alam, dan korosi. Penurunan ini dapat menyebabkan jembatan mengalami kegagalan fungsi yang membahayakan

pengguna. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap komponen jembatan, sehingga jembatan dapat berfungsi secara optimal, aman, nyaman, dan lancar dengan masa layan yang maksimal.

Evaluasi jembatan dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan cara analisis kapasitas yaitu analisis *rating factor* yang membandingkan nilai beban terhadap kapasitas Jembatan, Jembatan yang digunakan untuk metode ini adalah jembatan eksisting. Dibandingkan dengan metode uji beban, evaluasi hidraulik dan geoteknik, analisis ini lebih efisiensi biaya, waktu, dan tidak merusak struktur serta tidak diperlukan alat khusus, akan tetapi metode ini hanya menilai kondisi eksistingnya saja yang mana untuk bahan material yang digunakan pada jembatan tersebut sulit di analisis dan hanya mempertimbangkan beban lalu lintas untuk beban hidupnya. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan kapasitas sisa rangka jembatan setelah menahan beban mati dengan beban lalu lintas. Dalam perhitungan *rating factor*, analisis ini mengacu pada draft pedoman penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan yang sudah ada (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016).

Penelitian mengenai *rating factor* pernah dilakukan oleh Saputra dkk. (2020) pada Jembatan Cinapel dengan menggunakan struktur beton prategang pada ruas tol Cisumdawu didapatkan nilai *Rating Factor* untuk seluruh elemen yang ditinjau telah memenuhi syarat yang ditentukan, artinya struktur Jembatan Cinapel layak dan mampu dalam melayani lalu lintas yang melintas jembatan. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Zaeni dkk. (2022) pada Jembatan Pelawi yang merupakan jembatan rangka baja terdapat nilai *Rating Factor* yang tidak memenuhi syarat, sehingga jembatan sebaiknya diberi pembatasan beban kendaraan yang melintas pada atas jembatan serta penambahan perkuatan struktur salah satunya dengan penambahan prategang eksternal pada jembatan. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan analisis struktur atas Jembatan Pabelan untuk menentukan nilai *rating factor* sebagai indikator penilaian kelayakan di sisa umur masa layan jembatan tersebut.



Gambar 1. 1 Jembatan Pabelan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

1.2 Rumusan masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka terdapat dua rumusan masalah untuk Analisis *Rating Factor* pada Jembatan Pabelan sebagai berikut.

1. Berapakah nilai *rating factor* struktur atas Jembatan Pabelan berdasarkan analisis SNI 1725:2016?
2. Bagaimana kelayakan struktur atas Jembatan Pabelan berdasarkan SNI 1725:2016?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. mendapatkan nilai *rating factor* pada struktur atas Jembatan Pabelan berdasarkan analisis dengan menggunakan SNI 1725:2016, dan
2. mengidentifikasi kelayakan struktur atas Jembatan Pabelan berdasarkan analisis dengan menggunakan SNI 1725:2016.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat memberikan wawasan bagi perencana struktur jembatan mengenai analisis *rating factor* dengan menggunakan pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016.
2. Penelitian ini dapat menjadi pedoman atau acuan dasar dalam perawatan dan rehabilitasi jembatan.
3. Menjadi pertimbangan bagi Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magelang dalam menilai kapasitas sisa masa layanan jembatan.

1.5 Batasan Penelitian

Pembatasan masalah bertujuan untuk mencegah penyimpangan atau perluasan dari inti permasalahan, sehingga penelitian dapat lebih terfokus dan terarah. Dengan demikian, pembahasan dapat dilakukan secara lebih sistematis, memungkinkan pencapaian tujuan penelitian secara optimal. Adapun batasan penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis dalam penelitian ini difokuskan pada struktur Jembatan Pabelan yang terletak di Kabupaten Magelang, dengan tipe rangka baja *Warren Truss*.
2. Analisis struktur dalam penelitian ini mencakup bangunan atas jembatan, yang terdiri dari elemen rangka batang seperti batang atas, batang bawah, batang diagonal, dan gelagar, sedangkan struktur bawah jembatan tidak diperhitungkan.
3. Perhitungan *rating factor* dalam penelitian ini mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan eksisting (03/SE/M/2016).
4. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak *CSI:SAP2000* dan *Ms.Excel*.
5. Perhitungan pembebanan dalam analisis ini mengacu pada standar pembebanan jembatan terbaru, yaitu SNI 1725:2016.
6. Perhitungan Kapasitas tampang mengacu pada RSNI T-03-2005.

7. Analisis *rating factor* dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan efek akibat beban mati dan beban hidup yang mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan eksisting (03/SE/M/2016).
8. Mutu baja dan mutu beton yang digunakan mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan eksisting (03/SE/M/2016).
9. Penelitian ini hanya ditinjau dari aspek teknik tanpa mempertimbangkan analisis dari segi biaya dan waktu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan adalah struktur yang dibangun untuk menghubungkan dua lokasi yang terpisah oleh rintangan alami atau buatan, seperti sungai, lembah, atau jalan raya. Fungsinya adalah untuk memudahkan pergerakan orang, kendaraan, dan barang dari satu tempat ke tempat lain. Jembatan dapat terbuat dari berbagai bahan seperti beton, baja, kayu, dan kabel, serta memiliki berbagai desain seperti jembatan gantung, jembatan lengkung, dan jembatan penyangga. Pembuatannya memerlukan perencanaan dan teknik rekayasa yang cermat untuk memastikan keamanan dan ketahanannya terhadap beban serta kondisi lingkungan. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan, berbagai aspek perlu diperhitungkan agar jembatan dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan kebutuhan transportasi. Aspek lalu lintas harus dipertimbangkan dengan menyesuaikan desain jembatan terhadap volume kendaraan, jenis lalu lintas, dan kapasitas jalan guna mendukung kelancaran mobilitas. Selain itu, aspek teknis juga krusial untuk memastikan bahwa struktur jembatan memenuhi standar keamanan dan kekuatan, termasuk pemilihan material, metode konstruksi, serta ketahanannya terhadap beban dan kondisi lingkungan. Tak kalah penting, aspek estetika juga harus diperhatikan agar jembatan memiliki nilai arsitektural yang harmonis dengan lingkungan sekitar, sehingga tidak hanya fungsional tetapi juga memiliki nilai estetis (Supriyadi & Muntohar, 2007).

Menurut Asiyanto (2008) Jembatan rangka baja adalah salah satu jenis struktur jembatan yang terdiri dari rangkaian batang-batang baja yang dihubungkan melalui proses pengelasan atau penggunaan baut. Beban yang bekerja pada jembatan ini akan disalurkan melalui batang-batang baja dalam bentuk gaya tekan dan tarik yang diteruskan melalui titik buhul agar distribusi gaya berjalan optimal, garis netral setiap batang harus bertemu pada satu titik buhul yang sama. Hal ini

penting untuk menghindari timbulnya momen sekunder yang dapat mempengaruhi stabilitas dan kinerja struktur jembatan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang membahas mengenai *rating factor* pada jembatan sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Penelitian tersebut dapat dijadikan acuan atau referensi yang akan penulis lakukan.

1. Analisis *Rating Factor* Jembatan Sardjito I Dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016.

Muluk (2021) Pada penelitian ini menganalisis *rating factor* pada Jembatan Sardjito I, sebuah jembatan rangka baja tipe *Warren Truss* dengan bentang 61,50 meter dan lebar 9,90 meter yang dibangun pada tahun 1984. Analisis dilakukan berdasarkan SNI 1725:2016 dan menunjukkan variasi nilai *rating factor* pada setiap elemen jembatan. Pada elemen rangka diagonal dengan profil I/WF 300.300.10.15, diperoleh nilai *inventory rating factor* sebesar 1,147, yang mengindikasikan bahwa kapasitas profil tersebut masih mencukupi untuk menahan beban rencana. Dengan demikian, struktur Jembatan Sardjito I dinyatakan layak digunakan, sehingga evaluasi tahap lanjut, seperti *proof load testing* dan *diagnostic load testing* untuk menentukan batasan kendaraan yang diizinkan, tidak diperlukan.

2. Analisis Struktur Atas Jembatan Tulung Menggunakan Metode *Rating Factor*.

Faqih (2022) pada penelitian ini meninjau Jembatan Tulung, yang memiliki struktur rangka baja Australia tipe *Warren Truss* dengan bentang 46,5 meter dan lebar jalan 7 meter, dibangun pada tahun 1990. Tujuan penelitian ini adalah menentukan nilai *rating factor* serta mengevaluasi kelayakan struktur atas jembatan berdasarkan analisis SNI 1725:2016. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *rating factor* paling kritis adalah 1,30 pada kondisi kuat dan 1,74 pada kondisi layan. Dengan demikian, berdasarkan metode ini, struktur atas Jembatan Tulung masih dinilai layak untuk melayani beban kerja atau lalu lintas di atasnya.

3. Evaluasi Struktur Atas Jembatan Rangka Panjang Menggunakan *Rating Factor* Berdasarkan SNI Baja 1729:2020.

Himanna (2022) pada penelitian ini menganalisis Jembatan Panjang dengan bentang 60 meter dan lebar 9 meter, yang memiliki dua lajur. Tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui nilai *rating factor* serta mengetahui kelayan struktur atas jembatan Panjang berdasarkan analisis DAM dan ELM SNI Baja 1729:2020. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) dan *Effective Length Method* (ELM) berdasarkan SNI 1729:2020. Perhitungan gaya dalam pada setiap elemen struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *rating factor* paling kritis untuk metode DAM dan ELM masing-masing adalah 1,06 dan 1,10. Dengan demikian, berdasarkan kedua metode tersebut, struktur atas Jembatan Panjang masih dinilai layak untuk melayani beban desain yang bekerja.

4. Analisis Nilai Kapasitas Struktur Atas Jembatan Dengan Menggunakan Metode *Rating Factor*.

Saputra dkk. (2020). Penelitian ini menganalisis *rating factor* dengan membandingkan sisa kapasitas penampang jembatan setelah melayani beban mati dan beban lalu lintas, mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting dari Menteri Pekerjaan Umum (03/SE/M/2016). Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *rating factor* yang dihitung menggunakan beban kendaraan standar AASHTO lebih besar dibandingkan dengan beban kendaraan standar SNI. Perbedaan ini disebabkan oleh beban kendaraan standar AASHTO yang lebih kecil dibandingkan dengan beban kendaraan standar SNI. Berdasarkan perhitungan *rating factor* pada elemen gelagar dan plat, diperoleh nilai RF untuk momen lentur bervariasi antara 1,92 hingga 6,65, sedangkan untuk gaya geser berkisar antara 2,48 hingga 8,63. Dengan demikian, struktur Jembatan Cinapel bentang P1-P5 arah Dawuan dinilai layak dan mampu melayani lalu lintas yang melewati jembatan.

5. Analisis Nilai kapasitas jembatan eksisting menggunakan metode *rating factor*.

(Rifadzi Zaeni dkk. 2022). Penelitian ini menganalisis struktur jembatan menggunakan perangkat lunak *SAP2000* untuk menentukan nilai kapasitas jembatan. Kapasitas tersebut kemudian dikalikan dengan faktor reduksi, termasuk faktor reduksi nilai kondisi, faktor reduksi sistem (baja dan beton), serta faktor reduksi LRFD (≤ 1). Hasil perhitungan ini juga digunakan dalam analisis *rating factor* untuk menilai keamanan struktur jembatan, dengan kriteria $RF < 1$ menunjukkan kondisi tidak aman, sedangkan $RF \geq 1$ menunjukkan kondisi aman. Hasil analisis pada Jembatan Pelawi menunjukkan bahwa untuk bentang 60 meter, kapasitas jembatan adalah 317 ton dengan lendutan ultimit sebesar 0,060 meter, yang mampu menahan beban sebesar 317 ton. Sementara itu, untuk bentang 80 meter, kapasitas jembatan tetap 317 ton dengan lendutan ultimit sebesar 0,090 meter, yang juga mampu menahan beban sebesar 317 ton. Dengan demikian, struktur jembatan dinilai masih mampu melayani beban kerja yang direncanakan.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dikaji, penelitian mengenai analisis struktur atas Jembatan Pabelan menggunakan metode *rating factor* belum pernah dilakukan. Beberapa penelitian dan tugas akhir sebelumnya telah dirangkum hasilnya dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan dan yang Akan Dilakukan

Peneliti	Saputra dkk (2019)	Muluk (2021)	Himmana (2022)	Faqih (2022)	Zaeni dkk (2022)	Penulis (2025)
Judul Penelitian	Analisis Nilai Kapasitas Struktur Atas Jembatan Dengan Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>	Analisis <i>Rating Factor</i> Jembatan Sardjito I Dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016	Evaluasi Struktur Atas Jembatan Rangka Panjang Menggunakan <i>Rating Factor</i> Berdasarkan SNI Baja 1729:2020	Analisis Struktur Atas Jembatan Tulung Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>	Analisis Nilai kapasitas jembatan eksisting menggunakan metode <i>rating factor</i> .	Analisis Struktur Atas Jembatan Pabelan Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>
Tujuan Penelitian	Mengetahui komponen jembatan terhadap pembebanan dengan menggunakan	Untuk mengetahui nilai <i>rating factor</i> dan kelayakan struktur atas	Untuk mengetahui nilai <i>rating factor</i> dan kelayakan struktur atas jembatan	Untuk mengetahui nilai <i>rating factor</i> dan kelayakan struktur atas jembatan	Mengetahui nilai <i>rating factor</i> pada struktur atas jembatan, nilai	Untuk mengetahui nilai <i>rating factor</i> dan kelayakan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan dan yang Akan Dilakukan

Peneliti	Saputra dkk (2019)	Muluk (2021)	Himmana (2022)	Faqih (2022)	Zaeni dkk (2022)	Penulis (2025)
	metode <i>rating factor</i>	jembatan Sardjito I berdasarkan pembebanan SNI 1725:2016	Panjang berdasarkan analisis DAM dan ELM SNI baja 1729:2020	Tulung berdasarkan SNI 1725:2016	kapasitas dan lendutan ultimit pada struktur atas jembatan	struktur atas Jembatan Pabelan berdasarkan pembebanan SNI 1725:2016
Hasil Penelitian	Hasil analisis memperoleh nilai <i>rating factor</i> untuk momen lentur adalah bervariasi dari 1,92 sampai dengan 6,65.	Hasil analisisnya hanya dibatasi hingga <i>inventory rating factor</i> terendah yaitu sistem rangka (<i>truss</i>) dengan	Hasil analisis berdasarkan DAM dan ELM kelayakan struktur atas jembatan rangka panjang mendapatkan nilai <i>rating</i>	Hasil analisis <i>load factored method</i> kelayakan struktur atas jembatan menemukan nilai <i>rating factor</i>	Berdasarkan nilai kondisi pada struktur atas Jembatan Pelawi yang berbentang 60 meter dan 80 meter didapatkan nilai	Hasil analisis <i>rating factor</i> paling kritis untuk kondisi kuat adalah pada elemen batang diagonal sebesar 1,092, Gelagar sebesar 1,852,

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan dan yang Akan Dilakukan

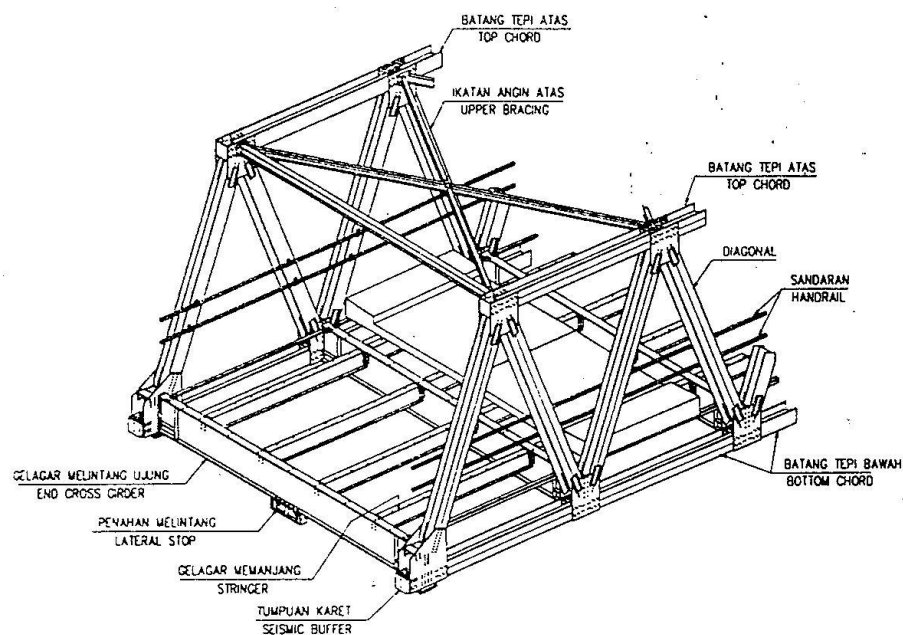
Peneliti	Saputra dkk (2019)	Muluk (2021)	Himmana (2022)	Faqih (2022)	Zaeni dkk (2022)	Penulis (2025)
	Sedangkan <i>rating factor</i> untuk gaya geser adalah bervariasi dari 2,48 sampai dengan 8,63 yang artinya struktur jembatan layak dan mampu dalam melayani beban lalu lintas yang melewati jembatan	nilai <i>rating factor</i> sebesar 1,147 lalu diafragma dengan nilai <i>rating factor (floorbeam)</i> sebesar 14,8 dan gelagar bawah interior (<i>stinger</i>) dengan nilai <i>rating factor</i> sebesar 1,515	<i>factor</i> paling kritis terjadi pada elemen gelagar (<i>floorbeam</i>) berturut turut sebesar 1,06 dan 1,10 yang berarti masih mampu menerima beban desain yang bekerja.	paling kritis terjadi pada elemen gelagar (<i>floorbeam</i>) sebesar 1,3 yang berarti masih mampu menahan beban rencana yang bekerja.	kondisi sebesar 0 dengan faktor reduksi sebesar 1 dikarenakan jembatan dapat dikatakan masih dalam kondisi yang baik.	Dan <i>bracing</i> sebesar 9,688. Sedangkan untuk kondisi layan adalah pada elemen rangka utama sebesar 1,052, Gelagar sebesar 2,458, dan <i>Bracing</i> sebesar 12,083.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Struktur Rangka Jembatan

Jembatan rangka adalah struktur jembatan yang terdiri dari rangkaian batang – batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lain. Beban atau muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan kepada batang – batang baja struktur tersebut, sebagai gaya – gaya tekan dan tarik, melalui titik – titik pertemuan batang (titik buhul). Garis netral tiap – tiap batang yang bertemu pada titik buhul harus saling berpotongan pada satu titik saja, untuk menghindari timbulnya momen sekunder Asiyanto (2008). Berikut merupakan gambar komponen jembatan rangka dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Komponen Jembatan Rangka

Dalam gambar 3.1 secara umum dijelaskan bahwa komponen jembatan rangka terdiri dari :

1. *top chord member*, batang tepi atas
2. *bottom chord member*, batang tepi bawah
3. *diagonal member*, batang diagonal
4. *top chord bracing*, pengaku bagian atas
5. *bottom chord bracing*, pengaku bagian bawah
6. *stringer*, balok memanjang
7. *cross girder*, balok melintang

3.2 Pembebanan

Untuk mendapatkan besarnya gaya yang bekerja pada tiap elemen rangka batang untuk nantinya dianalisis kapasitas penampangnya, sebelum dilakukan analisis kapasitasnya perlu untuk memperhitungkan beban-beban yang akan diterima oleh struktur jembatan. Terkait analisis pembebanan, dalam perencanaan struktur jembatan di Indonesia berpedoman pada Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725:2016. Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2016) pengaruh pembebanan diklasifikasi menurut asal sumber beban. antara lain:

1. aksi tetap (beban permanen),
2. aksi sementara (beban lalu lintas),
3. aksi lingkungan, dan
4. aksi lainnya.

3.2.1 Aksi tetap (*Permanent Actions*)

Aksi tetap didefinisikan sebagai beban permanen yang selalu melekat pada struktur jembatan selama masa operasionalnya. Aksi ini mencakup berat sendiri struktur (M_s) dan beban mati tambahan (M_A).

1. Berat Sendiri Struktur (M_s)

Berat sendiri struktur adalah berat material pada elemen struktur yang menjadi bagian integral dari jembatan, termasuk elemen non-struktur yang dianggap tetap. Berat sendiri dihitung berdasarkan kerapatan massa dan berat isi

material seperti Tabel 3.1 dan adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 1 Berat isi untuk beban mati

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

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tabel 3. 2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{MS})		Keadaan Batas Layan (γ^U_{MS})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,0	1,10	0,90
	Alumunium	1,0	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,0	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,0	1,30	0,75
	Kayu	1,0	1,40	0,70

(Sumber : SNI 1725:2016)

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat dari seluruh elemen non-struktural pada jembatan yang dapat berubah selama umur jembatan. Beban ini mencakup material yang ditambahkan di atas struktur utama tanpa menjadi bagian dari elemen penahan beban utama. Contoh beban mati tambahan adalah lapisan ulang permukaan aspal (*overlay*) setebal 50 mm dengan berat jenis (γ) aspal sebesar 25 kN/m³. Faktor beban untuk Beban Mati Tambahan dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

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

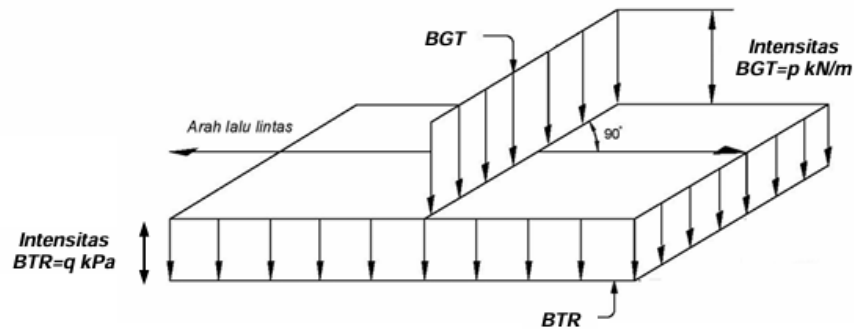
(Sumber : SNI 1725:2016)

3.2.2 Aksi Sementara (*Transient Action*)

Aksi sementara adalah tindakan yang diakibatkan oleh beban sementara yang terjadi secara berulang. Berikut ini adalah beberapa contoh aksi sementara.

1. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” adalah beban pada setiap lajur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata (q kPa) dan beban garis terpusat (p). Besarnya beban q dipengaruhi oleh panjang total jembatan (L), di mana untuk $L \leq 30$ m, nilai q adalah 9,0 kPa, sedangkan untuk $L > 30$ m, nilai q dihitung dengan rumus $q = 9,0 (0,5 + 15/L)$ kPa. Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p sebesar 49,0 kN/m ditempatkan tegak lurus arah lalu lintas pada jembatan. Ketentuan ini sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.3.1 yang mengatur pembebanan pada jembatan untuk memastikan keamanan struktur terhadap beban lalu lintas. Penyebaran beban lajur “D” dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

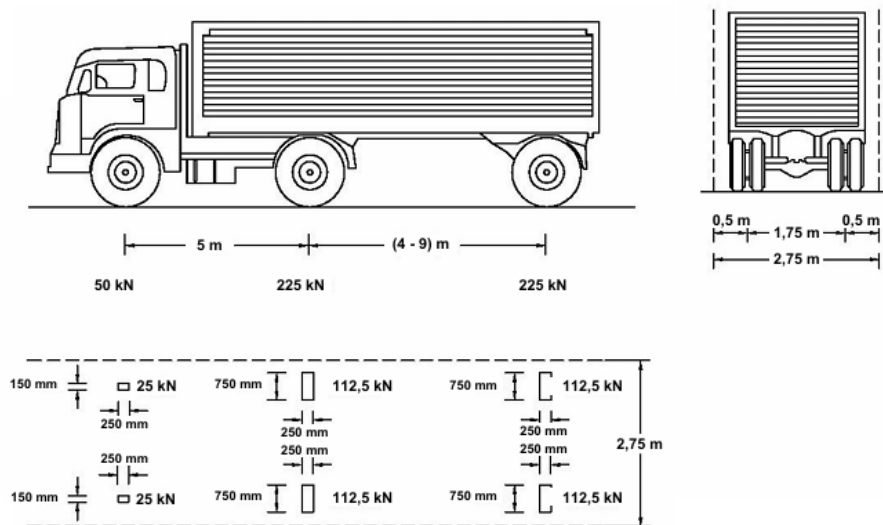


Gambar 3. 2 BebanLajur “D”
(Sumber : SNI 1725:2016)

Beban "D" harus disusun melintang untuk menghasilkan momen maksimum. Penyusunan komponen beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) dari beban "D" pada arah melintang harus sama.

2. Beban Truk “T”

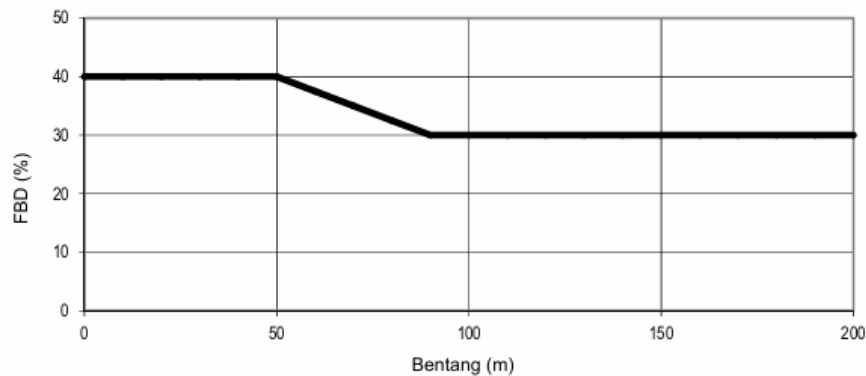
Beban truk terdiri dari kendaraan truk *semi-trailer* dengan susunan dan berat sumbu tertentu, di mana setiap sumbu mendistribusikan beratnya menjadi dua beban merata yang sama besar untuk mencerminkan area kontak antara roda dan permukaan lantai. Jarak antara kedua sumbu dapat disesuaikan antara 4,0 m hingga 9,0 m guna menghasilkan pengaruh terbesar di sepanjang arah memanjang jembatan. Persebaran beban truk “T” dapat dilihat pada Gambar 3.3 di halaman selanjutnya.



Gambar 3. 3 Beban Lajur "T"
(Sumber : SNI 1725:2016)

3. Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dan dipengaruhi oleh frekuensi dasar suspensi kendaraan, biasanya antara 2 hingga 5 Hz untuk kendaraan berat, serta frekuensi getaran lentur jembatan. Dalam perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen, di mana besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari pembebanan truk "T" harus cukup untuk menciptakan interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Nilai tambah FBD dinyatakan dalam fraksi dari beban statis dan diterapkan pada keadaan batas daya layan serta batas ultimit. Beban garis FBD dapat dilihat pada Gambar 3.4 di halaman selanjutnya.



Gambar 3. 4 Faktor Beban Dinamis (FBD)

(Sumber : SNI 1725:2016)

Untuk bentang tunggal Panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekivalen L_e digunakan rumusan sebagai berikut.

$$L_e = \sqrt{L_{av} \times L_{max}} \quad (3.1)$$

Keterangan :

L_{av} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

L_{max} adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

4. Gaya Rem

Gaya rem harus ditempatkan di setiap lajur rencana yang dimuati dengan lalu lintas searah. Gaya ini diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan di masing-masing arah longitudinal, dan dipilih yang paling menentukan. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

1. 25% dari berat gandar truk desain atau,
2. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR).

3.3 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan adalah gabungan dari berbagai jenis beban yang dapat bekerja secara simultan pada struktur jembatan. Kombinasi ini digunakan dalam perancangan untuk memastikan keamanan dan ketahanan jembatan terhadap berbagai kondisi operasional dan lingkungan. Dalam penelitian ini digunakan kombinasi beban Kuat 1 dan Layan 1 yang mengacu pada SNI 1725:2016 dan akan disederhanakan guna mempermudah melakukan analisis *Rating Factor* seperti berikut ini.

1. Kuat 1 $= 1,1 M_s + 1,4 M_A$
2. Kuat 1 T $= 1,8 (T_D + T_P + T_B)$
3. Layan 1 $= M_s + M_A$
4. Layan 1 T $= (T_D + T_P + T_B)$

3.4 Kapasitas Nominal Komponen Struktur

Kapasitas nominal komponen struktur adalah kemampuan elemen struktur jembatan rangka baja dalam menahan beban sesuai dengan mutu materialnya. Dalam penelitian ini, kapasitas nominal komponen struktur dihitung berdasarkan analisis yang mengacu pada RSNI T-03-2005 (Standar & Indonesia, 2005).

3.3.1 Komponen Struktur Batang Tarik

Dalam menentukan tahanan nominal suatu batang tarik, harus diperiksa terhadap tiga kondisi keruntuhan yang menentukan, yaitu:

1. Leleh dari luas penampang kotor, Terjadi di daerah yang jauh dari sambungan, ketika tegangan tarik mencapai tegangan leleh material pada seluruh penampang bruto.
2. Fraktur dari luas penampang efektif pada daerah sambungan Terjadi akibat tegangan tarik yang melampaui kekuatan ultimate material pada penampang netto yang dipengaruhi oleh lubang baut atau pengurangan penampang
3. Geser blok pada sambungan Terjadi ketika kombinasi gaya geser dan tarik menyebabkan kegagalan pada blok material di sekitar sambungan baut atau las.

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

$$N_u \leq \phi N_n \quad (3.2)$$

RSNI T-03-2005 menggunakan notasi N_u untuk menyatakan gaya tarik aksial terfaktor. Namun, dalam penelitian ini digunakan notasi P_n untuk membedakannya dari notasi gaya tekan aksial yang akan dibahas pada bagian selanjutnya. P_n merupakan tahanan nominal penampang yang ditentukan berdasarkan tiga jenis keruntuhan yang telah disebutkan sebelumnya. Nilai P_n diambil sebagai nilai terendah dari beberapa persamaan berikut:

1. Kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto:

$$P_n = A_g f_y \quad (3.3)$$

2. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif:

$$P_n = A_e f_u \quad (3.4)$$

3. Kuat tarik nominal berdasarkan perencanaan rupture

- a. kuat geser rupture nominal

$$P_n = 0,6 A_{ev} f_u \quad (3.5)$$

- b. kuat tarik rupture nominal

$$P_n = A_{et} f_u > 0,6 A_{ev} f_u \quad (3.6)$$

- c. kuat tarik dan geser rupture nominal

1. untuk $A_{et} f_u \geq 0,6 A_{ev} f_u$

$$P_n = 0,6 A_{gv} f_y + A_{et} f_u \quad (3.7)$$

2. untuk $0,6 A_{ev} f_u \geq A_{et} f_u$

$$P_n = 0,6 A_{nv} f_u + A_{gt} f_y \quad (3.8)$$

Keterangan :

A_g = luas penampang bruto (mm^2)

A_{gt} = luas penampang bruto terhadap tarik (mm^2)

A_{gv} = luas penampang bruto terhadap geser (mm^2)

A_{et} = luas penampang efektif terhadap tarik (mm^2)

A_{ev} = luas penampang efektif terhadap geser (mm^2)

F_y = tegangan leleh, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa)

F_u = tegangan tarik putus, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa)

Nilai ϕ dalam persamaan (3.2) diambil sebesar 0,9 untuk hubungan dengan persamaan (3.3), dan ϕ diambil sebesar 0,75 untuk hubungan dengan persamaan (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) dan (3.8).

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut:

$$A_e = AU \quad (3.9)$$

$$U = 1 - (x / L) \leq 0,90 \quad (3.10)$$

Keterangan:

A = luas penampang netto, dinyatakan dalam milimeter persegi, (mm²)

U = faktor reduksi

x = eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, dinyatakan dalam milimeter (mm)

L = panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

Dalam penelitian ini, pengukuran sambungan tidak dilakukan karena sulit dijangkau, sehingga dikhawatirkan hasilnya tidak akurat. Menurut (Setiawan, 2008) batas maksimum luas penampang netto adalah $0,85 \times A_g$. Oleh karena itu, dalam penentuan luas penampang netto, asumsi yang digunakan mengikuti batas maksimum tersebut.

3.3.2 Struktur Batang Tekan

Struktur batang tekan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu batang tekan utama yang berfungsi menahan beban tekan, pengaku yang mencegah terjadinya tekuk, serta tumpuan atau base plate yang mentransfer beban ke pondasi atau struktur di bawahnya. Selain itu, terdapat sambungan yang menghubungkan batang tekan dengan elemen lainnya, seperti balok atau rangka, serta profil atau penampang yang mempengaruhi kekuatan dan stabilitas batang tekan. Kombinasi dari komponen-komponen ini memastikan bahwa batang tekan dapat berfungsi

dengan baik tanpa mengalami kegagalan akibat tekuk atau keruntuhan. Berdasarkan RSNI T-03-205 struktur yang memikul gaya tekan aksial terfaktor harus memenuhi:

$$1. \quad N_u \leq \phi N_n \quad (3.11)$$

Dengan pengertian

ϕ adalah terfaktor reduksi kekuatan, diambil dari nilai-nilai yang dapat dilihat pada table 3.5 berikut ini.

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur tekan

2. Perbandingan kelangsingan:

a. Kelangsingan elemen penampang (Tabel 4 RSNI T-03-2005) $< \lambda_r$ (3.12)

b. Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140$ (3.13)

3. Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar dari λ_r yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Berdasarkan RSNI T-03-2005 kuat tekan akibat tekuk lentur digunakan notasi N_n , namun dalam penelitian ini menggunakan notasi P_n . Perhitungan kuat tekan akibat tekuk lentur dapat ditentukan sebagai berikut:

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) A_g f_y \text{ untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (3.14)$$

$$P_n = \frac{(0,88)}{\lambda_c} A_g f_y \text{ untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (3.15)$$

$$\lambda_c = \frac{(L_k)}{r \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3.16)$$

$$L_k = K_c \times L \quad (3.17)$$

Keterangan:

A_e = luas penampang efektif (mm²)

A_g = luas penampang bruto (mm²)

F_y = tegangan leleh (MPa)

λ_c = parameter kelangsingan

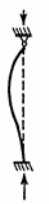
K_c = faktor Panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan rangka

E = modulus elastisitas bahan baja (MPa)

L = panjang batang (mm)

L_k = Panjang batang tekuk (mm)

Untuk faktor panjang tekuk dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

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

Gambar 3. 5 Faktor Panjang Tekuk

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Tabel 3. 4 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit

Situasi Rencana	Faktor Reduksi (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 <i>Fraktur</i>	0,75
e. Penghubung Geser	0,75
f. Sambungan Baut	0,75
g. Hubungan Las	
1. Las Tumpul Penetrasi Penuh	0,90
2. Las Sudut dan Las Tumpul Penetrasi Sebagian	0,75

(Sumber: RSNI T-03-2005)

3.3.3 Komponen Struktur Lentur

Berdasarkan RSNI T-03-2005 suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat, harus memenuhi:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (3.20)$$

Keterangan :

M_u = momen lentur terfaktor (Nmm)

M_n = momen lentur nominal (Nmm)

Untuk melakukan kontrol terhadap tekuk lokal baik di sayap dan badan profil, dapat digunakan pada table 3.5 dibawah ini.

Tabel 3. 5 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal untuk elemen Tertekan

Jenis Elemen	λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
		λ_p (kompak)	λ_p (tak-kompak)
Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$\frac{170}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{F_y - F_r}}$
Bagian-bagian pelat dalam tekan akibat lentur	h/t_w	$\frac{1680}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{2550}{\sqrt{F_y}}$

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Momen lentur nominal harus memenuhi syarat dibawah ini:

1. Penampang Kompak

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

$$M_n = M_n = f_y \times Z \quad (3.19)$$

2. Penampang Tidak Kompak

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

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \times \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (3.20)$$

$$M_n = (f_y - f_r) \times S \quad (3.21)$$

3. Penampang Langsing

Pelat sayap yang memenuhi $\lambda > \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang adalah sebagai berikut:

1. Pelat sayap yang memenuhi $\lambda > \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang adalah sebagai berikut:

$$M_n = M_r \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 \quad (3.22)$$

2. Pelat badan yang memenuhi $\lambda > \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang adalah sebagai berikut:

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr} \quad (3.23)$$

$$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r}\right) \times \left(\frac{h}{t_w} \times \frac{2500}{\sqrt{f_{cr}}}\right) \quad (3.24)$$

Fcr ditentukan dengan syarat:

- a. Elemen struktur yang memenuhi $\lambda_G \leq \lambda_p$

$$f_{cr} = f_y \quad (3.25)$$

- b. Elemen struktur yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$

$$f_{cr} = C_b \times f_y \times \left(1 - \frac{\lambda_G - \lambda_p}{2(\lambda - \lambda_p)}\right) \leq f_y \quad (3.26)$$

- c. Elemen yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda_G$

$$f_{cr} = f'_c \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_g}\right)^2 \quad (3.27)$$

$$f'_c = \left(\frac{C_b \times f_y}{2}\right) \leq f_y \quad (3.28)$$

$$C_b = \left(\frac{12,5 \times M_{max}}{M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}\right) \leq 2,3 \quad (3.29)$$

Keterangan:

M_p = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis penampang (Nmm)

M_r = momen batas tekuk (Nmm)

S = modulus penampang elastis (mm³)

Z = modulus penampang plastis (mm³)

λ_p = parameter kelangsingan untuk penampang kompak

- λ_r = parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak
- λ_G = faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap yang didapat dari $(\frac{bf}{2 \times tf})$ dimana bf adalah lebar plat sayap (mm), dan tf adalah tebal plat sayap (mm).
- K_g = Koefisien balok pelat berdinding penuh
- F_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap
 = 70 MPa untuk penampang digilas (panas)
 = 110 MPa untuk penampang dilas
- F_{cr} = tegangan kritis (MPa)
- ar = perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan
- C_b = faktor pengali momen
- N_{max} = momen maksimum absolut pada bentang yang ditinjau, serta M_A , M_B , dan M_C adalah masing-masing momen absolut pada $\frac{1}{4}$ bentang, tengah bentang, dan $\frac{3}{4}$ bentang komponen struktur yang ditinjau.

3.3.4 Pengekang Lateral

Kuat lentur nominal suatu penampang harus mampu menahan pengaruh tekuk lateral, yang bergantung pada panjang bentang antara dua pengekang lateral terdekat. Berdasarkan RSNI T-03-2005, tekuk lateral dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

1. Bentang Pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah:

$$M_n = M_p \quad (3.30)$$

2. Bentang Menengah

Komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah sebagai berikut.

$$M_n = C_b (M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p}) \leq M_p \quad (3.31)$$

3. Bentang Panjang

Komponen struktur yang memenuhi $L \geq L_r$ kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah sebagai berikut.

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (3.32)$$

Keterangan:

L = panjang bentang diantara dua pengekang lateral terhadap displacement lateral dari sayap tekan, atau diantara dua pengekang untuk menahan potongan terhadap twist (mm)

Perhitungan panjang bentang untuk pengekang lateral dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Panjang Bentang untuk Pengekal Lateral

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

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Dimana,

$$F_L = f_y - f_r \quad (3.33)$$

$$J = \frac{1}{3} \times (b \times t^3) \quad (3.34)$$

$$I_w = I_y \times \left(\frac{h}{2} \right)^2 \quad (3.35)$$

$$G = 80000 \text{ MPa} \quad (3.36)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja (MPa)

I_y = Inersia pada sumbu y (mm⁴)

G = modulus geser baja (MPa)

I_w = konstanta warping (mm^6)

J = konstanta torsi (mm^4)

r_y = jari-jari girasi pada sumbu y (mm)

3.3.5 Komponen Struktur Geser

Kekuatan struktur geser pada badan tanpa aksi medan tarik dapat dihitung pada persamaan berikut.

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \quad (3.37)$$

Dengan,

F_y = tegangan leleh minimum untuk tipe baja yang digunakan (MPa)

A_w = luas badan, tebal keseluruhan dikalikan tebal badan (mm^2)

Untuk menggunakan persamaan diatas, maka harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (3.38)$$

Dengan pengertian,

$$K_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (3.39)$$

Dengan pengertian,

E = modulus elastisitas baja (200.000 MPa)

h = jarak bersih antara sayap-sayap (mm)

t_w = tebal badan (mm)

k_n = Koefisien tekuk geser pelat badan

a = jarak bersih antara pengaku transversal (mm)

3.3.6 Interaksi Aksial dan Lentur

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan berikut:

Jika $\frac{Nu}{\phi_c N_n} \geq 0,2$; maka,

$$\frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 0,1 \quad (3.40)$$

Jika $\frac{Nu}{\phi_c N_n} \leq 0,2$; maka,

$$\frac{Nu}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 0,1 \quad (3.40)$$

Keterangan:

Nu = gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor (N)

Nn = kuat nominal penampang (N)

ϕ_c = faktor reduksi kekuatan komponen tekan

Mux = momen lentur terfaktor terhadap sumbu x (Nmm)

Muy = momen lentur terfaktor terhadap sumbu y (Nmm)

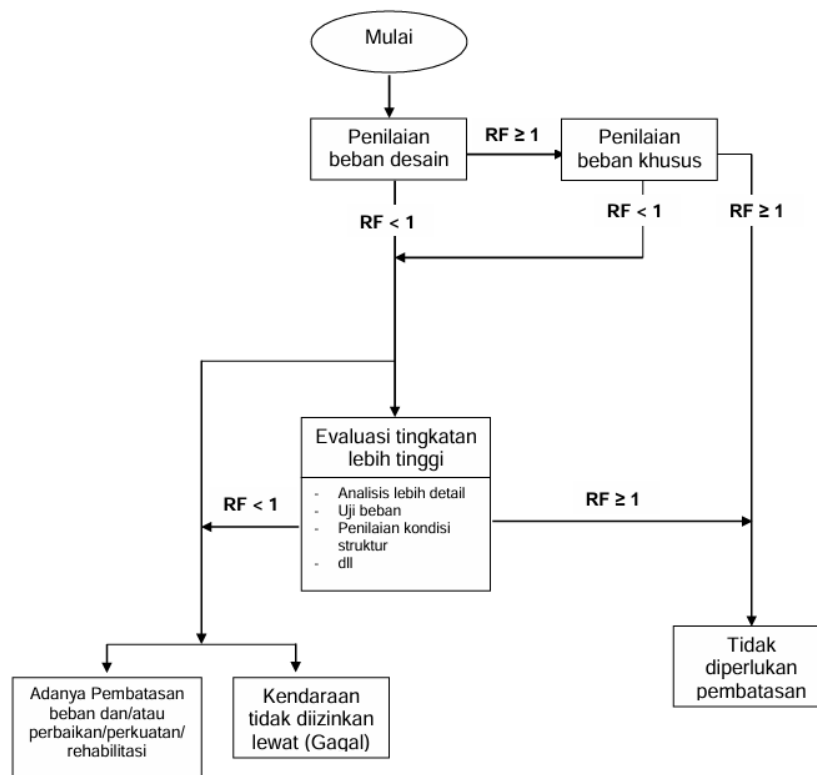
Mnx = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu x (Nmm)

Mny = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu y (Nmm)

ϕ_b = faktor reduksi kuat lentur

3.5 Metode *Rating Factor*

Metode *Rating Factor* (RF) menurut Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting (03/SE/M/2016) digunakan untuk menilai kapasitas beban maksimum yang aman dilalui oleh jembatan dalam kondisi lalu lintas harian maupun kendaraan khusus. Proses ini diawali dengan pengumpulan data dan pemeriksaan visual untuk menilai kondisi aktual jembatan, diikuti dengan analisis struktur guna menghitung kapasitas elemen struktural utama seperti gelagar dan pelat lantai. Selanjutnya, beban hidup ditentukan berdasarkan standar pembebanan yang berlaku, seperti SNI 1725:2016. Jika nilai RF lebih dari 1, jembatan dianggap aman, sedangkan jika RF kurang dari atau sama dengan 1, diperlukan evaluasi lebih lanjut, seperti pembatasan beban atau perkuatan struktur. Metode ini penting untuk memastikan keamanan dan keandalan jembatan eksisting serta mendukung pengambilan keputusan dalam pemeliharaan dan perkuatan jembatan. *Rating Factor* dihitung dengan membandingkan kapasitas sisa elemen struktur setelah mempertimbangkan beban mati dan efek beban hidup. Adapun diagram alir yang menguraikan pendekatan prosedur penilaian beban ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 di halaman selanjutnya.



Gambar 3. 6 Tahapan untuk Penilaian Beban
(Sumber: SE/M/2016 Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating*)

Hasil analisis *rating factor* dapat digunakan sebagai dasar untuk membatasi beban kendaraan yang melewati jembatan atau untuk menentukan kebutuhan perkuatan, baik sebagian maupun menyeluruh, jika nilai *rating factor* (RF) < 1,0. Prosedur perhitungan *rating factor* secara analitik dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Mengumpulkan data dan informasi yang kemudian digunakan untuk menetapkan model yang didasarkan pada hasil inspeksi di lapangan.
2. Menganalisis hasil evaluasi lapangan untuk memahami kondisi asli jembatan
3. Menetapkan pembebanan untuk melakukan analisis struktur dan analisis kekuatan pada struktur jembatan.
4. Menetapkan metode yang akan digunakan (*Load Factored Method* atau *Working Stress Method*).
5. Menghitung *rating factor* (RF).

3.4.1 Persamaan Umum

Persamaan umum yang digunakan untuk menilai beban pada setiap komponen yang mengalami gaya dalam, seperti gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser, dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(D_C) - (\gamma_{DW})(D_W)}{(\gamma_{LL})(L_L - I_M)} \quad (3.42)$$

Untuk kondisi kekuatan batas:

$$C = \phi_c \phi_s \phi R_n \quad (3.43)$$

Untuk kondisi batas layan:

$$C = f_R \quad (3.44)$$

Keterangan:

RF = Faktor penilaian (*rating factor*)

C = Kapasitas elemen struktur (tarik, tekan, geser, dan lentur)

f_R = Tegangan yang diizinkan ditentukan dalam LRFD

R_n = Ketahanan nominal elemen

D_C = Beban mati karena komponen struktural dan tambahannya

D_W = Beban mati akibat lapisan permukaan dan utilitas yang digunakan

L_L = Beban hidup

I_M = Beban dinamis

γ_{DC} = Faktor beban LRFD untuk komponen struktur dan tambahannya

γ_{DW} = Faktor beban LRFD untuk lapisan permukaan dan utilitas yang digunakan

γ_{LL} = Faktor evaluasi beban hidup

ϕ_c = Faktor kondisi

ϕ_s = Faktor system

ϕ = Faktor tahanan LRFD

3.4.2 Faktor Kondisi, ϕ_c (*condition factor*)

Faktor kondisi digunakan untuk mempertimbangkan peningkatan ketidakpastian daya layan akibat kerusakan pada komponen struktur serta potensi peningkatan kerusakan di masa depan. Faktor ini mengacu pada nilai kondisi struktur jembatan, yang dapat dilihat dalam Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Faktor Kondisi, ϕ_c

Nilai kondisi bangunan atas	Deskripsi kondisi	ϕ_c	
		Bangunan Atas	Lantai
0	Jembatan dalam keadaan baru tanpa Kerusakan Cukup Jelas. Elemen jembatan berada dalam kondisi baik	1,00	1,00
1	Kerusakan sangat sedikit (dapat diperbaiki dengan pemeliharaan rutin tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan)	1,00	1,00
2	Kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan di masa yang akan datang, memberikan tanda-tanda diperlukan penggantian	0,90	1,00
3	Kerusakan yang membutuhkan perhatian (kemungkinan akan menjadi serius dalam 1 bulan)	0,70	0,70
4	Kondisi kritis, kerusakan yang membutuhkan tindakan segera	0,30	0,30
5	Runtuh atau tidak berfungsi lagi	0	0

(Sumber: SE/M/2016 Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating*)

3.4.3 Faktor Sistem, ϕ_s (*system factor*)

Faktor sistem adalah faktor pengali yang memengaruhi ketahanan nominal elemen struktur jembatan yang dianalisis. Faktor ini mencerminkan tingkat kekompakan sistem yang terbentuk di antara komponen jembatan. Jika elemen-elemen jembatan mampu saling mendukung ketika salah satu elemen mengalami kegagalan, maka nilai faktor sistem akan tinggi. Sebaliknya, jika jembatan tidak mampu mempertahankan kestabilan strukturnya dalam kondisi tersebut, faktor sistem akan rendah, yang menghasilkan nilai *Rating Factor* (RF) yang lebih kecil. Hal ini dijelaskan dalam Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor: 03/SE/M/2016 Pasal 4.6.5. Nilai faktor sistem sesuai dengan sistem struktur atas jembatan yang telah dibangun dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Faktor Sistem, ϕ_s

Elemen	ϕ_s
Lentur	0,90
Geser	0,90
Aksial Tekan	0,85
Aksial Tarik terhadap kuat tarik leleh	0,90
Aksial Tarik terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Penghubung Geser	0,75
Sambungan Baut	0,75
Hubungan las tumpul penetrasi penuh	0,90
Hubungan las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

(Sumber: SE/M/2016 Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating*)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini merupakan studi analisis yang dilakukan melalui beberapa tahap. Tahapan pertama adalah pengumpulan data sekunder dari Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magelang dan berbagai sumber literatur, baik yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan, sebagai referensi dan acuan. Tahap berikutnya meliputi pengumpulan data primer melalui pengukuran langsung geometri rangka jembatan dan detail profil rangka. Selanjutnya, dilakukan pemodelan struktur rangka jembatan menggunakan *SAP2000* dan analisis *Rating Factor*. Hasil dari penelitian ini berupa nilai *rating factor* pada struktur rangka Jembatan Pabelan.

4.2 Lokasi Jembatan

Jembatan Pabelan memiliki panjang total 60 meter dan lebar 10 meter. Jembatan ini terletak di Jl. Sendangsono, Desa Progowati, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Gambaran lebih lanjut mengenai jembatan ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Jembatan Pabelan
(Google Maps)

4.3 Data Yang Dibutuhkan

Setiap metode penelitian memerlukan data pendukung yang dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan. Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan meliputi panjang dan lebar jembatan, dimensi profil, serta jenis struktur Jembatan Pabelan, yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lokasi serta informasi dari Dinas Pekerjaan Umum (PU) Kabupaten Magelang.

4.3.1 Data Administrasi

Berikut merupakan data administrasi yang diperoleh dari dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magelang (2024).

Nama Jembatan	: Jembatan Pabelan
Ruas Jalan	: Jl. Sendangsono
Tipe Jembatan	: Rangka Baja Jenis <i>Warren Truss</i>
Sungai	: Sungai Pabelan
Tahun Pembangunan	: 2017
Panjang Bentang	: 60 Meter
Jumlah Bentang	: 1
Lebar Bentang	: 9,6 Meter
Tinggi Jembatan	: 6,35 Meter

4.3.2 Material Jembatan

Jembatan Pabelan terdiri dari material beton dan baja, namun dalam penelitian ini, interaksi komposit tidak diperhitungkan sehingga hanya mutu material baja yang digunakan. Namun, untuk pemodelan plat lantai jembatan, mutu beton tetap diperlukan dan mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting. Sesuai ketentuan, untuk jembatan yang dibangun setelah tahun 1970, kuat tekan beton bertulang pada plat lantai ditetapkan sebesar 22 MPa, sedangkan mutu material baja ditentukan berdasarkan karakteristik struktur baja sesuai dengan tahun pembangunannya, seperti yang tercantum dalam Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting, maka digunakan mutu material baja sebagai berikut:

Mutu Beton (F'_c)	: 22 MPa
-----------------------	----------

Tegangan Leleh (F_y) : 250 MPa

Tegangan Leleh (F_u) : 360 MPa

4.3.3 Data Dimensi Jembatan

Berikut merupakan data dimensi jembatan yang diperoleh dengan pengukuran langsung di lapangan.

Panjang Jembatan Rangka : 60 Meter

Jumlah Lajur : 2 Lajur

Lebar Jalur Kendaraan : 7 Meter

Lebar Jembatan : 9,6 Meter

Tinggi Jembatan : 6,35 Meter

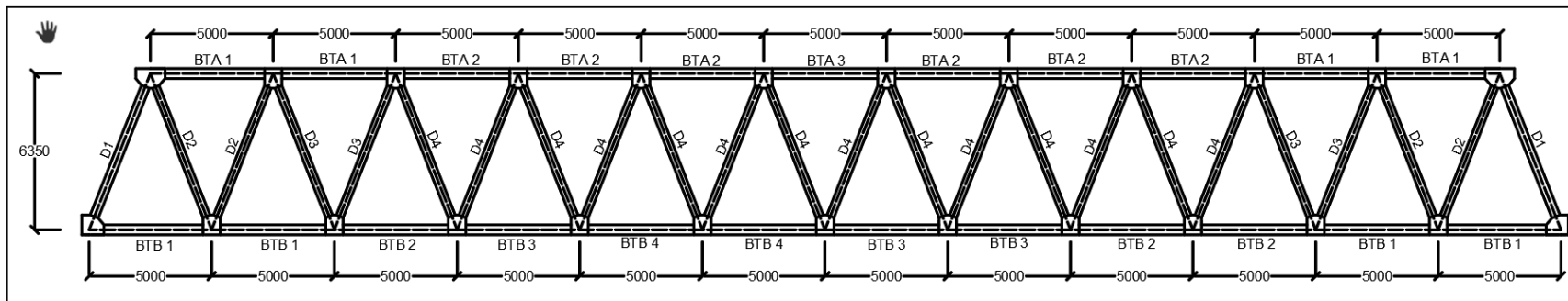
Lebar Trotoar : 1 Meter

Tinggi Trotoar : 250 Milimeter

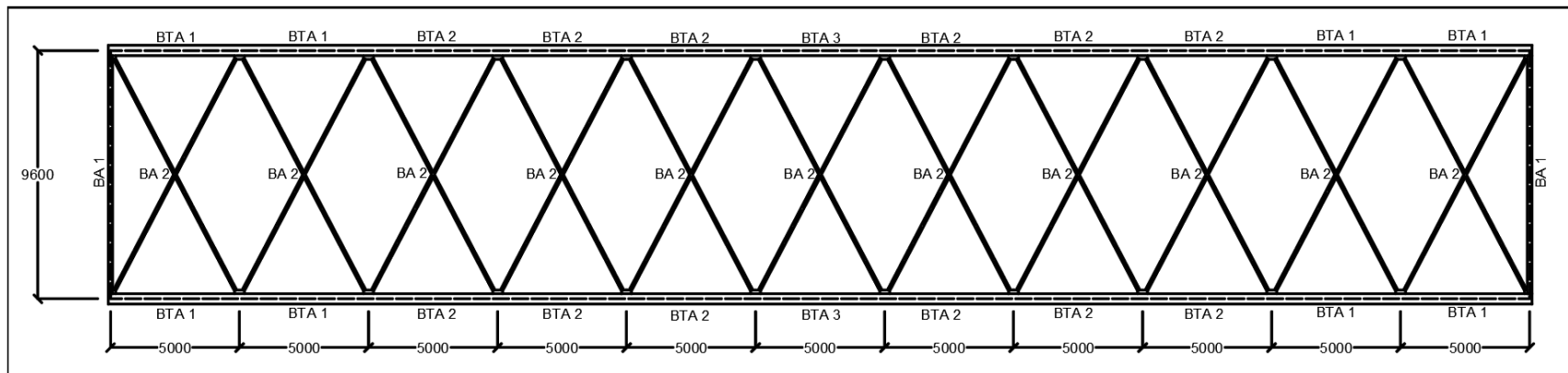
Tebal Plat Lantai : 250 Milimeter

4.3.4 Data Profil Jembatan

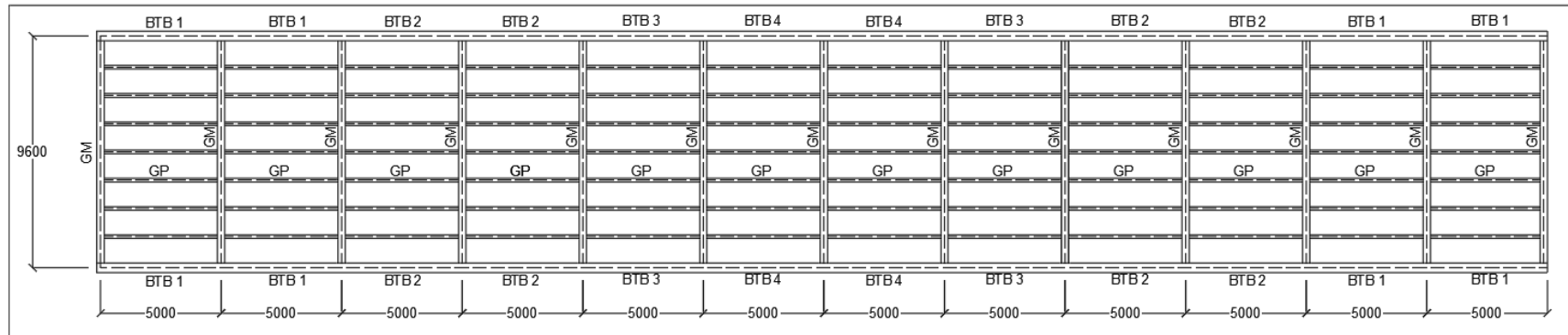
Data profil Jembatan Pabelan dalam penelitian ini diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Berdasarkan data yang terkumpul, jembatan Jembatan Pabelan menggunakan berbagai jenis profil dalam komponen rangkanya. Sebagian besar profil yang digunakan pada jembatan ini adalah profil WF (*Wide Flange*). Adapun Kodefikasi Rangka dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai 4.4 di halaman selanjutnya.



Gambar 4. 2 Kodefikasi Rangka Tampak Samping Jembatan Pabelan



Gambar 4. 3 Kodefikasi Rangka Tampak Atas Jembatan Pabelan



Gambar 4. 4 Kodefikasi Rangka Tampak Bawah Jembatan Pabelan

1. Rangka Diagonal

Pada elemen rangka diagonal, digunakan profil WF (*wide flange*) yang Menyusun rangka diagonal dengan dimensi yang bervariasi seperti pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Dimensi Profil Rangka Diagonal

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Dimensi Profil		Kode
Batang Diagonal	WF	400.350.10.20	D1
	WF	400.300.10.16	D2
	WF	400.300.10.13	D3
	WF	400.300.10.11	D4

2. Rangka Batang Tepi

Pada elemen rangka batang tepi, digunakan profil wide-flange yang menyusun rangka utama jembatan dengan dimensi bervariasi, tersaji pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Dimensi Profil Rangka Tepi

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Dimensi Profil		Kode
Batang Tepi Bawah	WF	400.400.16.17	BTB1
	WF	400.400.16.30	BTB2
	WF	400.400.16.33	BTB3
	WF	400.400.16.37	BTB4
Batang Tepi Atas	WF	400.400.16.17	BTA1
	WF	400.400.16.33	BTA2
	WF	400.400.16.37	BTA3

3. *Bracing Atas*

Pada elemen *bracing*, digunakan profil kombinasi antara *wide-flange* dan *angel* (L) yang tersaji pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Dimensi Profil Bracing Atas

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Elemen		Kode
<i>Bracing Atas</i>	WF	200.175.10.11	BA1
	WF	200.100.10.11	BA2

4. Gelagar Melintang dan Memanjang

Pada elemen Gelagar Melintang dan Memanjang, digunakan profil *wide flange* yang tersaji pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4. 4 Dimensi Profil Gelagar Melintang dan Memanjang

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Elemen		Kode
Gelagar Melintang	WF	750.300.20.30	GM
Gelagar Memanjang	WF	300.150.15.10	GP

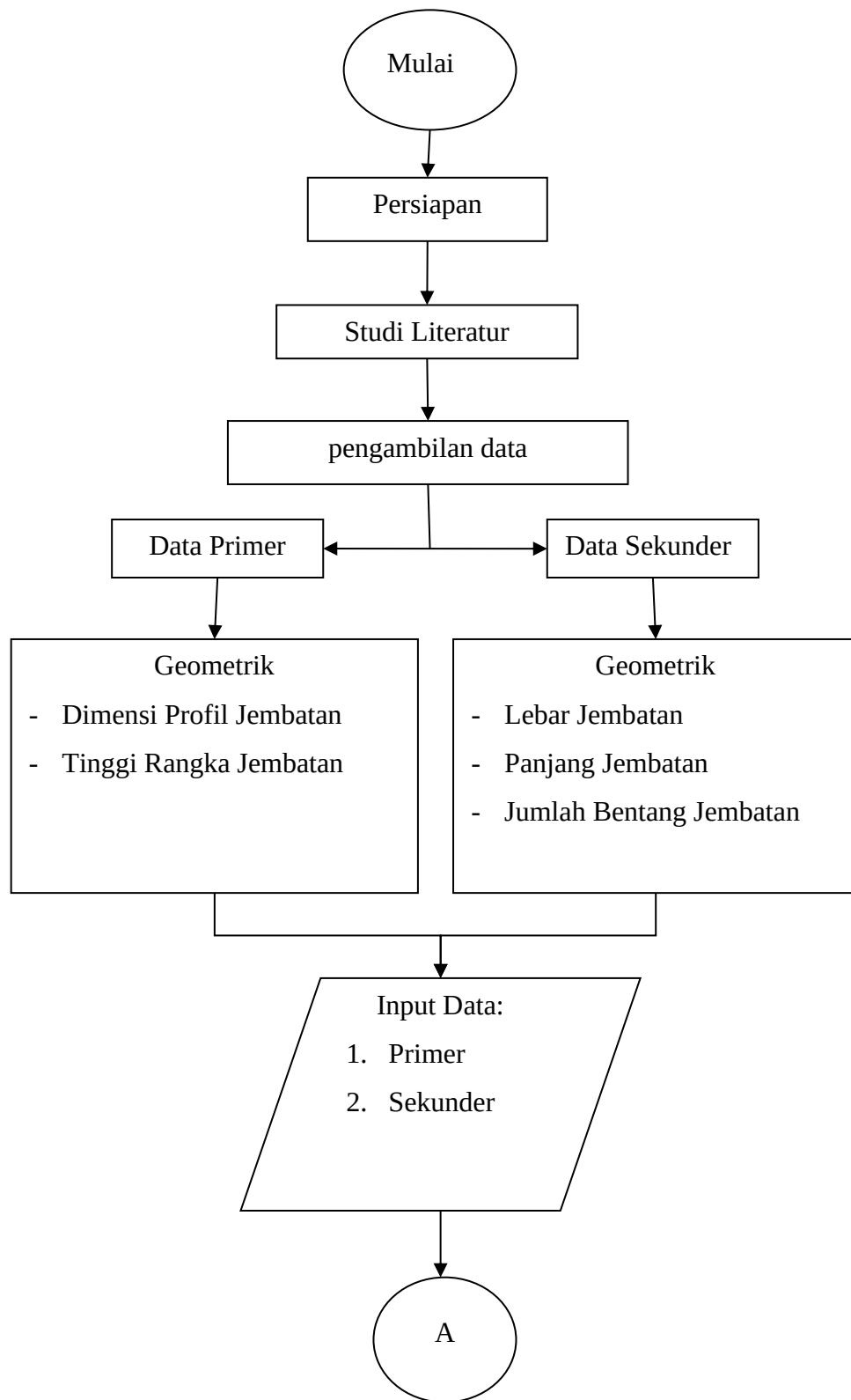
4.4 Bagan Alir Penelitian

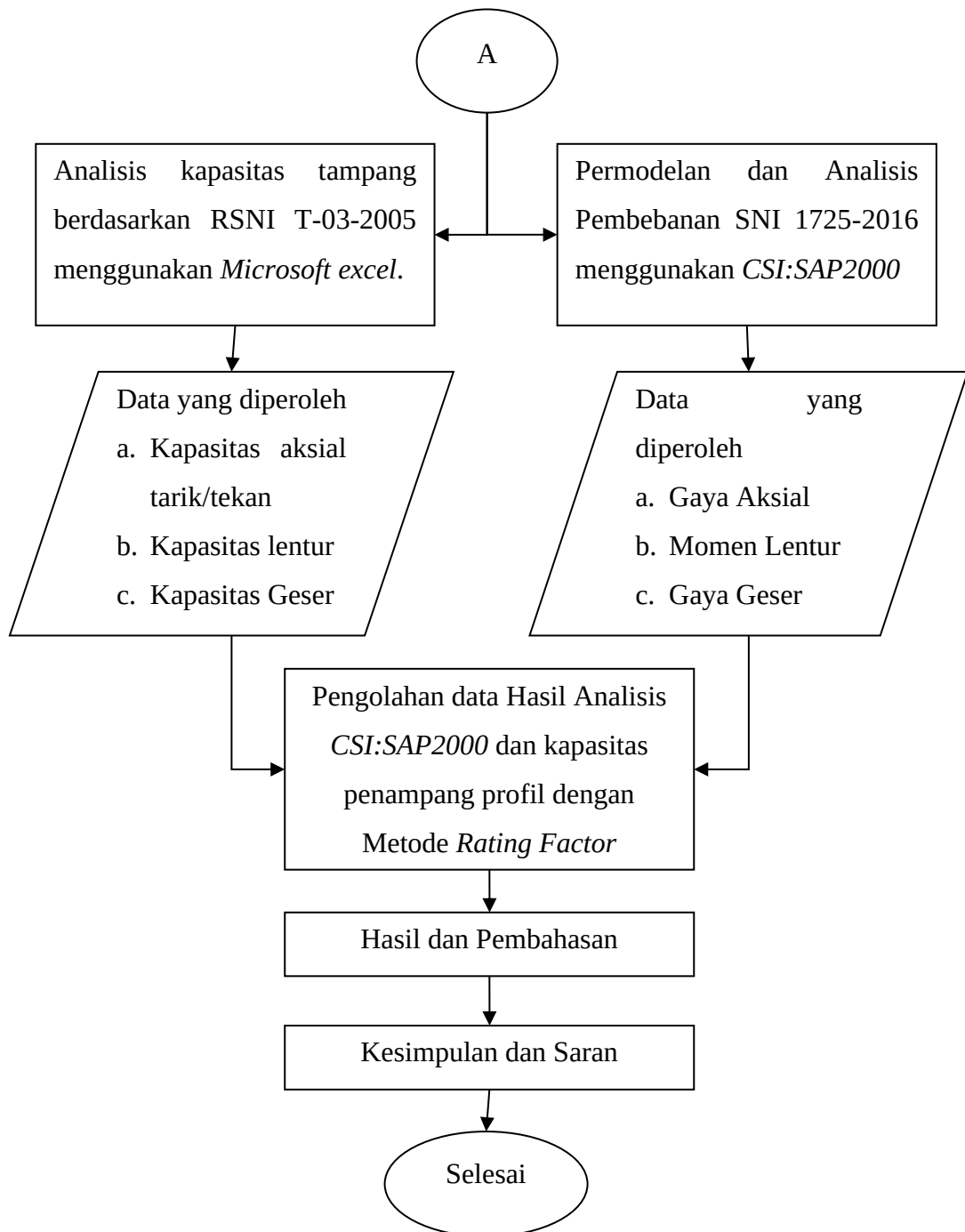
Berikut merupakan tahapan analisis pada penelitian ini.

1. Dimulai dari pengambilan data baik primer dan sekunder. Data primer didapatkan dengan cara pengukuran secara langsung di lokasi Jembatan Pabelan menggunakan meteran dan clipper . Data primer yang didapat berupa dimensi profil jembatan dan tinggi rangka jembatan. Sedangkan data sekunder didapatkan dari dinas Pekerjaan Umum (PU) Kabupaten Magelang. Data sekunder yang didapatkan berupa lebar jembatan, panjang jembatan, dan juga jumlah bentang pada jembatan.

2. Menggambar ulang spesifikasi dan konfigurasi struktur Jembatan Pabelan.
3. Menentukan beban yang bekerja pada jembatan berdasarkan standar SNI 1725:2016 mengenai pembebanan untuk jembatan.
4. Membuat pemodelan struktur atas jembatan menggunakan perangkat lunak *CSI:SAP2000*.
5. Melakukan running analysis pada model jembatan menggunakan *CSI:SAP2000*.
6. Menganalisis kapasitas penampang berdasarkan standar RSNI T-03-2005.
7. Mengolah data dan mengevaluasi respons struktur pada komponen jembatan menggunakan metode *Rating Factor*, sesuai dengan Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting 03/SE/M/2016.
8. Membahas hasil analisis rating factor, termasuk nilai terbesar dan terkecil pada setiap komponen rangka (*truss*) serta komponen lentur (*floorbeam* dan *stringer*) jembatan.
9. Menarik kesimpulan mengenai hasil analisis *Rating Factor* Jembatan Pabelan berdasarkan standar pembebanan SNI 1725:2016.

Langkah-langkah penyelesaian penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk flowchart pada Gambar 4.5 di halaman selanjutnya.





Gambar 4. 5 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Pembebanan

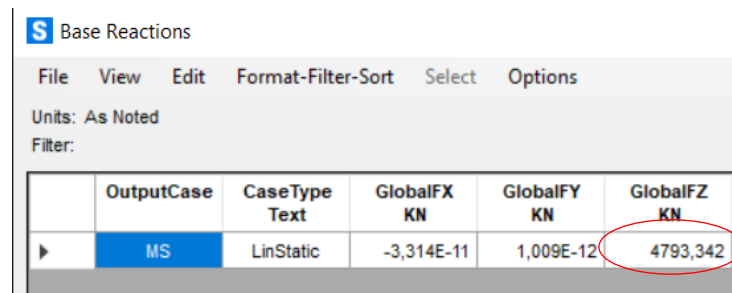
Pada struktur jembatan, berbagai jenis beban bekerja baik secara statis maupun dinamis. Dalam penelitian ini, analisis gaya dalam dilakukan dengan mempertimbangkan beban permanen dan beban hidup akibat kendaraan yang melintas, dengan tetap memperhatikan kondisi kuat batas. Pembebanan pada jembatan mengacu pada standar SNI 1725:2016, yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan besaran beban yang bekerja. Berikut adalah penjelasan mengenai penentuan beban-beban tersebut.

5.1.1 Beban Permanen

Beban permanen adalah elemen yang ada pada struktur jembatan sejak berdirinya jembatan.

1. Berat mati sendiri (Ms)

Berat mati sendiri merupakan berat elemen struktural jembatan, termasuk seluruh rangka baja dan pelat lantai kendaraan. Penentuan berat mati sendiri (Ms) dilakukan menggunakan program *CSI: SAP2000*, dan hasil pemodelan menunjukkan bahwa berat mati sendiri struktur sebesar 4793,342 kN. Dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



The screenshot shows the 'Base Reactions' window in SAP2000. The table displays the following data:

	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN
▶	MS	LinStatic	-3,314E-11	1,009E-12	4793,342

The value 4793,342 in the GlobalFZ column is circled in red.

Gambar 5. 1 Output Berat Mati Sendiri

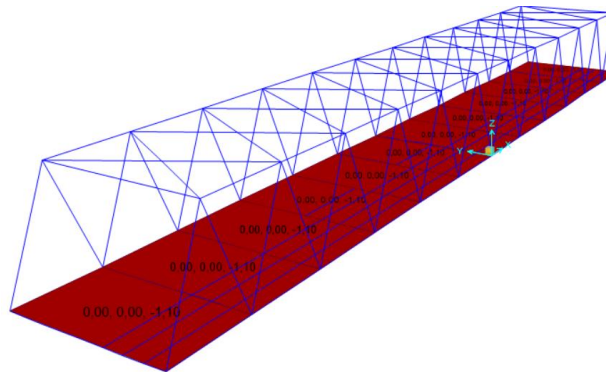
2. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan merupakan seluruh berat bahan dari elemen tambahan pada jembatan yang bersifat non structural, dan besar nilainya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam penelitian ini diperhitungkan beberapa beban mati tambahan diantaranya sebagai berikut:

a. Lapisan Aspal + Overlay

$$\begin{aligned}\text{Tebal Aspal + Overlay} &= 0,05 \text{ m} \\ \text{Berat Jenis Aspal} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Berat Akibat Aspal} &= 0,05 \times 22 \\ &= 1,1 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Lebar jalur jembatan tersebut adalah 7 m, maka pelat lantai dari ujung ke ujungnya diberi berat aspal sebesar $1,1 \text{ kN/m}^2$ yang dalam permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



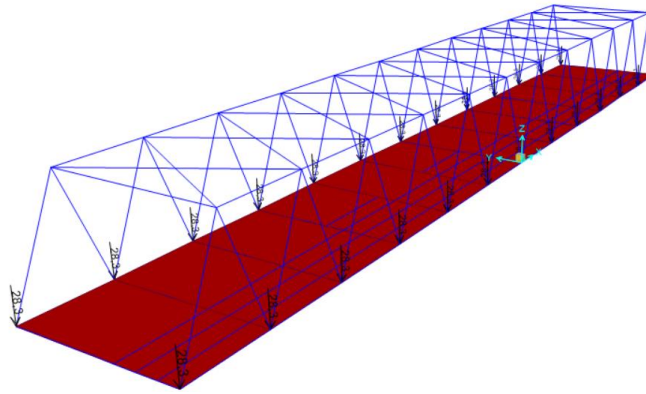
Gambar 5. 2 Input Beban Lapisan Aspal + Overlay

b. Trotoar

Besar beban trotoar dihitung 5 m panjang dan distribusikan menjadi beban titik di setiap buhul jembatan .

$$\begin{aligned}\text{Tebal trotoar} &= 0,25 \text{ m} \\ \text{Panjang} &= 5 \text{ m} \\ \text{Lebar trotoar} &= 1 \text{ m} \\ \text{Berat jenis beton} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Beban akibat trotoar} &= 0,25 \times 5 \times 1 \times 22 \\ &= 27,5 \text{ kN}\end{aligned}$$

Hal ini dapat diketahui bahwa besar nilai beban titik akibat trotoar di tiap buhul sebesar 27,5 kN. yang dalam permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



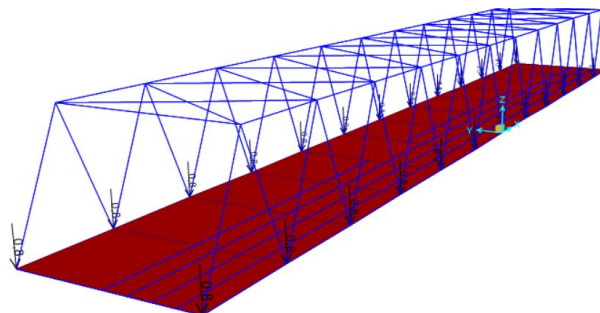
Gambar 5. 3 Input Beban Trotoar

c. Pipa Railing

Terdapat 2 baris pipa railing pada jembatan kemudian dihitung sepanjang segmen jembatan dan dibagi ke setiap titik buhul.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa railing} &= 60 \text{ m} \\
 \text{Jumlah titik buhul} &= 13 \\
 \text{Jumlah baris} &= 2 \\
 \text{Berat jenis pipa railing} &= 0,087 \text{ kN/m} \\
 \text{Beban akibat pipa railing} &= \frac{2 \times 60 \times 0,087}{13} \\
 &= 0,803 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, pada tiap titik buhul diberi beban akibat pipa railing sebesar 0,803 kN. yang dalam permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5. 4 Input Beban Pipa Railing

5.1.2 Beban Lalu Lintas

Dalam menentukan beban lalu lintas menggunakan kombinasi beban lajur, gaya rem, dan beban pejalan kaki yang berdasarkan pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan, seperti yang diurai dibawah ini:

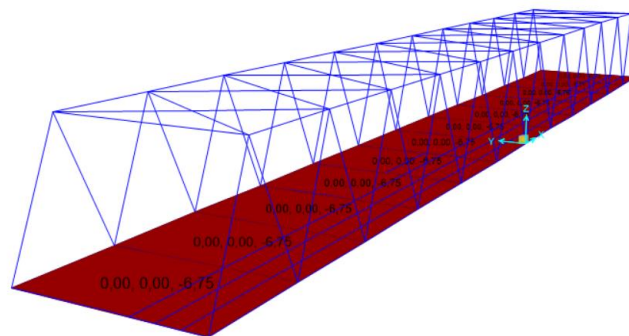
1. Beban Lajur “D” (T_D)

a. Beban Terbagi Merata (BTR)

Karena Panjang bentang 60 m, $L \geq 30$ m, maka beban terbagi merata (BTR),

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

Dari perhitungan diatas beban akan di tambahkan ke plat lantai yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5. 5 Input Beban Lajur D (BTR)

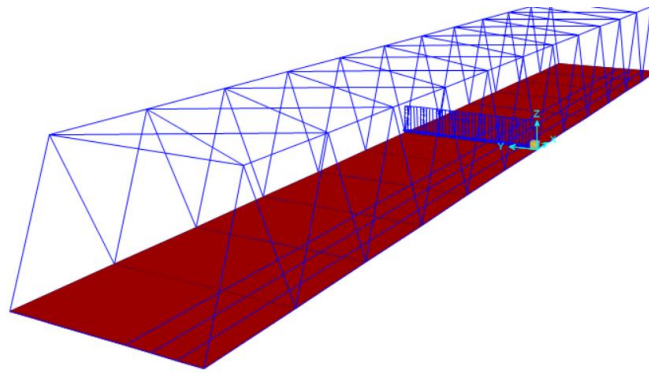
b. Beban Garis Terpusat (BGT)

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

Dengan mempertimbangkan faktor beban dinamis (FDB) dengan bentang jembatan 60 meter maka diperoleh, dalam permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.

$$\begin{aligned} BGT &= FDB \times P \\ &= 138\% \times P \\ &= 67,62 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas beban akan di tambahkan ke gelagar melintang pada tengah bentang yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5. 6 Input Beban Lajur D (BGT)

2. Beban Rem (T_B)

Gaya rem diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR), dalam permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.

$$\begin{aligned} T_{B1} &= 25\% \times 225 \\ &= 56,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{B2} &= 5\% \times (T_T + (BTR \times L \times B)) \\ &= 5\% \times (500 + (6,75 \times 60 \times 7)) \\ &= 166,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu $T_{B2} = 166,75 \text{ kN}$

Titik tangkap rem (dari profil bawah)

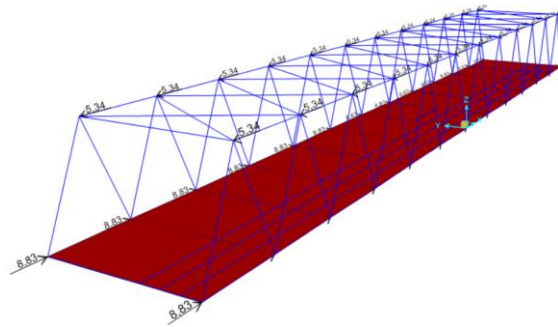
$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{2} \times H_{\text{profil}} + t_{\text{plat}} + t_{\text{aspal}} + 1,8 \\ &= \frac{1}{2} \times 0,35 + 0,25 + 0,05 + 1,8 \\ &= 2,275 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya rem untuk titik buhul

$$\begin{aligned} P_{B1} &= \frac{T_B \times y}{H} \times \frac{1}{n \text{ atas}} \\ &= \frac{166,75 \times 2,275}{6,35} \times \frac{1}{13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 4,978 \text{ kN} \\ P_{B2} &= \frac{T_B \times (H-y)}{H} \times \frac{1}{n \text{ atas}} \\ &= \frac{166,75 \times (6,35 - 2,275)}{6,35} \times \frac{1}{12} \\ &= 8,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas beban akan di tambahkan pada titik buhul atas dan bawah yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



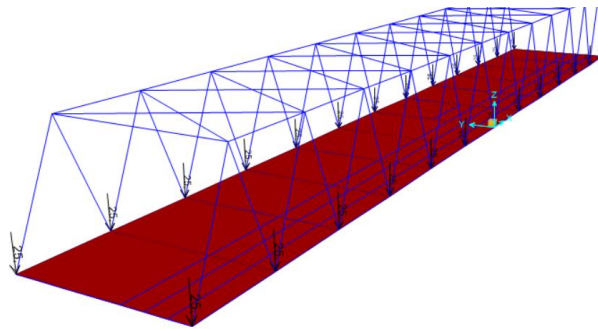
Gambar 5. 7 Input Beban Rem

3. Beban Pejalan Kaki (T_p)

Dalam SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan, Ketika trotoar jembatan memiliki lebar lebih dari 600 mm harus direncanakan beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Berikut hasil perhitungan beban pejalan kaki.

Lebar Trotoar	= 1 m
q	= 5 kN/m ²
Panjang segmen	= 5 m
Beban pejalan kaki	= 1 × 5 × 5
	= 25 kN

Sehingga pada setiap titik buhul diberi beban titik akibat beban pejalan kaki sebesar 25 kN. Dari perhitungan diatas beban akan di tambahkan ke titik buhul yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 5.8 pada halaman berikutnya.



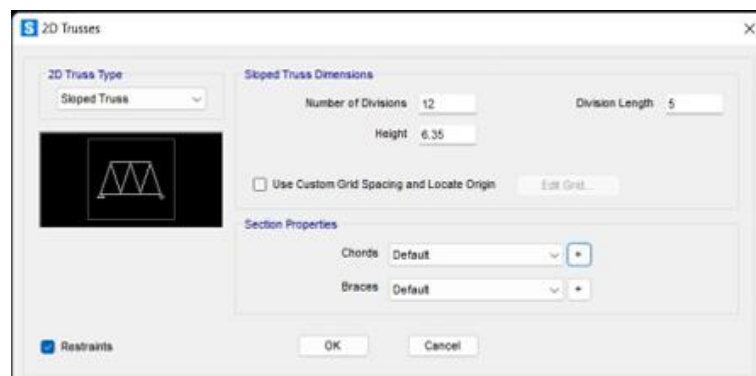
Gambar 5. 8 Input Beban Pejalan Kaki

5.2 Permodelan Struktur Jembatan

Berdasarkan data elemen struktur atas jembatan rangka yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan serta asumsi yang mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating*, dilakukan pemodelan struktur atas jembatan menggunakan program *CSI: SAP2000*.

5.2.1 Template Model 2D Trusses

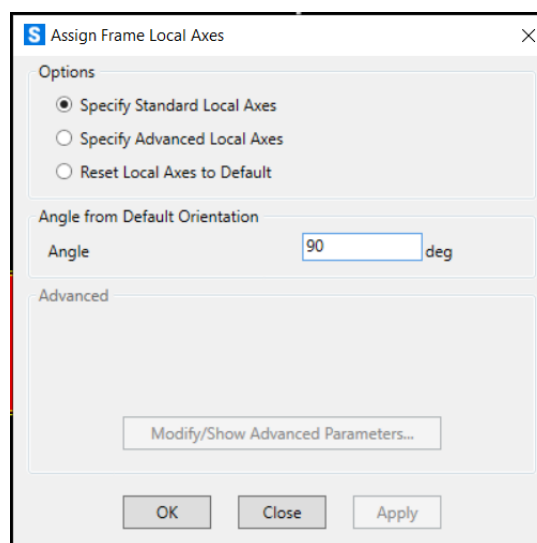
Untuk memudahkan dalam pemodelan struktur rangka utama jembatan, digunakan bantuan *template model 2d trusses* pada program *SAP2000* yang setelahnya di sesuaikan dengan *grid* sehingga membentuk *3d trusses* pada pemodelan. Berikut ini merupakan input template data pada *SAP2000* yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5. 9 Template Model 2D Trusses

5.2.2 Penyesuaian Posisi Elemen Batang Rangka Jembatan

Secara *default* SAP2000, perletakan batang-batang pada *template 2d trusses* dipasang tegak pada sumbu kuatnya, agar permodelan sama dengan kondisi eksisting dimana pada tiap batang tepi dan diagonal rangka jembatan dipasang dengan arah lendutan kebawah ditumpu oleh sumbu lemahnya. Maka dengan memilih seluruh batang struktur utama, sumbu lokalnya dirotasi sebesar 90° dengan bantuan *assign frame local axes*, dapat dilihat pada gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5. 10 Penyesuaian Posisi Batang Rangka Utama

5.2.3 Material Properties Baja dan Beton

Material yang digunakan dalam permodelan ini mengacu pada berikut ini adalah input *material property data* baja dan beton yang dilakukan pada SAP2000 yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12 pada halaman selanjutnya.

S Material Property Data ×

General Data

Material Name and Display Color: Beton f'c 22 Mpa

Material Type: Concrete

Material Grade: f'c 22 MPa

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,354E-05

Mass per Unit Volume: 2,400E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 22044,954

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 9185,3975

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 22,

Expected Concrete Compressive Strength: 22,

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Gambar 5. 11 Material Property Data Beton

S Material Property Data ×

General Data

Material Name and Display Color: Baja fy 250 fu 360

Material Type: Steel

Material Grade: Grade 50

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,698E-05

Mass per Unit Volume: 7,650E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 200000,

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 76923,08

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 250,

Minimum Tensile Stress, Fu: 360,

Expected Yield Stress, Fye: 250,

Expected Tensile Stress, Fue: 360,

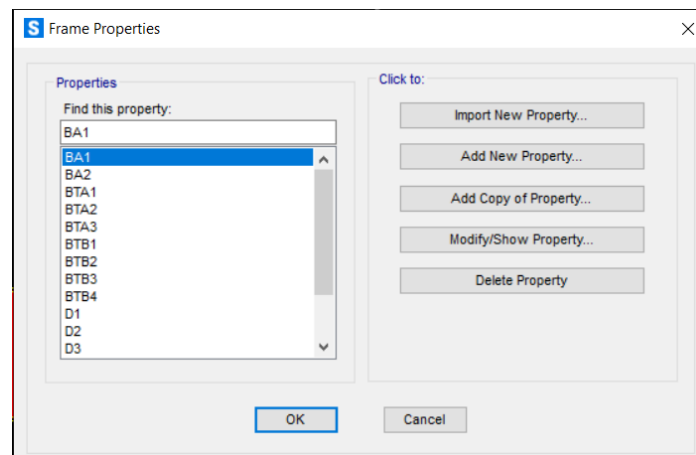
☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

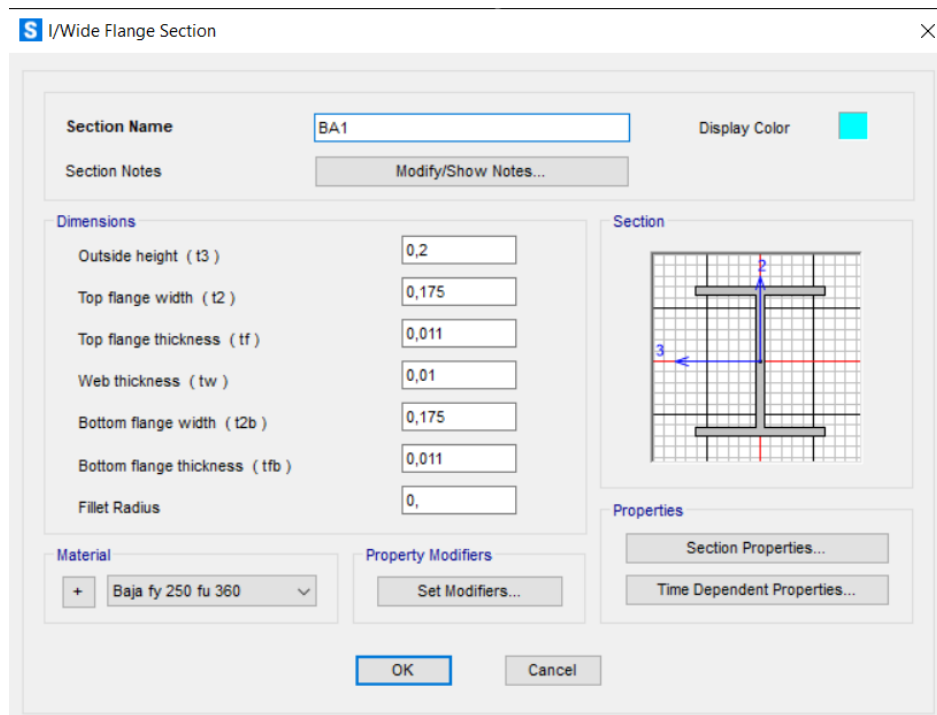
Gambar 5. 12 Material Property Data Baja

5.2.4 Define Frame Section Properties

Seluruh profil penyusun rangka jembatan dimodelkan sama dengan ukuran yang sebenarnya. Data pengukuran detail seluruh profil yang sudah dilakukan menggunakan *vernier caliper* dimodelkan pada SAP2000. Berikut ini beberapa *input* profil yang dilakukan pada SAP2000 dan tersaji pada Gambar 5.13 hingga 5.19 Berikut ini.



Gambar 5. 13 Input Frame Section Properties



Gambar 5. 14 Input Frame Batang Atas (BA1)

S I/Wide Flange Section ×

Section Name **Display Color** ■

Section Notes

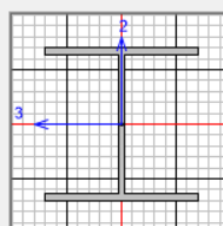
Dimensions

Outside height (t3)	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0,017"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0,016"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0,4"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0,017"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

Material

Property Modifiers

Section



Properties

Gambar 5. 15 Input Frame Batang Tepi Atas (BTA1)

S I/Wide Flange Section ×

Section Name **Display Color** ■

Section Notes

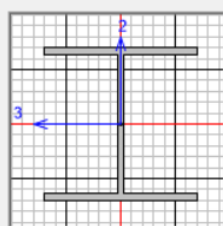
Dimensions

Outside height (t3)	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0,017"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0,016"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0,4"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0,017"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

Material

Property Modifiers

Section



Properties

Gambar 5. 16 Input Frame Batang Tepi Bawah (BTB1)

S I/Wide Flange Section ×

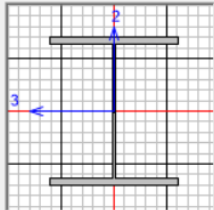
Section Name **Display Color**

Section Notes

Dimensions

Outside height (t3)	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0,35"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0,02"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0,01"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0,35"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0,02"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

Section



Material

Property Modifiers

Properties

Gambar 5. 17 Input Frame Batang Diagonal (D1)

S I/Wide Flange Section ×

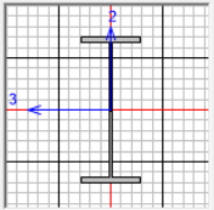
Section Name **Display Color**

Section Notes

Dimensions

Outside height (t3)	<input type="text" value="0,75"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0,3"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0,03"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0,02"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0,3"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0,03"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

Section



Material

Property Modifiers

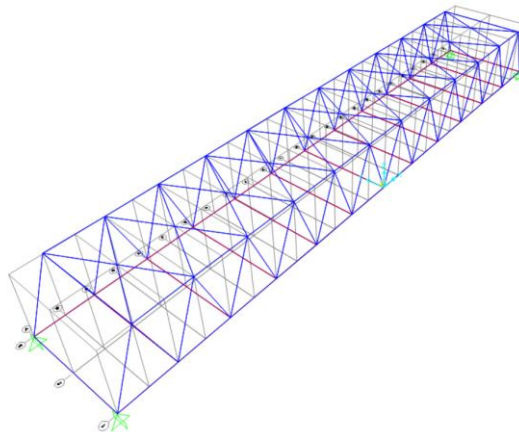
Properties

Gambar 5. 18 Input Frame Gelagar Melintang (GM)

Gambar 5. 19 Input Frame Gelagar Panjang (GP)

5.2.5 Replicate and Drawing Frame

Setelah semua sumbu lokal pada elemen rangka utama dirotasi sebesar 90° , kemudian telah mendefinisikan profil, langkah selanjutnya yaitu menduplikasi rangka ke arah y sebesar lebar jembatan pada kondisi sebenarnya yaitu 10 meter dan menghubungkan dengan girder melintang, girder memanjang serta *bracing* menggunakan *draw frame/cables* hingga seperti pada gambar 5.20 berikut ini.

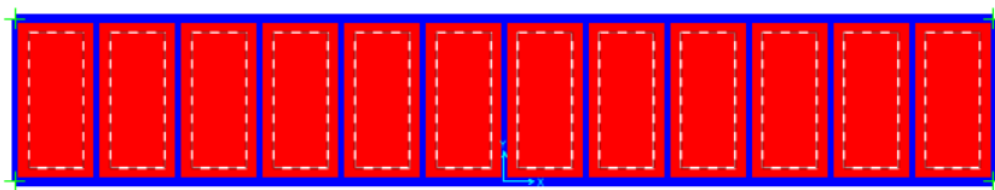


Gambar 5. 20 Hasil Permodelan Struktur Rangka Jembatan

5.2.6 Define and Drawing Area Section

Define Area section digunakan untuk mendefinisikan pelat beton bertulang yang menumpu pada girder melintang menggunakan material beton f'_c 22 MPa sesuai Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan eksisting dengan ketebalan hasil pengukuran sebesar 200 mm. setelah terdefinisi kemudian menggambar area pelat area pelat yang berada pada elevasi $z = 0$ m dengan menggunakan *draw rectangular* yang tiap panel pelat dibatasi oleh gelagar melintang. Berikut ini merupakan *define area section* dan *draw area section* dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 berikut ini.

Gambar 5. 21 Define Area Section

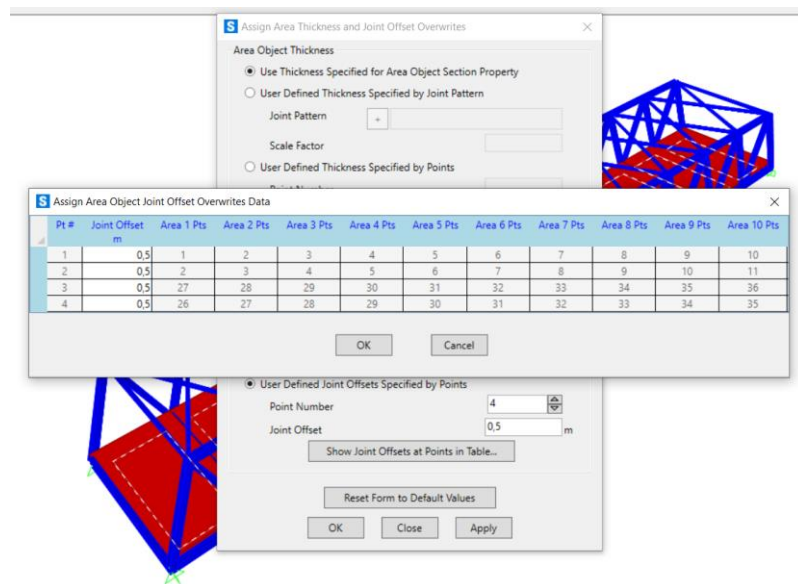


Gambar 5. 22 Draw Area Section

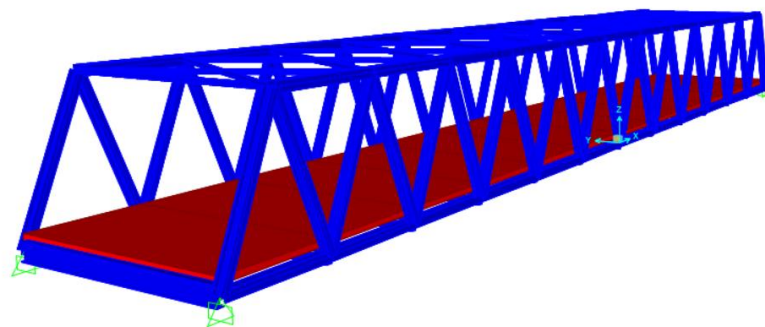
5.2.7 Joint Offset Overwrites Pelat Lantai

Area pelat lantai yang tergambar secara *default* berada pada $z = 0$, dimana jika dilihat berada pada tengah gelagar melintang. Untuk memposisikan pelat lantai jembatan menumpu di atas gelagar melintang dan gelagar memanjang, maka pada

setiap panel pelat lantai yang dimodelkan harus *offset* sebesar setengah dari tinggi profil gelagar melintang ditambah dengan setengah dari tebal pelat tersebut. Berikut ini merupakan langkah dari *joint offset overwrites* pelat lantai yang tersaji pada gambar 5.23 dan 5.24 berikut ini.



Gambar 5. 23 Joint Offset Overwrites Pelat Lantai

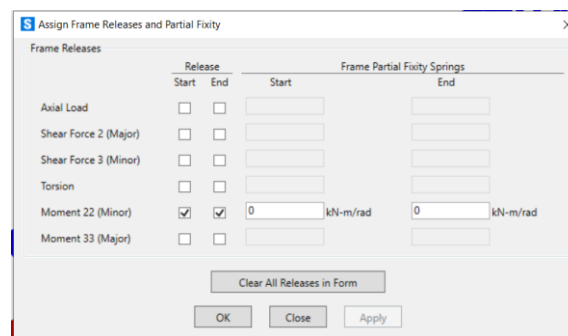


Gambar 5. 24 Posisi pelat Lantai Setelah Offset

5.2.8 Releases Partial Fixity

Releases partial fixity digunakan untuk memodelkan kondisi di mana setiap ujung rangka utama jembatan tidak mampu menahan momen. Secara realitas, ujung-ujung rangka utama dihubungkan melalui *gusset plate* dan baut, sehingga

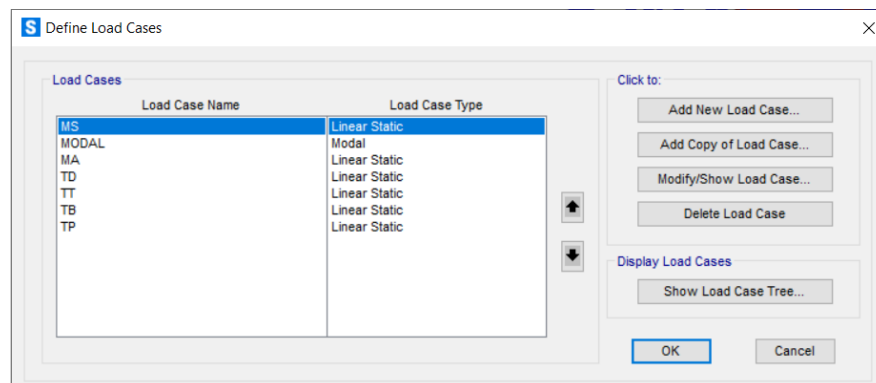
berperilaku seperti sendi dan tidak menghasilkan momen. Oleh karena itu, semua elemen rangka utama, termasuk batang tepi atas, batang tepi bawah, dan batang diagonal, diberikan pengaturan *assign frame releases partial fixity*. Karena profil rangka utama dipasang pada sumbu lemahnya, maka momen yang *direlease* adalah Momen 22/minor. Langkah *releases partial fixity* dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini.



Gambar 5. 25 Releases partial fixity

5.2.9 Define Load Cases

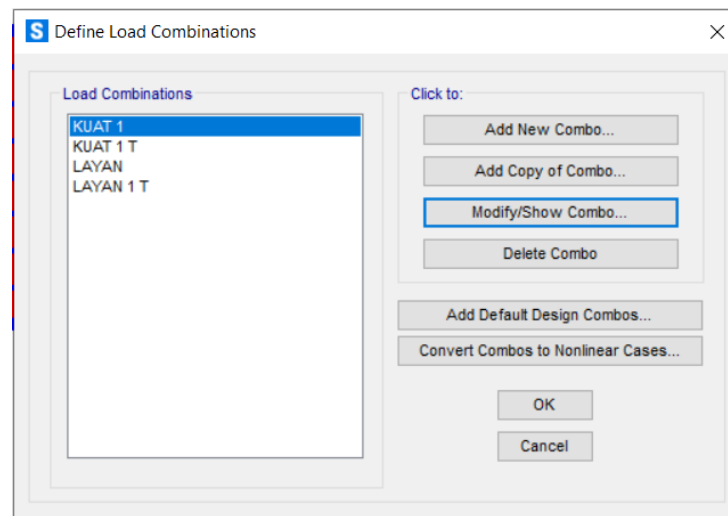
Define load cases mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan eksisting, dengan evaluasi awal yang menilai beban desain berdasarkan kondisi batas kekuatan I. Evaluasi ini hanya mempertimbangkan beban gravitasi, yaitu beban mati dan beban hidup kendaraan, yang digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam pada setiap elemen struktur rangka. *Load assignment* pada struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini.



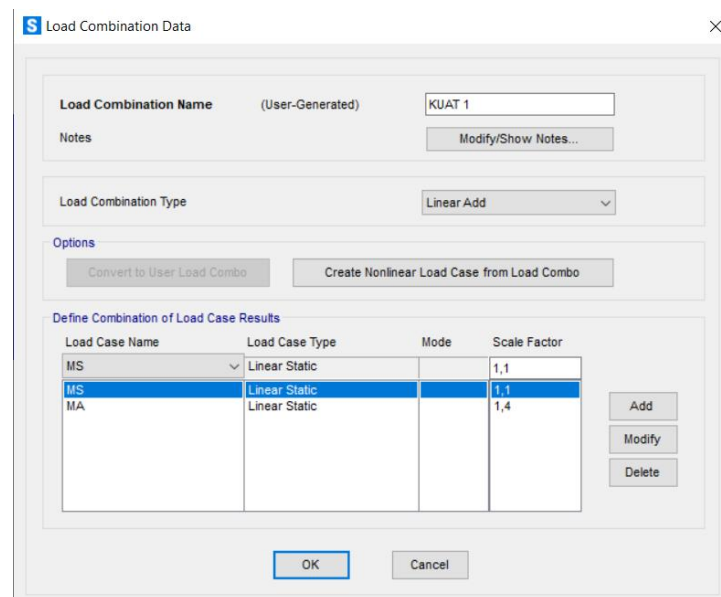
Gambar 5. 26 Load Assignment

5.2.10 Define Load combination

Define Load combination digunakan untuk menggabungkan beban mati dan beban hidup serta mensimulasikan respon jembatan terhadap berbagai kondisi. *Load Combination* berisi kombinasi Kuat 1 dan Layan 1 yang berguna untuk mendapatkan *Output* gaya dalam yang sesuai. Berikut ini merupakan *Load Combination* pada struktur jembatan dapat dilihat pada gambar 5.27 hingga 5.31 berikut ini.



Gambar 5. 27 Load Combination



Gambar 5. 28 Input Combination KUAT 1

S Load Combination Data ×

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
TD	Linear Static		1,8
TD	Linear Static		1,8
TP	Linear Static		1,8
TB	Linear Static		1,8

Gambar 5. 29 Input Combination KUAT 1 T

S Load Combination Data ×

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
MS	Linear Static		1,
MS	Linear Static		1,
MA	Linear Static		1,

Gambar 5. 30 Input Combination LAYAN

S Load Combination Data ×

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

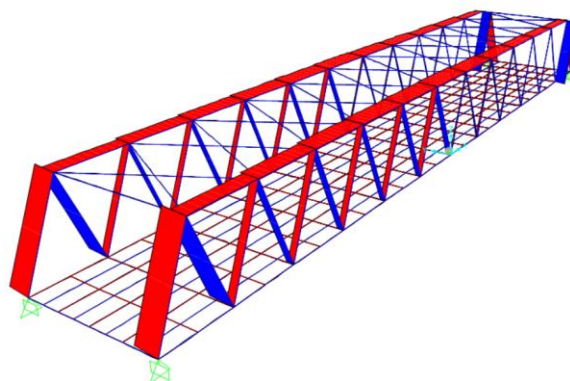
Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
TD	Linear Static		1,
TD	Linear Static		1,
TB	Linear Static		1,
TP	Linear Static		1,

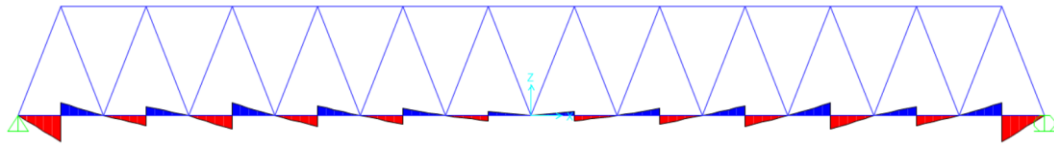
Gambar 5. 31 Input Combination LAYAN 1 T

5.3 Hasil Analisis SAP2000

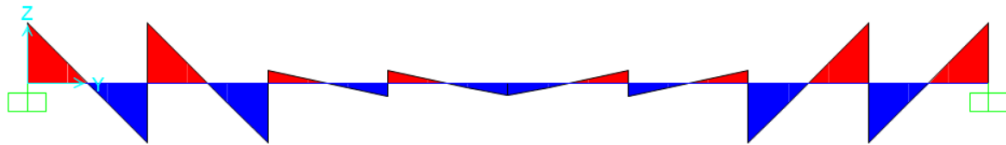
Pada sub bab ini akan dijelaskan hasil dari analisis gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban desain. Gaya-gaya dalam ini diperoleh dari *running analysis* SAP2000. Berikut ini merupakan hasil *running* SAP2000 yang dapat dilihat pada Gambar 5.32 hingga 5.34 dan tabulasi gaya-gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 5.1 hingga 5.4 berikut ini.



Gambar 5. 32 Running Linear Analysis – Axial Forces



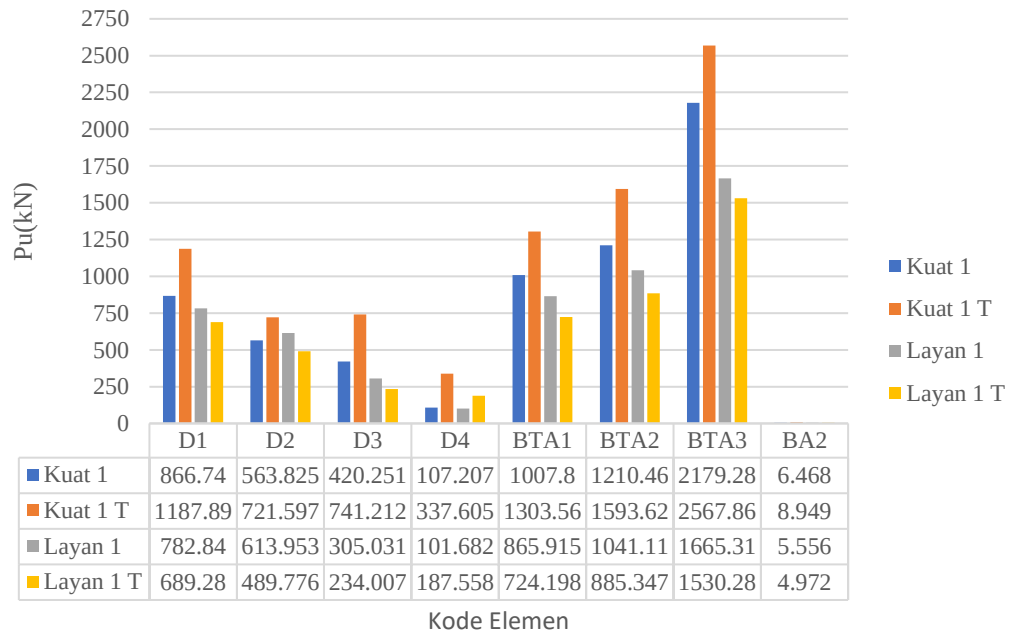
Gambar 5. 33 Running Linear Analysis – Moment pada gelagar memanjang



Gambar 5. 34 Running Linear Analysis – Moment pada gelagar melintang

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Gaya Tekan Aksial Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)

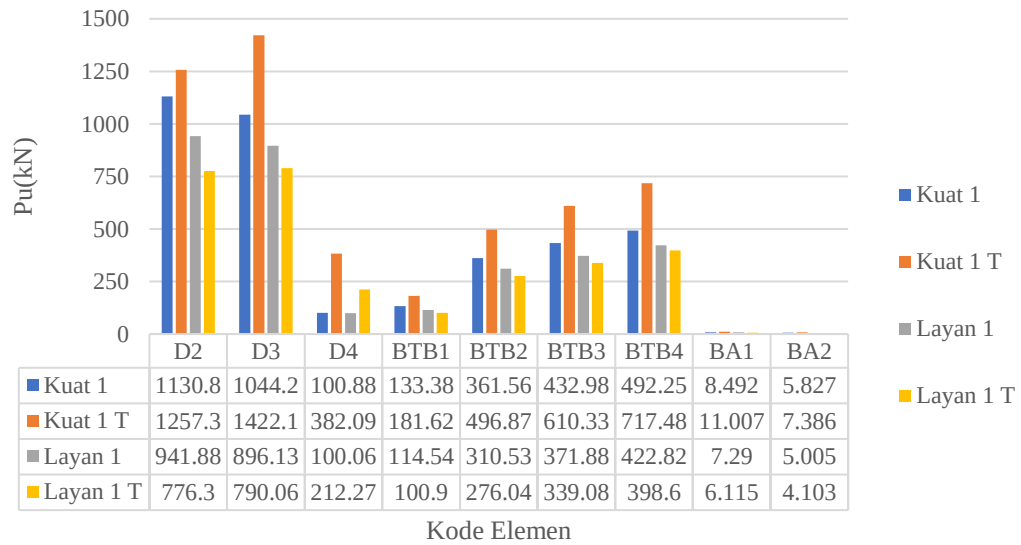
No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		Pu (kN) (1.1M _s +1.4 M _A)	Pu (kN) 1,8(T _D +T _P +T _B)	Pu (kN) (M _s +M _A)	Pu (kN) (T _D +T _P +T _B)
1	Batang Diagonal 1 (D1)	866,74	1187,89	782,84	689,28
2	Batang Diagonal 2 (D2)	563,825	721,597	613,953	489,776
3	Batang Diagonal 3 (D3)	420,251	741,212	305,031	234,007
4	Batang Diagonal 4 (D4)	107,207	337,605	101,682	187,558
5	Batang Tepi Atas 1 (BTA1)	1007,803	1303,56	865,915	724,198
6	Batang Tepi Atas 2 (BTA2)	1210,458	1593,62	1041,108	885,347
7	Batang Tepi Atas 3 (BTA3)	2179,278	2567,86	1665,307	1530,28
8	Bracing Atas 2 (BA2)	6,468	8,949	5,556	4,972



Gambar 5. 35 Grafik Rekapitulasi Gaya Tekan Aksial Terfaktor

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Gaya Tarik Aksial Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)

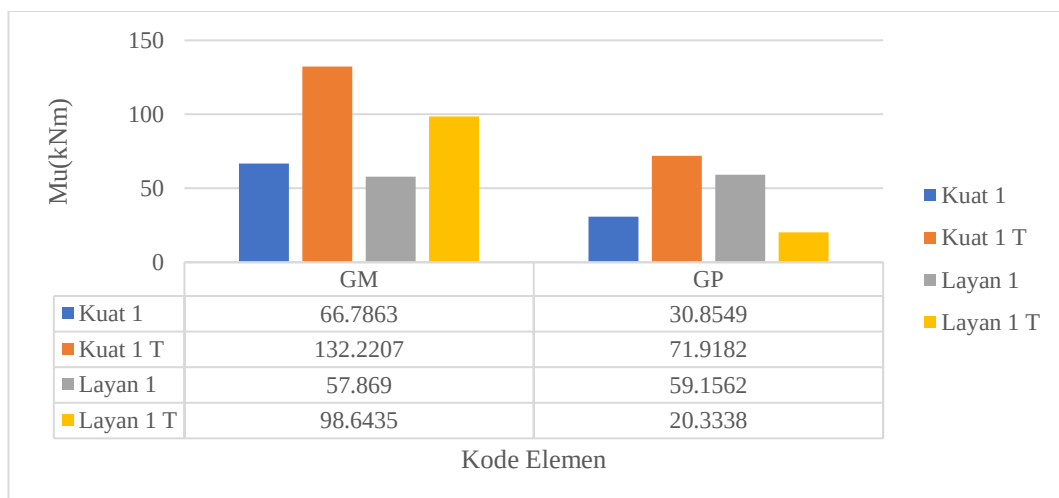
No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		Pu (kN) ($1.1M_s + 1.4 M_A$)	Pu (kN) $1.8(T_D + T_P + T_B)$	Pu (kN) ($M_s + M_A$)	Pu (kN) ($T_D + T_P + T_B$)
1	Batang Diagonal 2 (D2)	1130,765	1257,33	941,883	776,295
2	Batang Diagonal 3 (D3)	1044,245	1422,11	896,131	790,061
3	Batang Diagonal 4 (D4)	100,876	382,088	100,061	212,271
4	Batang Tepi Bawah 1 (BTB1)	133,382	181,617	114,541	100,899
5	Batang Tepi Bawah 2 (BTB2)	361,563	496,874	310,532	276,041
6	Batang Tepi Bawah 3 (BTB3)	432,976	610,334	371,882	339,075
7	Batang Tepi Bawah 4 (BTB4)	492,25	717,48	422,82	398,6
8	Bracing Atas 1 (BA1)	8,492	11,007	7,29	6,115
9	Bracing Atas 2 (BA2)	5,827	7,386	5,005	4,103



Gambar 5. 36 Grafik Rekapitulasi Gaya Tarik Aksial Terfaktor

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Momen Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)

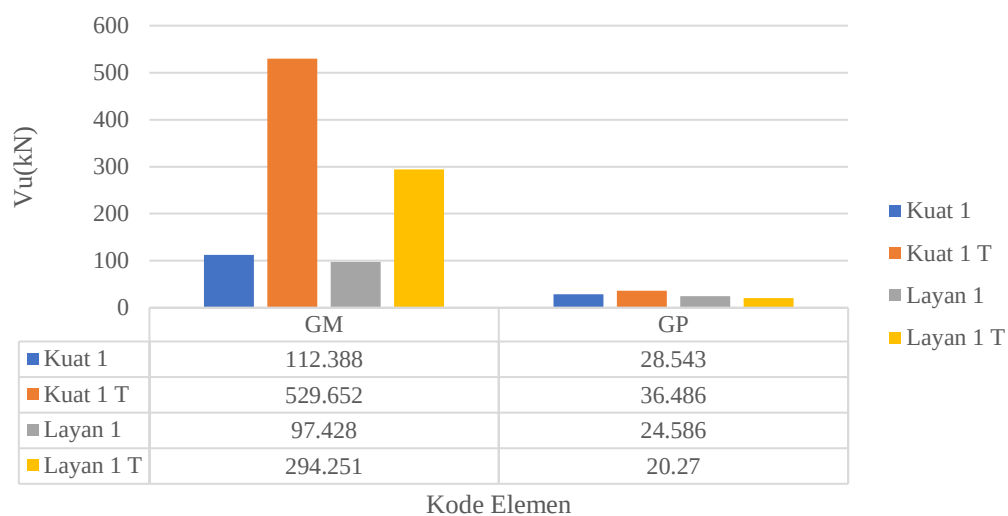
No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		Mu (kNm) (1.1M _s +1.4 M _A)	Mu (kNm) 1,8(T _D +T _P +T _B)	Mu (kNm) (M _s +M _A)	Mu (kNm) (T _D +T _P +T _B)
1	Gelagar Melintang (GM)	66,7863	288,579	57,869	160,322
2	Gelagar Panjang (GP)	30,8549	71,9182	59,1562	20,3338



Gambar 5. 37 Grafik Rekapitulasi Momen Lentur Terfaktor

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Gaya Geser Terfaktor (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		Vu (kN) (1.1M _s +1.4 M _A)	Vu (kN) 1,8(T _D +T _P +T _B)	Vu (kN) (M _s +M _A)	Vu (kN) (T _D +T _P +T _B)
1	Gelagar Melintang (GM)	112,388	529,652	97,428	294,251
2	Gelagar Panjang (GP)	28,543	36,486	24,586	20,27

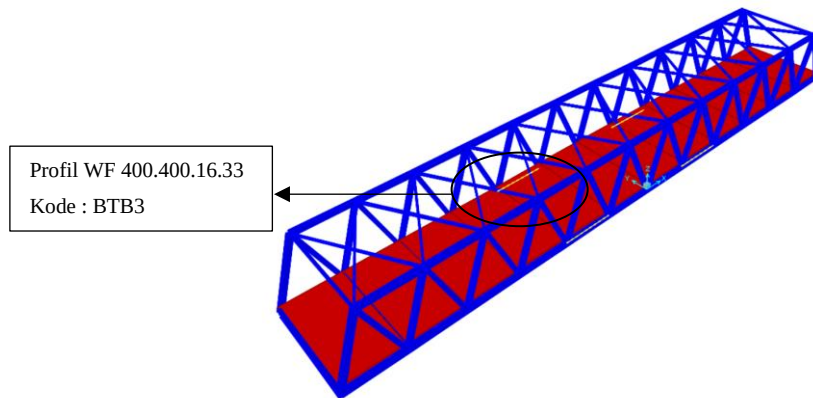
**Gambar 5. 38 Grafik Rekapitulasi Gaya Geser Terfaktor**

5.4 Analisis Kapasitas Tampang

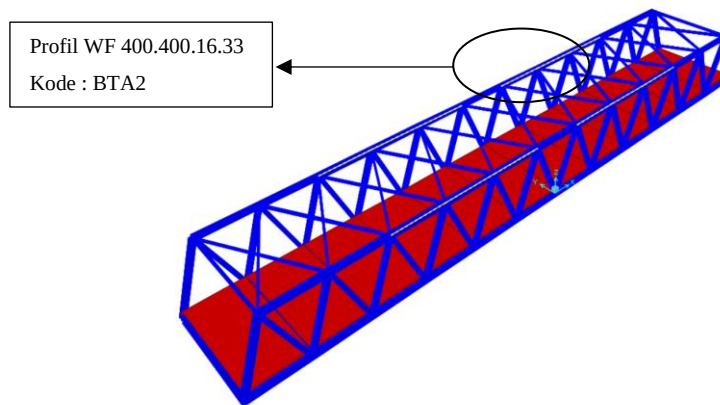
Pada sub bab ini akan dijelaskan salah satu hasil analisis kapasitas penampang dalam berbagai kondisi, yaitu tekan, tarik, dan lentur untuk setiap profil. Pada tahap akhir analisis, dilakukan tabulasi keseluruhan kapasitas penampang dalam menahan gaya-gaya dalam yang terjadi. Penelitian ini menggunakan *Microsoft Excel* untuk melakukan analisis penampang.

5.4.1 Perhitungan Kapasitas Tekan dan Tarik

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan kapasitas tekan dan tarik pada profil WF 400.400.16.33 yang memiliki kodefikasi pada permodelan BTB3 dan BTA2.



Gambar 5. 39 Detail Posisi Profil WF 400.400.16.33 (BTB3)



Gambar 5. 40 Detail Posisi Profil WF 400.400.16.33 (BTA2)

1. Batas kelangsingan profil tekan ditentukan berdasarkan keadaan
 - a. Kelangsingan Sayap

$$\begin{aligned}
 \lambda_f &= \frac{B}{t_f} \\
 &= \frac{400/2}{33} \\
 &= 6,061 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{F_y}} \\
 &= \frac{170}{\sqrt{250}} \\
 &= 10,752
 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_f < \lambda_p$, maka profil termasuk penampang kompak

b. Kelangsingan Badan

$$\begin{aligned}\lambda_w &= \frac{H}{t_w} \\ &= \frac{400 - (2 \times 33)}{16} \\ &= 20,875 \\ \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{F_y}} \\ &= \frac{1680}{\sqrt{250}} \\ &= 106,253\end{aligned}$$

Karena $\lambda_w < \lambda_p$, maka termasuk profil dengan penampang kompak

2. Kapasitas profil dalam menahan gaya aksial tekan

a. Data penampang profil WF 400.400.16.33

$$\begin{aligned}E &= 200000 \text{ MPa} \\ F_y &= 250 \text{ MPa} \\ I_y &= 352000000 \text{ mm}^4 \\ A_g &= 31744 \text{ mm}^2 \\ r_y &= 105,32 \text{ mm}\end{aligned}$$

b. Rasio kelangsingan efektif

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{K \times L}{r_y} \\ &= \frac{1 \times 5000}{105,32} \\ &= 47,474\end{aligned}$$

c. Kapasitas tekan profil WF 400.400.16.33

Cek

$$\lambda < 140$$

$$47,474 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{LK}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\ &= \frac{5000}{105,32\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} \\ &= 0,534\end{aligned}$$

Cek

$$\lambda_c < 1,5$$

Karena $0,534 < 1,5$ maka digunakan rumus berikut,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \times A_g \times f_y \\ &= (0,66^{\lambda_c^2}) \times 31744 \times 250 \times 10^{-3} \\ &= 7048,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Kapasitas profil dalam menahan beban aksial tarik

Kekuatan tarik desain ϕP_n , komponen struktur tarik merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan pada penampang neto.

a. Data penampang profil WF 400.400.16.33

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 360 \text{ Mpa}$$

$$A_g = 31744 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_n &= 0,85 \times A_g \\ &= 0,85 \times 31744 \\ &= 26982,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$x = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} U &= 1 - (x / L) \leq 0,90 \\ &= 1 - (200 / 5000) \\ &= 0,96 > 0,90 \end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas, batas maksimal dari nilai U adalah 0,9 maka dipakai angka reduksi sebesar 0,9.

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \times 0,9 \\ &= 26982,4 \times 0,9 \\ &= 24284,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Kuat tarik leleh pada penampang bruto

$$\begin{aligned} P_n &= A_g \times F_y \\ &= (31744 \times 250) \times 10^{-3} \\ &= 7936 \text{ kN} \end{aligned}$$

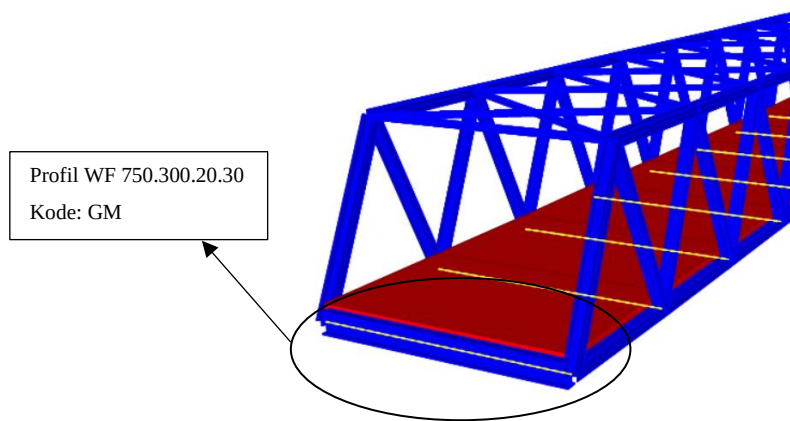
c. Kuat tarik pada penampang neto

$$\begin{aligned} P_n &= A_e \times F_u \\ &= (24284,16 \times 360) \times 10^{-3} \\ &= 8742,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan kapasitas tarik penampang WF 400.400.16.33 (BTB3) maka diambil hasil nilai terendah yaitu sebesar 7936 kN.

5.4.2 Perhitungan Kapasitas Momen

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan kapasitas momen lentur pada profil WF 750.300.20.30 yang memiliki kodefikasi pada permodelan GM.



Gambar 5. 41 Detail Posisi Profil WF 750.300.20.30 (GM)

1. Batas Kelangsingan Profil yang Mengalami Lentur

a. Kelangsingan Sayap

$$\begin{aligned} \lambda_f &= \frac{B}{t_f} \\ &= \frac{300/2}{30} \\ &= 5 \\ \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{F_y}} \\ &= \frac{170}{250} \\ &= 10,752 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_f < \lambda_p$, maka profil termasuk penampang kompak

b. Kelangsingan Badan

$$\begin{aligned}
 \lambda_w &= \frac{H}{t_w} \\
 &= \frac{750 - (2 \times 30)}{20} \\
 &= 34,5 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{F_y}} \\
 &= \frac{1680}{250} \\
 &= 106,253
 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_w < \lambda_p$, maka profil termasuk penampang kompak

2. Kapasitas profil dalam menahan momen lentur

a. Data penampang profil WF 750.300.20.30

$$\begin{aligned}
 F_y &= 250 \text{ MPa} \\
 E &= 200000 \text{ Mpa} \\
 A &= 31800 \text{ mm}^2 \\
 F_r &= 70 \text{ MPa} \\
 R_y &= 65,266 \text{ mm} \\
 G &= 80000 \text{ Mpa} \\
 J &= \sum \frac{1}{3} \times b \times t^3 \\
 &= \left(\frac{1}{3} \times (750 - 30) \times 20^3 \right) + \left(2 \times \left(\frac{1}{3} \times 300 \times 30^3 \right) \right) \\
 &= 7320000 \text{ mm}^4 \\
 S_x &= 7684440 \text{ mm}^3 \\
 Z_x &= 8860500 \text{ mm}^3 \\
 f_L &= F_y - F_r \\
 &= 250 - 70 \\
 &= 180 \text{ MPa} \\
 I_y &= 135000000 \text{ mm}^4 \\
 I_w &= \frac{I_y \times (h - t_f)^2}{4} \\
 &= \frac{(1,35 \times 10^8) \times (750 - 30)^2}{4} \\
 &= 1,7496 \times 10^{13} \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

b. Keadaan tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \times R_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \times 65,266 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 3248,962 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\pi}{S} \times \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \\ &= \frac{3,14}{7684440} \times \sqrt{\frac{200000 \times 80000 \times 7320000 \times 31800}{2}} \\ &= 12474,890 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= 4 \times \left(\frac{S}{GJ}\right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\ &= 4 \times \left(\frac{7684440}{80000 \times 7320000}\right)^2 \times \frac{1,7496 \times 10^{13}}{1,35 \times 10^8} \\ &= 0.000089 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= R_y \times \left(\frac{X_1}{f_L}\right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \times fL^2}} \\ &= 65,266 \times \left(\frac{12474,890}{180}\right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0.000089 \times 180^2}} \\ &= 7799,01 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek panjang bentang

$$L > L_r$$

$$9600 > 7799,01$$

Maka dapat disimpulkan pada bentang komponen tersebut merupakan bentang panjang, sehingga kuat nominal lentur dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$$M_{\max} = 132,22 \text{ kNm}$$

$$M_A = 118,84 \text{ kNm}$$

$$M_B = 86,45 \text{ kNm}$$

$$M_C = 118,84 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3$$

$$= \frac{12,5 \times 132,22}{(2,5 \times 132,22) + (3 \times 118,84) + (4 \times 86,45) + (3 \times 118,84)} \leq 2,3$$

$$= 1,1896 \leq 2,3$$

$$M_{cr} = C_b \times \frac{\pi}{L} \times \sqrt{E \times I_y \times G \times J + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 \times I_y \times I_w}$$

$$= 1,189 \times \frac{3,14}{9600} \times \sqrt{2 \times 10^5 \times 1,35 \times 10^8 \times 8 \times 10^4 \times 7,32 \times 10^6 + \left(\frac{3,14 \times 2 \times 10^5}{9600}\right)^2 \times 1,35 \times 10^8 \times 1,74 \times 10^{13}}$$

$$= 1982235484 \text{ Nmm}$$

$$= 1982,23 \text{ kNm}$$

$$M_y = F_y \times S_x$$

$$= 250 \times 7684440 \times 10^{-6}$$

$$= 1921 \text{ kNm}$$

$$M_p = F_y \times Z_x$$

$$= 250 \times 8860500 \times 10^{-6}$$

$$= 2215 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$$= 1982,23 \leq 2215$$

Dari hasil perhitungan kapasitas lentur penampang profil WF 750.300.20.30 (GM). Mn pakai sebesar 2215 kNm

5.4.3 Perhitungan Kapasitas Geser

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan kapasitas geser pada profil WF 750.300.20.30 yang memiliki kodefikasi (GM) pada permodelan. Analisis perhitungan berdasarkan kekuatan geser badan tanpa aksi medan tarik, sehingga kekuatan geser nominal dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

$$= 5 + \frac{5}{(9600/750)^2}$$

$$= 5,391$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \times E}{F_y}}$$

$$\frac{750}{20} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5,391 \times 200000}{250}}$$

$$37,5 \leq 72,76$$

Karena perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel memenuhi, maka nilai kuat nominal menggunakan persamaan (3.37) berikut ini.

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w$$

Dengan,

$$F_y = 250 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_w = h \times t_w$$

$$= (750 - 2 \times 30) \times 20$$

$$= 13800 \text{ mm}^2$$

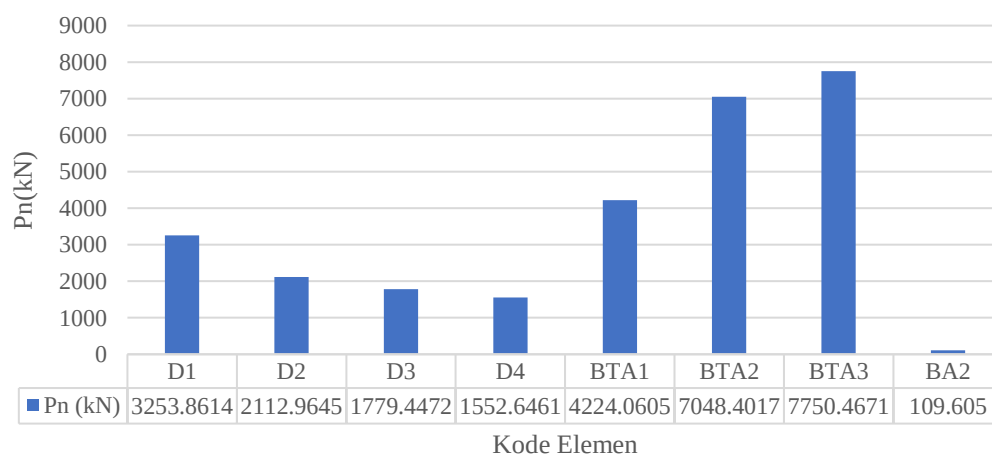
Maka nilai kuat geser nominal penampang adalah,

$$V_n = 0,6 \times 250 \times 13800 \times 10^{-3}$$

$$= 2070 \text{ kN}$$

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kapasitas Tekan Profil

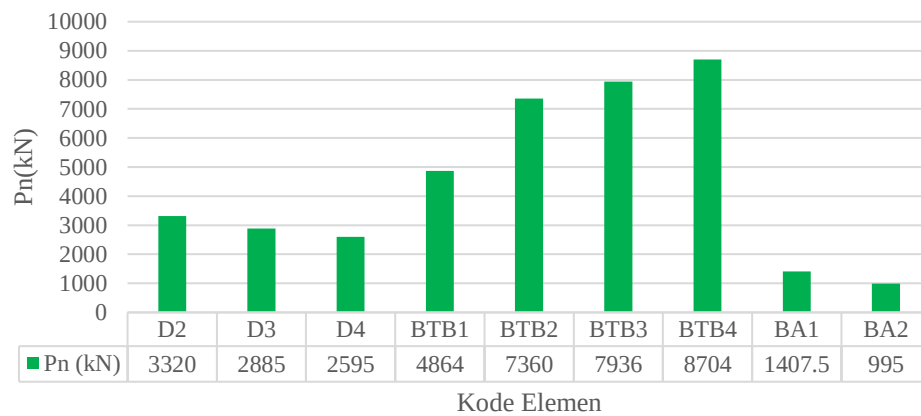
No.	Elemen	Dimensi Profil		Pn (kN)
1	Batang Diagonal 1 (D1)	WF	400.350.10.20	3253,861
2	Batang Diagonal 2 (D2)	WF	400.350.10.16	2112,964
3	Batang Diagonal 3 (D3)	WF	400.350.10.13	1779,447
4	Batang Diagonal 4 (D4)	WF	400.350.10.11	1552,646
5	Batang Tepi Atas 1 (BTA1)	WF	400.400.16.17	4224,061
6	Batang Tepi Atas 2 (BTA2)	WF	400.400.16.33	7048,402
7	Batang Tepi Atas 3 (BTA3)	WF	400.400.16.37	7750,467
8	Bracing Atas 2 (BA2)	WF	200.100.10.11	109,605



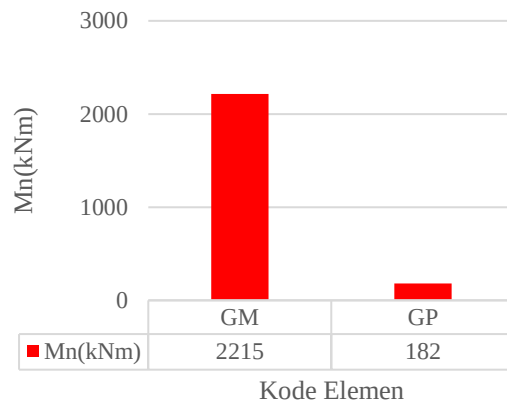
Gambar 5. 42 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Tekan Profil

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kapasitas Tarik Profil

No.	Elemen	Dimensi Profil		Pn (kN)
1	Batang Diagonal 2 (D2)	WF	400.350.10.16	3320
2	Batang Diagonal 3 (D3)	WF	400.350.10.13	2885
3	Batang Diagonal 4 (D4)	WF	400.350.10.11	2595
4	Batang Tepi Bawah 1 (BTB1)	WF	400.400.16.17	4864
5	Batang Tepi Bawah 2 (BTB2)	WF	400.400.16.30	7360
6	Batang Tepi Bawah 3 (BTB3)	WF	400.400.16.33	7936
7	Batang Tepi Bawah 4 (BTB4)	WF	400.400.16.37	8704
8	Bracing Atas 1 (BA1)	WF	200.175.10.11	1407,5
9	Bracing Atas 2 (BA2)	WF	200.100.10.11	995

**Gambar 5. 43 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Tarik Profil****Tabel 5. 7 Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Profil**

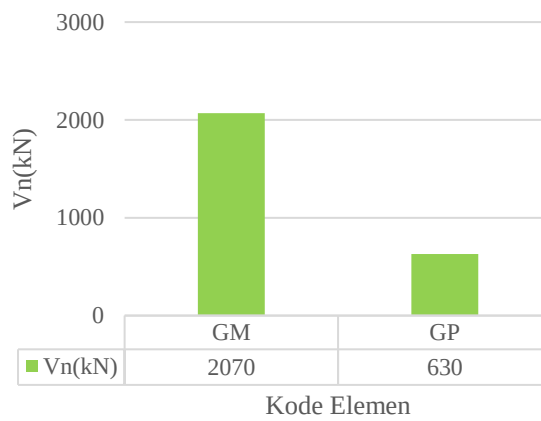
No.	Elemen	Dimensi Profil		Mn (kNm)
1	Gelagar Melintang (GM)	WF	750.300.20.30	2215
2	Gelagar Panjang (GP)	WF	300.150.15.10	182



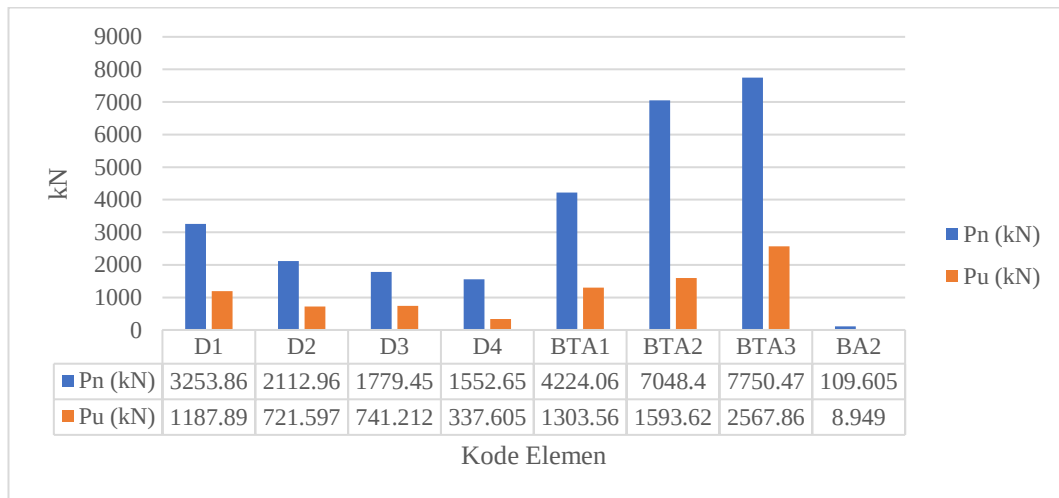
Gambar 5. 44 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Profil

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Kapasitas Geser Profil

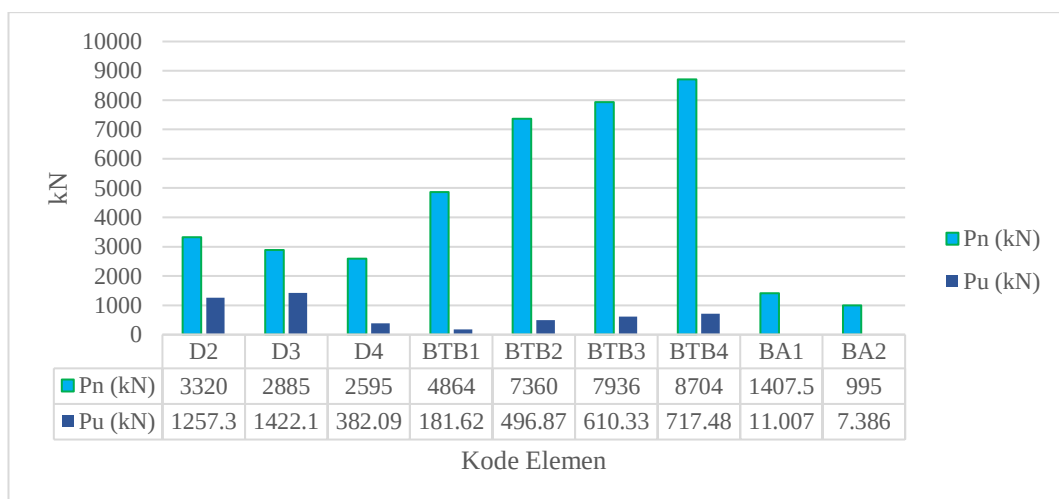
No.	Elemen	Dimensi Profil		Vn (kN)
1	Gelagar Melintang (GM)	WF	750.300.20.30	2070
2	Gelagar Panjang (GP)	WF	300.150.15.10	630



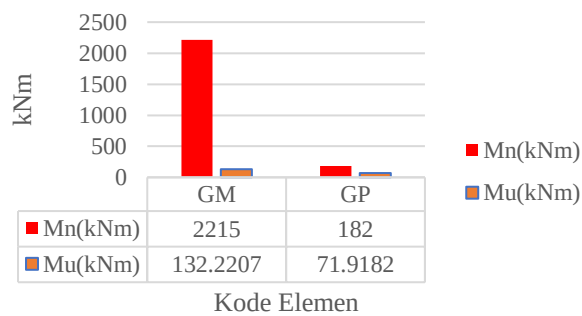
Gambar 5. 45 Grafik Rekapitulasi Kapasitas Geser Profil



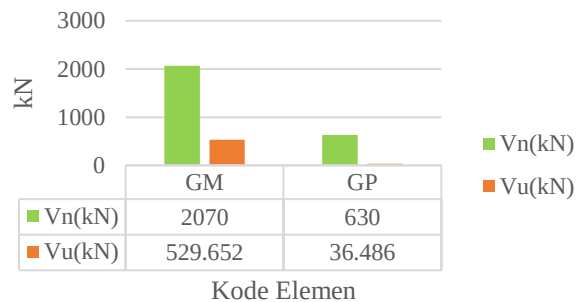
Gambar 5. 46 Grafik Perbandingan Pn dan Pu Elemen Tekan



Gambar 5. 47 Grafik Perbandingan Pn dan Pu Elemen Tarik



Gambar 5. 48 Grafik Perbandingan Mn dan Mu Elemen Momen



Gambar 5. 49 Grafik Perbandingan Mn dan Mu Elemen Geser

5.5 Perhitungan *Rating Factor*

Evaluasi struktur atas jembatan hanya terbatas pada elemen rangka baja, sebagaimana yang terdapat dalam batasan penelitian. Elemen rangka yang dianalisis meliputi rangka utama, gelagar, dan *bracing*. Untuk menentukan nilai *rating factor* sesuai dengan pedoman penentuan *bridge load rating* pada jembatan eksisting (03/SE/M/2016), diperlukan hasil analisis kapasitas penampang berdasarkan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005) serta gaya-gaya dalam yang terjadi pada setiap elemen akibat pembebanan jembatan, yang dikalkulasikan menggunakan *software SAP2000*.

5.5.1 Kapasitas Nominal Terfaktor

Kapasitas nominal terfaktor merupakan kapasitas suatu elemen struktur yang telah direduksi dengan faktor pengali berdasarkan penilaian kondisi bangunan jembatan secara keseluruhan serta fungsi sistem dari masing-masing elemen jembatan. Pada pedoman penentuan *bridge load rating* untuk jembatan eksisting (03/SE/2016), dijelaskan bahwa kedua faktor tersebut terdiri dari faktor kondisi (ϕ_c) dan faktor sistem (ϕ_s). Berdasarkan penilaian visual, kondisi Jembatan Pabelan dikategorikan sebagai kategori 1 untuk kondisi bangunan atas, yaitu mengalami kerusakan sangat sedikit yang tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan. Oleh karena itu, faktor kondisi ditetapkan sebesar $\phi_c = 1$. Sedangkan untuk faktor sistem telah ditentukan, yaitu untuk elemen lentur dan aksial tarik

terhadap kuat tarik leleh sebesar $\phi_s = 0,9$, serta untuk elemen aksial tekan sebesar $\phi_s = 0,85$.

Dengan adanya faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kapasitas penampang, maka akan diuraikan perhitungan kapasitas nominal terfaktor pada seluruh elemen dan dilakukan tabulasi dari perhitungan keseluruhan pada Tabel 5.9, 5.10, 5.11, dan 5.12.

1. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tekan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kapasitas nominal terfaktor elemen tekan Batang Tepi Atas 2 (BTA2).

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi_c \times \phi_s \times P_n \\ &= 1 \times 0,85 \times 7048,40 \\ &= 5991,141 \text{ kN} \\ \frac{P_n}{\Omega} &= \frac{7048,40}{1,67} \\ &= 4220,59 \text{ kN}\end{aligned}$$

2. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tarik

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kapasitas nominal terfaktor elemen tarik Batang Tepi Bawah 3 (BTB3).

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi_c \times \phi_s \times P_n \\ &= 1 \times 0,9 \times 7936 \\ &= 7142,4 \text{ kN} \\ \frac{P_n}{\Omega} &= \frac{7936}{1,67} \\ &= 4752,09 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Lentur

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kapasitas nominal terfaktor elemen lentur Gelagar Melintang (GM).

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi_c \times \phi_s \times M_n \\ &= 1 \times 0,9 \times 2215 \\ &= 1993,613 \text{ kNm} \\ \frac{P_n}{\Omega} &= \frac{2215}{1,67} \\ &= 1326,422 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Geser

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kapasitas nominal terfaktor elemen Geser Gelagar Melintang (GM).

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi_c \times \phi_s \times V_n \\ &= 1 \times 0,9 \times 2070 \\ &= 1863 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_n}{\Omega} &= \frac{2070}{1,67} \\ &= 1239,521 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tekan

No.	Elemen	Dimensi Profil	ϕP_n (kN)	$\frac{P_n}{\Omega}$ (kN)
1	Batang Diagonal 1 (D1)	WF 400.350.10.20	2765,782	1948,42
2	Batang Diagonal 2 (D2)	WF 400.350.10.16	1796,02	1265,25
3	Batang Diagonal 3 (D3)	WF 400.350.10.13	1512,53	1065,54
4	Batang Diagonal 4 (D4)	WF 400.350.10.11	1319,749	929,73
5	Batang Tepi Atas 1 (BTA1)	WF 400.400.16.17	3590,451	2529,38
6	Batang Tepi Atas 2 (BTA2)	WF 400.400.16.33	5991,141	4220,60
7	Batang Tepi Atas 3 (BTA3)	WF 400.400.16.37	6587,897	4641,00
8	Bracing Atas 2 (BA2)	WF 200.100.10.11	93,16425	65,63

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tarik

No	Elemen	Dimensi Profil	ϕP_n (kN)	$\frac{P_n}{\Omega}$ (kN)
1	Batang Diagonal 2 (D2)	WF 400.350.10.16	2988	1988,02
2	Batang Diagonal 3 (D3)	WF 400.350.10.13	2596,5	1727,54
3	Batang Diagonal 4 (D4)	WF 400.350.10.11	2335,5	1553,89
4	Batang Tepi Bawah 1 (BTB1)	WF 400.400.16.17	4377,6	2912,57
5	Batang Tepi Bawah 2 (BTB2)	WF 400.400.16.30	6624	4407,19
6	Batang Tepi Bawah 3 (BTB3)	WF 400.400.16.33	7142,4	4752,10
7	Batang Tepi Bawah 4 (BTB4)	WF 400.400.16.37	7833,6	5211,98
8	Bracing Atas 1 (BA1)	WF 200.175.10.11	1266,75	842,81
9	Bracing Atas 2 (BA2)	WF 200.100.10.11	895,5	595,81

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Lentur

No.	Elemen	Dimensi Profil	ϕM_n (kNm)	$\frac{M_n}{\Omega}$ (kNm)
1	Gelagar Melintang (GM)	WF 750.300.20.30	1993,613	1326,422
2	Gelagar Panjang (GP)	WF 300.150.15.10	164,025	109,1317

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Geser

No.	Elemen	Dimensi Profil	ϕV_n (kN)	$\frac{V_n}{\Omega}$ (kN)
1	Gelagar Melintang (GM)	WF 750.300.20.30	1863	1239,521
2	Gelagar Panjang (GP)	WF 300.150.15.10	567	377,2455

5.5.2 Perhitungan *Rating Factor* Hasil SAP2000 (Kondisi Kuat dan Layan)

1. *Rating Factor* Elemen Tekan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Batang Tepi Atas 2 atau dalam permodelan dengan kode (BTA2).

$$P_u (1,1M_s+1,4M_A) = 1210,45 \text{ kN}$$

$$P_u (1,8(T_D+ T_P+ T_B)) = 1593,62 \text{ kN}$$

$$P_u (M_s+M_A) = 1041,10 \text{ kN}$$

$$P_u (T_D+ T_P+ T_B) = 885,347 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 5991,14 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = 4220,60 \text{ kN}$$

Sehingga *Rating Factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.42).

$$R_F = \frac{\phi P_n - P_{u(1,1M_s+1,4M_A)}}{P_{u(1,8(T_D+T_P+T_B))}}$$

$$= \frac{5991,14 - 1210,45}{1593,62}$$

$$= 3,00 \text{ (Kondisi Kuat)}$$

$$R_F = \frac{\frac{P_n}{\Omega} - P_{u(M_s+M_A)}}{P_{u(T_D+T_P+T_B)}}$$

$$= \frac{4220,6 - 1041,10}{885,34}$$

$$= 3,59 \text{ (Kondisi Layan)}$$

2. *Rating Factor* Elemen Tarik

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Batang Tepi Bawah 3 atau dalam permodelan dengan kode (BTB3).

$$P_u (1,1M_s+1,4M_A) = 432,97 \text{ kN}$$

$$P_u (1,8(T_D+ T_P+ T_B)) = 610,33 \text{ kN}$$

$$P_u (M_s+M_A) = 371,88 \text{ kN}$$

$$P_u (T_D+ T_P+ T_B) = 339,07 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 7142,4 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = 4752,1 \text{ kN}$$

Sehingga *Rating Factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.42).

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\phi P_n - P_{u(1,1M_s+1,4M_A)}}{P_{u(1,8(T_D+T_P+T_B))}} \\ &= \frac{7142,4 - 432,97}{610,33} \\ &= 10,99 \text{ (Kondisi Kuat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\frac{P_n}{\Omega} - P_{u(M_s+M_A)}}{P_{u(T_D+T_P+T_B)}} \\ &= \frac{4752,1 - 371,88}{339,07} \\ &= 12,91 \text{ (Kondisi Layan)} \end{aligned}$$

3. *Rating Factor* Elemen Lentur

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Gelagar Melintang atau dalam permodelan dengan kode (GM).

$$M_u (1,1M_s+1,4M_A) = 66,78 \text{ kNm}$$

$$M_u (1,8(T_D+ T_P+ T_B)) = 132,22 \text{ kNm}$$

$$M_u (M_s+M_A) = 57,86 \text{ kNm}$$

$$M_u (T_D+ T_P+ T_B) = 98,64 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 1993,61 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_n}{\Omega} = 1326,42 \text{ kNm}$$

Sehingga *Rating Factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.42).

$$R_F = \frac{\phi M_n - M_{u(1,1M_s+1,4M_A)}}{M_{u(1,8(T_D+T_P+T_B))}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1993,61 - 66,78}{132,22} \\
&= 14,57 \text{ (Kondisi Kuat)} \\
R_F &= \frac{\frac{M_n}{\Omega} - M_u(M_S + M_A)}{M_u(T_D + T_P + T_B)} \\
&= \frac{1326,42 - 57,86}{98,64} \\
&= 12,86 \text{ (Kondisi Layan)}
\end{aligned}$$

4. *Rating Factor* Elemen Geser

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Gelagar Melintang atau dalam permodelan dengan kode (GM).

$$\begin{aligned}
V_u (1,1M_S + 1,4M_A) &= 112,38 \text{ kN} \\
V_u (1,8(T_D + T_P + T_B)) &= 529,65 \text{ kN} \\
V_u (M_S + M_A) &= 97,42 \text{ kN} \\
V_u (T_D + T_P + T_B) &= 294,25 \text{ kN} \\
\phi V_n &= 1863 \text{ kN} \\
\frac{V_n}{\Omega} &= 1239,52 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Sehingga *Rating Factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.42).

$$\begin{aligned}
R_F &= \frac{\phi V_n - V_u(1,1M_S + 1,4M_A)}{V_u(1,8(T_D + T_P + T_B))} \\
&= \frac{1863 - 112,38}{529,65} \\
&= 3,30 \text{ (Kondisi Kuat)} \\
R_F &= \frac{\frac{V_n}{\Omega} - V_u(M_S + M_A)}{V_u(T_D + T_P + T_B)} \\
&= \frac{1239,52 - 97,42}{294,25} \\
&= 3,88 \text{ (Kondisi Layan)}
\end{aligned}$$

Tabel 5. 13 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tekan (Kondisi Kuat)

No.	Elemen	ϕP_n (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			$P_u(D_L)$ (kN)	$P_u(L_L)$ (kN)		
1	Batang Diagonal 1 (D1)	2765,782	866,74	1187,89	1,599	OK
2	Batang Diagonal 2 (D2)	1796,02	563,825	721,597	1,708	OK
3	Batang Diagonal 3 (D3)	1512,53	420,251	741,212	1,474	OK
4	Batang Diagonal 4 (D4)	1319,749	107,207	337,605	3,592	OK
5	Batang Tepi Atas 1 (BTA1)	3590,451	1007,803	1303,56	1,981	OK
6	Batang Tepi Atas 2 (BTA2)	5991,141	1210,458	1593,62	3,000	OK
7	Batang Tepi Atas 3 (BTA3)	6587,897	2179,278	2567,86	1,717	OK
8	Bracing Atas 2 (BA2)	93,16425	6,468	8,949	9,688	OK

Tabel 5. 14 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tarik (Kondisi Kuat)

No.	Elemen	ϕP_n (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			$P_u(D_L)$ (kN)	$P_u(L_L)$ (kN)		
1	Batang Diagonal 2 (D2)	2988	1130,76	1257,33	1,477	OK
2	Batang Diagonal 3 (D3)	2596,5	1044,24	1422,11	1,092	OK
3	Batang Diagonal 4 (D4)	2335,5	100,87	382,08	5,848	OK
4	Batang Tepi Bawah 1 (BTB1)	4377,6	133,38	181,61	23,369	OK
5	Batang Tepi Bawah 2 (BTB2)	6624	361,56	496,87	12,604	OK
6	Batang Tepi Bawah 3 (BTB3)	7142,4	432,97	610,33	10,993	OK
7	Batang Tepi Bawah 4 (BTB4)	7833,6	492,25	717,48	10,232	OK
8	Bracing Atas 1 (BA1)	1266,75	8,492	11,007	114,31	OK
9	Bracing Atas 2 (BA2)	895,5	5,827	7,386	120,45	OK

Tabel 5. 15 Rekapitulasi *Rating Factor* Momen Lentur (Kondisi Kuat)

No.	Elemen	ϕM_n (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			$M_u(D_L)$ (kNm)	$M_u(L_L)$ (kNm)		
1	Gelagar Memanjang (GM)	1993,613	66,7863	132,221	14,573	OK
2	Gelagar Panjang (GP)	164,025	30,8549	71,9182	1,852	OK

Tabel 5. 16 Rekapitulasi *Rating Factor* Gaya Geser (Kondisi Kuat)

No.	Elemen	ϕV_n (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			$V_u(D_L)$ (kN)	$V_u(L_L)$ (kN)		
1	Gelagar Memanjang (GM)	1863	112,388	529,652	3,305	OK
2	Gelagar Panjang (GP)	567	28,543	36,486	14,758	OK

Tabel 5. 17 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tekan (Kondisi Layan)

No.	Elemen	P _n /Ω (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			P _u (D _L) (kN)	P _u (L _L) (kN)		
1	Batang Diagonal 1 (D1)	1948,42	782,84	689,28	1,691	OK
2	Batang Diagonal 2 (D2)	1265,25	613,953	489,776	1,330	OK
3	Batang Diagonal 3 (D3)	1065,54	305,031	234,007	3,250	OK
4	Batang Diagonal 4 (D4)	929,73	101,682	187,558	4,415	OK
5	Batang Tepi Atas 1 (BTA1)	2529,38	865,915	724,198	2,297	OK
6	Batang Tepi Atas 2 (BTA2)	4220,60	1041,108	885,347	3,591	OK
7	Batang Tepi Atas 3 (BTA3)	4641,00	1665,307	1530,277	1,945	OK
8	Bracing Atas 2 (BA2)	65,63	5,556	4,972	12,083	OK

Tabel 5. 18 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tarik (Kondisi Layan)

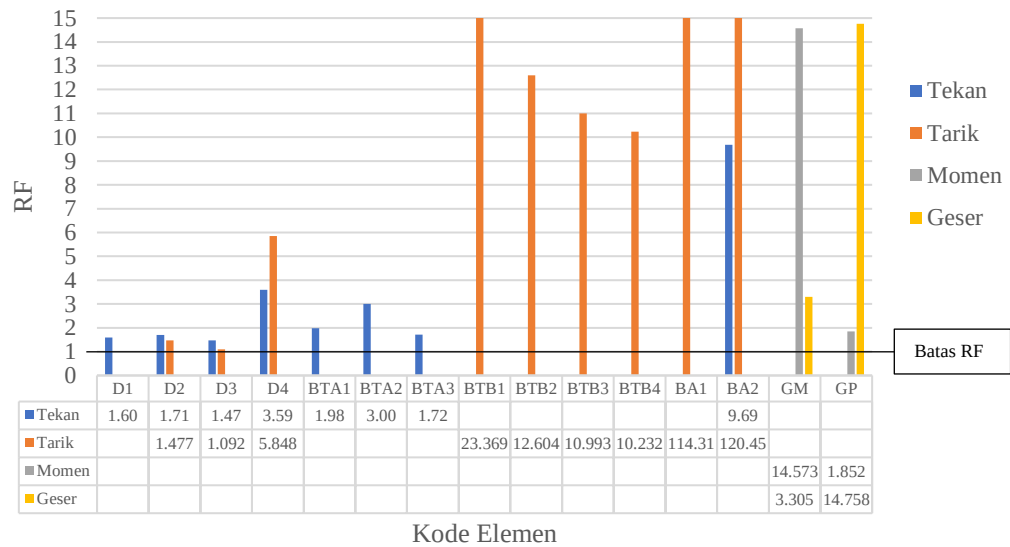
No.	Elemen	P _n /Ω (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			P _u (D _L) (kN)	P _u (L _L) (kN)		
1	Batang Diagonal 2 (D2)	1988,02	941,88	776,29	1,348	OK
2	Batang Diagonal 3 (D3)	1727,54	896,13	790,0	1,052	OK
3	Batang Diagonal 4 (D4)	1553,89	100,06	212,27	6,849	OK
4	Batang Tepi Bawah 1 (BTB1)	2912,57	114,54	100,89	27,73	OK
5	Batang Tepi Bawah 2 (BTB2)	4407,19	310,53	276,04	14,84	OK
6	Batang Tepi Bawah 3 (BTB3)	4752,10	371,88	339,07	12,91	OK
7	Batang Tepi Bawah 4 (BTB4)	5211,98	422,82	398,6	12,01	OK
8	Bracing Atas 1 (BA1)	842,81	7,29	6,115	136,63	OK
9	Bracing Atas 2 (BA2)	595,81	5,005	4,103	143,99	OK

Tabel 5. 19 Rekapitulasi *Rating Factor* Momen Lentur (Kondisi Layan)

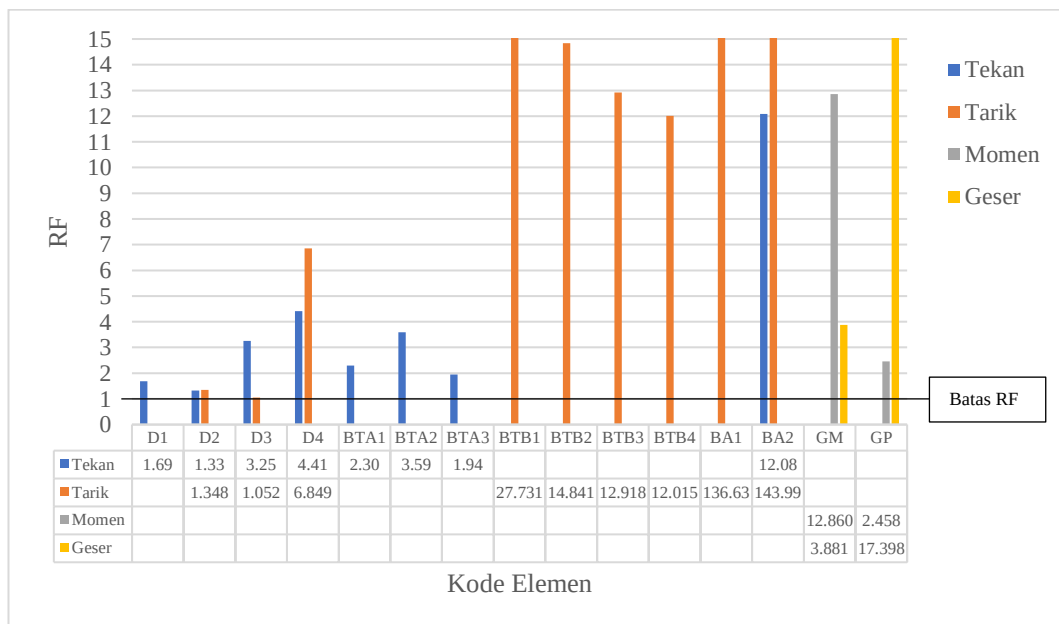
No.	Elemen	M _n /Ω (kNm)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			M _u (D _L) (kNm)	M _u (L _L) (kNm)		
1	Gelagar Memanjang (GM)	1326,42	57,869	98,643	12,86	OK
2	Gelagar Panjang (GP)	109,13	59,1562	20,333	2,458	OK

Tabel 5. 20 Rekapitulasi *Rating Factor* Gaya Geser (Kondisi Layan)

No.	Elemen	V _n /Ω (kN)	Output SAP2000		RF	CEK RF > 1
			V _u (D _L) (kN)	V _u (L _L) (kN)		
1	Gelagar Memanjang (GM)	1239,52	97,428	294,251	3,881	OK
2	Gelagar Panjang (GP)	377,245	24,586	20,27	17,398	OK



Gambar 5. 50 Grafik Rekapitulasi *Rating Factor* Kondisi Kuat



Gambar 5. 51 Grafik Rekapitulasi *Rating Factor* Kondisi Layan

5.6 Pembahasan

Pada sub bab ini akan dibahas beberapa permasalahan yaitu metode analisis *rating factor*, pengukuran dimensi jembatan, mutu material baja, pembebanan pada jembatan, analisis *SAP2000*, dan kelayakan struktur atas jembatan.

5.6.1 Metode Analisis *Rating Factor*

Evaluasi jembatan dalam penelitian ini berdasarkan pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting yang diterbitkan oleh Menteri Pekerjaan Umum (03/SE/M/2016). Dalam pedoman tersebut, dijelaskan bahwa jika faktor penilaian *Rating Factor* (RF) lebih besar atau sama dengan 1, maka jembatan tersebut tidak memerlukan tindakan penanganan, seperti pembatasan beban atau perbaikan. Sebaliknya, jika RF kurang dari 1, diperlukan tindakan lebih lanjut, seperti pembatasan beban, perbaikan, perkuatan, atau rehabilitasi pada struktur jembatan. Selain itu, jika diperlukan, evaluasi dapat dilakukan pada tingkatan yang lebih tinggi dengan pemeriksaan khusus menggunakan uji tidak merusak (*Non-Destructive Testing*) dan analisis yang lebih mendetail. Dalam penelitian ini, Seluruh komponen jembatan telah memenuhi kapasitas untuk menahan gaya yang timbul akibat beban rencana. Dengan demikian, evaluasi pada tingkatan yang lebih tinggi tidak diperlukan.

5.6.2 Pengukuran Dimensi Jembatan

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini terutama menggunakan data primer. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, sebab pembangunan jembatan ini dibangun langsung oleh kementerian pusat sebagai bantuan atas bencana alam yang terjadi sehingga arsip data pada dinas terkait tidak tersedia. Pengukuran data lapangan yang telah dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan pada sub bab 4.3.3 dan 4.3.4. Data yang dikumpulkan meliputi pengukuran panjang bentang jembatan, lebar jembatan, tinggi jembatan, serta detail ukuran profil rangka baja yang menyusun struktur jembatan. Sedangkan untuk data sekunder, digunakan data dari dinas yang terkait yaitu berupa tipe jembatan, panjang jembatan, dan lebar jembatan. Pengambilan data sekunder menjadi tambahan untuk kelengkapan data pada penelitian ini.

5.6.3 Mutu Material Baja

Mutu baja (F_y) merupakan faktor penting dalam penelitian ini, karena kapasitas penampang sangat bergantung pada kualitas baja yang digunakan pada profil penampang. Dalam penelitian ini, mutu baja diasumsikan karena pengujian material di laboratorium tidak memungkinkan. Hal ini disebabkan karena jembatan masih berfungsi sebagai prasarana transportasi dan adanya keterbatasan waktu, sehingga data mutu material belum dapat diperoleh dari instansi pemerintah terkait.

Penentuan nilai mutu material baja didasarkan pada karakteristik struktur baja sesuai tahun pembangunannya, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 7 Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan mutu baja dengan tegangan leleh sebesar 250 MPa dan tegangan putus sebesar 360 MPa. Pendekatan ini dapat dinilai cukup ekstrem, karena nilai tersebut merepresentasikan kondisi kritis sebelum terjadinya kegagalan. Jika hasil analisis *rating factor* menunjukkan nilai yang tidak memenuhi syarat pada sebagian besar elemen, maka dapat disimpulkan bahwa jembatan berada dalam kondisi kurang baik (kritis). Dalam situasi tersebut, diperlukan evaluasi lebih lanjut dengan metode yang lebih mendetail atau tindakan seperti pembatasan beban, perbaikan, perkuatan, atau rehabilitasi pada struktur jembatan.

5.6.4 Pembebanan pada Jembatan

Terdapat beberapa jenis beban yang bekerja pada Jembatan Pabelan, seperti beban permanen dan beban lalu lintas. Dalam pemodelan menggunakan *SAP2000*, posisi beban diinput sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Sebagai contoh, beban mati tambahan yang terdiri dari aspal, trotoar, dan pipa railing dimodelkan berdasarkan letaknya. Aspal yang berada di atas pelat jembatan dimasukkan sebagai beban pada pelat jembatan di *SAP2000*. Sementara itu, trotoar dan *railing* yang terletak di pinggir jembatan dimodelkan sebagai beban titik yang didistribusikan ke tiap buhul. Untuk beban lalu lintas, beban lajur D terbagi merata (BTR) dimasukkan sebagai beban pada pelat lantai. Sedangkan beban garis terpusat (BGT) ditempatkan pada titik tengah bentang jembatan. Dalam pemodelan *SAP2000*, nilai beban garis terpusat dimasukkan ke dalam satu gelagar melintang di titik pusat jembatan, sehingga hasil perhitungan BGT yang dijelaskan pada sub bab 5.1.2 b. Beban rem

di input pada tiap titik buhul sesuai dengan letaknya, dengan arah beban yang harus berlawanan antara titik buhul bawah dan atas, Untuk beban pejalan kaki yang berada di pinggir jembatan didistribusikan sebagai beban titik pada tiap buhul.

5.6.5 Analisis SAP2000

Hasil analisis ini menjelaskan gaya-gaya yang terjadi akibat pembebanan pada struktur atas jembatan. Sebagian *free body diagram* dari hasil analisis menggunakan SAP2000 ditampilkan pada Gambar 5.27, Gambar 5.28, dan Gambar 5.29, yang menunjukkan distribusi gaya pada elemen aksial (*truss*) serta elemen lentur (*stringer* dan *floorbeam*). Diagram ini memberikan gambaran visual mengenai respons struktur terhadap beban yang diberikan, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kapasitas elemen dalam menahan gaya yang terjadi. Gambar 5.27 menunjukkan distribusi gaya aksial yang terjadi pada sistem rangka akibat beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Dalam diagram tersebut, warna merah merepresentasikan gaya tekan aksial, sedangkan warna biru menunjukkan gaya tarik aksial. Selanjutnya, Gambar 5.28 menampilkan distribusi momen lentur pada gelagar memanjang (*stringers*) akibat beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Pada Gambar 5.29, diperlihatkan distribusi momen lentur yang terjadi pada gelagar melintang (*floorbeam*) akibat beban lajur D yang terdistribusi merata. Diagram ini memberikan gambaran mengenai respons struktur terhadap berbagai jenis pembebanan, yang menjadi dasar dalam evaluasi kekuatan dan stabilitas elemen jembatan.

Pada batang tepi atas akan menerima gaya aksial yang lebih besar dibandingkan dengan komponen profil lainnya. Hal ini disebabkan oleh prinsip perencanaan jembatan yang baik, di mana kegagalan struktur umumnya terjadi akibat gaya tekan. Pada batang tepi atas, gaya tekan terdistribusi dengan intensitas terbesar, sehingga elemen ini menjadi salah satu bagian yang paling kritis dalam perancangan jembatan.

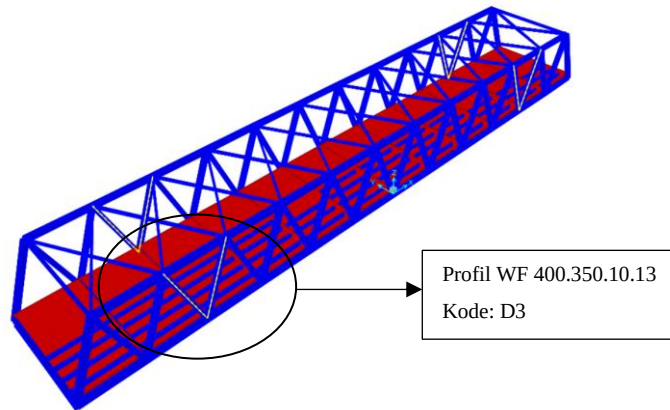
5.6.6 Kelayakan Struktur Atas Jembatan

Hasil analisis pada kondisi kekuatan batas dalam sub bab 5.5.2 menunjukkan bahwa seluruh elemen jembatan dinyatakan mampu menahan beban yang bekerja

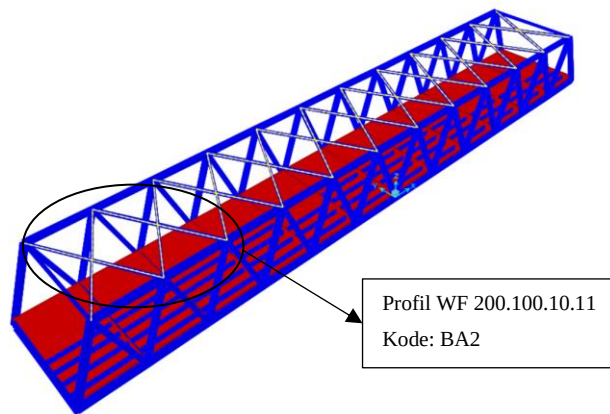
berdasarkan metode *load factored method*. Elemen yang mengalami kondisi paling kritis adalah Batang Diagonal 3 (D3), dengan nilai *rating factor* (RF) sebesar 1,092. Elemen ini menerima gaya aksial akibat beban mati sebesar 1044,245 kN dan gaya aksial akibat beban hidup sebesar 1422,11 kN, sedangkan kapasitas nominal terfaktor untuk elemen aksialnya adalah 2596,5 kN. Untuk penilaian *Rating Factor*, elemen yang paling aman pada kondisi kekuatan batas terdapat pada elemen *bracing* atas 2 (BA2) dengan nilai 120,454. Elemen tersebut mengalami gaya tarik akibat beban mati sebesar 5,827 kN, gaya tarik akibat beban hidup sebesar 7,386 kN, serta memiliki kapasitas nominal terfaktor elemen tarik sebesar 895,81 kN.

. Hal ini berarti masing-masing elemen tersebut diperkirakan masih aman dalam mengakomodir momen lentur dan gaya tarik aksial yang bekerja, Sehingga, elemen tersebut tidak memerlukan perawatan lebih lanjut dan tidak memerlukan pembatasan beban kendaraan yang melintas.

Hasil perhitungan pada kondisi batas layan dalam subbab 5.5.2 menunjukkan bahwa seluruh elemen jembatan dinyatakan mampu menahan beban yang bekerja berdasarkan *load factored method*. Elemen yang mengalami kondisi paling kritis adalah Batang Diagonal 3 (D3), dengan nilai *rating factor* (RF) sebesar 1,052. Elemen ini menerima gaya aksial akibat beban mati sebesar 896,131 kN dan gaya aksial akibat beban hidup sebesar 790,061 kN, sedangkan kapasitas nominal terfaktor untuk elemen aksialnya adalah 1727,54 kN. Sebaliknya, elemen yang memiliki *rating factor* tertinggi dan dianggap paling aman adalah *Bracing Atas 2* (BA2), dengan nilai RF sebesar 143,993. Elemen ini mengalami gaya tarik akibat beban mati sebesar 5,005 kN dan gaya tarik akibat beban hidup sebesar 4,103 kN, sementara kapasitas nominal terfaktor elemen tariknya mencapai 595,81 kN. Kemungkinan besar, nilai yang sangat tinggi ini disebabkan oleh tidak dipertimbangkannya beban lain, seperti beban gempa dan angin, sehingga elemen BA2 dapat dikategorikan sebagai *overdesigned*.



Gambar 5. 52 Detail Posisi Profil WF 400.350.10.13 (D3)



Gambar 5. 53 Detail Posisi Profil WF 200.100.10.11 (BA2)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Dari hasil analisis didapatkan Nilai *rating factor* paling kritis di tiap elemen adalah sebagai berikut.
 - a. Kondisi kekuatan batas

Rangka utama	: 1,092
Gelagar	: 1,852
<i>Bracing</i>	: 9,688
 - b. Kondisi batas layan

Rangka utama	: 1,052
Gelagar	: 2,458
<i>Bracing</i>	: 12,083
2. Berdasarkan analisis dengan menggunakan *load factored method*, struktur atas Jembatan Pabelan dinyatakan masih dalam kondisi aman. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *rating factor* paling kritis yang terjadi pada elemen rangka utama, yaitu sebesar 1,052. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kapasitas sisa elemen profil masih mencukupi untuk menahan beban rencana yang bekerja, sehingga jembatan tetap dapat berfungsi dengan baik tanpa perlu dilakukan perbaikan atau pembatasan tambahan.

6.2 Saran

Adapun saran dari penulis yang diperlukan untuk penelitian yang lebih baik adalah sebagai berikut.

1. Dalam melakukan analisis, sebaiknya spesifikasi material baja yang digunakan pada jembatan telah teridentifikasi dengan jelas, baik melalui pengujian langsung maupun berdasarkan data sekunder dari pihak terkait.

2. Dalam pengukuran detail profil elemen rangka lebih baik menggunakan *caliper* dengan ukuran 12 inch keatas, agar jangka sorong dapat menjangkau area secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto. (2008). *Metode Konstruksi Jembatan Rangka Baja*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta
- Faqih, J. H. Al. (2022). *Analisis Struktur Atas Jembatan Tulung Menggunakan Metode Rating Factor*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Himanna, M. A. (2022). *Evaluasi Struktur Atas Jembatan Rangka Panjang Menggunakan Rating Factor Berdasarkan SNI Baja 1729:2020*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor: 03/SE/M/2016 Tanggal 15 Maret 2016 Tentang Pedoman Penentuan Bridge Load Rating Untuk Jembatan Eksisting*. Jakarta
- Manu, A. I. (1995). *Dasar-dasar perencanaan jembatan beton bertulang*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Muluk, A. A. T. (2021). *Analisis Rating Factor Jembatan Sardjito I Dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Rifadzi Zaeni, M., Farih Ambari, S., Sudarsono, I., & Mulyawati, F. (2022). *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil Analisis Nilai Kapasitas Jembatan Eksisting Menggunakan Metode Rating Factor*. Vol. 08 No. 03 Hal 154-164. Bandung

- Saputra, A. A., Priyosulistyo, H., & Muslikh. (2020). *Analisis Nilai kapasitas jembatan eksisting menggunakan metode rating factor*. INERSIA, Vol. XVI No. 1, Mei 2020. Yogyakarta.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD edisi kedua*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Standar, R., & Indonesia, N. (2005). *RSNI T-03-2005 Perencanaan struktur baja untuk jembatan Badan Standardisasi Nasional ICS*. Jakarta
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Pengambilan Data KESBANGPOL Magelang



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 350/Sek. Prodi PSTS/20/TA/XII/2024
Hal : Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Kepada Yth:
Kepala Bidang Kesbangpol Kabupaten Magelang
Kantor Kesbangpol Kabupaten Magelang
Jl. Soekarno Hatta No.88A, Patran, Sawitan, Mungkid, Magelang, Jawa Tengah 56511

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Prodi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksipilan. Dalam proses tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan Izin penelitian dan pengambilan data berupa **Data Geometri dan Profil Baja Pada Jembatan Pabelan** yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Prodi Teknik Sipil Program Sarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	: Rifat Hidayat
NIM	: 20511350
CP Mahasiswa	: 085230617779
Judul Tugas Akhir	: Analisis Struktur Atas Jembatan Pabelan Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>

Demikian permohonan dan pernyataan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh.



Dina Anggraheni, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 17 Desember 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Astriana Hardawati, S.T., M. Eng.

Lampiran 2 Surat izin penelitian DPMPTSP Magelang



**PEMERINTAH KABUPATEN MAGELANG
DINAS PENANAMAN MODAL
DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU**

Jl. Soekarno-Hatta No.20 Kota Mungkid Telp.(0293) 788249 Fax.(0293) 789549
Kode Pos 56511 Website: <https://dpmptsp.magelangkab.go.id>
Email: dpmptsp@magelangkab.go.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN
Nomor: 070/588/16/2024

- Dasar:
- a. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 3 Tahun 2018 Tentang Penerbitan Surat Keterangan Penelitian;
 - b. Peraturan Bupati Magelang Nomor 19 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Pelayanan Perizinan Berusaha, Perizinan Non Berusaha, dan Nonperizinan;
 - c. Surat Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Magelang Nomor: 070/457/47/2024 Tanggal 20 Desember 2024, Perihal Surat Keterangan Penelitian.

Yang bertanda tangan dibawah ini, Kepala DPMPTSP Kabupaten Magelang tidak keberatan dan menyetujui pelaksanaan Kegiatan Penelitian di Kabupaten Magelang yang dilaksanakan oleh Saudara:

Nama	: RIFAT HIDAYAT
Pekerjaan	: Mahasiswa
Alamat	: Dukuh Krajan RT 03 RW 01, Ds.Ronosentanan, Kec. Siman, Kab.Ponorogo, Jatim
Nomor Telp/HP	: 085230617779
Lembaga	: Universitas Islam Indonesia
Penanggung Jawab	: Astriana Hardawati, S.T., M. Eng.
Lokasi	: DPUPR Kabupaten Magelang, Jembatan Pabelan
Waktu	: 25 Desember 2024 s/d 25 Maret 2025
Peserta	: -
Judul Penelitian	: Analisis Struktur Atas Jembatan Pabelan Menggunakan Metode Rating Factor

Dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Melapor kepada Pejabat Pemerintah setempat dan berkoordinasi dengan Instansi terkait untuk mendapatkan petunjuk seperlunya;
2. Wajib menjaga tata tertib dan menaati ketentuan-ketentuan yang berlaku;
3. Memenuhi ketentuan, etika dan norma yang berlaku di lokasi penelitian;
4. Surat keterangan dapat dicabut dan dinyatakan tidak berlaku, apabila pemegang surat ini tidak menaati/mengindahkan peraturan yang berlaku; dan
5. Setelah kegiatan selesai agar menyerahkan laporan/hasilnya kepada Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian, dan Pengembangan Daerah Kabupaten Magelang Cq. Kepala Bidang Penelitian dan Pengembangan.

Demikian surat keterangan ini untuk digunakan seperlunya.

Dikeluarkan di : Kota Mungkid
Pada Tanggal : 23 Desember 2024

a.n. BUPATI MAGELANG
Plt. KEPALA DINAS PENANAMAN MODAL
DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
KEPALA DINAS KEPENDUDUKAN DAN
PENCATATAN SIPIL,



- Tembusan:
1. Bupati Magelang;
 2. Kepala Bappeda dan Litbangda;
 3. Kepala Badan Kesbangpol.

Ditandatangani secara elektronik oleh:
RADEN ANTA MURPUJI ANTAKA, S.Sos.
Pembina Tingkat I
NIP. 196805131993021001



- Surat ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh BSrE
- Untuk mengecek keaslian dokumen ini, bisa melakukan scan pada QR Code yang tertera

Lampiran 3 Surat Izin Pengambilan Data Dinas PU Magelang



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 337/Sek. Prodi PSTS/20/TA/XII/2024
Hal : Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Kepada Yth:
Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat "PUPR" Kabupaten Magelang
Jl. Soekarno Hatta Ngentak II No.6, Ngentan II, Kota, Mungkid, Magelang, Jawa Tengah 56511

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Prodi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksipilan. Dalam proses tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan izin penelitian dan pengambilan data tugas akhir berupa **Data Geometri Jembatan dan Profil Baja pada Jembatan** yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Prodi Teknik Sipil Program Sarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama : Rifat Hidayat
NIM : 20511350
CP Mahasiswa : 085230617779
Judul Tugas Akhir : Analisis Struktur Atas Jembatan Pabelan Menggunakan Metode Rating Factor

Demikian permohonan dan pernyataan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh.



Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

Dina Anggraheni, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 6 Desember 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Astriana Hardawati, S.T., M. Eng

Lampiran 4 Surat izin penelitian dari Dinas PU Magelang



PEMERINTAH KABUPATEN MAGELANG DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG

Jl. Soekarno - Hatta No. 6 Kota Mungkid, Kabupaten Magelang 56511
Telp. (0293) 788186, Fax (0293) 788176
Website : www.dpupr.magelangkab.go.id E-mail : dpupr@magelangkab.go.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor 070/106 /06/2025

- Dasar:
- Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 50 Tahun 2020 Tentang Praktik Kerja Lapangan Bagi Peserta Didik;
 - Keputusan Menristekdikti No. 123/M/KPT/2019 tentang Magang Industri dan Pengakuan SKS Magang Industri Untuk Program Sarjana dan Sarjana Terapan;
 - Peraturan Bupati Magelang Nomor 19 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Pelayanan Perizinan Berusaha, Perizinan Non Berusaha dan Non Perizinan;
 - Surat Kepala Dinas Penanaman Modal Dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Magelang Nomor 070/588/16/2024 tentang Surat Keterangan Penelitian:

Yang bertanda tangan dibawah ini, Kepala DPUPR Kabupaten Magelang tidak keberatan dan menyetujui pelaksanaan Kegiatan Penelitian oleh saudara:

Nama	: RIFAT HIDAYAT
Pekerjaan	: Mahasiswa
Alamat	: Dukuh Krajan RT 03 RW 01 Ds. Ronosentanan Kec. Siman Kab. Ponorogo
Nomor HP	: 085230617779
Lembaga	: Universitas Islam Indonesia
Penanggung Jawab	: Astriana Hardawati, S.T., M. Eng.
Lokasi	: DPUPR Kabupaten Magelang (Jembatan Pabelan)
Waktu	: 25 Desember 2024 s/d 25 Maret 2025.
Peserta	: -
Judul Penelitian	: Analis Struktur Atas Jembatan Pabelan Menggunakan Metode Rating Factor

Dengan ketentuan sebagai berikut:

- Melapor kepada Pejabat Pemerintah setempat dan berkoordinasi dengan instansi terkait untuk mendapatkan petunjuk seperlunya;
- Wajib menjaga tata tertib dan mentaati ketentuan-ketentuan yang berlaku;
- Memenuhi ketentuan, etika dan norma yang berlaku dilokasi penelitian;
- Surat keterangan dapat dicabut dan dinyatakan tidak berlaku, apabila pemegang surat ini tidak mentaati/mengindahkan peraturan yang berlaku; dan

Demikian surat keterangan ini untuk digunakan seperlunya.

Dikeluarkan di : Kota Mungkid
Pada Tanggal : 14 Januari 2025

KEPALA DINAS PEKERJAAN UMUM DAN
PENATAAN RUANG,

DPUPR
MAGELANG
SAH RUDYANTO, S.T., M.T.
Pembina Utama Muda
NIP. 196805111998031005

Lampiran 5 Pengukuran Tinggi Profil Diagonal



Lampiran 6 Pengukuran Lebar Profil Diagonal



Lampiran 7 Pengukuran Tinggi Profil Batang Bawah**Lampiran 8 Pengukuran Lebar Profil Batang Bawah**

Lampiran 9 Pencatatan Hasil Dimensi Profil