

TUGAS AKHIR

**EVALUASI STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA
PANJANG MENGGUNAKAN RATING FACTOR
BERDASARKAN SNI BAJA 1729 : 2020
(*SUPERSTRUCTURE EVALUATION OF
PANJANG TRUSS BRIDGE USING RATING FACTOR
BASED ON SNI 1729 : 2020*)**

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



MUHAMMAD AFIDL HIMMANA

18511043

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

2022

TUGAS AKHIR

EVALUASI STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA PANJANG MENGGUNAKAN RATING FACTOR BERDASARKAN SNI BAJA 1729 : 2020 (*SUPERSTRUCTURE EVALUATION OF PANJANG TRUSS BRIDGE USING RATING FACTOR BASED ON SNI 1729 : 2020*)

Disusun oleh

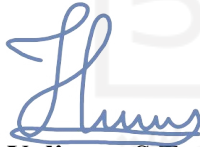
MUHAMMAD AFIDL HIMMANA
18511043

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

Diuji pada tanggal 16 Agustus 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
NIK: 155111305

Penguji I



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

Penguji II




Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.
NIK: 155111306

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Sri Amini Yuni Astuti, Dr., Ir., M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa 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 bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Afidl Himmana
(18511043)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi Struktur Atas Jembatan Rangka Panjang Menggunakan Rating Factor Berdasarkan SNI Baja 1729 : 2020*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi 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 terimakasih kepada:

1. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji 1.
3. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji 2.
4. Bapak, ibu dan keluarga penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik moral maupun materiil hingga selesainya Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 11 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Afidl Himmana
(18511043)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Keaslian Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Struktur Rangka Jembatan	10
3.2 Pembebanan	11

3.2.1	Aksi Tetap	11
3.2.2	Aksi Sementara	12
3.3	Metode Analisis Langsung (Direct Analysis Method)	16
3.3.1	Pengaruh Orde ke-2 ($P-\Delta$ dan $P-\delta$)	16
3.3.2	Pengaruh Cacat Bawaan (Initial Imperfection)	16
3.3.3	Penyesuaian Kekakuan	17
3.4	Kapasitas Nominal Komponen Struktur	18
3.4.1	Komponen Struktur Batang Tarik	18
3.4.2	Komponen Struktur Batang Tekan	19
3.4.2.1	Kelangsingan	19
3.4.2.2	Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui	21
3.4.3	Komponen Struktur Batang Lentur	22
3.4.4	Komponen Struktur Geser	25
3.4.5	Komponen Struktur Pemikul Momen Lentur dan Aksial Tekan	25
3.5	Metode <i>Rating Factor</i>	26
BAB IV METODE PENELITIAN		31
4.1	Tinjauan Umum	31
4.2	Lokasi Jembatan	31
4.3	Data Yang Diperlukan	32
4.3.1	Data Administrasi	32
4.3.2	Material Jembatan	32
4.3.3	Data Dimensi Jembatan	33
4.3.4	Data Profil Jembatan	33
4.4	Pengukuran Data Lapangan	37
4.5	Pemodelan Struktur Rangka Jembatan SAP200 ELM	39

4.6	Pemodelan Struktur Rangka Jembatan SAP2000 DAM	39
4.7	Tahap Penelitian dan Analisis	39
4.8	Bagan Alir Penelitian	41
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		44
5.1	Analisis Pembebanan	44
5.1.1	Beban Permanen	44
5.1.2	Beban Lalu Lintas	46
5.2	Pemodelan Struktur Jembatan	48
5.2.1	<i>Template Model 2D Trusses</i>	48
5.2.2	Penyesuaian Posisi Elemen Batang Rangka Jembatan	48
5.2.3	Material <i>Properties</i> Baja dan Beton	49
5.2.4	<i>Define Frame Section Properties</i>	50
5.2.5	<i>uplicate and Drawing Frame</i>	54
5.2.6	<i>Define dan Drawing Area Section</i>	55
5.2.7	<i>Joint Offset Overwrites</i> Pelat Lantai	56
5.2.8	<i>Load Transfer Option</i> pada <i>Bracing</i>	57
5.2.9	<i>Releases Partial Fixity</i>	57
5.2.10	<i>Define Load Cases</i>	58
5.3	Analisis Kapasitas Penampang	58
5.3.1	Perhitungan Kapasitas Tekan dan Tarik	59
5.3.2	Perhitungan Kapasitas Lentur (Sumbu Mayor)	62
5.3.3	Perhitungan Kapasitas Lentur (Sumbu Minor)	65
5.3.4	Perhitungan Kapasitas Geser	66
5.4	<i>Direct Analysis Method</i>	69
5.4.1	Pengaruh Cacat Bawaan (<i>initial imperfection</i>)	69

5.4.2	Penyesuaian Kekakuan	71
5.5	Hasil Analisis SAP2000 <i>Nonlinear P-delta Analysis</i> (DAM)	74
5.6	Hasil Analisis SAP2000 <i>Linear Analysis</i> (ELM)	77
5.7	Perhitungan <i>Rating Factor</i>	80
5.7.1	Kapasitas Nominal Terfaktor	80
5.7.2	Penyesuaian Rumus <i>Rating Factor</i>	83
5.7.3	Perhitungan <i>Rating Factor</i> Hasil SAP2000 Analisis DAM (Kondisi Kuat dan Layan)	84
5.7.4	Perhitungan <i>Rating Factor</i> Hasil SAP2000 Analisis ELM (Kondisi Kuat dan Layan)	92
5.8	Pembahasan	97
BAB VI PENUTUP		102
6.1	Kesimpulan	102
6.2	Saran	103
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN		105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Telah dan Akan Dilaksanakan	8
Tabel 3.1 Klasifikasi Berat Sendiri Struktur	12
Tabel 3.2 Rasio Lebar terhadap Tebal Elemen Tekan	20
Tabel 3.3 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal Elemen Tertekan	23
Tabel 3.4 Faktor Pembebanan (γ)	29
Tabel 3.5 Faktor Kondisi (ϕ_c)	29
Tabel 3.6 Faktor Sistem (ϕ_s)	30
Tabel 4.1 Dimensi Profil Rangka Diagonal	36
Tabel 4.2 Dimensi Profil Rangka Tepi	36
Tabel 4.3 Dimensi Profil Bracing Bawah dan Atas	37
Tabel 4.4 Dimensi Profil Gelagar Melintang dan Memanjang	37
Tabel 5.1 Rekapitulasi Kapasitas Tekan Profil	67
Tabel 5.2 Rekapitulasi Kapasitas Tarik Profil	68
Tabel 5.3 Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Profil	68
Tabel 5.4 Rekapitulasi Kapasitas Geser Profil	69
Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Lateral (N_i)	70
Tabel 5.6 Rekapitulasi Gaya Tekan Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)	75
Tabel 5.7 Rekapitulasi Gaya Tarik Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)	75
Tabel 5.8 Rekapitulasi Momen Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)	76
Tabel 5.9 Rekapitulasi Gaya Geser Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)	77
Tabel 5.10 Rekapitulasi Gaya Tekan Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)	78
Tabel 5.11 Rekapitulasi Gaya Tarik Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)	79
Tabel 5.12 Rekapitulasi Momen Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)	79
Tabel 5.13 Rekapitulasi Kuat Geser Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)	79
Tabel 5.14 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tekan	82
Tabel 5.15 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tarik	82
Tabel 5.16 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Lentur	83
Tabel 5.17 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Geser	83

Tabel 5.18 Rekapitulasi Rating Factor Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur DAM (Kondisi Kuat)	88
Tabel 5.19 Rekapitulasi Rating Factor Aksial Tarik DAM (Kondisi Kuat)	89
Tabel 5.20 Rekapitulasi Rating Factor Momen Lentur DAM (Kondisi Kuat)	89
Tabel 5.21 Rekapitulasi Rating Factor Geser DAM (Kondisi Kuat)	89
Tabel 5.22 Rekapitulasi Rating Factor Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur DAM (Kondisi Layan)	90
Tabel 5.23 Rekapitulasi Rating Factor Aksial Tarik DAM (Kondisi Layan)	91
Tabel 5.24 Rekapitulasi Rating Factor Momen Lentur DAM (Kondisi Layan)	91
Tabel 5.25 Rekapitulasi Rating Factor Geser DAM (Kondisi Layan)	91
Tabel 5.26 Rekapitulasi Rating Factor Aksial Tekan ELM (Kondisi Kuat)	94
Tabel 5.27 Rekapitulasi Rating Factor Aksial Tarik ELM (Kondisi Kuat)	94
Tabel 5.28 Rekapitulasi Rating Factor Momen Lentur ELM (Kondisi Kuat)	95
Tabel 5.29 Rekapitulasi Rating Factor Geser ELM (Kondisi Kuat)	95
Tabel 5.30 Rekapitulasi Rating Factor Aksial Tekan ELM (Kondisi Layan)	95
Tabel 5.31 Rekapitulasi Rating Factor Aksial Tarik ELM (Kondisi Layan)	96
Tabel 5.32 Rekapitulasi Rating Factor Momen Lentur ELM (Kondisi Layan)	96
Tabel 5.33 Rekapitulasi Rating Factor Geser ELM (Kondisi Layan)	96
Tabel 5.34 Perbandingan Nilai Rating Factor DAM dengan ELM Kondisi Kekuatan Batas	97
Tabel 5.35 Perbandingan Nilai Rating Factor DAM dengan ELM Kondisi Batas Layan	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Komponen Jembatan Rangka	10
Gambar 3.2 Beban Lajur “D”	13
Gambar 3.3 Beban Lajur “T”	14
Gambar 3.4 FBD untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur “D”	15
Gambar 3.5 Pengaruh Orde-2	16
Gambar 3.6 Tahapan untuk Penilaian Beban	27
Gambar 4.1 Lokasi Jembatan Panjang	31
Gambar 4.2 Kodefikasi Rangka Tampak Samping Jembatan Panjang	34
Gambar 4.3 Kodefikasi Rangka Tampak Atas Jembatan Panjang	34
Gambar 4.4 Kodefikasi Rangka Tampak Bawah Jembatan Panjang	35
Gambar 4.5 Roll Meter	38
Gambar 4.6 Vernier Caliper	38
Gambar 4.7 Bagan Alir Pemodelan SAP2000 ELM	39
Gambar 4.8 Bagan Alir Pemodelan SAP2000 DAM	39
Gambar 5.1 Output Berat Mati Sendiri	44
Gambar 5.2 Template Model 2D Trusses	48
Gambar 5.3 Penyesuaian Posisi Batang Rangka Utama	49
Gambar 5.4 Material Property Data	49
Gambar 5.5 Material Property Data	50
Gambar 5.6 Input Frame Section Properties	50
Gambar 5.7 Input Frame Batang Tepi Atas (BTA 3)	51
Gambar 5.8 Input Frame Batang Tepi Bawah (BTB 4)	51
Gambar 5.9 Input Frame Batang Diagonal (D 1)	52
Gambar 5.10 Input Frame Gelagar Melintang (GM)	52
Gambar 5.11 Input Frame Gelagar Panjang (GP)	53
Gambar 5.12 Input Frame Bracing Atas (BA 3)	53
Gambar 5.13 Input Frame Bracing Atas dan Pengaku Sudut (BA 1)	54
Gambar 5.14 Hasil Pemodelan Struktur Rangka Jembatan	54

Gambar 5.15 Define Area Section	55
Gambar 5.16 Draw Area Section	55
Gambar 5.17 Joint Offset Overwrites Pelat Lantai	56
Gambar 5.18 Posisi Pelat Lantai Setelah Offset	56
Gambar 5.19 Load Transfer Option	57
Gambar 5.20 Releases Partial Fixity	58
Gambar 5.21 Load Assignment	58
Gambar 5.22 Pemodelan Initial Imperfection	70
Gambar 5.23 Define Notional Load	70
Gambar 5.24 Assign Notional Load	71
Gambar 5.25 Reduksi Modulus Elastisitas Baja	72
Gambar 5.26 Load Case Nonlinear P-delta	72
Gambar 5.27 Gaya Tekan Perlu Kombinasi DFBT (P_r)	73
Gambar 5.28 Running Nonlinear Analysis – Axial Forces	74
Gambar 5.29 Running Nonlinear Analysis – Moment 2-2	74
Gambar 5.30 Running Nonlinear Analysis – Moment 3-3	74
Gambar 5.31 Running Nonlinear Analysis – Moment 3-3	75
Gambar 5.32 Running Linear Analysis – Axial Forces	77
Gambar 5.33 Running Linear Analysis – Moment 2-2	77
Gambar 5.34 Running Linear Analysis – Moment 3-3	78
Gambar 5.35 Running Linear Analysis – Moment 3-3	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian KESBANGPOL Kabupaten Kudus	106
Lampiran 2 Lembar Disposisi Izin Penelitian PUPR Kabupaten Kudus	107
Lampiran 3 Persiapan Pengukuran Rangka Jembatan	107
Lampiran 4 Pengukuran Dimensi Profil Bracing Atas	108
Lampiran 5 Persiapan Pengukuran Rangka Jembatan	108
Lampiran 6 Pengukuran Tebal Sayap Profil Batang Diagonal	109
Lampiran 7 Pengukuran Tebal Sayap Profil Gelagar Melintang	109
Lampiran 8 Pengukuran Tinggi Badan Profil Gelagar Melintang	110
Lampiran 9 Pengukuran Lebar Sayap Profil Gelagar Memanjang	110
Lampiran 10 Pengukuran Tebal Sayap Profil Gelagar Memanjang	111
Lampiran 11 Pengukuran Panjang Bentang Profil Gelagar Melintang	111

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan industri di kota Kudus, menjadikan kebutuhan penggunaan infrastruktur pada bidang transportasi semakin meningkat. Hal tersebut memungkinkan nilai masa layan infrastruktur umum seperti jembatan juga mengalami penurunan kemampuan dalam melayani beban lalu lintas dikarenakan ketika jembatan itu direncanakan tidak didesain untuk mampu melayani kapasitas yang ada pada saat ini. Seandainya perencanaan sudah mengantisipasi, faktor usia jembatan tentu mempengaruhi kondisi jembatan. *Rating factor* merupakan evaluasi struktur jembatan yang digunakan untuk mengetahui kapasitas sisa jembatan dalam melayani beban kerja. Pada perkembangan perencanaan konstruksi struktur baja SNI 1729:2020 terdapat analisis stabilitas *Direct Analysis Method* yang dimasukkan sebagai salah satu metode perencanaan untuk struktur baja di Indonesia. Hal tersebut merupakan tambahan metode sebelumnya yakni *Effective Length Method*. Sehingga fokus rumusan masalah pada penelitian ini untuk mencari nilai *rating factor* struktur atas jembatan di desa Panjang kabupaten Kudus berdasarkan analisis DAM dan ELM SNI 1729:2020 dan bagaimana kelayakannya berdasarkan penilaian *rating factor*.

Penelitian ini diawali dengan pengukuran elemen rangka jembatan secara langsung. Kemudian dilakukan analisis kapasitas penampang, serta analisis stabilitas DAM dan ELM dengan menggunakan SAP2000 untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada tiap elemen. Setelah didapatkan kapasitas dan gaya-gaya dalam tiap elemen dilanjutkan untuk menghitung nilai *rating factor*.

Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan nilai paling kritis metode DAM dan ELM berturut-turut sebesar 1,06 dan 1,10. Sehingga dengan kedua metode tersebut struktur atas jembatan Panjang dinilai masih layak untuk melayani beban desain.

Kata Kunci : Rangka Jembatan, *Rating factor*, *Direct Analysis Method*, *Effective Length Method*.

ABSTRACT

The rapid development of industry in Kudus city has made the need for infrastructure use in the transportation sector to increase. This allows the value of the service life of public infrastructure such as bridges to also experience a decrease in the ability to serve traffic loads because when the bridge was planned it was not designed to be able to serve the current capacity. If the planning has anticipated, the age factor of the bridge will certainly affect the condition of the bridge. Rating factor is an evaluation of the bridge structure that is used to determine the remaining capacity of the bridge in serving the workload. In the development of steel structure construction planning SNI 1729:2020 there is a stability analysis of the Direct Analysis Method which is included as one of the planning methods for steel structures in Indonesia. This is an addition to the previous method, namely the Effective Length Method. So the focus of the problem formulation in this research is to find the rating factor value of the bridge structure in Panjang village, Kudus district based on the DAM and ELM analysis of SNI 1729:2020 and how the feasibility is based on the rating factor assessment.

This research begins with direct measurement of the bridge truss elements. Then the cross-sectional capacity analysis, as well as the stability analysis of DAM and ELM using SAP2000 were carried out to obtain the internal forces acting on each element. After obtaining the capacity and forces in each element, it is continued to calculate the rating factor value.

From the results of the analysis carried out, the most critical values for the DAM and ELM methods were 1.06 and 1.10, respectively. So that with these two methods the superstructure of the Panjang bridge is considered still feasible to serve the design load.

Keywords: *Bridge Truss, Rating factor, Direct Analysis Method, Effective Length Method.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Kudus adalah kabupaten di Provinsi Jawa Tengah dengan luas wilayah 425,2 km². Meskipun tergolong memiliki luas wilayah yang kecil, Kudus memiliki banyak perusahaan industri besar sehingga kendaraan-kendaraan besar pengangkut produk atau hasil industri mendominasi jalan di Kudus. Saat ini telah diupayakan pengintegrasian pada jalan lingkar barat dengan jalan lingkar utara kabupaten Kudus. Selain mengintegrasikan jalan lingkar, kapasitas infrastruktur jembatan juga perlu mendapat perhatian. Kapasitas layan infrastruktur jembatan bisa saja dikatakan menurun atau bahkan tidak layak untuk saat ini. Hal tersebut disebabkan ketika perencanaannya tidak didesain untuk mampu melayani kapasitas yang ada pada saat ini, sehingga perlu adanya evaluasi berkala pada tiap aspek atau elemen struktural dari infrastruktur tersebut. Bangunan jembatan memiliki fungsi utama yaitu menghubungkan dua wilayah yang berbeda, dengan jalur penghubung berupa jalan raya untuk melewati suatu rintangan seperti sungai, saluran irigasi, dan kondisi rintangan lainnya.

Jembatan Panjang pada penelitian ini memiliki desain struktur rangka baja dengan panjang bentang 60 m dan lebar 9 m yang memiliki 2 lajur. Jembatan ini merupakan penghubung antara desa Panjang dengan desa Peganjuran yang melintasi salah satu sungai besar yaitu sungai Gelis. Jembatan Panjang ini merupakan jembatan rangka baja tipe *warren truss* yang dibangun pada tahun 1986. Selain termasuk jembatan yang sudah lama dibangun, arus lalu lintas yang melintasi jembatan panjang termasuk kategori padat dikarenakan jembatan ini berada pada jalan lingkar utara kabupaten Kudus yang menjadi jalur distribusi industri kretek, wisata religi makam sunan kudus dan sunan muria, serta industri-industri kecil lainnya. Maka dari itu ketika struktur jembatan mengalami suatu kegagalan, maka akan menghambat efektivitas kegiatan khususnya perekonomian industri di kabupaten Kudus.

Nilai masa layan suatu jembatan mungkin juga mengalami penurunan kondisi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, misalnya akibat pengaruh lingkungan mengakibatkan karat atau korosi, hingga besarnya kapasitas beban kendaraan yang melebihi rencana dari kapasitas yang mampu dipikul oleh struktur jembatan. Evaluasi jembatan dapat dilakukan salah satunya dengan cara analisis kapasitas yaitu evaluasi atau penilaian *rating factor*. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan sisa kekuatan rangka jembatan setelah melayani beban mati dibandingkan dengan kebutuhan pelayanan beban lalu lintas. Perhitungan analisis *rating factor* mengacu pada draft Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting (03/SE/M/2016).

Seiring dengan berkembangnya peraturan standarisasi desain baja, maka pada Penelitian Tugas Akhir ini penulis menggunakan acuan SNI Baja 1729:2020 dimana analisis stabilitas strukturnya menggunakan metode analisis langsung. Dengan adanya metode tersebut atau lebih familiar dengan *Direct Analysis Method* (DAM), metode ini dapat memperhitungkan kondisi *imperfection* (non geometri), kondisi *inelastic* (nonlinear material) dan analisis orde 2 (pengaruh deformasi) yang pada metode sebelumnya yaitu metode *Effective Length Method* (ELM) tidak diperhitungkan. Kemudian *Direct Analysis Method* (DAM) lebih efisien karena nilai K juga telah ditentukan K=1 akan tetapi tetap memperhitungkan efek P-delta nya. Maka dari itu pembaruan metode ini memberikan keuntungan bagi para perencana karena dapat mengatasi keterbatasan waktu serta analisa struktur yang tidak dapat memperhitungkan stabilitas.

Berdasarkan hal tersebut, menarik perhatian penulis untuk melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Struktur Atas Jembatan Rangka Panjang Menggunakan *Rating Factor* Berdasarkan SNI Baja 1729:2020”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, didapatkan rumusan masalah dalam penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Berapakah nilai *rating factor* struktur atas jembatan Panjang berdasarkan analisis DAM dan ELM SNI Baja 1729:2020?

2. Bagaimana kelayakan struktur atas jembatan Panjang berdasarkan nilai *rating factor* analisis DAM dan ELM SNI Baja 1729:2020?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai *rating factor* pada struktur atas jembatan Panjang berdasarkan analisis DAM dan ELM SNI Baja 1729:2020.
2. Untuk mengetahui kelayakan struktur atas jembatan Panjang berdasarkan nilai *rating factor* analisis DAM dan ELM SNI Baja 1729:2020.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menjadi masukan bagi para perencana struktur jembatan tentang analisis *rating factor* menggunakan peraturan terbaru SNI Baja 1729:2020.
2. Menjadi pertimbangan bagi dinas Pekerjaan Umum kabupaten Kudus dalam evaluasi kelayakan struktur atas jembatan rangka panjang.

1.5 Batasan Penelitian

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan, sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Struktur jembatan yang akan dianalisis adalah jembatan Panjang yang berlokasi di perbatasan desa Panjang-Peganjaran dan merupakan struktur rangka baja tipe *warren truss*.
2. Struktur yang dianalisis hanya struktur baja saja. Meliputi bangunan atas jembatan berupa elemen rangka batang (batang tepi atas, batang tepi bawah, batang diagonal, gelagar memanjang, gelagar melintang, dan ikatan angin), namun struktur bawah jembatan tidak diperhitungkan dalam analisis.
3. Perhitungan nilai *rating factor* mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting (03/SE/M/2016).

4. Analisis stabilitas struktur menggunakan *software* CSI:SAP2000 v.23 dan Microsoft Excel.
5. Analisis *rating factor* hanya ditinjau efek akibat beban mati dan beban hidup.
6. Penelitian ini hanya meninjau pada penilaian beban desain.
7. Penelitian ini hanya ditinjau dari aspek teknik dan tidak dilakukan analisis dari segi biaya dan waktu.
8. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT) dan Desain Kekuatan Izin (DKI)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Menurut (Asiyanto 2008) jembatan rangka baja 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.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang terkait *rating factor* jembatan jalan raya yang mana penelitian tersebut dapat dijadikan acuan atau referensi untuk penelitian yang akan penulis laksanakan.

1. Analisa Nilai Sisa Kapasitas Bangunan Atas Jembatan Bahanapu dengan Menggunakan Metode *Rating Factor*

Shintike (2015) dalam penelitiannya mengenai analisis nilai sisa kapasitas jembatan bahanapu dengan metode analisisnya yang digunakan yaitu metode *rating factor* untuk mendapatkan nilai *operating* dan *inventory rating factor* terhadap komponen jembatan. Hasil dari tugas akhir ini yang berpedoman pada draf Pedoman Penentuan Nilai Kapasitas Jembatan dari Dirjen Bina Marga. Dari hasil analisisnya untuk komponen pelat lantai kendaraan posisi Dial Gauge 2, nilai *rating factor* terbesar dan terkecil adalah 4,53 dan 0,75, sedangkan pada komponen

pelat lantai kendaraan posisi Dial Gauge 3 memiliki nilai *rating factor* terbesar dan terkecil sebesar 4,35 dan 0,58. Pada komponen gelagar utama jembatan posisi Dial Gauge 1 menurut tinjauan *operating rating factor* sebesar 1,01 dan 0,51, sedangkan menurut tinjauan *inventory rating factor* adalah sebesar 0,6 dan 0,31. Pada komponen gelagar utama jembatan posisi Dial Gauge 4 menurut tinjauan *operating rating factor* memiliki nilai terbesar dan terkecil sebesar 1,83 dan 0,71, sedangkan menurut tinjauan *inventory rating factor* adalah sebesar 1,09 dan 0,42.

2. Evaluasi Kelayakan Struktur Atas (*Superstructure*) Jembatan Muja-Muju, Yogyakarta

Kamal (2016) pada tugas akhirnya mengevaluasi kelayakan *superstructure* jembatan muja-muju, Yogyakarta. Metode analisisnya menggunakan *rating factor* untuk mendapatkan nilai *inventory rating factor* pada tiap elemen-elemen jembatan. Analisis *rating factor* ini menggunakan acuan AASHTO. Dari hasil analisisnya sebagian besar elemen struktur atas jembatan muja-muju termasuk pada kategori aman karena memiliki nilai *rating factor* > 1 , namun pada bagian *truss* terdapat 3 buah penampang yang tidak memenuhi persyaratan *inventory rating factor* dan satu diantaranya memiliki nilai *operating rating factor* sebesar 0.77.

3. Analisis Nilai Kapasitas Struktur Atas Jembatan Dengan Menggunakan Metode *Rating Factor* (Studi Kasus Jembatan Cinapel Sumedang)

Saputra (2020) melakukan analisis nilai kapasitas menggunakan metode *rating factor* dengan membandingkan perhitungan nilai RF menggunakan beban kendaraan standar AASHTO dan beban standar SNI. Nilai RF yang dihitung dengan menggunakan beban kendaraan standar AASHTO lebih besar nilainya dibandingkan jika dihitung menggunakan beban kendaraan standar SNI, hal ini karena beban standar AASHTO lebih kecil dibandingkan dengan beban standar SNI. Hasil analisis RF pada elemen gelagar dan plat yang ditinjau, diperoleh nilai RF untuk momen lentur adalah bervariasi dari 1,92 s/d 6,65. Sedangkan RF untuk gaya geser adalah bervariasi dari 2,48 s/d 8,63. Sehingga jembatan Cinapel layak dan mampu melayani lalu lintas yang melewati jembatan.

4. Analisis *Rating Factor* Jembatan Sardjito I dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016

Muluk (2021) dalam tugas akhirnya menganalisis jembatan Sardjito I dengan menggunakan *rating factor* berdasarkan pembebanan SNI 1725:2016. Dari hasil analisisnya hanya dibatasi hingga *inventory rating factor* saja. Nilai *rating factor* terendah ada pada Sistem rangka (truss) sebesar 1,147 lalu gelagar bawah dengan *inventory rating factor* 1,515, dan Diafragma (floor beam) dengan *inventory rating factor* sebesar 14,8.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka yang sudah ada, maka penelitian evaluasi struktur atas jembatan panjang menggunakan *rating factor* berdasarkan SNI Baja 1729:2020 belum pernah dilaksanakan. Dari beberapa penelitian dan tugas akhir sebelumnya, telah dirangkum hasilnya dalam tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Telah dan Akan Dilaksanakan

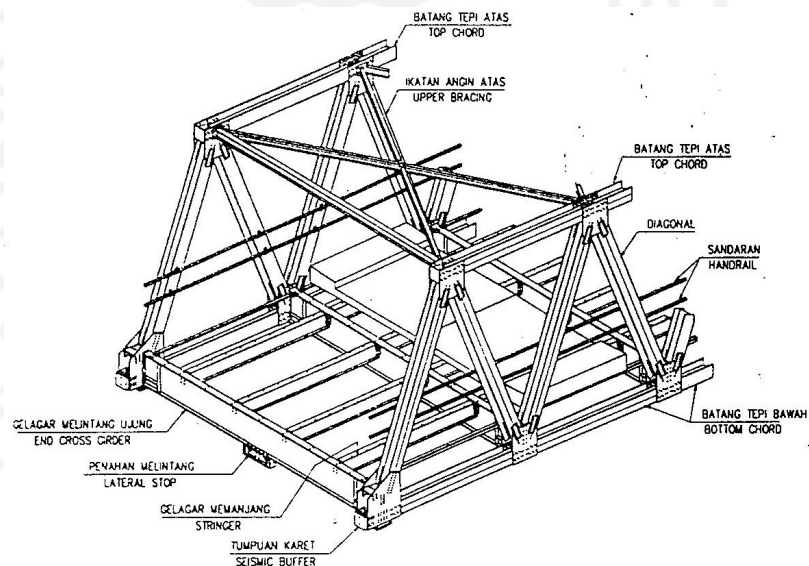
Nama	Judul	Tujuan Penelitian	Hasil
Shintike (2015)	Analisa Nilai Sisa Kapasitas Bangunan Atas Jembatan Bahanapu dengan Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>	Mengetahui kapasitas struktur atas jembatan Bahanapu setelah dianalisis dengan menggunakan metode <i>rating factor</i> .	keseluruhan jembatan memiliki nilai <i>rating factor</i> < 1 , sehingga bangunan atas Jembatan Bahanapu harus diberlakukan pembatasan beban lalu lintas dan juga perbaikan jembatan secara keseluruhan
Kamal (2016)	Evaluasi Kelayakan Struktur Atas (<i>Superstructure</i>) Jembatan Muja-Muju Yogyakarta	Mengetahui nilai kapasitas jembatan yang tersisa setelah selama beberapa tahun beroperasi	Dari hasil analisisnya sebagian besar elemen struktur atas jembatan muja-muju termasuk pada kategori aman, namun pada bagian <i>truss</i> terdapat 3 buah penampang yang tidak memenuhi persyaratan <i>inventory rating factor</i> dan satu diantaranya memiliki nilai <i>operating rating factor</i> sebesar 0.77.
Saputra (2020)	Analisis Nilai Kapasitas Struktur Atas Jembatan Dengan Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>	Membandingkan hasil analisis <i>rating factor</i> antara menggunakan beban standar AASHTO dan SNI	<p>Nilai RF yang dihitung dengan menggunakan beban kendaraan standar AASHTO lebih besar nilainya dibandingkan jika dihitung menggunakan beban kendaraan standar SNI</p> <p>Hasil analisis RF pada elemen gelagar dan plat yang ditinjau, diperoleh nilai RF untuk momen lentur adalah bervariasi dari 1,92 s/d 6,65. Sedangkan RF untuk gaya</p>

			geser adalah bervariasi dari 2,48 s/d 8,63. Sehingga jembatan Cinapel layak dan mampu melayani lalu lintas yang melewati jembatan.
Muluk (2021)	Analisis <i>Rating Factor</i> Jembatan Sardjito I dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016	Mengetahui nilai <i>rating factor</i> struktur atas jembatan Sardjito I berdasarkan pembebanan SNI 1725:2016	Dari hasil analisisnya hanya dibatasi hingga <i>inventory rating factor</i> saja. Nilai <i>rating factor</i> terendah ada pada Sistem rangka (truss) sebesar 1,147 lalu gelagar bawah dengan <i>inventory rating factor</i> 1,515, dan Diafragma (<i>floorbeam</i>) dengan <i>inventory rating factor</i> sebesar 14,8.
Penelitian yang akan dilakukan oleh Himmana (2022)	Evaluasi Struktur Atas Jembatan Panjang Menggunakan <i>Rating Factor</i> Berdasarkan SNI Baja 1729:2020.	Untuk mengetahui nilai <i>rating factor</i> pada struktur atas jembatan Panjang dengan menggunakan metode stabilitas struktur <i>Direct Analysis Method</i> berdasarkan SNI Baja 1729:2020.	

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Struktur Rangka Jembatan

Jembatan rangka adalah struktur konstruksi jembatan yang tersusun dari rangka-rangka yang diletakkan pada suatu bidang dan dihubungkan dengan sendi pada setiap titik hubungannya. Pada dasarnya jembatan rangka adalah gabungan elemen berbentuk segitiga yang tersusun secara stabil dan tidak terjadi pergerakan titik pada struktur diluar pengaruh deformasi elemen. Struktur rangka batang lebih dominan menerima gaya aksial tarik atau tekan saja, sedangkan lentur sangat kecil dan sering diabaikan. Untuk itu maka beban pada struktur rangka harus melalui titik hubungannya (*joint*) agar pengaruh lentur boleh diabaikan (Schodek, 1979). Berikut merupakan komponen jembatan rangka yang tersaji pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Komponen Jembatan Rangka

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

- a. *Top chord member*, batang tepi atas
- b. *Bottom chord member*, batang tepi bawah
- c. *Diagonal member*, batang diagonal
- d. *Top chord bracing*, pengaku bagian atas
- e. *Bottom chord bracing*, pengaku bagian bawah
- f. *Stringer*, balok memanjang
- g. *Cross girder*, balok melintang

3.2 Pembebanan

Untuk mendapatkan besarnya gaya yang bekerja pada tiap elemen rangka batang untuk nantinya dianalisis kapasitas penampangannya, 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 SNI 1725:2016 pengaruh pembebanan diklasifikasi menurut asal sumber beban, diantaranya yaitu berupa aksi tetap dan aksi sementara.

3.2.1 Aksi Tetap

Aksi tetap diartikan sebagai beban permanen yang melekat pada struktur jembatan selama jembatan tersebut bekerja menerima beban-beban yang bekerja. Aksi tetap terdiri atas berat sendiri struktur (M_S) dan beban mati tambahan (M_A).

- a. Berat Sendiri Struktur (M_S)

Berat sendiri struktur merupakan berat bahan dari elemen struktural pada bagian jembatan yang bersifat tetap dan tidak berpindah. Dalam SNI 1725:2016 berat sendiri struktur diperhitungkan berdasarkan berat satuan isi dan kerapatan massa, tersaji pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi Berat Sendiri Struktur

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan 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	1920-2325
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
	Beton $35 < f'_c < 105$ MPa	$22+0,022 f'_c$	$2240+2,29 f'_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber: SNI 1725:2016)

b. Beban Mati Tambahan (M_A)

Beban mati tambahan merupakan beban yang diterima oleh struktur jembatan yang merupakan elemen permanen pada jembatan yang bersifat non struktural. Beban mati pada struktur jembatan pada penelitian ini misalnya berupa lapisan permukaan aspal setebal 50 mm dengan berat jenis sebesar 25 kN/m³.

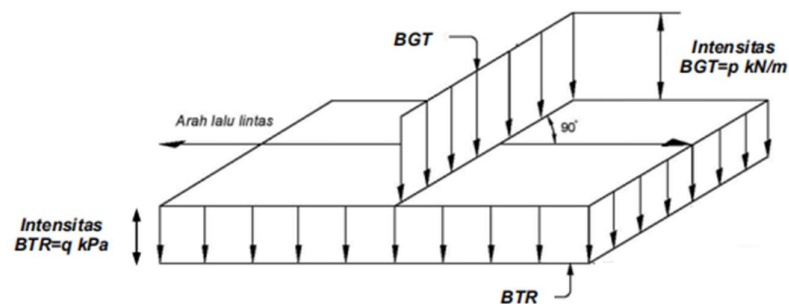
3.2.2 Aksi Sementara

Aksi sementara merupakan aksi yang terjadi akibat dari pembebanan sementara yang terjadi berulang-ulang. Aksi sementara tersebut diartikan sebagai beban lalu lintas yang bekerja pada struktur jembatan. Beban lalu lintas dalam perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur

“D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

a. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” merupakan kombinasi antara beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total L yang dibebani. Jika $L < 30$ m maka, q bernilai 9,0 kPa untuk $L > 30$ m maka, q bernilai $9,0 (0,5+15/L)$ kPa. Dimana q merupakan intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan (kPa), sedangkan L merupakan panjang total jembatan yang dibebani (meter). Penyebaran beban lajur “D” dapat dilihat pada gambar berikut.



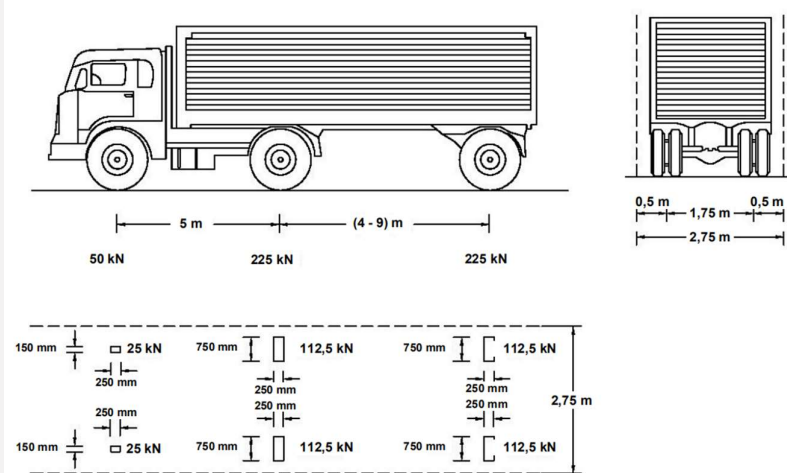
Gambar 3.2 Beban Lajur “D”

(Sumber : SNI 1725:2016)

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sehingga mendapatkan momen maksimum. Penyusunan komponen BTR dan BGT dari beban “D” pada arah melintang harus sama.

b. Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 meter sampai dengan 9,0 meter untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Persebaran beban truk “T” dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Beban Lajur “T”

(Sumber : SNI 1725:2016)

c. Faktor Beban Dinamis

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar pada suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. Besarnya BGT dari pembebanan jalur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD.

Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada kendaraan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur “D” tidak dikali FBD. Untuk pembebanan “D” FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tersaji pada gambar 3.3. Untuk bentang

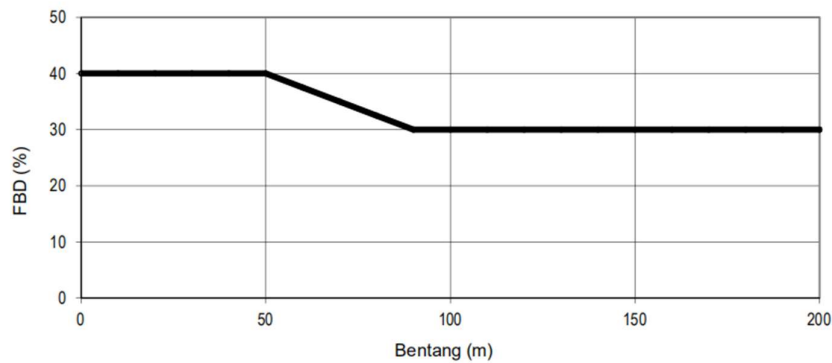
tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekivalen L_e digunakan rumusan sebagai berikut.

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

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



Gambar 3.4 FBD untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016)

d. Gaya Rem

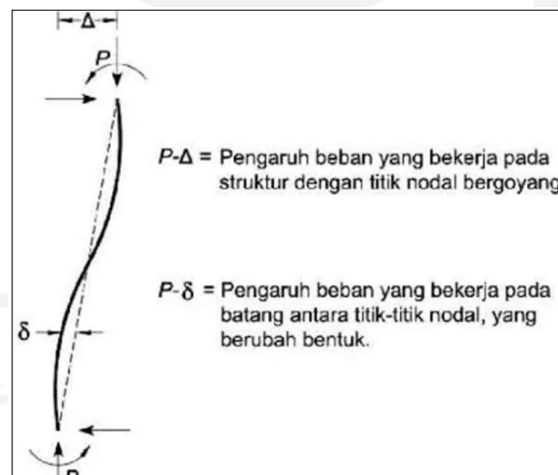
Gaya rem harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Gaya rem harus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

3.3 Metode Analisis Langsung (Direct Analysis Method)

Direct Analysis Method merupakan analisis stabilitas diterapkan pada struktur baja yang mana implementasinya dibantu dengan program analisis komputer. Karena gaya-gaya internal batang dan deformasi yang terjadi akan mempengaruhi stabilitas struktur, maka perlu adanya analisis struktur untuk memprediksinya. Terdapat faktor-faktor yang perlu ditinjau dimana faktor tersebut mampu mempengaruhi analisis stabilitas struktur diantaranya:

3.3.1 Pengaruh Orde ke-2 (P- Δ dan P- δ)

Pada struktur langsing, deformasi akibat pembebanan tetap diperhitungkan dengan analisa struktur orde-2. Faktor yang perlu diperhatikan adalah pada pengaruh *second order effect*, yaitu P- Δ dan P- δ . Dimana P- Δ merupakan pengaruh pembebanan akibat adanya perpindahan titik-titik nodal elemen dan P- δ merupakan pengaruh pembebanan akibat deformasi di elemen, Wiryanto (2015). Adapun pengaruh orde-2 pada struktur tersaji pada gambar berikut.



Gambar 3.5 Pengaruh Orde-2

3.3.2 Pengaruh Cacat Bawaan (Initial Imperfection)

Ketidaksempurnaan atau cacat dari elemen struktur akan menghasilkan efek *destabilizing* (ketidakseimbangan). Pada *Direct Analysis Method* terdapat dua cara untuk menganalisisnya, pertama dengan cara pemodelan langsung cacat pada geometri model, yaitu dengan diberikan pergeseran pada titik nodal yang nilai

besarannya diambil dari toleransi maksimum yang diperbolehkan dalam perencanaan maupun pelaksanaan. Pola penggeseran pada titik nodal harus dibuat sedemikian rupa sehingga menimbulkan efek *destabilizing* terbesar. Cara kedua bisa juga dengan memberikan beban *notional* (beban lateral ekivalen) dari sebagian prosentase beban gravitasi (vertikal) yang bekerja, beban *notional* merupakan beban lateral yang diberikan di setiap level berdasarkan prosentase beban vertikal yang bekerja di level tersebut dan diberikan pada sistem penahan gravitasi melalui rangka atau kolom vertikal sebagai simulasi pengaruh adanya cacat bawaan. Adapun besaran beban *notional* dapat ditentukan melalui rumusan berikut:

$$N_i = 0,002 \times Y_i \quad (3.2)$$

Keterangan:

N_i = beban notional di level i

Y_i = beban gravitasi di level i hasil beban kombinasi DFBT

0,002 = nilai nominal rasio kemiringan tingkat

3.3.3 Penyesuaian Kekakuan

Terjadinya pelemahan kekuatan saat mendekati kondisi batas dapat terjadi akibat adanya leleh setempat (*partial yielding*) akibat tegangan sisa pada profil baja, kondisi tersebut akan menghasilkan efek *destabilizing*. Kondisi tersebut pada *Direct Analysis Method* akan diatasi dengan penyesuaian kekakuan struktur, dengan cara memberikan faktor reduksi kekakuan. Nilainya diperoleh dengan cara kalibrasi dengan membandingkannya dengan analisa distribusi plastisitas maupun hasil uji tes empiris (Galambos 1998).

Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari faktor reduksi kekuatan adalah sebagai berikut:

$$EI' = 0,8 \times \tau_b \times EI \quad (3.3)$$

Apabila kondisi $P_r \leq 0,5P_y$, dimana P_r adalah gaya tekan perlu hasil kombinasi DFBT maka,

$$\tau_b = 1,0$$

Apabila gaya tekannya besar dengan nilai $P_r > 0,5 P_y$ maka,

$$\tau_b = 4 \frac{P_r}{P_y} \times \left(1 - \frac{P_r}{P_y} \right) \quad (3.4)$$

Keterangan:

EI' = modulus elastisitas setelah direduksi

τ_b = kekakuan lentur

P_r = gaya tekan hasil perlu kombinasi DFBT

P_y = kuat tarik lentur

Pemakaian reduksi kekakuan ini hanya untuk memperhitungkan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja.

3.4 Kapasitas Nominal Komponen Struktur

Kekuatan pada struktur jembatan rangka baja berkaitan dengan kapasitas yang mampu dipikul oleh suatu elemen struktur rangka bajanya. Kapasitas nominal komponen struktur dalam penelitian ini didapatkan melalui analisis yang mengacu pada SNI 1729:2020.

3.4.1 Komponen Struktur Batang Tarik

Dalam menentukan kapasitas nominal suatu batang tarik, tidak ada batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur yang mengalami tarik. Kekuatan tarik desain dan izin pada komponen struktur tarik harus merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

1. Leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = F_y \times A_g \quad (3.5)$$

2. Keruntuhan tarik pada penampang neto

$$P_n = F_u \times A_e \quad (3.6)$$

$$A_e = A_n \times U \quad (3.7)$$

Keterangan:

P_n = kuat tarik nominal (MPa)

F_y	= tegangan leleh minimum terspesifikasi (MPa)
F_u	= kuat tarik minimum terspesifikasi (MPa)
A_g	= luas bruto dari komponen struktur (mm^2)
A_e	= luas neto efektif (mm^2)
A_n	= luas neto (mm^2)
U	= faktor lag geser

3.4.2 Komponen Struktur Batang Tekan

Batang tekan didefinisikan sebagai batang struktural yang menerima gaya tekan aksial. Pada struktur rangka jembatan batang tekan dapat berupa batang tepi, batang diagonal, batang vertikal, dan batang-batang pengekang (*bracing*) (Padosbajayo,1992). Terdapat 2 kategori dalam keruntuhan pada batang tekan diantaranya:

1. Keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui. Keadaan ini terjadi akibat batang tekan yang pendek dengan penampang kompak. Penampang kompak adalah penampang yang memiliki rasio kelangsingan atau rasio lebar tebal (b/t) kecil sehingga penampang tersebut tidak mengalami tekuk setempat (*local buckling*).
2. Keruntuhan akibat tekuk (*buckling*). Keadaan ini terjadi pada batang tekan yang langsing. Kegagalan tekuk dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tekuk total (*overall buckling*) batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar) dan tekuk lokal (*local buckling*) batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio b/t besar) (Kusuma, 1983).

3.4.2.1 Kelangsingan

Pada penampang yang mendapatkan beban aksial tekan, kekuatannya perlu direduksi jika penampang tersebut merupakan penampang langsing. Rasio antara lebar dengan lebar suatu elemen dinotasikan dengan simbol λ . Pada batang tekan pendek tidak terjadi tekuk sedangkan pada batang tekan langsing apabila terdapat

pembebanan dengan beban yang sama maka dapat terjadi tekuk sebelum leleh yaitu dengan adanya perpindahan lateral. Pada batang tekan langsing, jika dibebani dengan beban yang sama sebelum leleh bisa terjadi tekuk, yaitu adanya perpindahan lateral seperti lentur balok, yang besar pada kondisi konstan.

Untuk mengetahui batas kelangsingan suatu profil dapat menggunakan acuan Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Rasio Lebar terhadap Tebal Elemen Tekan

Jenis Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal (non langsing/langsing)
Sayap profil I gilas panas, kanal dan T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/tw	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

(sumber : SNI 1729:2020)

Kelangsingan suatu elemen struktur dapat dinyatakan dalam rasio yang disebut rasio kelangsingan. Rasio kelangsingan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = \sqrt{\frac{K.L}{r}} \quad (3.8)$$

$$r = \frac{I}{A} \quad (3.9)$$

Keterangan:

- λ = rasio kelangsingan
 K = faktor panjang efektif komponen struktur tekan
 L = panjang struktur tekan yang tidak ditopang
 r = jari-jari girasi potongan lintang komponen struktur tekan
 I = momen inersia penampang struktur tekan
 A = luas penampang struktur tekan

Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain komponen struktur tekan adalah kestabilannya dikarenakan adanya bahaya tekuk pada komponen tekan yang langsing. Sehingga nilai KL/r dibatasi pada 200 untuk elemen struktur tekan.

3.4.2.2 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Keadaan ini dapat terjadi pada luas penampang dari batang tekan tersebut. Semakin besar luas penampang komponen tekan menjadikannya memiliki kapasitas tekan yang juga besar, menurut SNI 1729:2000 persamaan kuat tekan dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.10)$$

Batang tekan pendek dengan rasio kelangsingan atau rasio lebar terhadap tebal (b/t) kecil dapat dibebani hingga elemen mengalami leleh. Pada kondisi ini tegangan kritis (F_{cr}) lebih besar dari tegangan leleh (F_y), sehingga tegangan kritis yang digunakan sama dengan tegangan lelehnya. Umumnya keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui dijumpai pada jenis batang dengan karakteristik semacam itu.

Nilai F_{cr} dapat ditentukan apabila:

$$\text{Jika } \frac{Lc}{r} \leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ maka,}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_c} \right) \times F_y \quad (3.11)$$

Jika $\frac{Lc}{r} \geq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka,

$$F_{cr} = (0,877 \times F_e) \quad (3.12)$$

Keterangan:

A_g = luas penampang bruto (mm^2)

E = modulus elastisitas baja (MPa)

F_e = tegangan tekuk elastis (MPa)

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi tipe baja (MPa)

r = jari-jari girasi (mm)

3.4.3 Komponen Struktur Batang Lentur

Berdasarkan SNI 1729:2020 suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat, harus memenuhi:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (3.13)$$

Keterangan:

M_u = momen lentur terfaktor (Nmm)

M_n = momen lentur nominal (Nmm)

Untuk melakukan kontrol terhadap tekuk lokal baik di bagian sayap dan badan profil, dapat menggunakan acuan pada tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal Elemen Tertekan

Jenis Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
		λ_p (kompak)	λ_r (non-kompak)
Sayap profil I gilas panas, kanal dan T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Badan profil I simetris ganda dan kanal	h/tw	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

(sumber : SNI 1729:2020)

Komponen struktur profil I kompak simetris ganda yang melentur terhadap sumbu mayornya kekuatan lentur nominal M_n , harus diperoleh dari nilai terendah keadaan batas leleh (momen plastis) dan tekuk torsi lateral.

1. Leleh

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x \quad (3.14)$$

dengan,

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

Z_x = modulus penampang plastis terhadap sumbu x (mm^3)

2. Tekuk Torsi Lateral

a. Apabila $L_b \leq L_p$, keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku

b. Apabila $L_b \leq L_p \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.15)$$

c. Apabila $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} \times S_x \leq M_p \quad (3.16)$$

dengan,

L_b = panjang antara titik-titik, baik yang terbreis terhadap perpindahan lateral sayap tekan atau terbreis terhadap puntir penampang melintang

$$C_b = \left(\frac{12,5 \times M_{max}}{2,5 \times M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \right) \quad (3.17)$$

= faktor modifikasi tekuk torsi lateral

M_{max} = momen maksimum dalam segmen tak terbreis (N.mm)

M_A = momen pada titik seperempat dari segmen tak terbreis (N.mm)

M_B = momen pada titik tengah dari segmen tak terbreis (N.mm)

M_C = momen pada titik tiga perempat dari segmen tak terbreis (N.mm)

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (3.18)$$

= tegangan kritis (MPa)

E = modulus elastisitas baja (200.000 MPa)

J = konstanta torsi (mm⁴)

S_x = modulus penampang elastis terhadap sumbu x (mm³)

h_o = jarak antara titik berat sayap (mm)

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

= batas panjang tak terbreis lateral untuk keadaan batas leleh (mm)

r_y = radius girasi terhadap sumbu y (mm)

$$L_r = 1,95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2}} \quad (3.19)$$

= batas panjang tak terbreis untuk keadaan batas pada tekuk torsi lateral inelastik (mm)

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{I_y \times C_w}{S_x}} \quad (3.20)$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{b_f}{12 \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{h \times t_w}{b_f \times t_f} \right)}} \quad (3.21)$$

$c = 1$ (untuk profil I simetris ganda)

3.4.4 Komponen Struktur Geser

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

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \quad (3.22)$$

dengan,

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

A_w = luas badan, tebal keseluruhan dikalikan tebal badan (mm²)

Untuk badan komponen struktur profil I dengan

$$h / t_w \leq 2,24 \sqrt{E / F_y}$$

$$C_{v1} = 1,0$$

dengan,

E = modulus elastisitas baja (200.000 MPa)

h = jarak bersih antara sayap-sayap (mm)

t_w = tebal badan (mm)

3.4.5 Komponen Struktur Pemikul Momen Lentur dan Aksial Tekan

Interaksi momen lentur dan gaya tekan pada komponen struktur simetris ganda yang melentur terhadap sumbu geometris (x atau y) harus dibatasi oleh persamaan berikut.

1. Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.23)$$

2. Apabila $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$ maka,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.24)$$

dengan

P_r = kekuatan aksial perlu menggunakan kombinasi beban DFBT atau
DKI

P_c = kekuatan aksial tersedia

M_r = kekuatan lentur perlu menggunakan kombinasi beban DFBT atau
DKI

M_c = kekuatan lentur tersedia

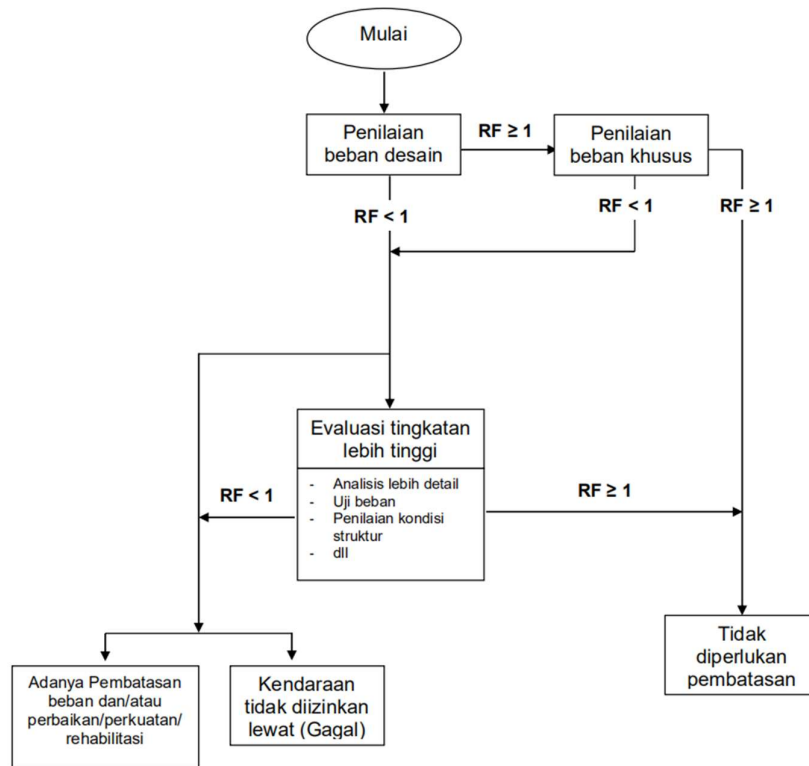
x = indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor

y = indeks sehubungan dengan lentur sumbu minor

3.5 Metode *Rating Factor*

Menurut Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting (03/SE/M/2016) *Rating Factor* adalah rasio antara nilai kapasitas tersedia untuk menahan beban hidup dibandingkan dengan nilai beban hidup tertentu (*rating vehicle*) yang dikerjakan pada jembatan. *Rating vehicle* dapat berupa beban desain ataupun beban khusus. Jika nilai *Rating Factor* > 1,0 maka struktur jembatan aman terhadap beban *Rating Vehicle*.

Hasil dari setiap prosedur penilaian beban dapat dipakai untuk penggunaan yang spesifik dan juga menuntun untuk evaluasi lebih lanjut dalam keselamatan atau daya layan jembatan yang telah diperiksa. Berikut ini merupakan diagram alir yang menguraikan pendekatan prosedur penilaian beban yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Tahapan untuk Penilaian Beban

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

Hasil analisis *rating factor* dapat menjadikan pembatasan beban kendaraan yang melewati jembatan itu atau perkuatan sebagian atau seluruh jembatan jika nilai *rating factor* $< 1,0$. Prosedur perhitungan *rating factor* secara analitik dilakukan dengan prosedur berikut:

1. Mengumpulkan data dan informasi yang kemudian digunakan untuk menetapkan model yang didasarkan pada hasil inspeksi lapangan.
2. Menganalisis hasil evaluasi lapangan.
3. Melakukan analisis pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan
4. Melakukan analisis struktur dan analisis kekuatan penampang elemen-elemen rangka jembatan.
5. Menghitung *rating factor*.

3.5.1 Persamaan Umum

Persamaan umum yang digunakan dalam menentukan penilaian beban setiap komponen yang bekerja gaya-gaya dalamnya seperti aksial, momen lentur dan gaya geser adalah sebagai berikut.

$$R_F = \frac{C - (\gamma_{D_C})(D_C) - (\gamma_{D_W})(D_W)}{(\gamma_{L_L})(L_L + I_M)} \quad (3.25)$$

Untuk kondisi kekuatan batas:

$$C = \phi_c \phi_s \phi R_n \quad (3.26)$$

Untuk kondisi batas layan:

$$C = f_R \quad (3.27)$$

Keterangan:

R_F = Faktor penilaian (*Rating Factor*)

C = Kapasitas elemen struktur (tarik, tekan, geser, 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_{D_C} = Faktor beban LRFD untuk komponen struktural dan tambahannya

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

γ_{L_L} = Faktor evaluasi beban hidup

ϕ_c = Faktor kondisi

ϕ_s = Faktor sistem

ϕ = Faktor tahanan LRFD

3.5.2 Faktor Pembebanan (γ)

Penilaian beban harus mempertimbangkan semua beban permanen. Beban permanen termasuk beban mati dan efek dari proses konstruksi. Faktor beban untuk beban permanen ditunjukkan pada Tabel 3.4 Berikut ini.

Tabel 3.4 Faktor Pembebanan (γ)

Tipe Jembatan	Kondisi Batas	Beban Mati (γ_{Dc})	Beban Mati (γ_{Dw})	Beban Hidup (γ_{LL})
Struktur Baja	Kekuatan I	1,25	1,50	1,80
	Service II	1,00	1,00	1,00

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

3.5.3 Faktor Kondisi (ϕ_c)

Faktor kondisi digunakan untuk memperhitungkan peningkatan ketidakpastian daya layan akibat adanya kerusakan pada komponen struktur dan kemungkinan peningkatan kerusakan di masa mendatang. Pada tabel 3.4 berikut ini menunjukkan faktor kondisi yang mengacu pada nilai kondisi struktur jembatan.

Tabel 3.5 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

Lanjutan Tabel 3.5 Faktor Kondisi (ϕ_c)

3	Kerusakan yang memerlukan 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*)

3.5.4 Faktor Sistem (ϕ_s)

Faktor sistem diterapkan pada tahanan nominal untuk menggambarkan tingkat pengurangan dari sistem bangunan atas yang lengkap. Jembatan dengan faktor reduksi yang kecil mempunyai faktor kapasitas komponen yang berkurang, sehingga memiliki penilaian beban yang lebih rendah. Pada Tabel 3.6 berikut ini menunjukkan faktor sistem untuk struktur yang mengacu pada AASHTO.

Tabel 3.6 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 Tinjauan Umum

Penelitian ini merupakan studi analisis yang dilakukan dengan beberapa tahap dimulai dari, pengumpulan data sekunder melalui dinas Pekerjaan Umum kabupaten Kudus serta beberapa sumber literasi yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan yang dapat dijadikan referensi serta acuan, pengumpulan data primer melalui pengukuran langsung berupa geometri rangka jembatan serta detail profil rangka, pemodelan struktur rangka jembatan dengan menggunakan SAP2000, analisis *Rating Factor* menggunakan analisis stabilitas struktur *Direct Analysis Method* (SNI 1729:2020), dan hasil penelitian studi analisis ini berupa evaluasi nilai *rating factor* pada struktur rangka jembatan Panjang.

4.2 Lokasi Jembatan

Jembatan Panjang memiliki panjang total 60 m dan lebar 9,6 m. Jembatan ini terletak di Jl. Lingkar Utara, Panjang, Bae, Kudus, Jawa Tengah dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Jembatan Panjang

4.3 Data Yang Diperlukan

Dalam suatu metode penelitian diperlukan data-data penunjang untuk kemudian di analisis untuk memperoleh suatu kesimpulan. Pada penelitian ini data-data tersebut diantaranya data panjang jembatan, lebar jembatan, dimensi rangka jembatan serta tipe struktur jembatan. Data tersebut diperoleh dari pengukuran langsung pada lokasi penelitian serta berupa data pendukung dari dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Kudus.

4.3.1 Data Administrasi

Berikut adalah data administrasi yang diperoleh dari kantor Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat (PUPR) Kabupaten Kudus.

Nama Jembatan	: Jembatan Panjang Bae Kudus
Ruas Jalan	: Jl. Panjang, Lingkar Utara
Tipe Jembatan	: Rangka Baja Jenis <i>Warren Truss</i>
Sungai	: Sungai Gelis
Tahun Pembangunan	: 1986
Panjang Bentang	: 60 Meter
Jumlah Bentang	: 1 Bentang
Lebar Bentang	: 9,6 Meter
Tinggi Jembatan	: 6,35 Meter

4.3.2 Material Jembatan

Pada Jembatan Panjang tersusun atas dua jenis material yaitu beton dan baja. Mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan *Eksisting* nilai kuat tekan beton bertulang pelat lantai pada pembangunan jembatan setelah tahun 1970 ditentukan sebesar 22 MPa. Sedangkan untuk elemen baja, karakteristik struktur baja berdasarkan tahun pembangunannya juga dijelaskan pada Tabel 7 Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan *Eksisting*, maka digunakan mutu material baja sebagai berikut:

Tegangan Leleh (F_y)	: 250 MPa
Tegangan Putus (F_u)	: 360 MPa
Mutu Beton (F'_c)	: 22 MPa

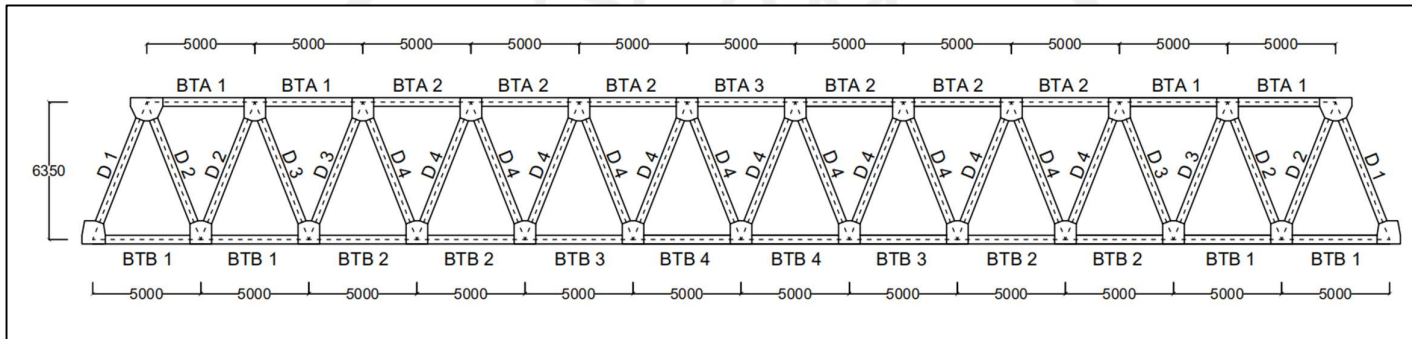
4.3.3 Data Dimensi Jembatan

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

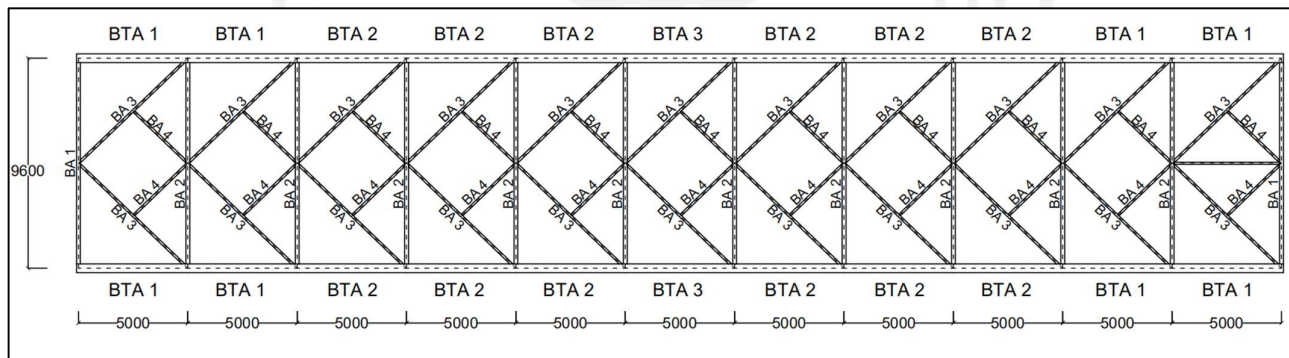
Panjang Jembatan Rangka	: 60 Meter
Jumlah Lajur	: 2 Lajur
Lebar Jalur Kendaraan	: 7 Meter
Lebar Jembatan	: 9,6 Meter
Tinggi Jembatan	: 6,35 Meter
Lebar Trotoar	: 1 Meter
Tinggi Trotoar	: 70 mm
Tebal Plat Lantai	: 300 mm

4.3.4 Data Profil Jembatan

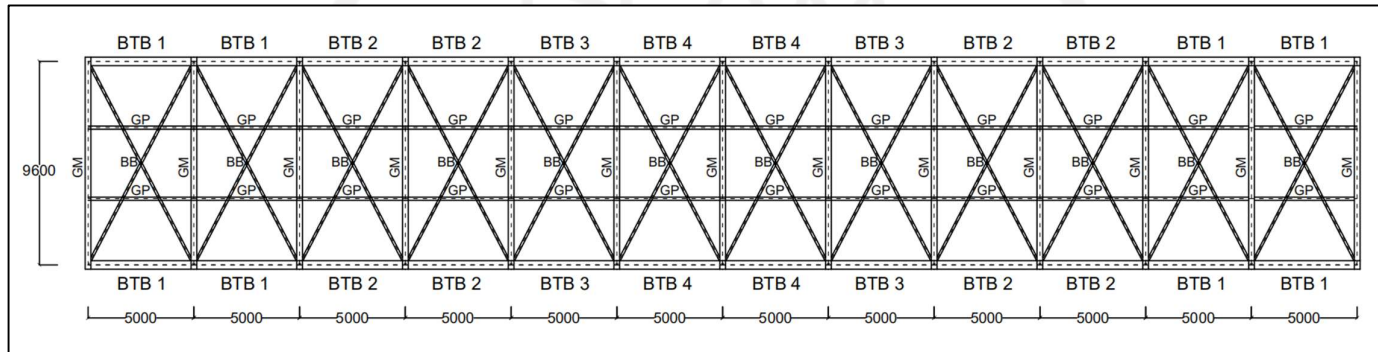
Data profil jembatan Panjang pada penelitian ini bersumber dari pengukuran langsung di lapangan, berdasarkan data yang diperoleh jembatan Panjang menggunakan beberapa profil dalam komponen rangkanya, sebagian besar profil yang digunakan pada jembatan ini merupakan profil WF.



Gambar 4.2 Kodefikasi Rangka Tampak Samping Jembatan Panjang



Gambar 4.3 Kodefikasi Rangka Tampak Atas Jembatan Panjang



Gambar 4.4 Kodefikasi Rangka Tampak Bawah Jembatan Panjang

1. Rangka Diagonal

Pada elemen rangka diagonal, digunakan profil *wide-flange* yang menyusun rangka diagonal dengan dimensi bervariasi, tersaji pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Dimensi Profil Rangka Diagonal

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Dimensi Profil		Kode
Batang Diagonal	WF	400.350.10.37	D1
	WF	400.300.10.17	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:

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* Bawah dan Atas

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

Tabel 4.3 Dimensi Profil Bracing Bawah dan Atas

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Elemen		Kode
<i>Bracing</i> Bawah	L	100.100.9	BB
<i>Bracing</i> Atas	WF	455.175.10.11	BA1
	WF	250.145.10.11	BA2
	L	150.100.9	BA3
	L	100.100.9	BA4

4. Gelagar Melintang dan Memanjang

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

Tabel 4.4 Dimensi Profil Gelagar Melintang dan Memanjang

Rekapitulasi Profil Baja			
Elemen	Elemen		Kode
Gelagar Melintang	WF	750.270.20.18	GM
Gelagar Memanjang	WF	300.150.15.10	GP

4.4 Pengukuran Data Lapangan

Metode pengumpulan data pada penelitian ini utamanya menggunakan data primer. Data primer pada penelitian ini didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan, sebab tahun pembangunan jembatan yang sudah cukup lama yakni 1986 sehingga arsip *Detail Engineering Design* pada dinas terkait sudah tidak ada. Pengukuran data lapangan yang telah dilakukan pada penelitian ini tersaji pada sub sub sebelumnya yakni 4.3.3 dan 4.3.4. Pengukuran data lapangan ini berupa pengukuran panjang bentang jembatan, lebar jembatan, tinggi jembatan, serta detail ukuran profil rangka baja penyusun struktur jembatan.

4.4.1 Alat Pengukur

Alat pengukur yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Roll Meter

Roll meter pada penelitian ini digunakan untuk mengukur geometri rangka struktur jembatan berupa lebar jembatan, tinggi jembatan, serta panjang jembatan. Selain itu roll meter digunakan untuk mengukur dimensi lebar sayap dan tinggi profil untuk profil yang besarnya tidak dapat diukur menggunakan *vernier caliper*.



Gambar 4.5 Roll Meter

2. Vernier Caliper

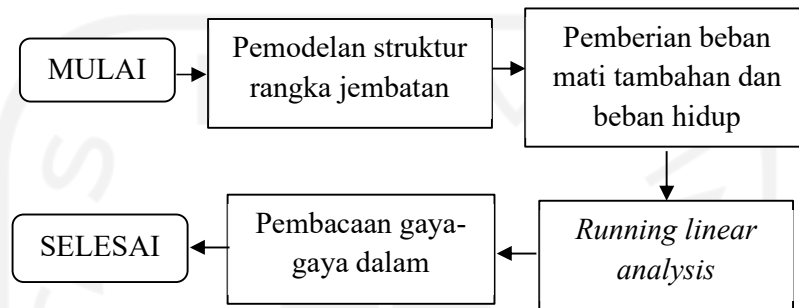
Vernier Caliper atau jangka sorong pada penelitian ini digunakan untuk mengukur detail profil rangka baja berupa tebal sayap, serta dengan fasilitas *depth bar* atau batang kedalaman pada *caliper* yang digunakan untuk mengukur tebal badan pada profil IWF.



Gambar 4.6 Vernier Caliper

4.5 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan SAP200 ELM

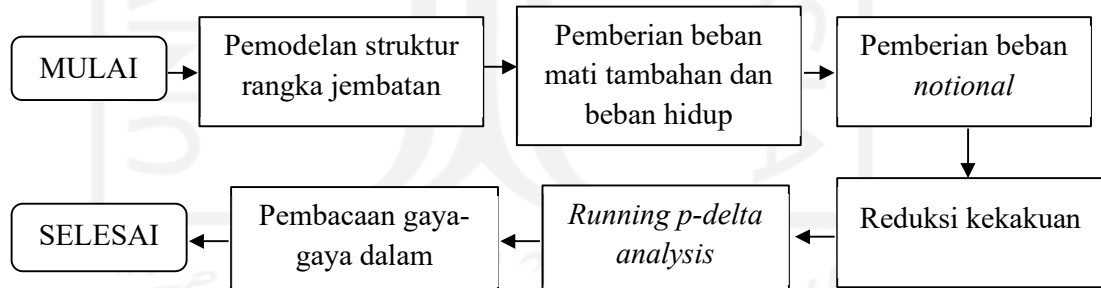
Pemodelan struktur rangka jembatan dengan menggunakan SAP2000 metode ELM dilakukan untuk memperoleh gaya-gaya dalam akibat pembebanan yang di *running* menggunakan *linear analysis*.



Gambar 4.7 Bagan Alir Pemodelan SAP2000 ELM

4.6 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan SAP2000 DAM

Pemodelan struktur rangka jembatan dengan menggunakan SAP2000 metode DAM dilakukan untuk memperoleh gaya-gaya dalam akibat pembebanan yang di *running* menggunakan *p-delta analysis* serta penambahan step sesuai analisis DAM yakni pemberian beban *notional* serta reduksi kekakuan elemen.



Gambar 4.8 Bagan Alir Pemodelan SAP2000 DAM

4.7 Tahap Penelitian dan Analisis

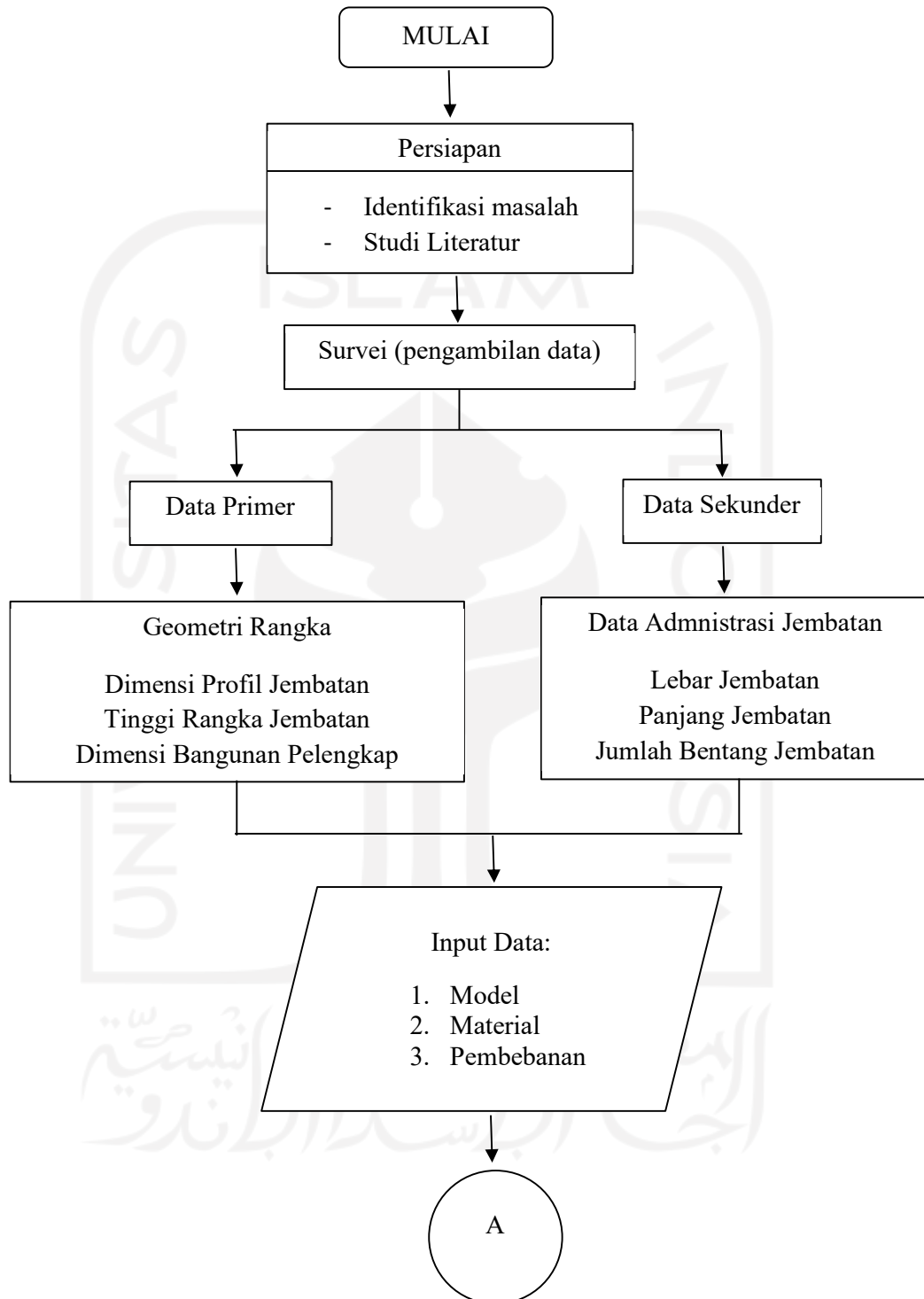
Pada setiap pelaksanaan penelitian harus dilakukan secara sistematis sesuai dengan urutan sebagaimana mestinya sehingga dalam pelaksanaannya menghasilkan kesimpulan yang tidak meragukan. Adapun tahapan-tahapan dalam proses penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

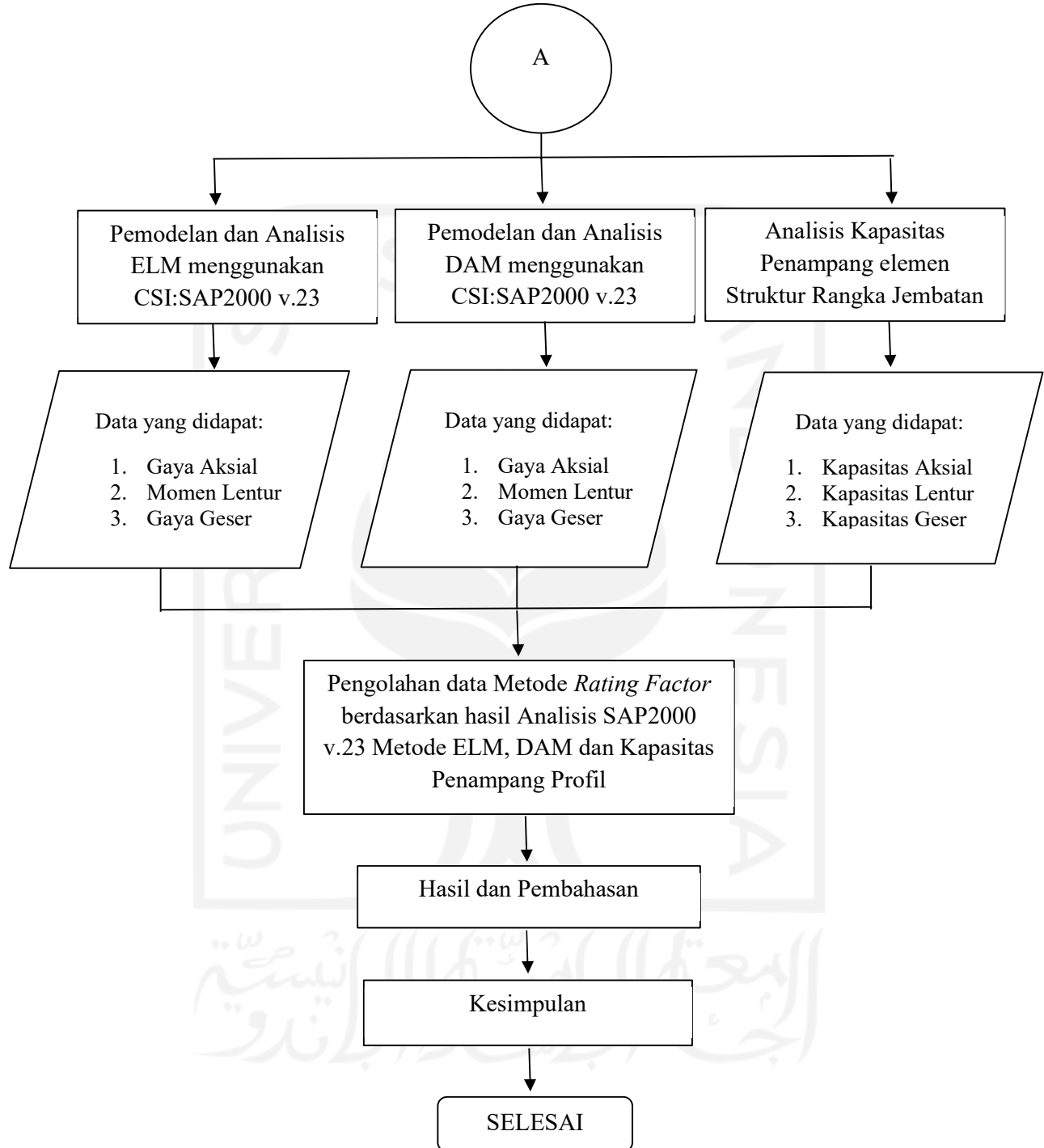
1. Pengukuran Langsung Jembatan
Melakukan pengukuran langsung jembatan panjang untuk memperoleh data profil penyusun struktur rangka jembatan panjang serta utilitas tambahan yang ada pada jembatan diantaranya trotoar, tebal plat lantai, serta geometri lebar, bentang dan tinggi jembatan.
2. Analisis Pembebanan Jembatan
Melakukan analisis pembebanan berupa beban-beban yang bekerja (beban mati tambahan dan beban hidup) pada struktur rangka jembatan Panjang mengacu pada Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016.
3. Pemodelan Rangka Jembatan
Melakukan pemodelan struktur rangka jembatan dengan menggunakan bantuan aplikasi SAP2000. Pada aplikasi SAP2000 dimodelkan struktur rangka jembatan yang telah diketahui jenis mutu material, dimensi geometri rangka jembatan, dimensi profil penampang struktur rangkanya, serta menerapkan analisis pembebanan agar berperilaku menyerupai jembatan *eksisting*.
4. Analisis Struktur Rangka Jembatan ELM
Setelah selesai dilakukan pemodelan struktur rangka jembatan sedemikian hingga model berperilaku menyerupai jembatan *eksisting* dilanjutkan dengan analisis stabilitas struktur menggunakan ELM dalam mendapatkan kuat perlu (gaya tarik, tekan, momen dan geser) tiap elemen struktur rangka jembatan menggunakan *software* SAP2000.
5. Analisis Struktur Rangka Jembatan DAM
Untuk analisis stabilitas struktur menggunakan *Direct Analysis Method*, dalam mendapatkan kuat perlu (gaya tarik, tekan, momen dan geser) tiap elemen struktur rangka jembatan menggunakan *software* SAP2000 setelah sebelumnya dilakukan penambahan beban *notional* pada seluruh batang tekan serta mereduksi kekakuan tiap penampang elemen.

6. Analisis Kapasitas Penampang Elemen
Seluruh elemen dilakukan perhitungan kapasitasnya (kapasitas tarik, tekan, momen, dan geser) sesuai dengan gaya yang dikerjakan oleh batang tersebut mengacu pada SNI 1729:2020.
7. Analisis *Rating Factor* Struktur Rangka Jembatan ELM dan DAM
Setelah mendapatkan gaya-gaya dalam (gaya tarik, tekan, momen, dan geser) hasil analisis SAP2000 baik menggunakan ELM dan DAM serta hasil perhitungan kapasitas penampang profil (kapasitas tarik, tekan, momen, dan geser) yang mengacu pada SNI Baja 1729:2020, dilakukan perhitungan *rating factor* dengan berpedoman pada Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting 03/SE/M/2016.
8. Tahap Pembahasan
Pembahasan dilakukan setelah analisis telah dilakukan secara sistematis. Tahap pembahasan berupa hasil dari nilai *rating factor* terbesar dan terkecil pada tiap elemen rangka (*truss*) dan komponen lentur (*floorbeam* dan *stringer*) jembatan.
9. Tahap penarikan kesimpulan
Kesimpulan pada penelitian ini diambil setelah segala tahap penelitian dan pembahasan telah dilakukan. Kesimpulan yang diambil berupa nilai *rating factor* pada tiap elemen rangka jembatan Panjang berdasarkan metode DAM dan ELM serta kelayakan struktur rangka jembatan panjang berdasarkan analisis tersebut.

4.8 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir Penelitian berisi tahapan-tahapan pada penelitian yang digambarkan dengan bagian yang saling berhubungan. Bagan alir memiliki fungsi agar dapat memudahkan dalam memahami tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan bagan alir penelitian yang tersaji pada gambar 4.7 berikut.





BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Pembebanan

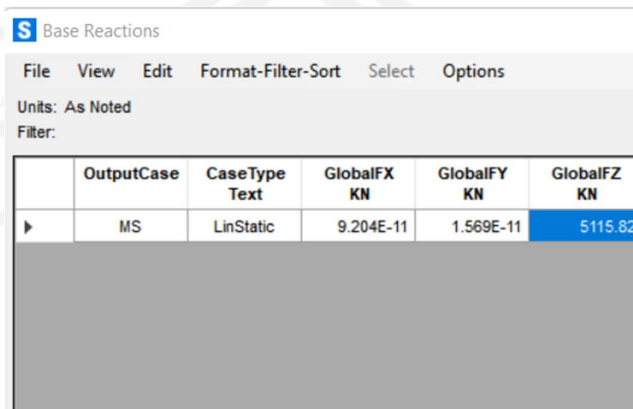
Dalam pemodelan struktur jembatan untuk mendekati keadaan sebenarnya, maka ditinjau beban atau gaya yang bekerja terhadap struktur tersebut diantaranya terdapat beban statis ataupun beban dinamis. Pada tugas akhir ini dengan menggunakan kombinasi kuat batas, beban yang diperhitungkan diantaranya beban permanen dan beban hidup kendaraan. Analisis pembebanan pada penelitian ini mengacu pada SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan. Berikut merupakan kalkulasi beban yang bekerja:

5.1.1 Beban Permanen

Beban permanen merupakan elemen yang terdapat pada struktur jembatan dari awal berdirinya jembatan tersebut.

1. Berat mati sendiri (Ms)

Berat mati sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural. Diantaranya berat dari seluruh rangka baja beserta pelat lantai kendaraan. Dengan memodelkan struktur jembatan pada SAP2000, berat mati sendiri struktur dikalkulasikan sebesar 5115,82 kN.



The image shows a screenshot of the SAP2000 software interface, specifically the 'Base Reactions' window. The window title is 'S Base Reactions'. It has a menu bar with 'File', 'View', 'Edit', 'Format-Filter-Sort', 'Select', and 'Options'. Below the menu bar, it says 'Units: As Noted' and 'Filter:'. The main part of the window is a table with the following data:

	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN
▶	MS	LinStatic	9.204E-11	1.569E-11	5115.82

Gambar 5.1 Output Berat Mati Sendiri

2. Beban mati tambahan/utilitas (M_A)

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam penelitian kali ini diperhitungkan beberapa beban mati tambahan diantaranya akibat:

a. Aspal 1 lapis dan *Overlay*

$$\begin{aligned} \text{Tebal aspal dan overlay} &= 0,1 \text{ m} \\ \text{Berat jenis aspal} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Beban akibat aspal} &= 0,1 \times 22 \\ &= 2,2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga pada pelat lantai dengan lebar jalur 7 m dari ujung ke ujung diberi beban akibat berat aspal sebesar 2,2 kN/m².

b. Trotoar

Beban trotoar dihitung tiap 5 m panjang dan didistribusikan menjadi beban titik pada setiap titik buhul jembatan.

$$\begin{aligned} \text{Tebal trotoar} &= 0,07 \text{ m} \\ \text{Panjang tinjauan} &= 5 \text{ m} \\ \text{Lebar trotoar} &= 1 \text{ m} \\ \text{Berat jenis beton} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Beban akibat trotoar} &= 0,07 \times 5 \times 1 \times 22 \\ &= 7,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga pada setiap titik buhul diberi beban titik akibat beban trotoar sebesar 7,7 kN.

c. Pipa Railing

Pipa *railing* 2 baris dihitung sepanjang segmen jembatan dan dibagikan ke setiap titik buhul.

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

$$= 0,803 \text{ kN}$$

Sehingga pada setiap titik buhul diberi beban titik akibat beban pipa *railing* sebesar 0,803 kN.

5.1.2 Beban Lalu Lintas

Dalam penentuan beban lalu lintas, digunakan kombinasi beban lajur, beban rem dan beban pejalan kaki mengacu pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan. Berikut merupakan perhitungan beban akibat beban lalu lintas.

1. Beban Lajur D (T_D)

a. Beban Terbagi Merata (BTR)

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

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

b. Beban Garis Terpusat (BGT)

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

dengan mempertimbangkan faktor beban dinamis (FBD) dengan bentang jembatan 60 meter maka diperoleh,

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= \text{FBD} \times P \\ &= 138\% \times 49 \\ &= 67,62 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

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

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

$$T_{B2} = 5\% \times (T_T + (BTR \times L \times B))$$

$$= 5\% \times (500 + (9 \times 60 \times 7))$$

$$= 214 \text{ kN}$$

Diambil nilai yang terbesar yakni $T_{B2} = 214 \text{ kN}$

Titik tangkap rem (dari profil bawah)

$$y = \frac{1}{2} \times H_{\text{profil}} + t_{\text{plat}} + t_{\text{aspal}} + 1,8$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,4 + 0,3 + 0,1 + 1,8$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

Gaya rem untuk titik buhul

$$P_{B1} (\text{atas}) = \frac{T_B \times y}{H} \times \frac{1}{n \text{ atas}}$$

$$= \frac{214 \times 2,4}{6,35} \times \frac{1}{12}$$

$$= 6,74 \text{ kN}$$

$$P_{B2} (\text{bawah}) = \frac{T_B \times (H - y)}{H} \times \frac{1}{n \text{ bawah}}$$

$$= \frac{214 \times (6,35 - 2,4)}{6,35} \times \frac{1}{13}$$

$$= 10,241 \text{ kN}$$

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.

$$\text{Lebar Trotoar} = 1 \text{ m}$$

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Panjang segmen} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Beban Pejalan Kaki} = 1 \times 5 \times 5$$

$$= 25 \text{ kN}$$

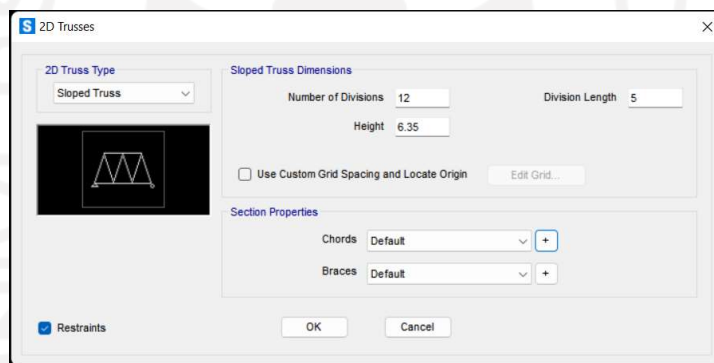
Sehingga pada setiap titik buhul diberi beban titik akibat beban pejalan kaki sebesar 25 kN.

5.2 Pemodelan Struktur Jembatan

Berdasarkan data elemen struktur atas jembatan rangka yang didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan, serta asumsi yang mengacu pada pedoman penentuan *bridge load rating*. Dilakukan pemodelan struktur atas jembatan panjang menggunakan program *CSI:SAP:2000 v.23*.

5.2.1 Template Model 2D Trusses

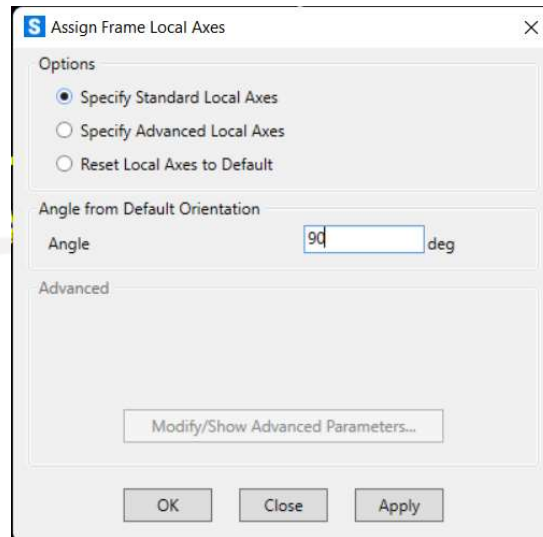
Untuk memudahkan dalam pemodelan struktur rangka utama jembatan, digunakan bantuan *template model 2d trusses* pada program SAP2000. Berikut ini merupakan *input template* data pada SAP2000 yang dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 *Template Model 2D Trusses*

5.2.2 Penyesuaian Posisi Elemen Batang Rangka Jembatan

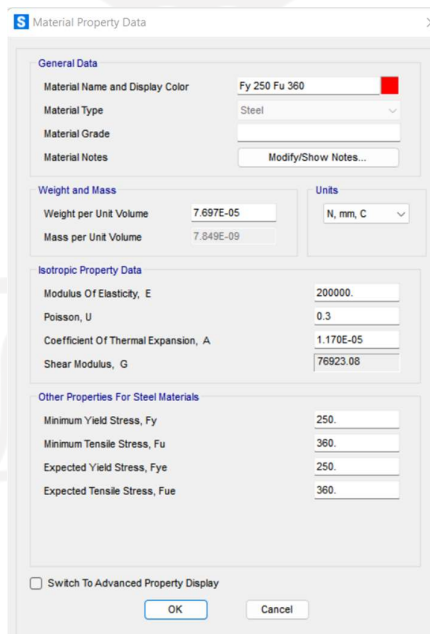
Secara *default* SAP2000, perletakan batang-batang pada *template 2d trusses* dipasang tegak pada sumbu kuatnya, agar pemodelan sama dengan kondisi eksisting dimana pada tiap batang tepi dan diagonal rangka jembatan dipasang dengan arah lendutan kebawah ditumpu oleh sumbu lemahnya. Maka dengan memilih seluruh batang struktur utama, sumbu lokalnya dirotasi sebesar 90° dengan bantuan *assign frame local axes*, dapat dilihat pada gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Penyesuaian Posisi Batang Rangka Utama

5.2.3 Material *Properties* Baja dan Beton

Material yang digunakan dalam pemodelan ini mengacu pada Berikut ini adalah input *material property data* baja dan beton yang dilakukan pada SAP2000 yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan 5.5



Gambar 5.4 Material Property Data

Gambar 5.5 Material Property Data

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 5.6 hingga 5.13

Gambar 5.6 Input Frame Section Properties

The screenshot shows the 'Wide Flange Section' dialog box for 'BTA 3'. The 'Section Name' is 'BTA 3' and the 'Display Color' is red. The 'Section Notes' field is empty with a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Dimensions' section includes: Outside height (t3) 400., Top flange width (t2) 400., Top flange thickness (tf) 37., Web thickness (tw) 16., Bottom flange width (t2b) 400., and Bottom flange thickness (tfb) 37. The 'Material' is set to 'Material Baja'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Section' preview shows a wide flange section with dimensions t2, t3, and t2b. The 'Properties' section has 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...' buttons. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Parameter	Value
Section Name	BTA 3
Display Color	Red
Section Notes	Modify/Show Notes...
Outside height (t3)	400.
Top flange width (t2)	400.
Top flange thickness (tf)	37.
Web thickness (tw)	16.
Bottom flange width (t2b)	400.
Bottom flange thickness (tfb)	37.
Material	Material Baja
Property Modifiers	Set Modifiers...
Section Properties	Section Properties...
Time Dependent Properties	Time Dependent Properties...

Gambar 5.7 Input Frame Batang Tepi Atas (BTA 3)

The screenshot shows the 'Wide Flange Section' dialog box for 'BTB 4'. The 'Section Name' is 'BTB 4' and the 'Display Color' is yellow. The 'Section Notes' field is empty with a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Dimensions' section includes: Outside height (t3) 400., Top flange width (t2) 400., Top flange thickness (tf) 37., Web thickness (tw) 16., Bottom flange width (t2b) 400., and Bottom flange thickness (tfb) 37. The 'Material' is set to 'Fy 250 Fu 360'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Section' preview shows a wide flange section with dimensions t2, t3, and t2b. The 'Properties' section has 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...' buttons. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Parameter	Value
Section Name	BTB 4
Display Color	Yellow
Section Notes	Modify/Show Notes...
Outside height (t3)	400.
Top flange width (t2)	400.
Top flange thickness (tf)	37.
Web thickness (tw)	16.
Bottom flange width (t2b)	400.
Bottom flange thickness (tfb)	37.
Material	Fy 250 Fu 360
Property Modifiers	Set Modifiers...
Section Properties	Section Properties...
Time Dependent Properties	Time Dependent Properties...

Gambar 5.8 Input Frame Batang Tepi Bawah (BTB 4)

Section Name D 1 **Display Color**

Section Notes

Dimensions

Outside height (t3)	400.
Top flange width (t2)	350.
Top flange thickness (tf)	37.
Web thickness (tw)	10.
Bottom flange width (t2b)	350.
Bottom flange thickness (tfb)	37.

Section

Material Fy 250 Fu 360 **Property Modifiers**

Properties

Gambar 5.9 Input Frame Batang Diagonal (D 1)

Section Name GM **Display Color**

Section Notes

Dimensions

Outside height (t3)	750.
Top flange width (t2)	270.
Top flange thickness (tf)	18.
Web thickness (tw)	20.
Bottom flange width (t2b)	270.
Bottom flange thickness (tfb)	18.

Section

Material Fy 250 Fu 360 **Property Modifiers**

Properties

Gambar 5.10 Input Frame Gelagar Melintang (GM)

S | Wide Flange Section

Section Name: GP Display Color:

Section Notes:

Dimensions

Outside height (t3) : 300.

Top flange width (t2) : 150.

Top flange thickness (tf) : 10.

Web thickness (tw) : 15.

Bottom flange width (t2b) : 150.

Bottom flange thickness (t3b) : 10.

Section

Material: + Material Baja

Property Modifiers:

Properties:

Gambar 5.11 Input Frame Gelagar Panjang (GP)

S | Angle Section

Section Name: BA 3 Display Color:

Section Notes:

Dimensions

Outside vertical leg (t3) : 150.

Outside horizontal leg (t2) : 100.

Horizontal leg thickness (tf) : 9.

Vertical leg thickness (tw) : 9.

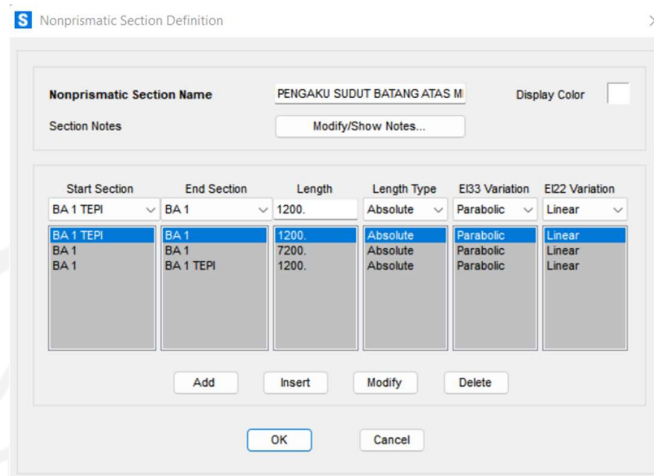
Section

Material: + Fy 250 Fu 360

Property Modifiers:

Properties:

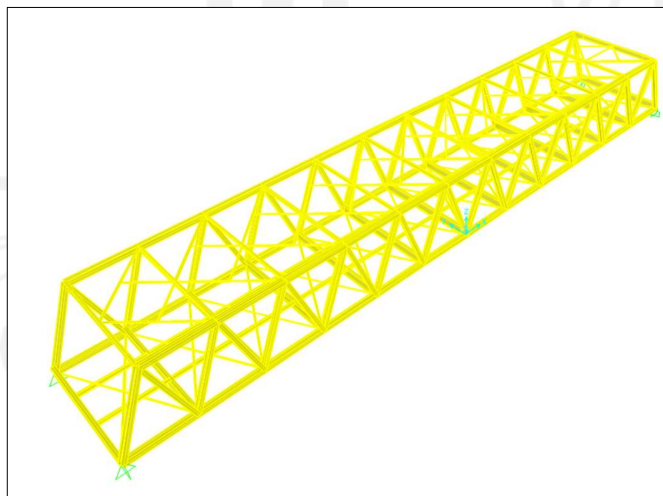
Gambar 5.12 Input Frame Bracing Atas (BA 3)



Gambar 5.13 Input Frame Bracing Atas dan Pengaku Sudut (BA 1)

5.2.5 *eplicate and Drawing Frame*

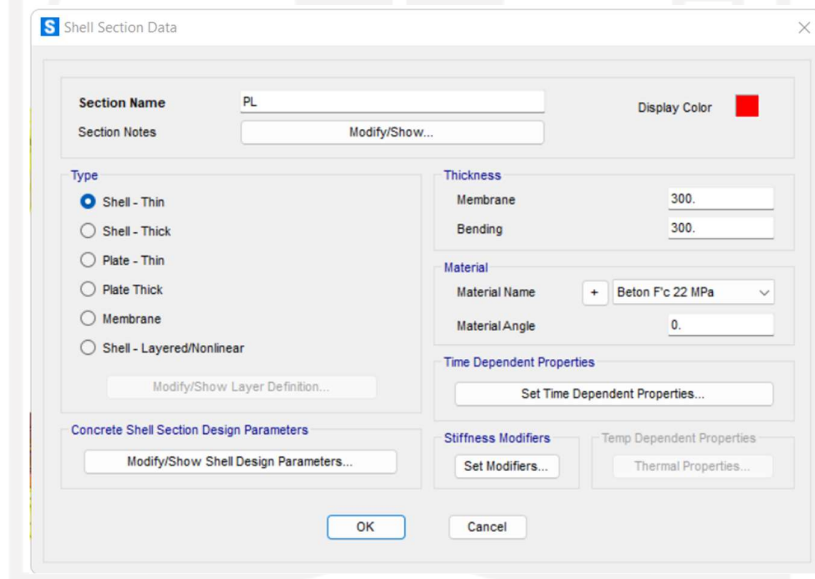
Setelah semua sumbu lokal pada elemen rangka utama dirotasi sebesar 90° , kemudian telah mendefinisikan profil, langkah selanjutnya yaitu menduplikasi rangka ke arah sumbu y sebesar lebar jembatan pada kondisi sebenarnya yaitu 9,6 meter dan menghubungkan dengan girder melintang, girder memanjang, serta *bracing* menggunakan *draw frame/cables* hingga seperti pada gambar 5.14 berikut ini.



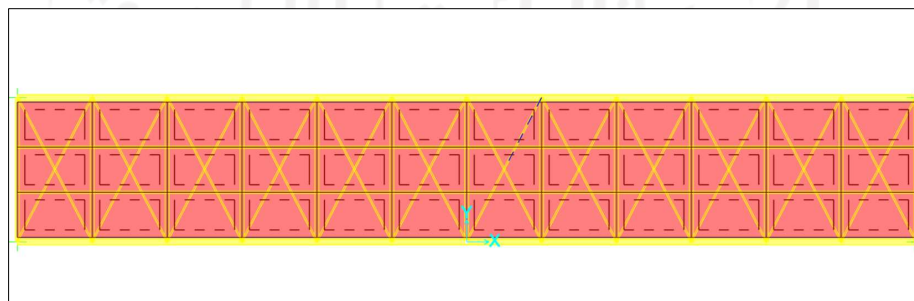
Gambar 5.14 Hasil Pemodelan Struktur Rangka Jembatan

5.2.6 Define dan Drawing Area Section

Define area section digunakan untuk mendefinisikan pelat beton bertulang yang menumpu pada girder memanjang dan melintang menggunakan material beton F'_c 22 MPa sesuai pedoman penentuan *bridge load rating* untuk jembatan *eksisting* dengan ketebalan hasil pengukuran sebesar 300 mm. Setelah terdefinisi kemudian menggambar area pelat yang berada pada elevasi $z = 0$ m dengan menggunakan *draw rectangular area* yang dibatasi tiap panel pelat oleh gelagar melintang dan gelagar memanjang. Berikut ini merupakan langkah dari *define* dan *draw area section* yang tersaji pada gambar 5.15 dan 5.16.



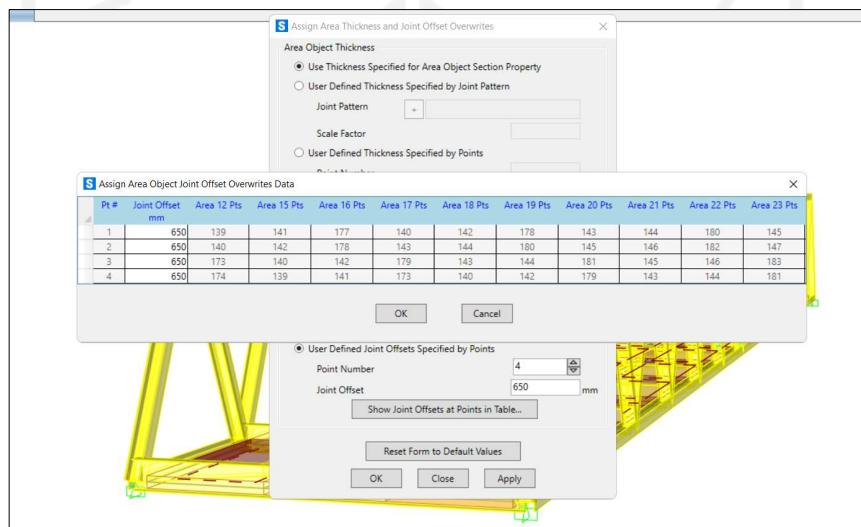
Gambar 5.15 Define Area Section



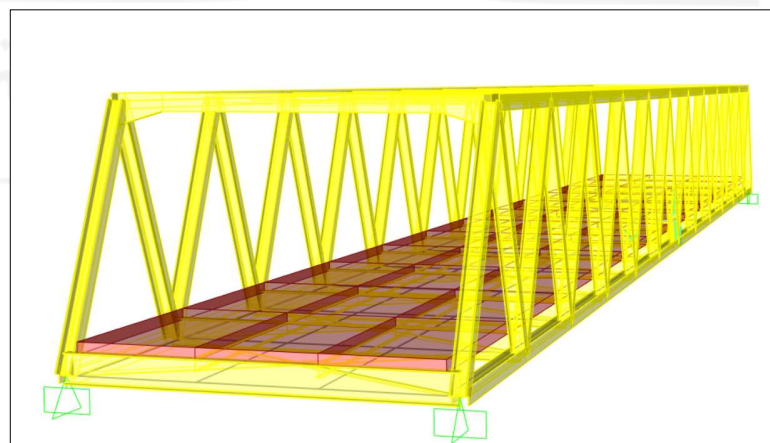
Gambar 5.16 Draw Area Section

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 di *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 5.17 dan 5.18



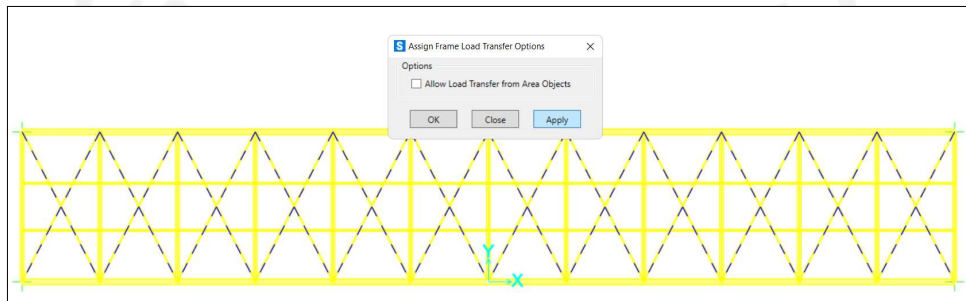
Gambar 5.17 Joint Offset Overwrites Pelat Lantai



Gambar 5.18 Posisi Pelat Lantai Setelah Offset

5.2.8 Load Transfer Option pada Bracing

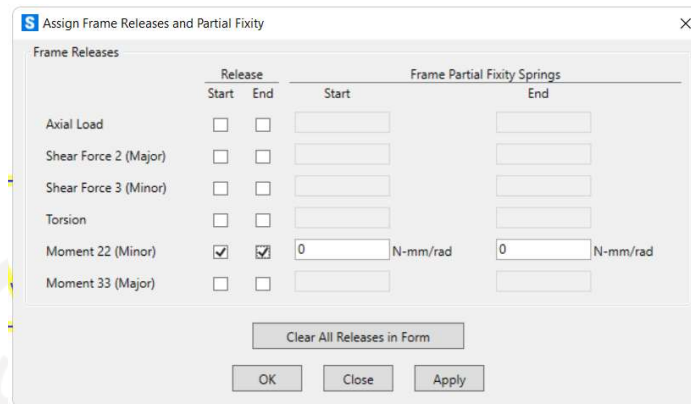
Load transfer option adalah opsi yang digunakan agar pada *bracing* bawah tidak menerima beban-beban secara langsung yang bekerja pada pelat lantai jembatan. Sehingga penyaluran langsung beban pelat hanya terjadi pada elemen gelagar memanjang dan melintang saja.



Gambar 5.19 Load Transfer Option

5.2.9 Releases Partial Fixity

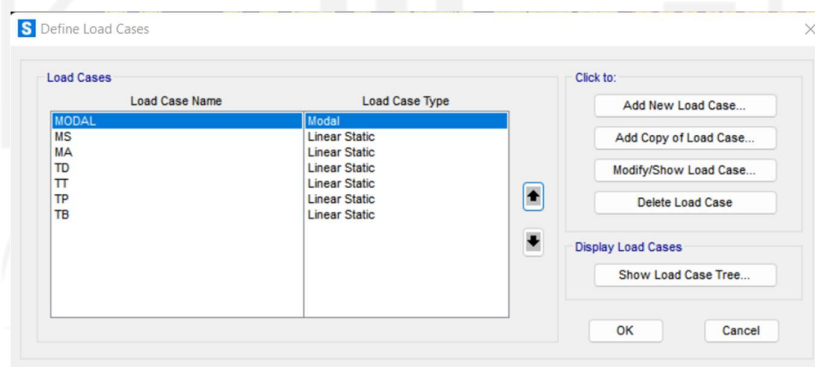
Releases partial fixity digunakan untuk memodelkan pada setiap ujung rangka utama jembatan tidak mampu menahan momen. Karena pada kondisi sebenarnya, pada ujung-ujung rangka utama tersebut dihubungkan melalui *gusset plate* dan baut sehingga berperilaku sendi-sendi. Dengan memilih semua rangka utama batang tepi atas, batang tepi bawah, dan batang diagonal lalu *assign frame-releases/partial fixity* karena rangka utama dipasang pada sumbu lemahnya maka yang di *release* adalah *Momen 22/minor*. Berikut ini merupakan langkah *release partial fixity* yang tersaji pada gambar 5.20.



Gambar 5.20 Releases Partial Fixity

5.2.10 Define Load Cases

Mengacu pada pedoman penentuan *bridge load rating* pada jembatan *eksisting* dengan evaluasi awal yakni penilaian beban desain berdasarkan kondisi batas kekuatan I yang hanya memperhitungkan beban gravitasi akibat beban mati dan beban hidup kendaraan yang digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi pada setiap elemen struktur rangka. Berikut ini merupakan *load assignment* pada struktur jembatan yang tersaji pada gambar 5.21.



Gambar 5.21 Load Assignment

5.3 Analisis Kapasitas Penampang

Pada sub bab ini akan dijabarkan salah satu hasil dari analisis kapasitas penampang pada setiap kondisi tekan, tarik, serta kondisi lentur setiap profil dan pada akhir analisis dilakukan tabulasi keseluruhan analisis kapasitas penampang

dalam menahan gaya-gaya dalam yang terjadi. Analisis kapasitas penampang pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

5.3.1 Perhitungan Kapasitas Tekan dan Tarik

Berikut merupakan perhitungan kapasitas tekan dan tarik pada profil WF 400.400.16.37 yang memiliki kodefikasi pada pemodelan BTA 3 dan BTB 4.

Batas kelangsingan profil tekan ditentukan berdasarkan keadaan

a. Kelangsingan Sayap

$$\begin{aligned}\lambda_f &= \frac{B}{t_f} \\ &= \frac{400/2}{37} \\ &= 2,7 \\ \lambda_r &= 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,56 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 15,839\end{aligned}$$

Karena $\lambda_f < \lambda_r$, termasuk profil dengan sayap non langsing

b. Kelangsingan Badan

$$\begin{aligned}\lambda_w &= \frac{H}{t_w} \\ &= \frac{400 - (2 \times 37)}{16} \\ &= 20,375 \\ \lambda_r &= 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,49 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 42,143\end{aligned}$$

Karena $\lambda_w < \lambda_r$, termasuk profil dengan badan non langsing

1. Kapasitas profil dalam menahan gaya aksial tekan

a. Data penampang profil WF 400.400.16.37

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

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

$$I_y = 394777900 \text{ mm}^4$$

$$A_g = 34816 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{394777900}{34816}} \\ &= 106,485 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Rasio kelangsingan efektif

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{K \times L}{r} \\ &= \frac{1 \times 5000}{106,485} \\ &= 46,955 \end{aligned}$$

c. Kapasitas tekan profil WF 400.400.16.37

Menghitung F_{cr}

$$\begin{aligned} \frac{K \times L}{r} &\leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ 46,95 &\leq 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \end{aligned}$$

$$46,95 \leq 133,219$$

Karena $\lambda \leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka Tegangan kritis F_{cr} dihitung berdasarkan persamaan berikut,

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) \times F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r} \right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{(46,95)^2}$$

$$= 895,3 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{250}{895,3}} \right) \times 250$$

$$= 222,423 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g$$

$$= (222,423 \times 34816) \times 10^{-3}$$

$$= 7743,912 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil analisis kapasitas tekan penampang didapatkan kuat tekan nominal profil WF 400.400.16.37 (BTA 3) sebesar 7743,912 kN.

2. Kapasitas Profil dalam menahan gaya aksial tarik

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

a. Data penampang profil WF 400.400.16.37

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

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

$$A_g = 34816 \text{ mm}^2$$

b. Kuat tarik leleh pada penampang bruto

$$P_n = F_y \times A_g$$

$$= (250 \times 34816) \times 10^{-3}$$

$$= 8704 \text{ MPa}$$

c. Kuat tarik leleh pada penampang neto

$$P_n = F_u \times A_e$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n \times u \\
 A_n &= 0,85 \times A_g \\
 &= 0,85 \times 34816 \\
 &= 29593,6 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= 29593,6 \times 1 \\
 &= 29593,6 \text{ mm}^2 \\
 P_n &= (360 \times 29593,6) \times 10^{-3} \\
 &= 10653,7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis kapasitas tarik penampang WF 400.400.16.37 (BTB 4), diambil nilai terendah dari kuat tarik nominal penampang neto yakni sebesar 10653,7 kN.

5.3.2 Perhitungan Kapasitas Lentur (Sumbu Mayor)

Berikut merupakan perhitungan kapasitas lentur pada profil WF 750.270.20.18 yang memiliki kodefikasi GM pada pemodelan. Karena profil GM merupakan profil kompak yang melentur pada sumbu mayornya maka kekuatan lentur nominal M_n harus diperoleh dari nilai terendah keadaan batas leleh dan tekuk torsi lateral.

1. Batas Kelangsingan Profil yang Mengalami Lentur

a. Kelangsingan Sayap

$$\begin{aligned}
 \lambda_f &= \frac{b}{t_f} \\
 &= \frac{270/2}{18} \\
 &= 7,5 \\
 \lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
 &= 10,748
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 28,284\end{aligned}$$

Karena $\lambda_f < \lambda_p < \lambda_r$, maka termasuk profil dengan sayap kompak

b. Kelangsingan Badan

$$\begin{aligned}\lambda_w &= \frac{h}{tw} \\ &= \frac{750 - (2 \times 18)}{20} \\ &= 35,7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 3,37 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 3,37 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 106,349\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 161,22\end{aligned}$$

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

2. Keadaan Batas Leleh (Momen Plastis)

$$\begin{aligned}Mn &= F_y \times Z_x \\ Z_x &= 6106500 \text{ mm}^3 \\ Mn &= (250 \times 6106500) \times 10^{-6} \\ &= 1526,625 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

3. Keadaan Tekuk Torsi Lateral

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \times 49,8 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
 &= 2479,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_r = 1,95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{J_c \times c}{S_x \times h_0} &= \frac{7,2 \times 10^5 \times 1}{5,08 \times 10^6 \times 714} \\
 &= 1,98 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{0,7 \times F_y}{E} &= \frac{0,7 \times 250}{200000} \\
 &= 8,75 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \times 63,3 \times \frac{200000}{0,7 \times 250} \times \sqrt{1,948 \times 10^{-4} + \sqrt{(1,948 \times 10^{-4})^2 + 6,76 (8,75 \times 10^{-4})^2}} \\
 &= 7031,589 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_b = 9600 \text{ mm}$$

Karena $L_b > L_r$, maka dalam menghitung M_n digunakan rumusan berikut.

$$M_n = F_{cr} \times S_x$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 \times E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \times \sqrt{1 + 0,078 \times \left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right) \times \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$$S_x = 5090592 \text{ mm}^3$$

$$C_b = 2,27$$

$$R_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{h \times t_w}{b_f \times t_f}\right)}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{270}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{750 \times 20}{270 \times 18}\right)}} \\
&= 63,336 \\
J &= \frac{1}{3} \times b_f \times t_w^3 \\
&= \frac{1}{3} \times 270 \times 20^3 \\
&= 720000 \text{ mm}^4 \\
F_{cr} &= \frac{2,27 \times \pi^2 \times 200000}{\left(\frac{9600}{63,4}\right)^2} \times \sqrt{1 + 0,078 \times \left(\frac{7,2 \times 10^5}{5,09 \times 10^6 \times 714}\right) \times \left(\frac{9600}{63,4}\right)^2} \\
&= 227,03 \text{ MPa} \\
M_n &= (227,03 \times 5090592) \times 10^{-6} \\
&= 1155,718 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis kapasitas lentur penampang didapatkan kuat lentur nominal profil WF 750.270.20.18 (GM) sebesar 1155,718 kN.

5.3.3 Perhitungan Kapasitas Lentur (Sumbu Minor)

Berikut merupakan perhitungan kapasitas lentur pada profil WF 400.400.16.37 yang memiliki kodefikasi BTA 3 pada pemodelan. Karena profil BTA 3 merupakan profil kompak yang melentur pada sumbu minornya maka kekuatan lentur nominal M_n diperoleh dari nilai terendah keadaan batas leleh dan tekuk lokal sayap jika profil terkategori penampang dengan sayap non kompak.

1. Batas Kelangsingan Sayap Profil yang Mengalami Lentur

$$\begin{aligned}
\lambda_f &= \frac{b}{t_f} \\
&= \frac{400}{18} \\
&= 5,4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 10,748\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 28,284\end{aligned}$$

Karena $\lambda_f < \lambda_p < \lambda_r$, maka termasuk profil dengan sayap kompak

2. Keadaan Batas Leleh (Momen Plastis)

$$Mn = F_y \times Z_y \leq 1,6 F_y \times S_y$$

$$Z_y = 2980864 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 1973889,7 \text{ mm}^3$$

$$Mn = (250 \times 2980864) \times 10^{-6}$$

$$= 745,25 \text{ kN.m}$$

$$1,6 F_y \cdot S_y = (250 \times 1973889,7) \times 10^{-6}$$

$$= 789,6 \text{ kN.m}$$

Berdasarkan hasil analisis kapasitas lentur penampang didapatkan kuat lentur nominal profil WF 400.400.16.37 (BTA 3) sebesar 745,25 kN.

5.3.4 Perhitungan Kapasitas Geser

Berikut merupakan perhitungan kapasitas geser pada profil WF.750.270.20.18 yang memiliki kodefikasi GM pada pemodelan. Analisis perhitungan berdasarkan kekuatan geser badan tanpa aksi medan tarik, sehingga kekuatan geser nominal dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$Vn = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Dengan,

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

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

$$\begin{aligned} A_w &= h \times t_w \\ &= (750 - 2 \times 18) \times 20 \\ &= 14280 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Penentuan nilai C_{v1} menggunakan persamaan berikut,

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{E / F_y}$$

$$\frac{750}{20} \leq 2,24 \sqrt{200000 / 250}$$

$$37,5 \leq 63,35$$

Sehingga nilai $C_{v1} = 1$. Maka kuat geser nominal penampang adalah,

$$\begin{aligned} V_n &= (0,6 \times 250 \times 14280 \times 1) \times 10^{-3} \\ &= 2142 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Rekapitulasi Kapasitas Tekan Profil

No	Elemen	Dimensi	P_n (kN)
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	WF 400.400.16.17	4219,71
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	WF 400.400.16.33	7042,29
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	WF 400.400.16.37	7743,91
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	WF 400.350.10.37	5552,48
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	WF 400.300.10.17	2215,77
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	WF 300.400.10.13	1773,16
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	WF 300.400.10.11	1546,82

Tabel 5.2 Rekapitulasi Kapasitas Tarik Profil

No	Elemen	Dimensi	P_n (kN)
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	WF 400.400.16.17	4864
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	WF 400.400.16.30	7360
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	WF 400.400.16.33	7936
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	WF400.400.16.37	8704
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	WF 400.300.10.17	3465
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	WF 300.400.10.13	2885
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	WF 300.400.10.11	2595

Tabel 5.3 Rekapitulasi Kapasitas Momen Lentur Profil

No	Elemen	Dimensi	M_n (kN.m)
1	Gelagar Melintang (GM)	WF 750.270.20.18	1155,718
2	Gelagar Panjang (GP)	WF 300.150.15.10	182,25
3	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	WF 400.400.16.17	345,75
4	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	WF 400.400.16.33	665,25
5	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	WF 400.400.16.37	745,25
6	Batang Diagonal 1 (D 1)	WF 400.350.10.37	528,8
7	Batang Diagonal 2 (D 2)	WF 400.300.10.17	153,06
8	Batang Diagonal 3 (D 3)	WF 300.400.10.13	117,06
9	Batang Diagonal 4 (D 4)	WF 300.400.10.11	99,06

Tabel 5.4 Rekapitulasi Kapasitas Geser Profil

No	Elemen	Dimensi	V_n (kN)
1	Gelagar Melintang (GM)	WF 750.270.20.18	2142
2	Gelagar Panjang (GP)	WF 300.150.15.10	630

5.4 *Direct Analysis Method*

Pada subbab ini akan dijabarkan perihal tahapan analisis stabilitas struktur menggunakan *Direct Analysis Method*. Dimana tahapan tersebut dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 diantaranya, memodelkan pengaruh cacat bawaan penampang berupa penambahan beban *notional*, reduksi kekakuan elemen penampang serta evaluasi nilai τ_b . Hasil akhir dari analisis stabilitas struktur *Direct Analysis Method* pada penelitian ini adalah pembacaan gaya-gaya dalam khususnya pada batang tekan dimana nantinya selain timbul gaya aksial tekan juga akan muncul momen lentur.

5.4.1 Pengaruh Cacat Bawaan (*initial imperfection*)

Adanya cacat bawaan atau *initial imperfection* yang mengakibatkan efek *destabilizing* dalam *Direct Analysis Method* dapat dimodelkan dengan pemberian beban *notional* (beban lateral ekuivalen) dari sebagian prosentase beban gravitasi yang bekerja. Pada struktur rangka khususnya pada setiap batang tekan, pada tengah bentang elemen diberikan beban *notional* (N_i) sebagai pemodelan adanya pengaruh cacat bawaan yang besaran beban tersebut dihitung berdasarkan rumus (3.2) berikut.

$$N_i = 0,002 \times Y_i$$

Dengan :

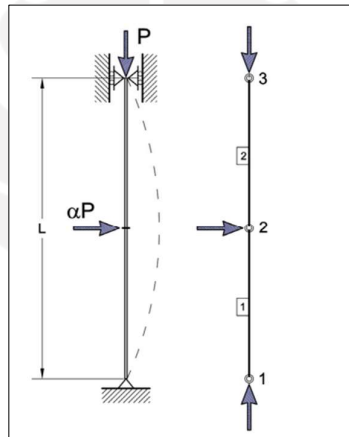
$$Y_i = \text{Kuat tekan nominal pada tabel 5.1 dikali dengan } \varphi = 0,9$$

$$\begin{aligned} N_i \text{ (BTA 3)} &= 0,002 \times (0,9 \times 7743,91) \\ &= 0,002 \times 6969,521 \\ &= 13,939 \text{ kN} \end{aligned}$$

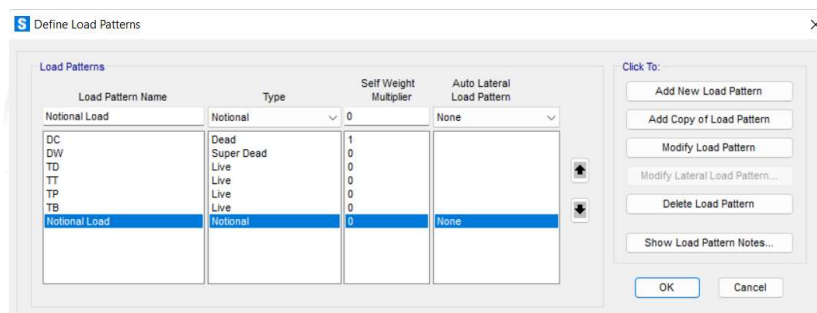
Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Lateral (N_i)

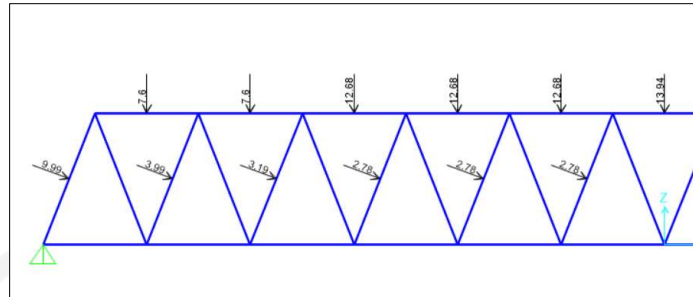
Profil	BTA 1	BTA 2	BTA 3	D 1	D 2	D 3	D 4
N_i (kN)	7,59	12,68	13,94	9,99	3,98	3,19	2,78

Setelah memperhitungkan beban *notional* pada setiap elemen batang tekan, beban tersebut dimasukkan kedalam program SAP2000 dengan terlebih dahulu mendefinisikan beban *notional* pada *load pattern*. Kemudian setelah beban *notional* terdefiniskan, pada setiap batang tekan diberikan besaran beban *notional* sesuai dengan tabel 5.5. Berikut ini merupakan langkah mendefinisikan beban *notional* dan *input* beban *notional* pada setiap batang tekan yang tersaji pada gambar 5.23 dan 5.24.

**Gambar 5.22 Pemodelan Initial Imperfection**

(Sumber: Seminar Rekayasa Struktur-Wiryanto Dewobroto)

**Gambar 5.23 Define Notional Load**



Gambar 5.24 Assign Notional Load

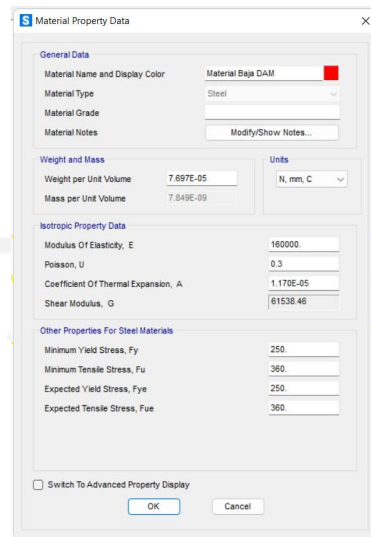
5.4.2 Penyesuaian Kekakuan

Adanya leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja akan menyebabkan pelemahan kekuatan saat mendekati kondisi batasnya. Kondisi tersebut akhirnya menghasilkan efek *destabilizing* seperti yang terjadi akibat adanya *geometry imperfection*. Kondisi tersebut pada *Direct Analysis Method* diatasi dengan memberikan faktor reduksi kekakuan yang besarnya adalah $EI' = 0,8 \times \tau_b \times EI$. Penyesuaian kekakuan dijabarkan dalam beberapa tahap seperti berikut.

1. Reduksi Modulus Elastisitas Baja

Diasumsikan nilai awal $\tau_b = 1$ sebelum nantinya dievaluasi ulang. Setelah dihitung besarnya reduksi modulus elastisitas baja, kemudian dimasukkan pada pemodelan SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.24 berikut ini.

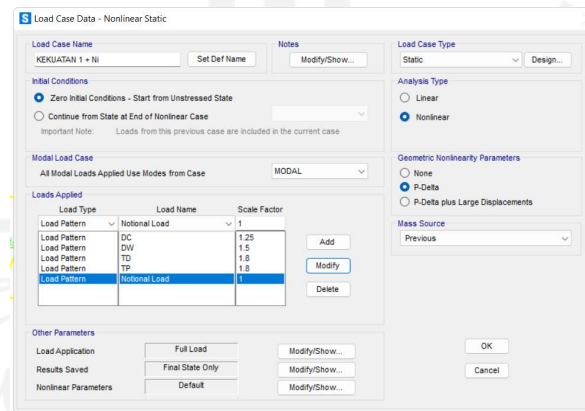
$$\begin{aligned}
 EI' &= 0,8 \times \tau_b \times EI \\
 &= 0,8 \times 1 \times 200000 \\
 &= 160000 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5.25 Reduksi Modulus Elastisitas Baja

2. Load Case Nonlinear P-delta

Setelah sebelumnya telah menghitung beban *notional* dan memasukkan beban tersebut pada seluruh elemen tekan dan mereduksi modulus elastisitas baja. *Running* SAP2000 harus menggunakan *analysis nonlinear static* dengan mengaktifkan opsi *P-delta* dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini

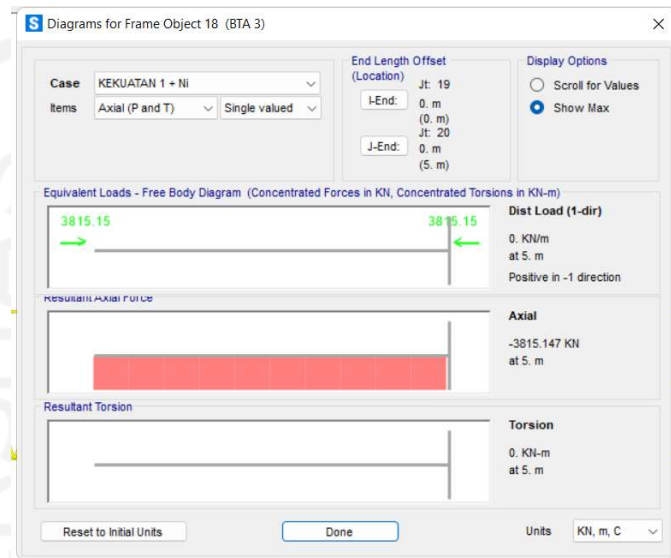


Gambar 5.26 Load Case Nonlinear P-delta

3. Evaluasi Nilai τ_b

Untuk mengevaluasi nilai τ_b diperlukan *running* SAP2000 untuk membaca gaya aksial tekan terbesar (P_r) akibat kombinasi DFBT yang telah di *running*

menggunakan *P-delta analysis*. Dimana gaya tekan terbesar terjadi pada profil dengan kodefikasi pada pemodelan yakni BTA 3. Berikut ini merupakan hasil gaya dalam berupa gaya aksial tekan BTA 3 yang tersaji pada gambar 5.26.



Gambar 5.27 Gaya Tekan Perlu Kombinasi DFBT (P_r)

$$\begin{aligned}
 P_r &= 3815,147 \text{ kN} \\
 P_y &= A_g \times F_y \\
 &= (34816 \times 250) \times 10^{-3} \\
 &= 8704 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

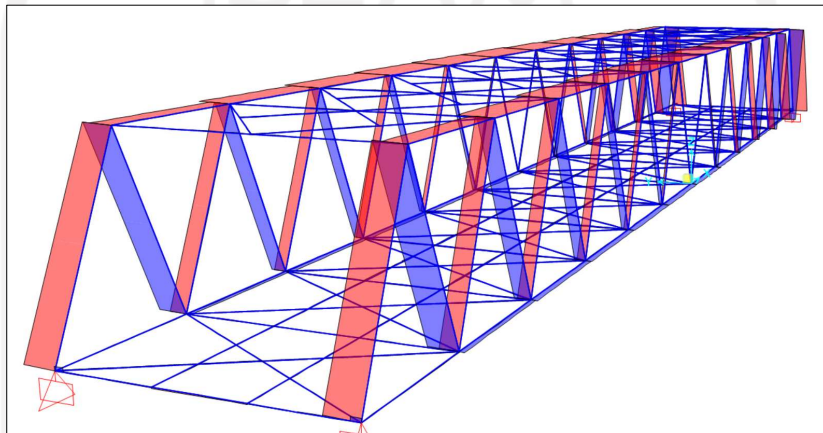
Digunakan persamaan berikut untuk mengevaluasi nilai τ_b ,

$$\begin{aligned}
 P_r &< 0,5 \times P_y \\
 3815,147 &< 0,5 \times 8704 \\
 3815,147 &< 4352
 \end{aligned}$$

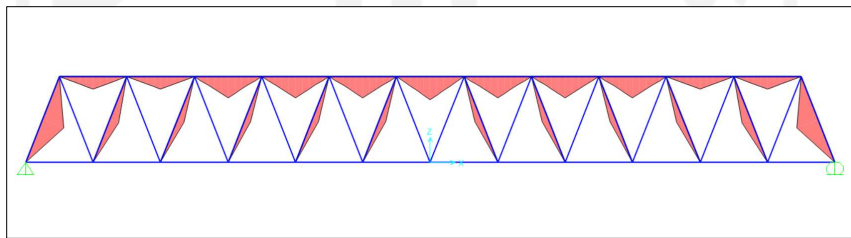
Sehingga asumsi awal $\tau_b = 1$ sudah sesuai.

5.5 Hasil Analisis SAP2000 *Nonlinear P-delta Analysis (DAM)*

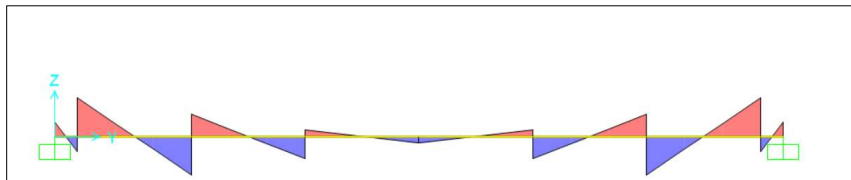
Pada subbab ini akan dipaparkan hasil dari analisis gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban desain dengan analisis stabilitas struktur DAM. Dimana gaya-gaya dalam ini diperoleh dari *Running Analysis* SAP2000. Berikut ini merupakan hasil running SAP2000 yang tersaji pada gambar 5.27 hingga 5.30 dan tabulasi gaya-gaya dalam tersaji pada tabel 5.5 hingga 5.7.



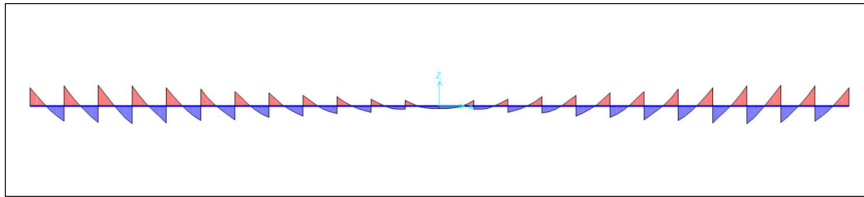
Gambar 5.28 *Running Nonlinear Analysis – Axial Forces*



Gambar 5.29 *Running Nonlinear Analysis – Moment 2-2*



Gambar 5.30 *Running Nonlinear Analysis – Moment 3-3*



Gambar 5.31 Running Nonlinear Analysis – Moment 3-3

Tabel 5.6 Rekapitulasi Gaya Tekan Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kombinasi Kuat		Kombinasi Layan	
		P_u (kN) ($1,25M_S+1,5M_A$)	P_u (kN) $1,8(T_D+ T_P+T_B)$	P_u (kN) (M_S+M_A)	P_u (kN) ($T_D+T_P+T_B$)
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	1142,55	1141,33	882,88	652,49
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	1778,64	1917,36	1375,5	1095,5
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	1821,74	2043,82	1409,11	1167,01
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	1002,03	983,368	774,09	560,66
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	539,79	605,65	459,79	346,70
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	437,23	472,34	339,609	271,45
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	305,93	367,02	238,54	221,52
8	Bracing Atas 3 (BA 3)	1,39	1,24	1,48	1,33
9	Bracing Bawah (BB)	9,97	10,29	11,01	11,36

Tabel 5.7 Rekapitulasi Gaya Tarik Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		P_u (kN) ($1,25M_S+1,5M_A$)	P_u (kN) $1,8(T_D+ T_P+T_B)$	P_u (kN) (M_S+M_A)	P_u (kN) ($T_D+ T_P+T_B$)
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	146,92	151,73	113,06	85,50
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	245,22	250,31	189,12	142,24
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	273,25	295,607	210,73	167,72

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Gaya Tarik Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)

4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	293,93	356,179	226,60	201,45
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	964,83	976,17	743,04	553,81
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	560,8	597,03	431,63	337,96
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	399,39	460,76	307,10	259,97
8	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	10,07	11,34	7,75	6,39

Tabel 5.8 Rekapitulasi Momen Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)

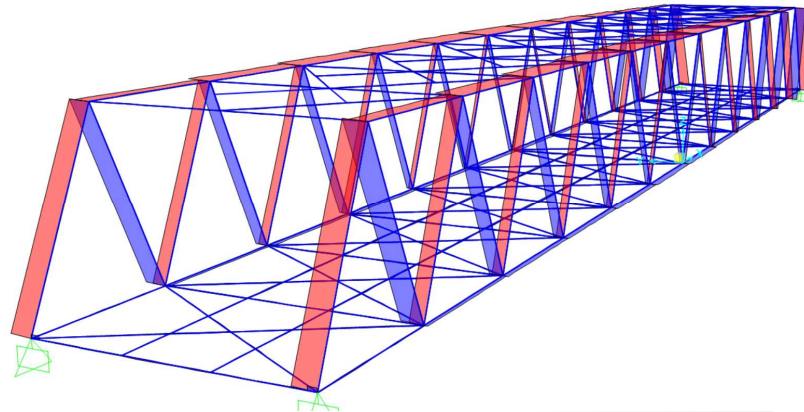
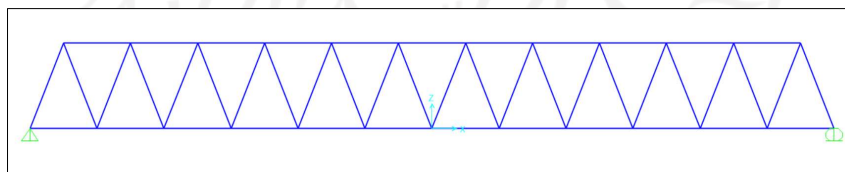
No	Elemen	Kombinasi Kuat		Kombinasi Layan	
		M_u (kN.m) ($1,25M_S+1,5M_A$)	M_u (kN.m) $1,8(T_D+T_P+T_B)$	M_u (kN.m) (M_S+M_A)	M_u (kN.m) ($T_D+T_P+T_B$)
1	Gelagar Melintang (GM)	503,02	495,23	388,87	287,63
2	Gelagar Panjang (GP)	68,43	73,80	52,39	41,97
3	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	15,34	9,49	14,17	9,49
4	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	25,38	15,48	23,48	15,84
5	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	27,89	17,42	25,79	17,42
6	Batang Diagonal 1 (D 1)	23,03	17,05	21,83	17,05
7	Batang Diagonal 2 (D 2)	9,64	6,80	9,07	6,80
8	Batang Diagonal 3 (D 3)	7,81	5,44	7,33	5,44
9	Batang Diagonal 4 (D 4)	6,88	4,75	6,45	4,75
10	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	7,78	2,95	6,14	1,68
11	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	8,04	2,05	6,38	1,17
12	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	3,80	2,84	2,96	1,62
13	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	0,62	0,23	0,49	0,13

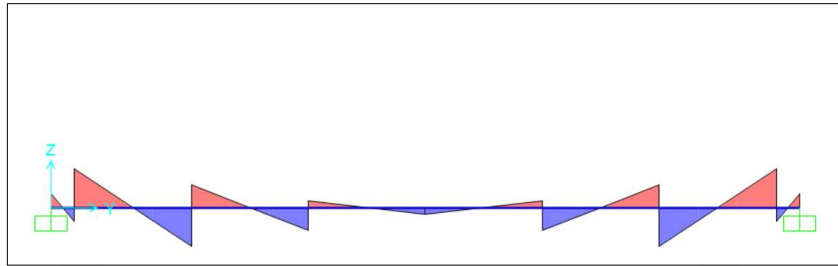
Tabel 5.9 Rekapitulasi Gaya Geser Terfaktor DAM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		V_u (kN) ($1,25M_S+1,5M_A$)	V_u (kN) $1,8(T_D+T_P+T_B)$	V_u (kN) (M_S+M_A)	V_u (kN) ($T_D+T_P+T_B$)
1	Gelagar Melintang (GM)	683,78	675,31	527,49	384,36
2	Gelagar Panjang (GP)	63,43	73,80	52,39	41,97

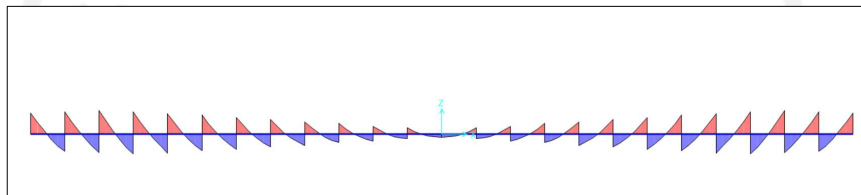
5.6 Hasil Analisis SAP2000 *Linear Analysis* (ELM)

Pada subbab ini akan dipaparkan hasil dari analisis gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban desain. Dimana gaya-gaya dalam ini diperoleh dari *Running Analysis* SAP2000. Berikut ini merupakan hasil running SAP2000 yang tersaji pada gambar 5.31 hingga 5.34 dan tabulasi gaya-gaya dalam tersaji pada tabel 5.8 hingga 5.10.

**Gambar 5.32 Running Linear Analysis – Axial Forces****Gambar 5.33 Running Linear Analysis – Moment 2-2**



Gambar 5.34 Running Linear Analysis – Moment 3-3



Gambar 5.35 Running Linear Analysis – Moment 3-3

Tabel 5.10 Rekapitulasi Gaya Tekan Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		P_u (kN) ($1,25M_S+1,5M_A$)	P_u (kN) $1,8(T_D+ T_P+T_B)$	P_u (kN) (M_S+M_A)	P_u (kN) ($T_D+ T_P T_B$)
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	1224,36	1224,84	935,64	680,46
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	1932,44	2090,63	1477	1161,46
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	1979,28	2230,34	1512,81	1239,08
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	1055,94	1037,25	807,65	576,25
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	653,27	667,41	499,84	370,78
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	480,17	520,36	367,65	289,08
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	332,91	402,08	255,15	223,37
8	Bracing Atas 3 (BA 3)	1,48	1,33	1,14	0,74
9	Bracing Bawah (BB)	11,01	11,36	8,41	6,31

Tabel 5.11 Rekapitulasi Gaya Tarik Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		P_u (kN) ($1,25M_S+1,5M_A$)	P_u (kN) $1,8(T_D+T_P+T_B)$	P_u (kN) (M_S+M_A)	P_u (kN) ($T_D+T_P+T_B$)
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	174,09	179,59	133,04	99,77
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	307,72	315,98	235,21	175,54
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	346,42	375,43	264,81	208,57
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	374,12	448,84	286,0	249,35
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1024	1035,20	782,16	575,17
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	629,42	667,86	480,73	371,03
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	454,31	520,66	3,61	4,17
8	Bracing Bawah (BB)	11,32	12,65	8,65	7,03

Tabel 5.12 Rekapitulasi Momen Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		M_u (kN.m) ($1,25M_S+1,5M_A$)	M_u (kN.m) $1,8(T_D+T_P+T_B)$	M_u (kN.m) (M_S+M_A)	M_u (kN.m) ($T_D+T_P+T_B$)
1	Gelagar Melintang (GM)	495,93	487,67	379,21	270,92
2	Gelagar Panjang (GP)	74,98	80,87	56,88	44,92
3	Bracing Atas 1 (BA 1)	8,05	3,23	6,32	1,79
4	Bracing Atas 2 (BA 2)	8,26	2,29	6,53	1,27

Tabel 5.13 Rekapitulasi Kuat Geser Terfaktor ELM (Kondisi Kuat dan Layan)

No	Elemen	Kondisi Kuat		Kondisi Layan	
		V_u (kN) ($1,25M_S+1,5M_A$)	V_u (kN) $1,8(T_D+T_P+T_B)$	V_u (kN) (M_S+M_A)	V_u (kN) ($T_D+T_P+T_B$)
1	Gelagar Melintang (GM)	674,29	665,67	515,50	369,81
2	Gelagar Panjang (GP)	68,21	80,87	51,07	43,77

5.7 Perhitungan *Rating Factor*

Evaluasi terhadap struktur atas jembatan ini terbatas pada elemen rangka baja saja seperti yang terdapat pada batasan penelitian. Dimana yang dianalisis hanya elemen rangka utama, gelagar, serta *bracing*. Untuk menghitung *rating factor* sesuai dengan pedoman penentuan *bridge load rating*, diperlukan hasil analisis kapasitas penampang sesuai dengan SNI Baja 1729:2020 serta gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiap elemen akibat dari pembebanan jembatan, yang dikalkulasikan dengan *software* SAP2000 berdasarkan analisis stabilitas struktur DAM dan ELM.

5.7.1 Kapasitas Nominal Terfaktor

Kapasitas nominal terfaktor merupakan kapasitas dari suatu elemen struktur yang telah direduksi dengan faktor pengali berdasarkan penilaian kondisi bangunan jembatan secara global serta fungsi sistem tiap-tiap elemen jembatan. Pada pedoman penentuan *bridge load rating* untuk jembatan *eksisting* 03/SE/M/2016 dijelaskan bahwa kedua faktor tersebut merupakan faktor kondisi (ϕ_c) dan faktor sistem (ϕ_s). Menurut penilaian visual, kondisi jembatan panjang termasuk kategori 1 nilai kondisi bangunan atas, yakni kerusakan sangat sedikit yang tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan. Sehingga penetapan faktor kondisi diambil $\phi_c = 1$. Sedangkan untuk faktor sistem sudah ditetapkan untuk elemen lentur dan aksial tarik terhadap kuat tarik leleh $\phi_s = 0,9$ serta untuk elemen aksial tekan $\phi_s = 0,85$.

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 5.11, 5.12 dan 5.13.

1. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tekan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kapasitas nominal terfaktor elemen tekan Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi_c \times \phi_s \times P_n \\ &= 1 \times 0,85 \times 7743,91\end{aligned}$$

$$= 6582,33 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = \frac{7743,91}{1,67}$$

$$= 4637,07 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tarik

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kapasitas nominal terfaktor elemen tarik Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi_c \times \phi_s \times P_n \\ &= 1 \times 0,9 \times 8704 \\ &= 7833,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_n}{\Omega} &= \frac{8704}{1,67} \\ &= 5211,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Lentur

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

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi_c \times \phi_s \times M_n \\ &= 1 \times 0,9 \times 1155,71 \\ &= 1040,15 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_n}{\Omega} &= \frac{1155,71}{1,67} \\ &= 692,04 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4. Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Geser

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

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi_c \times \phi_s \times V_n \\ &= 1 \times 0,9 \times 2142 \\ &= 1927,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\frac{V_n}{\Omega} = \frac{2142}{1,67}$$

$$= 1282,63 \text{ kN}$$

Tabel 5.14 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tekan

No	Elemen	ϕP_n (kN)	$\frac{P_n}{\Omega}$ (kN)
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	3586,75	2526,77
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	5985,95	4216,94
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	6582,33	4637,07
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	4719,61	3324,84
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1883,4	1326,80
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1507,19	1061,77
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	1314,79	926,23
8	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	59,97	39,90
9	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	198,71	132,20

Tabel 5.15 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Tarik

No	Elemen	ϕP_n (kN)	$\frac{P_n}{\Omega}$ (kN)
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	4377,6	2912,57
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	6624	4407,18
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	7142,4	4752,09
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	7833,6	5211,97
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	3118,5	2074,85
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	2596,5	1727,54
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	2335,5	1553,89
8	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	386,78	257,33

Tabel 5.16 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Lentur

No	Elemen	ϕM_n (kN.m)	$\frac{M_n}{\Omega}$ (kN)
1	Gelagar Melintang (GM)	1040,15	692,04
2	Gelagar Panjang (GP)	164,02	109,13
3	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	311,17	238,10
4	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	598,72	398,35
5	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	670,72	446,25
6	Batang Diagonal 1 (D 1)	475,92	316,64
7	Batang Diagonal 2 (D 2)	137,75	91,65
8	Batang Diagonal 3 (D 3)	105,35	70,09
9	Batang Diagonal 4 (D 4)	89,154	59,31
10	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	81,35	54,12
11	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	45,96	30,58
12	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	8,68	6,41
13	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	8,25	6,18

Tabel 5.17 Rekapitulasi Kapasitas Nominal Terfaktor Elemen Geser

No	Elemen	ϕV_n (kN)	$\frac{V_n}{\Omega}$ (kN)
1	Gelagar Melintang (GM)	1927,8	1282,63
2	Gelagar Panjang (GP)	630	377,24

5.7.2 Penyesuaian Rumus Rating Factor

Pada penelitian ini, rumus umum *rating factor* (3.28) harus disesuaikan sehingga mampu memperhitungkan kombinasi yang terjadi antara gaya aksial tekan dan momen lentur tanpa mengubah besaran nilai yang terjadi. Modifikasi dilakukan dengan mem-prakalikan rumus dengan $\frac{1/C}{1/C}$, sehingga tidak merubah nilai.

$$\begin{aligned}
 R_F &= \frac{C - (\gamma_{D_C} D_C) - (\gamma_{D_W} D_W)}{\gamma_{L_L} (L_L + I_M)} \\
 &= \frac{C - (\gamma_{D_C} D_C) - (\gamma_{D_W} D_W)}{(\gamma_{L_L} (L_L + I_M))} \times \frac{1/C}{1/C} \\
 R_F &= \frac{1 - \left(\frac{(\gamma_{D_C} D_C) + (\gamma_{D_W} D_W)}{C} \right)}{\frac{(\gamma_{L_L} (L_L + I_M))}{C}} \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- R_F = Faktor penilaian (*Rating Factor*)
 C = Kapasitas elemen struktur (tarik, tekan, geser, lentur)
 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_{D_C} = Faktor beban LRFD untuk komponen struktural dan tambahannya
 γ_{D_W} = Faktor beban LRFD untuk lapisan permukaan dan utilitas yang digunakan
 γ_{L_L} = Faktor evaluasi beban hidup

5.7.3 Perhitungan *Rating Factor* Hasil SAP2000 Analisis DAM (Kondisi Kuat dan Layan)

1. *Rating Factor* Kombinasi Elemen Tekan dan Lentur

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Batang Diagonal 1 atau dalam pemodelan dengan kode (D 1).

$$P_{u (D_1)} = 1002 \text{ kN}$$

$$P_{u (L_1)} = 983,36 \text{ kN}$$

$$M_{u (D_1)} = 23,03 \text{ kN.m}$$

$$M_{u (L_1)} = 17,05 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 475,92 \text{ kN.m}$$

$$\phi P_n = 4719,61 \text{ kN}$$

Interaksi momen lentur dan gaya tekan pada komponen struktur simetris ganda yang melentur terhadap sumbu geometris (x atau y) perlu dicari rasio antara kuat tekan perlu dengan kuat tekan nominal.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1002}{4719,61}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0,21$$

Karena $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$, maka digunakan persamaan (3.26) untuk menghitung

kombinasi kekuatan tekan dan lentur elemen,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (5.1),

$$R_F = \frac{1 - \left(\frac{(1,25D_C + 1,5D_W)}{C} \right)}{\frac{1,8(T_D + T_B + T_P)}{C}}$$

$$= \frac{1 - \left(\frac{P_{u(D_L)}}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \times \frac{M_{u(D_L)}}{\phi M_n} \right)}{\frac{P_{u(L_L)}}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \times \frac{M_{n(L_L)}}{\phi M_n}}$$

$$= \frac{1 - \left(\frac{1002}{4719,6} + \frac{8}{9} \times \frac{23,03}{475,9} \right)}{\frac{983,3}{4719,6} + \frac{8}{9} \times \frac{17,05}{475,9}}$$

$$= 3,10$$

2. *Rating Factor* Elemen Tarik

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Batang Tepi Bawah 4 atau dalam pemodelan dengan kode (BTB 4).

$$P_{u(D_L)} = 293,93 \text{ kN}$$

$$P_{u(L_L)} = 356,17 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 7833,6 \text{ kN}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\phi P_n - P_{u(1,25M_S + 1,5M_A)}}{P_{u1,8(T_D + T_B + T_P)}} \\ &= \frac{7833,6 - 293,93}{356,17} \\ &= 21,16 \end{aligned}$$

3. *Rating Factor* Elemen Lentur

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

$$M_{u(D_L)} = 506,79 \text{ kN.m}$$

$$M_{u(L_L)} = 498,94 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 1040,15 \text{ kN.m}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\phi M_n - M_{u(1,25M_S + 1,5M_A)}}{M_{n1,8(T_D + T_B + T_P)}} \\ &= \frac{1040,15 - 506,79}{498,94} \\ &= 1,07 \end{aligned}$$

4. *Rating Factor* Elemen Geser

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

$$V_{u(D_L)} = 683,78 \text{ kN}$$

$$V_{u(L_L)} = 675,31 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 1927,8 \text{ kN}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned}R_F &= \frac{\varphi V_n - V_{u(1,25M_s+1,5M_d)}}{V_{n1,8(T_D+T_B+T_P)}} \\ &= \frac{1927,8 - 683,78}{675,31} \\ &= 1,84\end{aligned}$$



Tabel 5.18 Rekapitulasi *Rating Factor* Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur DAM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kN.m)	Output SAP2000				R_F
				$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	$M_u (D_L)$ (kN.m)	$M_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	3586,75	311,17	1142,55	1141,33	15,34	9,49	1,84
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	5985,95	598,72	1778,64	1917,36	25,38	15,48	1,93
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	6582,33	670,72	1821,74	2043,82	27,89	17,42	2,05
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	4719,61	475,92	1002,03	983,368	23,03	17,05	3,10
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1883,4	137,75	539,79	605,65	9,64	6,80	1,70
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1507,19	105,35	437,23	472,34	7,81	5,44	1,79
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	1314,79	89,154	305,93	367,02	6,88	4,75	2,14
8	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	59,97	8,68	1,39	1,24	3,80	2,84	47,20
9	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	198,71	8,25	9,97	10,29	0,62	0,23	18,33

Tabel 5.19 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tarik DAM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕP_n (kN)	Output SAP2000		RF
			$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	4377,6	174,09	179,59	27,88
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	6624	307,72	315,98	25,48
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	7142,4	346,42	375,43	23,24
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	7833,6	374,12	448,84	21,16
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	3118,5	1024	1035,20	2,20
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	2596,5	629,42	667,86	3,41
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	2335,5	454,31	520,66	4,20
8	<i>Bracing</i> Bawah	386,78	10,07	11,34	33,22

Tabel 5.20 Rekapitulasi *Rating Factor* Momen Lentur DAM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕM_n (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$M_u (D_L)$ (kN.m)	$M_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	1040,15	506,79	498,94	1,07
2	Gelagar Panjang (GP)	164,02	68,43	73,80	1,29
3	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	81,35	7,78	2,95	24,93
4	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	45,96	8,04	2,05	18,48

Tabel 5.21 Rekapitulasi *Rating Factor* Geser DAM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕV_n (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$V_u (D_L)$ (kN.m)	$V_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	1927,8	683,78	675,31	1,84
2	Gelagar Panjang (GP)	630	63,435	73,805	7,67

Tabel 5.22 Rekapitulasi *Rating Factor* Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur DAM (Kondisi Layan)

No	Elemen	P_n / Ω (kN)	M_n / Ω (kN.m)	Output SAP2000				RF
				$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	$M_u (D_L)$ (kN.m)	$M_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	2526,77	238,10	882,88	652,49	14,17	9,49	2,04
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	4216,94	398,35	1375,5	1095,5	23,48	15,84	2,11
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	4637,07	446,25	1409,11	1167,01	25,79	17,42	2,25
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	3324,84	316,64	774,09	560,66	21,83	17,05	3,26
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1326,80	91,65	459,79	346,70	9,07	6,80	1,73
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1061,77	70,09	339,609	271,45	7,33	5,44	1,81
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	926,23	59,31	238,54	221,52	6,45	4,75	2,55
8	Bracing Atas 3 (BA 3)	39,90	6,41	1,084	0,78	2,96	1,62	54,82
9	Bracing Bawah (BB)	132,20	6,18	7,68	5,84	0,49	0,13	21,3

Tabel 5.23 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tarik DAM (Kondisi Layan)

No	Elemen	P_n / Ω (kN)	Output SAP2000		RF
			$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	2912,57	113,06	85,50	32,74
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	4407,18	189,12	142,24	29,65
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	4752,09	210,73	167,72	27,07
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	5211,97	226,60	201,45	24,74
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	2074,85	743,04	553,81	2,40
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1727,54	431,63	337,96	3,83
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	1553,89	307,10	259,97	4,79
8	Bracing Bawah	257,33	7,75	6,39	39,00

Tabel 5.24 Rekapitulasi *Rating Factor* Momen Lentur DAM (Kondisi Layan)

No	Elemen	M_n / Ω (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$M_u (D_L)$ (kN.m)	$M_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	692,04	391,00	283,8	1,06
2	Gelagar Panjang (GP)	109,13	52,39	41,97	1,35
3	Bracing Atas 1 (BA 1)	54,12	6,14	1,68	28,49
4	Bracing Atas 2 (BA 2)	30,58	6,38	1,17	20,66

Tabel 5.25 Rekapitulasi *Rating Factor* Geser DAM (Kondisi Layan)

No	Elemen	V_n / Ω (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$V_u (D_L)$ (kN.m)	$V_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	1282,63	527,49	384,36	1,96
2	Gelagar Panjang (GP)	377,24	52,39	41,97	7,73

5.7.4 Perhitungan *Rating Factor* Hasil SAP2000 Analisis ELM (Kondisi Kuat dan Layan)

1. *Rating Factor* Elemen Tekan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Batang Diagonal 1 atau dalam pemodelan dengan kode (D 1).

$$P_{u(D_L)} = 1055,94 \text{ kN}$$

$$P_{u(L_L)} = 1037,25 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 4719,61 \text{ kN}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\phi P_n - P_{u(1,25M_S + 1,5M_A)}}{P_{u1,8(T_D + T_B + T_P)}} \\ &= \frac{4719,61 - 1055,94}{1037,25} \\ &= 3,53 \end{aligned}$$

2. *Rating Factor* Elemen Tarik

Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari elemen Batang Tepi Bawah 4 atau dalam pemodelan dengan kode (BTB 4).

$$P_{u(D_L)} = 374,13 \text{ kN}$$

$$P_{u(L_L)} = 448,85 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 7833,6 \text{ kN}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\phi P_n - P_{u(1,25M_S + 1,5M_A)}}{P_{u1,8(T_D + T_B + T_P)}} \\ &= \frac{7833,6 - 374,13}{448,85} \\ &= 16,61 \end{aligned}$$

3. *Rating Factor* Elemen Lentur

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

$$M_{r, \text{Dead}} = 495,93 \text{ kN.m}$$

$$M_{r, \text{Live}} = 487,67 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 1040,15 \text{ kN.m}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned} RF &= \frac{\phi M_n - M_{u(1,25M_S + 1,5M_A)}}{M_{u1,8(T_D + T_B + T_P)}} \\ &= \frac{1040,15 - 499,66}{491,32} \\ &= 1,10 \end{aligned}$$

4. *Rating Factor* Elemen Geser

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

$$V_{u(D_L)} = 674,29 \text{ kN}$$

$$V_{u(L_L)} = 665,68 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 1927,8 \text{ kN}$$

Sehingga *rating factor* dapat dihitung dengan persamaan (3.28),

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{\phi V_n - V_{u(1,25M_S + 1,5M_A)}}{V_{u1,8(T_D + T_B + T_P)}} \\ &= \frac{1927,8 - 674,29}{665,68} \\ &= 1,88 \end{aligned}$$

Tabel 5.26 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tekan ELM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕP_n (kN)	Output SAP2000		RF
			$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	3586,75	1224,36	1224,84	1,92
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	5985,95	1932,44	2090,63	1,93
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	6582,33	1979,28	2230,34	2,06
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	4719,61	1055,94	1037,25	3,53
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1883,4	653,27	667,41	1.84
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1507,19	480,17	520,36	1,97
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	1314,79	332,91	402,08	2,44
8	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	59,97	1,48	1,33	43,71
9	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	198,71	11,01	11,36	16,51

Tabel 5.27 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tarik ELM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕP_n (kN)	Output SAP2000		RF
			$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	4377,6	174,09	179,59	23,41
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	6624	307,72	315,98	19,98
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	7142,4	346,42	375,43	18,01
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	7833,6	374,12	448,84	16,61
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	3118,5	1024	1035,20	2,02
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	2596,5	629,42	667,86	2,94
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	2335,5	454,31	520,66	3,61
8	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	386,77	11,32	12,65	29,67

Tabel 5.28 Rekapitulasi *Rating Factor* Momen Lentur ELM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕM_n (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$M_u (D_L)$ (kN.m)	$M_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	1040,15	499,66	491,32	1,10
2	Gelagar Panjang (GP)	164,02	74,98	80,87	1,10
3	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	81,356	8,05	3,23	22,65
4	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	45,96	8,26	2,29	16,44

Tabel 5.29 Rekapitulasi *Rating Factor* Geser ELM (Kondisi Kuat)

No	Elemen	ϕV_n (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$V_u (D_L)$ (kN.m)	$V_u (L_L)$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	1927,8	674,29	665,67	1,88
2	Gelagar Panjang (GP)	630	68,21	80,87	6,94

Tabel 5.30 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tekan ELM (Kondisi Layan)

No	Elemen	P_n / Ω (kN)	Output SAP2000		RF
			$P_u (D_L)$ (kN)	$P_u (L_L)$ (kN)	
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	2526,77	935,64	680,46	2,33
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	4216,94	1477,00	1161,46	2,35
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	4637,07	1512,81	1239,08	2,52
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	3324,84	807,65	576,25	4,36
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1326,80	499,84	370,78	2,23
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1061,77	367,65	289,08	2,40
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	926,23	255,15	223,37	3,00
8	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	39,90	1,14	0,74	52,16
9	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	132,20	8,41	6,31	19,60

Tabel 5.31 Rekapitulasi *Rating Factor* Aksial Tarik ELM (Kondisi Layan)

No	Elemen	P_n / Ω (kN)	Output SAP2000		RF
			$P_u^{(D_L)}$ (kN)	$P_u^{(L_L)}$ (kN)	
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	2912,57	133,04	99,77	27,86
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	4407,18	235,21	175,54	23,77
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	4752,09	264,81	208,57	21,51
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	5211,97	286,00	249,35	19,75
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	2074,85	782,16	575,17	2,24
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1727,54	480,73	371,03	3,36
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	1553,89	346,95	289,25	4,17
8	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	257,33	8,65	7,03	35,37

Tabel 5.32 Rekapitulasi *Rating Factor* Momen Lentur ELM (Kondisi Layan)

No	Elemen	M_n / Ω (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$M_u^{(D_L)}$ (kN.m)	$M_u^{(L_L)}$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	692,04	382,07	272,96	1,14
2	Gelagar Panjang (GP)	109,132	56,88	44,92	1,16
3	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	54,12	6,32	1,79	26,59
4	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	30,58	6,53	1,27	18,89

Tabel 5.33 Rekapitulasi *Rating Factor* Geser ELM (Kondisi Layan)

No	Elemen	V_n / Ω (kN.m)	Output SAP2000		RF
			$V_u^{(D_L)}$ (kN.m)	$V_u^{(L_L)}$ (kN.m)	
1	Gelagar Melintang (GM)	1282,63	515,50	369,81	2,07
2	Gelagar Panjang (GP)	377,24	51,07	43,77	7,45

5.8 Pembahasan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbandingan perhitungan nilai *rating factor* baik dari analisis DAM maupun ELM yang keduanya ditinjau dari kondisi kekuatan batas dan kondisi batas layan. Berikut ini merupakan perbandingan nilai *rating factor* antara analisis DAM dan ELM yang tersaji pada tabel 5.34 dan tabel 5.35.

Tabel 5.34 Perbandingan Nilai *Rating Factor* DAM dengan ELM Kondisi Kekuatan Batas

<i>Rating Factor</i> Tekan Kondisi Kekuatan Batas			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	1,84	1,92
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	1,93	1,93
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	2,05	2,06
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	3,10	3,53
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1,70	1,84
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1,79	1,97
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	2,14	2,44
8	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	47,20	43,71
9	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	18,33	16,51
<i>Rating Factor</i> Tarik Kondisi Kekuatan Batas			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	27,88	23,41
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	25,48	19,98
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	23,24	18,01
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	21,16	16,61

Lanjutan Tabel 5.34 Perbandingan Nilai *Rating Factor* DAM dengan ELM Kondisi Kekuatan Batas

5	Batang Diagonal 2 (D 2)	2,20	2,02
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	3,41	2,94
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	4,20	3,61
8	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	33,22	29,67
<i>Rating Factor</i> Momen Kondisi Kekuatan Batas			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Gelagar Melintang (GM)	1,07	1,10
2	Gelagar Panjang (GP)	1,30	1,10
3	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	24,93	22,65
4	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	18,48	16,44
<i>Rating Factor</i> Geser Kondisi Kekuatan Batas			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Gelagar Melintang (GM)	1,84	1,88
2	Gelagar Panjang (GP)	7,67	6,94

Tabel 5.35 Perbandingan Nilai *Rating Factor* DAM dengan ELM Kondisi Batas Layan

<i>Rating Factor</i> Tekan Kondisi Batas Layan			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Batang Tepi Atas 1 (BTA 1)	2,04	2,33
2	Batang Tepi Atas 2 (BTA 2)	2,11	2,35
3	Batang Tepi Atas 3 (BTA 3)	2,25	2,52
4	Batang Diagonal 1 (D 1)	3,26	4,36

**Lanjutan Tabel 5.34 Perbandingan Nilai *Rating Factor* DAM dengan ELM
Kondisi Kekuatan Batas**

5	Batang Diagonal 2 (D 2)	1,73	2,23
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	1,81	2,40
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	2,55	3,00
8	<i>Bracing</i> Atas 3 (BA 3)	54,82	52,16
9	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	21,3	19,60
<i>Rating Factor</i> Tarik Kondisi Batas Layan			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Batang Tepi Bawah 1 (BTB 1)	32,74	27,86
2	Batang Tepi Bawah 2 (BTB 2)	29,65	23,77
3	Batang Tepi Bawah 3 (BTB 3)	27,07	21,51
4	Batang Tepi Bawah 4 (BTB 4)	24,74	19,75
5	Batang Diagonal 2 (D 2)	2,40	2,24
6	Batang Diagonal 3 (D 3)	3,83	3,36
7	Batang Diagonal 4 (D 4)	4,79	4,17
8	<i>Bracing</i> Bawah (BB)	39,00	35,37
<i>Rating Factor</i> Momen Kondisi Batas Layan			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Gelagar Melintang (GM)	1,06	1,14
2	Gelagar Panjang (GP)	1,35	1,16
3	<i>Bracing</i> Atas 1 (BA 1)	28,49	26,59
4	<i>Bracing</i> Atas 2 (BA 2)	20,66	18,89

Lanjutan Tabel 5.34 Perbandingan Nilai *Rating Factor* DAM dengan ELM Kondisi Kekuatan Batas

<i>Rating Factor</i> Geser Kondisi Batas Layan			
No	Elemen	<i>RF</i> DAM	<i>RF</i> ELM
1	Gelagar Melintang (GM)	1,96	2,07
2	Gelagar Panjang (GP)	7,73	7,45

Pada tabel 3.34 tersaji perbandingan penilaian *rating factor* antara metode DAM dan ELM struktur rangka jembatan pada kondisi kekuatan batas. Dimana penilaian elemen yang paling kritis pada analisis DAM terdapat pada elemen gelagar melintang (GM) dengan nilai *rating factor* sebesar 1,08. Sedangkan penilaian yang paling kritis pada analisis ELM juga terdapat pada elemen gelagar melintang (GM) dengan nilai *rating factor* sebesar 1,10.

Untuk kondisi batas layan, perbandingan penilaian *rating factor* antara metode analisis DAM dengan ELM struktur rangka jembatan tersaji pada tabel 3.35. Dimana penilaian elemen yang paling kritis analisis DAM terdapat pada elemen gelagar melintang (GM) dengan nilai *rating factor* sebesar 1,06. Sedangkan nilai yang paling kritis pada analisis ELM juga terdapat pada elemen gelagar melintang (GM) dengan nilai *rating factor* sebesar 1,14.

Ditinjau dari rata-rata nilai *rating factor* antara analisis DAM dan ELM pada kondisi kekuatan batas, nilai rata-rata *rating factor* analisis DAM sebesar 11,09 lalu pada analisis ELM sebesar 9,68. Sedangkan jika ditinjau pada kondisi batas layan, rata-rata nilai *rating factor* analisis DAM sebesar 12,77 lalu pada analisis ELM sebesar 11,47. Sehingga dengan menggunakan analisis stabilitas struktur DAM memiliki penilaian yang lebih tinggi (aman), baik pada kondisi kekuatan batas maupun batas layan.

Pada struktur batang tekan, perbedaan nilai *Rating Factor* antara analisis DAM dan ELM pada kondisi kekuatan batas sebesar 3,0% dan pada kondisi layan

sebesar 12,05%, dengan hasil menggunakan DAM diperoleh nilai yang lebih kritis. Nilai Rating Factor pada batang tekan juga dipengaruhi oleh kelangsingan, (terbukti dari perbedaan kondisi kritis pada struktur rangka utama dibandingkan dengan *bracing*). Nilai Rating Factor paling kritis terjadi pada gelagar melintang dengan perbedaan penilaian RF lentur pada kondisi kekuatan batas sebesar 2,83% dan kondisi layan sebesar 6,59% dengan hasil menggunakan DAM diperoleh nilai yang lebih kritis, sehingga metode DAM tidak hanya berpengaruh pada struktur batang tekan walaupun ada beberapa perilaku khusus yang diberikan pada struktur batang tekan dalam pemodelan strukturnya yakni adanya pemberian beban *notional* serta melakukan reduksi kekakuan elemen.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian mengenai evaluasi struktur atas jembatan Panjang menggunakan *rating factor* berdasarkan SNI Baja 1729:2020 menghasilkan beberapa kesimpulan yang diuraikan dibawah ini. Penarikan kesimpulan berisikan penilaian paling kritis pada tiap kelompok elemen, serta penilaian rata-rata secara keseluruhan berdasarkan analisis DAM dan ELM yang didalamnya juga ditinjau dari kondisi kekuatan batas serta kondisi batas layan. Lalu dengan penilaian tersebut juga ditarik kesimpulan mengenai kelayakan struktur jembatan dalam melayani beban yang bekerja.

1. Nilai *rating factor* paling kritis serta nilai rata-rata *rating factor* keseluruhan adalah sebagai berikut.

a. Kondisi Kekuatan Batas

1) Analisis DAM

Rangka utama	: 1,70
Gelagar (<i>floorbeam</i>)	: 1,07
<i>Bracing</i>	: 18,34
Rata-rata	: 11,09

2) Analisis ELM

Rangka utama	: 1,84
Gelagar (<i>floorbeam</i>)	: 1,10
<i>Bracing</i>	: 16,44
Rata-rata	: 9,68

b. Kondisi Batas Layan

1) DAM

Rangka utama	: 1,73
Gelagar (<i>floorbeam</i>)	: 1,06
<i>Bracing</i>	: 20,66

Rata-rata : 12,77

2) ELM

Rangka utama : 2,23

Gelagar (*floorbeam*) : 1,14

Bracing : 18,89

Rata-rata : 11,47

2. Berdasarkan analisis DAM dan ELM kelayakan struktur atas jembatan rangka Panjang dinilai masih aman terhadap beban desain karena nilai *rating factor* paling kritis kedua metode tersebut terjadi pada elemen gelagar (*floorbeam*) berturut-turut sebesar 1,06 dan 1,10 yang berarti kapasitas sisa elemen profil tersebut masih mampu menerima beban desain yang bekerja.

6.2 Saran

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

1. Dalam pengukuran detail profil elemen rangka lebih baik menggunakan *caliper* dengan ukuran 12 inch, agar tangkai ukur kedalaman dari *caliper* dapat menjangkau area dengan maksimal.
2. Dalam melakukan analisis sebaiknya material dari baja yang digunakan sudah teridentifikasi spesifikasinya baik secara pengujian langsung ataupun data sekunder dari pihak terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. (2010). “An American National Standard ANSI/AISC 360-10 : *Load Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan, SNI 1725:2016*. BSN: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, SNI 1729:2020*. BSN: Jakarta.
- Dewobroto, W. 2014. *Rekayasa Komputer dalam Analisis dan Desain Struktur Baja*. Dalam: Seminar dan Lokakarya Rekayasa Struktur di Universitas Kristen Petra, 4 Juli 2014.
- Dewobroto, W. 2015. *Struktur Baja – Perilaku, Analisis & Desain - AISC 2010*. Lumina Press: Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2011. *Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan, 024/BM/2011*. Direktorat Jenderal Bina Marga: Jakarta.
- Kamal, R. 2016. *Evaluasi Kelayakan Struktur Atas (Superstructure) Jembatan Muja-Muju, Yogyakarta*. Tugas Akhir. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kementrerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2016. *Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting, No.03/SE/M/2016*. Jakarta.
- Muluk, A. A. T. 2021. *Analisis Rating Factor Jembatan Sardjito I dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Saputra, A. A. 2020. *Analisis Nilai Kapasitas Struktur Atas Jembatan dengan Menggunakan Metode Rating Factor*. Tugas Akhir. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Shinthike, Y. L. 2015. *Analisa Nilai Sisa Kapasitas Bangunan Atas Jembatan Bahanapu dengan Menggunakan Metode Rating Factor*. Tugas Akhir. Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Supriyadi, B. Dkk. 2007. *Jembatan*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian KESBANGPOL Kabupaten Kudus



PEMERINTAH KABUPATEN KUDUS KANTOR KESATUAN BANGSA DAN POLITIK

Jalan. Simpang Tujuh No. 1 Kudus Kode Pos 59313

Telepon (0291) 435010 Faks (0291) 435010

E-mail : Kesbangkds@yahoo.com

REKOMENDASI PENELITIAN

Nomor : 070/147/39.00/2022

- Dasar :
- a. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 64 Tahun 2011 Tanggal 20 Desember 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 7 Tahun 2014 Tanggal 21 Januari 2014 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 64 Tahun 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian;
 - b. Peraturan Bupati Kabupaten Kudus Nomor 14 Tahun 2015 Tanggal 30 Maret 2015 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian di Kabupaten Kudus.

Memperhatikan : Surat dari Kepala Program Studi Universitas Islam Indonesia Nomor : 336/Ka.Prodi PSTS/20/TA/X/2021. Tanggal 01 November 2022 Perihal : Ijin Penelitian TA dan Pengambilan Data untuk TA

Kepala Kantor Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Kudus, memberikan rekomendasi kepada :

1. Nama : Muhammad Afidl Himmana
2. Alamat : Perumnas RT 005 RW 006 Gondangmanis, Kecamatan Bae, Kudus
3. Pekerjaan : Mahasiswa

Untuk : Melakukan Penelitian dalam rangka menyusun karya ilmiah (Skripsi/Tesis/Tugas akhir, dsb) dengan rincian sebagai berikut :

- a. Nama proposal : Evaluasi Struktur Aras Jembatan Panjang Menggunakan Rating Factor Berdasarkan SNI BAJA 1729 : 2020
- b. Tempat/Lokasi : Kabupaten Kudus
- c. Bidang Penelitian : Infrastruktur Pelayanan Publik
- d. Waktu Penelitian : Tanggal 23 Mei 2022 s/d 23 November 2022
- e. Penanggungjawab : Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT
- f. Status Penelitian : Baru
- g. Anggota Peneliti : -
- h. Nama Lembaga : Universitas Islam Indonesia

Ketentuan yang harus ditaati adalah :

- a. Sebelum melakukan kegiatan terlebih dahulu melaporkan kepada Pejabat setempat / Lembaga Swasta yang akan dijadikan obyek lokasi penelitian;
- b. Pelaksanaan kegiatan dimaksud tidak disalahgunakan untuk tujuan yang dapat mengganggu kestabilan pemerintahan;
- c. Setelah pelaksanaan kegiatan dimaksud menyerahkan hasilnya kepada Kepala Kantor Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Kudus;
- d. Apabila masa berlaku Surat Rekomendasi ini sudah berakhir, sedang pelaksanaan kegiatan belum selesai, perpanjangan waktu harus diajukan kepada instansi pemohon dengan menyertakan hasil penelitian sebelumnya;
- e. Surat rekomendasi ini dapat diubah apabila di kemudian hari terdapat kekeliruan dan akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya.

Demikian rekomendasi ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya.



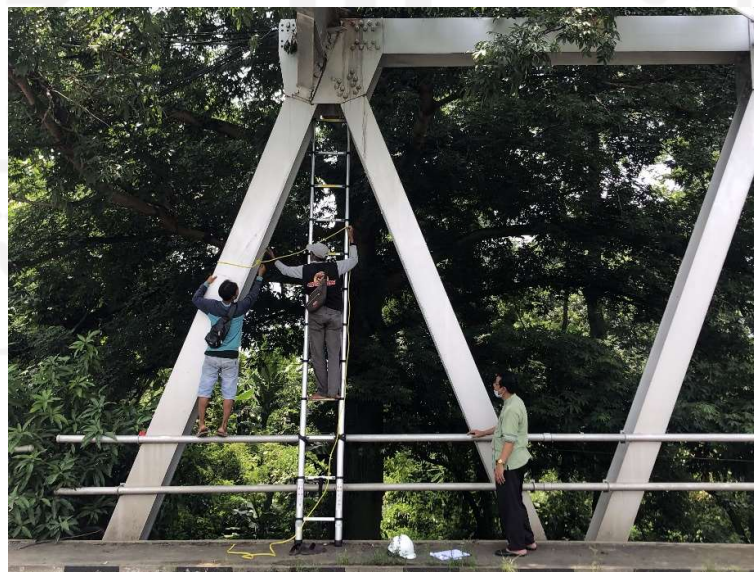
HARSO WIDODO, AP
Pembina Tk.I

NIP. 19731014 199311 1 001

Lampiran 2 Lembar Disposisi Izin Penelitian PUPR Kabupaten Kudus

PEMERINTAH KABUPATEN KUDUS						LEMBAR DISPOSISI
DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG						
CATATAN						ISI DISPOSISI
No. Surat : 070/144/39.00/2022						1. Sekretaris Dinas <i>1/25/22</i>
Tanggal Surat : 19 - 5 - 2022						2. Bidang Bina Marga <i>1/25/22</i>
Dari : CUU						3. Bidang SDA
Hal : Izin penelitian						4. Tata Bangunan dan Drainase
Terima Tanggal : 25. 5. 22						5. Bidang Penataan Ruang dan Pertanahan
No. Agenda : 402						
Diteruskan kepada	Tanggal	Paraf	Diterima dari	Tanggal	Paraf	
						<i>Sekeloa 4/1</i>
						<i>D. J. Prayogo</i>
						<i>30/05/22</i>
						<i>Mr. Bambang Wungy</i>
						<i>- Dg Bambang</i>
						<i>- Hm</i>
						<i>1/25/22</i>
c. Penanggungjawab : Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT						

Lampiran 3 Persiapan Pengukuran Rangka Jembatan



Lampiran 4 Pengukuran Dimensi Profil *Bracing* Atas



Lampiran 5 Persiapan Pengukuran Rangka Jembatan



Lampiran 6 Pengukuran Tebal Sayap Profil Batang Diagonal



Lampiran 7 Pengukuran Tebal Sayap Profil Gelagar Melintang



Lampiran 8 Pengukuran Tinggi Badan Profil Gelagar Melintang**Lampiran 9 Pengukuran Lebar Sayap Profil Gelagar Memanjang**

Lampiran 10 Pengukuran Tebal Sayap Profil Gelagar Memanjang**Lampiran 11 Pengukuran Panjang Bentang Profil Gelagar Melintang**