TUGAS AKHIR

ANALISIS STRUKTUR ATAS JEMBATAN KERETA API MBELING I BH.2034

(STRUCTURAL ANALYSIS OF MBELING I RAILWAY BRIDGE BH.2034)

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

Lalu Rahman Wiradarma
16511028

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

2022

TUGAS AKHIR

ANALISIS STRUKTUR ATAS JEMBATAN KERETA API MBELING I BH.2034
(STRUCTURAL ANALYSIS OF MBELING I RAILWAY BRIDGE BH.2034)

Disusun oleh

Lalu Rahman Wiradarma
16511028

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

Diuji pada tanggal 8 April 2022
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Ir. Suharyatma., MT	**Elvis Saputra., ST., MT**	**Prof. Ir. Mochammad. Teguh., Ph.D**
NIK. 865110201	**NIK. 205111302**	**NIK. 855110201**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T
NIK. 88511010

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

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, 23 Maret 2022
Yang membuat pernyataan,



Lalu Rahman Wiradarma

(16511028)

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

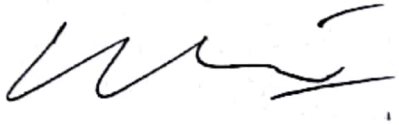
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena berkah rahmat serta hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "Analisis Struktur Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034". Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu 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 terima kasih yang sedalam-dalamnnya kepada:

1. Bapak Ir. Suharyatma M.T selaku Dosen Pembimbing,
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I,
3. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D selaku Dosen Penguji II,
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T selaku Ketua Prodi Teknik Sipil UII dan
5. Mama Sri Sulastri, S.E tercinta dan Bapak Ir. Lalu Suryadarma yang sangat saya banggakan serta keluarga saya (Keluarga Seno) yang telah berkorban begitu banyak berupa moral maupun materil, hingga selesainya Tugas Akhir ini,

Serta pada akhirnya saya berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 23 Maret 2022
Yang membuat pernyataan,



Lalu Rahman Wiradarma
(16511028)

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xiv
ABSTRACT xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Tinjauan Umum 6
2.1.1 Jenis-jenis Jembatan Berdasarkan Struktur dan Modelnya 7
2.1.2 Jembatan Baja 8
2.1.3 Jembatan Rangka (*Truss Bridge)* 9
2.1.4 Jembatan Rangka Tipe Busur 10
2.2 Penelitian Terdahulu 20
BAB III LANDASAN TEORI 25
3.1 Pembebanan 25
3.1.1 Beban Mati 25

3.1.2 Beban Hidup 26
3.1.3 Beban Kejut 28
3.1.5 Beban Lateral Kereta 29
3.1.6 Beban Rem dan Traksi 29
3.1.7 Beban Angin 30
3.1.8 Beban Gempa 30
3.1.9 Kombinasi Pembebanan 33
3.2 Metode Analisis Kapasitas 34
3.2.1 Kapasitas Nominal Komponen Struktur 34
3.2.2 Komponen Struktur Batang Tarik 34
3.2.3 Komponen Struktur Batang Desak 35
3.2.4 Komponen Struktur Lentur 38
3.2.5 Pengekang Lateral 40
3.2.6 Interaksi Aksial dan Lentur 423
BAB IV METODE PENELITIAN 44
4.1 Umum 44
4.2 Lokasi Jembatan 44
4.3 Data Yang Diperlukan 45
4.4 Bagan Alir Penelitian 477
BAB V ANALISIS DAN PEBAHASAN 50
5.1 Analisis Pembebanan 50
5.1.1 Beban Mati 50
5.1.2 Beban Hidup 52
5.1.3 Beban Kejut 53
5.1.4 Beban Rem 55
5.1.5 Beban Lateral 56
5.1.6 Beban Angin 57
5.1.7 Beban Gempa 58
5.1.8 Kombinasi Pembebanan 62
5.2 Permodelan Struktur 62
5.2.1 Material Jembatan 63

5.2.2 Dimensi Batan (*Frame Properties*) 63
5.2.3 Jarak Titik Antar Batang (*Grid System*) 70
5.2.4 Tumpuan *(Restraint)* 71
5.2.5 Permodelan Tahap Pertama 72
5.3 Hasil Analisis berdasarkan Program *SAP2000 v.22* 72
5.4 Analisis Kapasitas Tampang 76
5.4.1 Perhitungan Kapasitas Momen 76
5.4.3 Perhitungan Kapasitas Aksial Tarik 811
5.4.3 Perhitungan Kapasitas Aksial Tekan 814
5.4.4 Perbandingan Kasus Pembebanan 848
BAB VI 934
KESIMPULAN DAN SARAN 94
DAFTAR PUSTAKA 115
LAMPIRAN 116

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanis Baja Struktural 9
Tabel 2. 2 Data Teknis Lokomotif CC 16
Tabel 2. 3 Standar Jalan Rel 19
Tabel 2. 4 Dimensi Bantalan Kayu dan Toleransi yang Diijinkan di Indonesia 20
Tabel 2. 5 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan dan yang Akan Dilakukan 23
Tabel 3. 1 Berat Jenis Bahan 26
Tabel 3. 2 PGA dan Faktor Amplifikasi Untuk 0,2 Detik (F_{PGA}/Fa) 31
Tabel 3. 3 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v) 31
Tabel 3. 4 Faktor Beban 33
Tabel 3. 5 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal 337
Tabel 3. 6 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit 37
Tabel 3. 7 Panjang Bentang Untuk Pengekangan Lateral 41
Tabel 5. 1 Faktor Beban 62
Tabel 5. 2 Profil Baja pada Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 63
Tabel 5. 3 Tabel Hasil Rekap Gaya Aksial 73
Tabel 5. 4 Tabel Hasil Rekap Gaya Momen 74
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Gaya Aksial Maksimal Tiap Kasus Pembebanan 92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 8
Gambar 2. 2 Tipe-Tipe Jembatan Rangka 10
Gambar 2. 3 Kategori Jembatan Busur Berdasarkan Letak Busurnya 11
Gambar 2. 4 Lokomotif BB 14
Gambar 2. 5 Lokomotif CC 206 15
Gambar 2. 6 Lokomotif CC 203 15
Gambar 2. 7 Lokomotif CC 201 15
Gambar 2. 8 Kereta Penumpang Eksekutif 17
Gambar 2. 9 Letak *Bogie* pada Kereta 18
Gambar 2. 10 *Bogie* Kereta TB-1014 18
Gambar 2. 11 Nama Bagian dan Dimensi pada *Bogie* 18
Gambar 3. 1 Jumlah Berat Gandar 168 ton atau 87,5 ton/m 26
Gambar 3. 2 Jumlah Berat Gandar 24 ton atau 5 ton/m 27
Gambar 3. 3 Jika Ada 6 atau 7 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan 27
Gambar 3. 4 Jika Ada 5 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan 27
Gambar 3. 5 Jika Ada 3 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan 27
Gambar 3. 6 Jika Ada 2 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan 28
Gambar 3. 7 Jika Ada 1 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan 28
Gambar 3. 8 Beban Lateral Kereta 29
Gambar 3. 9 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah 32
Gambar 3. 10 Faktor Panjang Tekuk 37
Gambar 4. 1 Lokasi Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 44
Gambar 4. 2 Tampak Samping Jembatam Mbeling I BH.2034 46
Gambar 4. 3 Tampak Atas Jembatam Mbeling I BH.2034 46
Gambar 4. 4 Tampak Bawah Jembatam Mbeling I BH.2034 47
Gambar 4. 5 Bagan Alir Penelitian 49
Gambar 5. 1 Proyeksi Arah Beban Mati Sumbu XZ 51
Gambar 5. 2 Proyeksi Pembebanan pada Lokomotif 52

Gambar 5. 3 Proyeksi Pembebanan pada Kereta / Gerbong 53
Gambar 5. 4 Proyeksi Arah datangnya Beban Kejut Lokomotif 3 Roda Statis 54
Gambar 5. 5 Proyeksi Arah datangnya Beban Kejut Kereta 2 Roda Statis 55
Gambar 5. 6 Proyeksi Arah datangnya Beban Rem Lokomotif 3 Roda Statis 55
Gambar 5. 7 Proyeksi Arah datangnya Beban Rem Kereta 2 Roda Statis 56
Gambar 5. 8 Proyeksi Arah datangnya Beban Lateral Lokomotif 3 Roda Statis 57
Gambar 5. 9 Proyeksi Arah datangnya Beban Lateral Kereta 2 Roda Statis 57
Gambar 5. 10 Grafik Tipikal Respon Spektra di Permukaan 60
Gambar 5. 11 Profil Kode A 65
Gambar 5. 12 Profil Kode B 65
Gambar 5. 13 Profil Kode C 66
Gambar 5. 14 Profil Kode D 66
Gambar 5. 15 Profil Kode E 67
Gambar 5. 16 Profi Kode F 67
Gambar 5. 17 Profil Kode G 68
Gambar 5. 18 Profil Kode H 68
Gambar 5. 19 Profil Kode I 69
Gambar 5. 20 Profil Kode J 70
Gambar 5. 21 Sumbu X, Y dan Z pada Program *SAP2000 v.22* 71
Gambar 5. 22 Tampak 3-D *View Extrude* Tahap Awal Sebelum Pembebanan 72
Gambar 5. 23 Tampak Sumbu Global XZ 73
Gambar 5. 24 Tampak 3-D *View Extrude* 73
Gambar 5. 25 Gaya Aksial Beban Mati 75
Gambar 5. 26 Gaya Momen Beban Mati 76
Gambar 5. 27 Letak Profil I/WF 820x200 77
Gambar 5. 28 Diagram BMD Batang Nomor 346 81
Gambar 5. 29 Letak Profil B 390x240 82
Gambar 5. 30 Diagram NFD Batang Nomor 1 84
Gambar 5. 31 Letak Profil 2C 580x155 85
Gambar 5. 32 Diagram NFD Batang Nomor 156 87
Gambar 5. 33 Rangkaian Kereta dengan Beban 3/4 Jembatan 88

Gambar 5. 34 Letak Profil Gaya Aksial Maksimal dengan Beban 3/4 Jembatan 89
Gambar 5. 35 Diagram NFD Maksimal Beban 3/4 Jembatan 89
Gambar 5. 36 Rangkaian Kereta dengan Beban 1/2 Jembatan 90
Gambar 5. 37 Letak Profil Gaya Aksial Maksimal dengan Beban 1/2 Jembatan 90
Gambar 5. 38 Diagram NFD Maksimal Beban 1/2 Jembatan 91
Gambar 5. 39 Diagram NFD Maksimal dari Seluruh Kasus Pembebanan 93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. 1 *Material Properties* Jembatan 117
Lampiran A. 2 *Frame Properties* 119
Lampiran A. 3 *Grid System* 124
Lampiran A. 4 Tumpuan (*Restraint*) 126
Lampiran A. 5 *Load Assignment* 127
Lampiran A. 6 *Property Data* 128
Lampiran B. 1 Surat Izin Pengambilan Data Lapangan 129
Lampiran B. 2 Persiapan Pengukuran 130
Lampiran B. 3 Pengukuran Tinggi Profil 131
Lampiran B. 4 Pengukuran Tebal Sayap Profil 132
Lampiran B. 5 Pengukuran Lebar Sayap Profil 133
Lampiran B. 6 Pencatatan Hasil Pengukuran Profil 134
Lampiran B. 7 Pengukuran Elemen Bagian Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 135
Lampiran B. 8 Pengukuran Elemen Bagian Bawah Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 135
Lampiran B. 9 Tim Pengambilan Data (*Surveyor Team*) 136
Lampiran B. 10 Pengambilan Data Teknis Pembebanan Lokomotif dan Gerbong 136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

F_{PGA} = Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan yang Mewakili Getaran Periode 0 Detik

PGA = Percepatan Puncak Batuan Dasar Mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun

Ss = Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa untuk Periode Pendek (T=0,2 detik) Mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun

SDS = Nilai Spektra Permukaan Tanah pada Periode 0,2 Detik

Fa = Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan yang Mewakili Getaran Periode 0,2 Detik

SD1 = Nilai Spektra Peermukaan Tanah pada Periode 1,0 Detik

Fv = Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan yang Mewakili Getaran Periode 1,0 Detik

S1 = Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa untuk Periode 1,0 Detik

Ae = Luas Penampang Efektif (mm^2)

Ø = Faktor Reduksi

Nu = Gaya Aksial *Ultimate* (Terfaktor) (KN)

Nn = Gaya Aksial Nominal Penampang (KN)

K = Faktor Panjang Efektif

Mu = Momen *Ultimate* (Terfaktor) (KNm)

Mn = Momen Nominal Penampang (KNm)

Mp = Kondisi Leleh Sempurna (KNm)

ABSTRAK

Jembatan merupakan struktur yang menghubungkan wilayah yang terpisah akibat adanya rintangan, seperti lembah, sungai, jalan raya dan laut. Maka dari itu, keberadaan jembatan sangatlah penting, begitu pula dengan keberadaan jembatan kereta api. Jembatan kereta api jenis rangka baja di Indonesia terutama di Provinsi DI Yogyakarta telah banyak berdiri sejak zaman kolonial Belanda sama halnya dengan Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 ini yang telah berdiri sejak tahun 1886 yang disempurnakan kembali pada tahun 1930 dan 1957. Karena usianya yang sudah melebihi 50 tahun, maka perlu dilakukan analisis terhadap struktur atas jembatan tersebut untuk mengetahui nilai kapasitas yang dimiliki jembatan tersebut.

Analisis jembatan kereta api baja ini dapat dilakukan, salah satunya dengan cara analisa kapasitas tampang dengan menggunakan Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005) serta literasi Metode LRFD dan untuk pembebanan pada jembatan kereta api ada pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi, dengan bantuan aplikasi *SAP2000 v.22* dan *Microsoft Excel*.

Dari hasil analisis tersebut didapatkan bahwa struktur atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 dinyatakan aman yaitu dengan gaya momen maksimal sebesar 1324,405 KNm (beban rangkaian kereta 1 jembatan) dan gaya aksial tarik sebesar 2706,792 KN (beban rangkaian kereta 0,75 jembatan).

Kata kunci : Jembatan Kereta Api, Struktur Atas, Tampang Baja, Pembebanan, Analisis.

ABSTRACT

Bridge is a structure that connects areas that are separated by obstacles, such as valleys, rivers, roads and the sea. Therefore, the existence of a bridge is very important, as is the existence of a railway bridge. Steel frame railway bridges in Indonesia, especially in the DI Yogyakarta Province, have been around since the Dutch colonial era, as well as the Mbeling I BH.2034 Railway Bridge which has been established since 1886 which was refined again in 1930 and 1957. Due to its age, has exceeded 50 years, it is necessary to analyze the structure of the bridge to determine the value of the capacity of the bridge.

Analysis of this steel railway bridge can be carried out, one of which is by analyzing the cross-sectional capacity using the Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005) *and literacy of the* Metode LRFD *and for loading on railway bridges it is in the* Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 *and* Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 *as well as some literacy, with the help of SAP2000 v.22 application and Microsoft Excel.*

From the results of this analysis, it was found that the upper structure of the Mbeling I Railway Bridge BH.2034 was declared safe, namely with a maximum moment force of 1324,405 KNm (load of train series 1 bridge) and axial tensile force of 2706.792 KN (load of train circuit 0, 75 bridges).

***Keywords** : Railway Bridge, Superstructure, Steel Section, Loading, Analysis*.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan struktur yang menghubungkan wilayah yang terpisah akibat adanya rintangan, seperti lembah, sungai, jalan raya dan laut. Jembatan kereta api menjadi sangat penting pada jalur perjalanan kereta api. Sehingga, kereta api dapat melewati wilayah terpisah tersebut. Jembatan kereta api dengan struktur rangka baja di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan infrastruktur yang telah ada sejak jaman kolonial Belanda. Jembatan ini difungsikan sebagai moda transportasi pengangkut sumber daya alam berupa batu bara, sedangkan saat ini difungsikan juga sebagai moda trasnportasi umum maupun barang oleh Ditjen Perkeretaapian Indonesia dan dikeloa oleh PT. Kereta Api Indonesia (Persero).

Keberadaan jembatan di Indonesia terus mengalami perkembangan dari tahun ke tahun. Jembatan yang umumnya digunakan di Indonesia hingga saat ini adalah jembatan rangka baja. Mutu pada material baja berkaitan dengan kapasitas struktur yang mampu diterima oleh suatu jembatan. Mutu dan ukuran material baja sudah ditetapkan karena merupakan hasil dari proses fabrikasi. Di Indonesia, standar spesifikasi mutu dan ukuran material baja mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) yang telah diterbitkan oleh lembaga pemerintah. Namun, pada kenyataannya masih terdapat jenis baja yang tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, jenis baja ini biasanya dinamakan baja tidak teridentifikasi. Apalagi diketahui jembatan telah lebih dari 50 tahun dari semenjak pembangunannya.

Konstruksi jembatan kereta api baja harus selalu dipantau dan dievaluasi kelayakan strukturnya. Penelitian ini merupakan analisa mengenai dampak dari

segala macam pembebanan terhadap kekuatan struktur jembatan rangka kereta api. Analisis yang dilakukan meliputi analisis beban mati, beban hidup, beban kejut, beban gempa statis, karena merupakan analisa yang paling mendekati kenyataan sebenarnya di lapangan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan material baja terhadap kekuatan jembatan secara keseluruhan untuk memastikan keamanan jembatan rangka tersebut.

Jembatan Mbeling I didesain dengan struktur rangka baja dengan tipe busur (*pennsylvania petit truss arch bridge*) dengan lantai kendaraan di tengah (*a half - through arch*) dan terletak di Sungai Progo, Kulonprogo. Jembatan ini melintasi salah satu sungai besar yang ada di Yogyakata yaitu Sungai Progo. Jembatan ini dibangun oleh Staatsspoorwegen (SS) pada tahun 1886 sebagai jembatan darurat, disempurnakan pada tahun 1930, kemudian dibangun ulang oleh Djawatan Kereta Api Republik Indonesia (DKA) pada tahun 1957 dengan konstruksi baru dan dilakukan pemeliharaan secara berkala oleh Ditjen Perkeretaapian Indonesia (DJKA) bersama PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI). Jembatan ini merupakan konstruksi jembatan terunik di Indonesia bahkan konstruksi jembatan ini hanya ada 2 di dunia. Jembatan yang juga memiliki konstruksi seperti Jembatan Mbeling I ini ada di Belanda namun sudah tidak beroperasi lagi, sehingga Jembatan Mbeling I ini menjadi satu - satunya yang masih aktif di dunia hingga saat ini. Jembatan ini memiliki satu bentang dan merupakan jembatan rangka baja tipe busur dengan bentang 96 m dan lebar 5 m. Lalu lintas kereta api yang melintas di jembatan ini termasuk padat maka jika terjadi kegagalan struktur akan menghambat efektivitas berjalanya kegiatan di kota - kota tujuan kereta api yang akan melintas, belum lagi jika kegagalan struktur terjadi ketika kereta api sedang melintas maka pasti akan menimbulkan banyak korban jiwa. Seiring dengan perkembangan penelitian maupun perkembangan penduduk yang sangat pesat sehingga diperlukan standar yang diperbarui untuk menangani hal tersebut. Peraturan pembebanan jembatan kereta api baja terbaru yang digunakan di Indonesia ada pada Standar Teknis Kereta Api Indnesia Untuk Struktur Jembatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012.

Masa layan suatu jembatan memiliki kemungkinan terjadi penurunan kondisi

yang disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya adalah faktor lingkungan seperti karat/korosi, kondisi fisik jembatan dan besarnya beban yang melebihi kapasitas jembatan. Jembatan dapat mengalami kegagalan fungsi secara tiba-tiba dan dapat menyebabkan terputusnya perekonomian pada suatu daerah dengan daerah lainnya. Maka dari itu, untuk menghindari terjadinya kegagalan fungsi jembatan secara dini, perlu dilakukan analisa komponen jembatan secara berkala. Sehingga jembatan dapat berfungsi optimal, aman, nyaman, dan lancar dengan masa layanan yang maksimal.

Analisis jembatan kereta api baja ini dapat dilakukan, salah satunya dengan cara analisa kapasitas tampang dengan menggunakan Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005) serta literasi Metode LRFD dan untuk pembebanan pada jembatan kereta api ada pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi.

Pada penelitian ini, analisis pembebanan dilakukan mengacu pada Standar Teknis Kereta Api Indnesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi. Jembatan Mbeling I adalah jembatan dengan umur layan 50 tahun sehingga saat ini telah melampaui umur layannya. Mengingat kerap terjadinya kegagalan struktur atas jembatan baja di Indonesia walaupun belum habis masa layannya terlebih jembatan ini sudah melampaui umur masa layannya, maka hal tersebut menarik perhatian penulis untuk melakukan penelitian dengan judul *"Analisis Struktur Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034"*. Dan dengan melihat kompleksitas pada Jebatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 ini, maka analisis struktur atas yang dihitung kapasitasnya akan difokuskan pada strukutur atas dari titik tumpu ke titik tumpu yang ditopang oleh rangka sepanjang 96 m.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas, didapatkan rumusan masalah dalam penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Berapakah nilai kapasitas struktur atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 berdasarkan Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi?
2 Bagaimana kelayakan struktur atas Jembatan Mbeing I BH.2034 berdasarkan peraturan pembebanan pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai kapasitas pada struktur Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 berdasarkan peraturan pembebanan Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi.
2. Untuk mengetahui kelayakan struktur atas Jembatan Mbeing I BH.2034 berdasarkan peraturan pebebanan Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi.

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 analisa kapasitas menggunakan standar terbaru yang ada pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi.
2. Menjadi pertimbangan bagi Ditjen Perkeretaapian Indonesia dan PT. Kereta Api Indonesia dalam menentukan nilai kapasistas jembatan.

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 struktur Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 yang berlokasi di Sungai Progo, Kabupaten Kulonprogo dan merupakan struktur rangka baja tipe busur (*Pennsylvania Petit truss arch bridge*) dengan lantai kendaraan di tengah (*a half - through arch*).
2. Struktur yang dianalisis meliputi bangunan atas jembatan berupa elemen rangka batang horizontal, batang vertikal, dan batang diagonal dari rangka yang menopang jembatan dari titik tumpu ke titik tumpu sepanjang 96 m.
3. Perhitungan nilai kapasitas tiap elemen baja berpedoman pada draft Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005) dan literasi Metode LRFD.
4. Analisa struktur menggunakan alat bantu *SAP2000 v.22* dan *MS. Excel.*
5. Perhitungan pembebanan mengacu pada standar pembebanan untuk jembatan yang terbaru yaitu Standar Teknis Kereta Api Indnesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi.
6. Penelitian ini hanya ditinjau dari aspek teknik dan tidak dilakukan analisa dari segi biaya dan waktu.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang tidak sebidang dan berada lebih rendah (Struyk den Veen, 1984). Rintangan ini biasanya berupa sungai, laut, atau jalan lalu lintas biasa. Jika jembatan itu berada di atas jalan lalu lintas biasa maka biasanya dinamakan *viaduct*

Dalam merencanakan sebuah jembatan terdapat beberapa pertimbangan dalam segi ekonomis maupun teknis yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan. Pada perkembangannya, berbagai macam dan bentuk serta material jembatan mengalami perubahan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi terkini.

Berdasarkan perkemabangannya jembatan memiliki sejarahnya sendiri. Awalnya,manusia mengklasifikasikan jembatan menjadi lima tipe yakni, jembatan balok (*beam*), kantilever, pelengkung (*arch*), kabel gantung (*suspension*), dan rangka (*truss*). Empat tipe pertama jembatan diilhami dari kehidupan sebelum masehi. Pada masa selanjutnya tipe-tipe jembatan yang kita kenali sekarang. Berdasarkan materialnya jembatan dapat dibagi menjadi tiga jenis yakni, jembatan baja, jembatan beton, jembatan komposit. Menurut Frans (2016), berdasarkan pemakaiannya jembatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis seperti; jembatan jalan orang, jembatan jalan raya, jembatan rel kereta api, dan jembatan saluran air.

Jembatan baja yang pertama kali dibangun di dunia adalah jembatan *Coalbrookdale* yang melintasi Sungai *Sevren*, Inggris pada tahun 1776 yang dibuat dengan menggunakan model jembatan lengkung/busur bawah (*deck arch*) dan masih berdiri hingga saat ini (Supriyadi dan Agus, 2007), Berdasarkan uraian ini diketahui bahwa penggunaan jembatan baja telah berlangsung sejak lama dan memiliki daya tahan yang luar biasa, serta memiliki keunggulan dibandingkan

dengan kontruksi jembatan lainnya sehingga wajar apabila para *engineer* saat ini lebih menyukai menggunakan jembatan tipe ini dibandingkan dengan tipe lainnya.

2.1.1 Jenis-jenis Jembatan Berdasarkan Struktur dan Modelnya

Dalam merencanakan sebuah jembatan terdapat beberapa pertimbangan dalam segi ekonomis maupun teknis yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan. Pada perkembangannya, berbagai macam dan bentuk serta material jembatan mengalami perubahan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini.

Berikut ini beberapa klasifikasi jembatan.

1. Menurut jenis material penyusunnya
   a. Jembatan baja
   b. Jembatan beton bertulang
   c. Jembatan beton pretekan
   d. Jembatan komposit
   e. Jembatan kayu
2. Menurut fungsinya
   a. Jembatan kereta api
   b. Jembatan khusus (jembatan untuk jalur pita irigasi)
   c. Jembatan jalan raya
   d. Jembatan penyeberangan atau jembatan pejalan kaki
3. Menurut bentangnya
   a. *Small span bridge,* dengan panjang bentang hingga 15 meter
   b. *Medium span bridge,* dengan panjang hingga 75 meter
   c. *Large span bridge,* dengan panjang antara 50-150 meter
   d. *Extra span bridge,* dengan panjang lebih dari 150 meter
4. Menurut sistem strukturnya
   a. Jembatan gelagar (*Girder Bridge*)
   b. Jembatan pelat (*Slab Bridge*)
   c. Jembatan rangka batang (*Truss Bridge*)
   d. Jembatan busur (*Arch Bridge*)

e. Jembatan gantung (*Suspension Bridge*)

f. Jembatan kabel (*Cable Stayed Bridge)*

2.1.2 Jembatan Baja

Jembatan dengan konstruksi baja dapat mencakup seluruh jembatan dengan bentang pendek balok sederhana di atas tumpuan substruktur, jembatan gelagar dengan bentang yang lebih panjang yang menggunakan rangka baja (*trusses*). Tetapi, terlepas dari tipe bentang tertentu, sebagian besar jembatan struktur baja dirancang dengan bentang sederhana. Hal tersebut dilakukan supaya pelaksanaan konstruksi dan pemeliharaan dapat dijalankan dengan lebih mudah (Rosyidi, 2016).



Gambar 2.1 Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034
(Sumber: https://coretandjawani.blogspot.com)

Jembatan besi dan baja pertama kali di bangun di Inggris, yaitu sekitar tahun 1781, konstruksinya masih menirukan konstruksi jembatan batu yang bentuknya melengkung. Dengan perkembangan teknologi peleburan besi dan baja, maka kekuatan baja dapat ditingkatkan dan disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan pemakaian baja, seperti tahan karat ataupun pelapukan.

Baja untuk jembatan tersedia dalam berbagai tingkatan kekuatan yang berbeda, masing – masing ditetapkan di bawah ASTM A709, sepesifikasi standar untuk baja struktural untuk jembatan.

Di Indonesia sendiri penetapan sifat mekanis baja telah diatur dalam RSNI T-03-2005. Adapun penetapan tersebut dapat dilihat melalui Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural

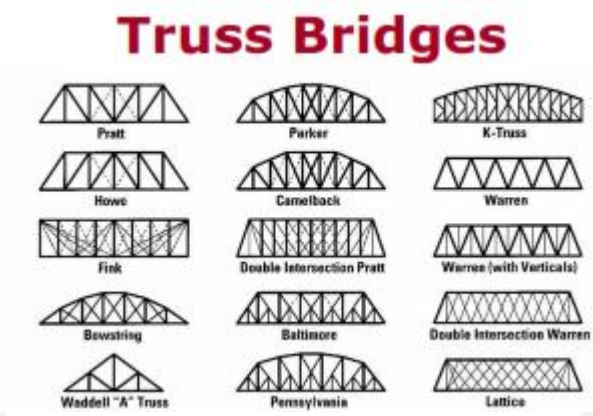
Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, Fu (Mpa)	Tegangan Leleh Minimum, Fy (Mpa)	Tegangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Menurut Pasaribu (1994), mutu baja yang digunakan dalam pembangunan jembatan sebaiknya terlebih dahulu disesuaikan dengan PPBBI 1983 selaku pedoman yang telah diterapkan di Indonesia.

2.1.3 Jembatan Rangka (*Truss Bridge)*

Jembatan rangka (*truss bridge*) merupakan jembatan yang didesain untuk bentang yang panjang. Bentang yang dapat menggunakan konstruksi jembatan rangka, yakni lebih dari 180 *feet* atau 55 m. Tipikal jembatan rangka biasanya terdiri dari elemen-elemen batang yang terletak pada tepi atas dan tepi bawah yang berfungsi sebagai *flens* pada gelagar yang terhubung dengan elemen batang diagonal dan vertikal yang biasa disebut dengan batang penggantung (*hangers*). Elemen-elemen tersebut memiliki susunan membentuk bidang segitiga atau kombinasi segitiga sehingga memiliki kestabilan pada jembatan rangka. Elemen batang biasanya dihubungkan dengan konstruksi sambungan baut, las, atau paku keling. Jembatan rangka merupakan suatu bentuk konstruksi yang dapat menahan dan memikul beban-beban besar yang bekerja di atasnya. Jembatan rangka memiliki beberapa tipe, salah satunya ialah jembatan rangka tipe warren. (Rosyidi, 2016)



Gambar 2.2 Tipe-Tipe Jembatan Rangka
(Sumber: https://www.crazyengineers.com)

2.1.4 Jembatan Rangka Tipe Busur

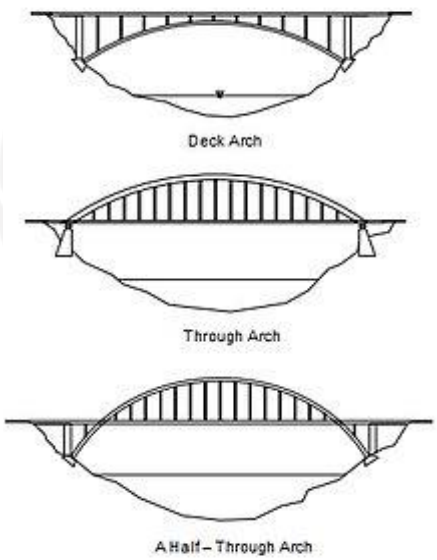
Secara umum jembatan busur adalah sebuah jembatan yang mempunyai struktur tengah berbentuk pelengkung atau busur dengan abutmen di kedua sisi jembatan. Struktur berbentuk pelengkung tersebut merupakan rangka utama dari jembatan yang fungsinya menerima semua gaya-gaya yang bekerja pada jembatan.

Pada prinsipnya, konstruksi dari jembatan busur dapat memberikan reaksi horizontal akibat beban vertikal yang bekerja. Desain lengkung akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergeser ke samping. Selain itu, bentuk busur dimaksudkan untuk memungkinkan konstruksi tersebut dapat menerima momen lentur lebih efisien bila dibandingkan dengan gelagar paralel (Irawan, 2007).

Secara struktural, jembatan busur merupakan jenis jembatan yang mengandalkan batang lengkung (busur) dan kabel penggantung antara busur jembatan dengan dek jembatan untuk memikul beban yang terjadi. Lengkungan dapat digunakan untuk mengurangi momen tekuk pada struktur-struktur bentang panjang. Jika lengkungan memiliki bentuk parabolik dan dibebani oleh beban vertikal yang terdistribusi merata secara horizontal maka dari analis kabel hanya mengikuti gaya-gaya mampatan yang akan ditahan oleh lengkungan (Hibbeler, 2002). Untuk jembatan dengan jenis jembatan pelengkung busur sendiri memiliki dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan letak busurnya seperti *deck arch*, *through arch*, *tied,* dan *half-through arch* (Qosim dkk, 2012). Dari ke empat

jenis jembatan struktur baja ini, yang paling banyak terdapat di Indonesia adalah jembatan baja busur atas (*through arch)* dan busur bawah (*deck arch).*

Jembatan busur sangat cocok untuk lintasan yang dalan dengan tebing curam berbatu, yang dapat berfungsi sebagai tembok pangkal alami yang efisien, terutama dalam menerima komponen horizontal dari reaksi busur. Menurut Hidayat Soegihardjo (2016), di dalam diktatnya disebutkan bahwa jembatan busur banyak dipergunakan sebgaia jembatan bentang panjang karena bentuk busur pada struktur pemikul utama mampu mengurangi nilai momen lapangan yang terjadi akibat beban luar.



Gambar 2.3 Kategori Jembatan Busur Berdasarkan Letak Busurnya
(Sumber: https://id.wikibooks.org)

1. Jenis - Jenis Jembatan Busur

   Jembatan busur sendiri dapat dibagi menjadi beberapa kategori seperti menurut peletakannya, menurut sifat gaya horizontal pada busurnya, menurut jenis gelagar pemikul utamanya, serta menurut kedudukan lantai kendarannya. Berdasarkan ke-4 kategori ini nantinya dapat dilakukan pemilihan bentuk busur yang tepat sesuai dengan medan yang akan dihubungkan oleh jembatan yang akan dibangun tersebut.

Bentuk ini adalah contoh gambar yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan penjelasan secara mengenai masing-masing kategori jembatan tersebut adalah sebagai berikut

a. Menurut perletakannya
   1). Jembatan busur terjepit
   2). Jembatan busur dua sendi
   3). Jembatan busur tiga sendi
b. Menurut sifat gaya horizontal pada busur
   1). Busur asli : reaksi horizontal (juga komponen reaksi vertikal dan momen diterima oleh peletakan, diteruskan ke pangka jembatan atau pilar).
   2). Busur dengan batang tarik : gaya horizontal pada busur diterima oleh bagian konstruksi busur, yaitu batang tarik.
c. Menurut jenis gelagar pemikul utama
   1). Busur dinding penuh
   2). Busur rangka batang
d. Menurut kedudukan lantai kendaraan
   1). Jembatan busur dengan lantai kendaraan di atas (*deck arch*)
   2). Jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah (*a half-through arch*)
   3). Jembatan busur dengan lantai kendaraan di bawah (*through arch*)

2. Bentuk - bentuk Jembatan Busur

   Seperti yang diketahui jembatan busur adalah jembatan yang memiliki penampang parabola yang digunakan untuk mendistribusikan berat secara merata. Bentuk dari jembatan ini tentunya sangat mudah dikenali karena jembatan jenis ini tentunya memiliki bagian yang menyerupai busur. Akan tetapi, ternyata jembatan busur memiliki bentuk yang lebih kompleks dari kelihatannya. Berikut adalah penjabaran mengenai bentuk-bentuk dari jembatan busur tersebut.

a. Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal, umumnya untuk busur terjepit.

b. Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur, umumnya busur dinding penuh termasuk bentuk box.

c. Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal, umumnya juga busur dua sendi.

Khusus untuk busur dengan batang tarik, bentuk busur ditentukan juga oleh pembagian beban antara busur dengan batang tariknya:

a. Busur sangat kaku, dibanding dengan batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul oleh busur, bentuk busur umumnya penamoang puncak lebih kecil dari penampang pangkal.

b. Busur sangat lemah, dibandingkan dengan batang tarik yang sangat kaku sehingga batang tarik memikul sebagian besar momen. Bentuk nusur umumnya tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur.

3. Pemilihan Bentuk Jembatan Busur

Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan jenis kontruksi dan bentuk busur, antara lain sebagai berikut.

a. Kondisi tanah dasar

Tebing yang curam, kokoh, dan tinggi sangat cocok untuk tipe jembatan busur dengan lantai kendaraan di atas. Bila kaki busur terendam air bisa menggunakan jenis jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah. Bila tanah kurang baik untuk menerima gaya horizontal maka bisa menggunakan jenis jembatan busur dengan batang tarik.

b. Besarnya beban

Bila beban yang dipukul tergolong berat, dapat menggunakan tipe busur rangka batang dan bila beban yang dipikul tidak terlalu berat, dapat menggunakan tipe busur dinding penuh atau box.

c. Panjang bentang

Untuk bentang jembatan anatar 60-250 meter dapat menggunakan busur dinding penuh atau rangka batang sedangkan untuk bentang jembatan antara 250-500 meter dapat menggunakan busur rangka batang.

2.1.5 Kereta Api

Kereta api adalah sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di rel. Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong (dirangkaikan dengan kendaraan lainnya). Rangkaian kereta atau gerbong tersebut berukuran relatif luas sehingga mampu memuat penumpang maupun barang dalam skala besar. Karena sifatnya sebagai angkutan massal efektif, beberapa negara berusaha memanfaatkannya secara maksimal sebagai alat transportasi utama angkutan darat baik di dalam kota, antarkota, maupun antarnegara (Wikipedia, 2009). Lokomotif dan rangkaian kereta atau gerbong masing-masing memiliki *bogie* sebagai pengelompokan roda dan pegas pada kereta api. Adapun lokomotif, kereta (gerbong), dan *bogie* memiiki gaya vertikal serta dimensi masing-masing yaitu sebagai berikut :

1. Gaya Lokomotif

   Lokomotif yang sekarang digunakan PT. Kereta Api (Persero) ialah lokomotif yang ditumpu oleh 2 *bogie.* Berdasarkan atas jumlah gandar (satu gandar terdiri atas 2 roda) pada masing-masing *bogie*, secara garis besar lokomotif yang digunakan dapat dikelompokkan atas 2 jenis, yaitu Lokomotif BB yang masing-masing *bogie* terdiri atas 2 gandar, dan Lokomotif CC yang masing-masing *bogie* terdiri dari atas 3 gandar.



Gambar 2.4 Lokomotif BB
(Sumber: https://id.wikipedia.org)



Gambar 2.5 Lokomotif CC 206
(Sumber: https://www.balai3d.web.id)



Gambar 2.6 Lokomotif CC 203
(Sumber: https://www.balai3d.web.id)



Gambar 2.7 Lokomotif CC 201
(Sumber: https://www.balai3d.web.id)

Perhitungan beban gandar (*axle load*) dan beban roda pada masing-masing jenis lokomotif dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Lokomotif BB. Jika beban lokomotif (Wlok) = 56 ton, maka:
   1) Gaya pada *bogie* (Pb) = Wlok/2 = 56/2 = 28 ton
   2) Gaya gandar (Pg) = Pb/2 = 28/2 = 14 ton
   3) Gaya roda statis (Ps) = Pg/2 = 14/2 = 7 ton

b. Lokomotif CC. Jika beban lokomotif (Wlok) = 84 ton, maka :
   1) Gaya pada *bogie* (Pb) = Wlok/2 = 84/2 = 42 ton
   2) Gaya gandar (Pg) = Pb/3 = 42/3 = 14 ton
   3) Gaya roda statis (Ps) = Pg/2 = 14/2 = 7 ton

Dan berikut adalah data teknis dari Lokomotif CC, lokomotif yang saat ini digunakan oleh PT.KAI untuk beroperasi :

Tabel 2.2 Data Teknis Lokomotif CC

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

2. Gaya Kereta

Kereta dipakai untuk angkutan penumpang. Kereta mempunyai karakteristik kenyamanan dan kecepatan yang tinggi. Berat kereta (berisi penumpang) ialah sekitar 40 ton. Kereta ditumpu oleh 2 *bogie* (Pb = 20 ton), masing-

masing *bogie* terdiri atas 2 ganda, sehingga Pg = 10 ton, dan Ps = 5 ton. Berikut adalah contoh gambar kereta eksekutif yang saat ini digunakan oleh PT. KAI untuk beroperasi :



Gambar 2.8 Kereta Penumpang Eksekutif
(Sumber: Dipo Kereta DAOP 6 Yogyakarta)

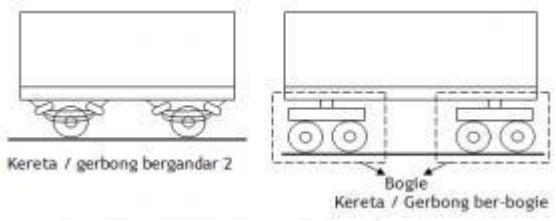
Dan berikut adalah data teknis dari kereta yang saat ini digunakan oleh PT. KAI untuk beroperasi :

1. `	Kecepatan maksimum operasional	:	120 km / jam
2.	Lebar sepur	:	1.067 mm
3.	Beban gandar maksimal	:	10 ton
4.	Panjang kereta	:	20.920 mm
5.	Lebar kereta (*side wall*)	:	2.990 mm
6.	Tinggi kereta dari atas rel	:	3.815 mm
7.	Tinggi lantai dari atas rel	:	1.000 mm
8.	Material *carbody*	:	*Stainless Steel*
9.	Kapasitas penumpang per kereta	:	50 penumpang

3. Dimensi *Bogie*

Bagi orang awam, istilah *bogie* tentu masih asing di telinga. *Bogie* merupakan sistem kesatuan roda pada Kereta Api, baik di kereta berpenggerak maupun

kereta non penggerak. *Bogie* pada umumnya dipakai untuk roda yang jumlahnya lebih dari 2 gandar (As) dalam satu kereta. Berikut adalah letak *bogie* pada kereta.

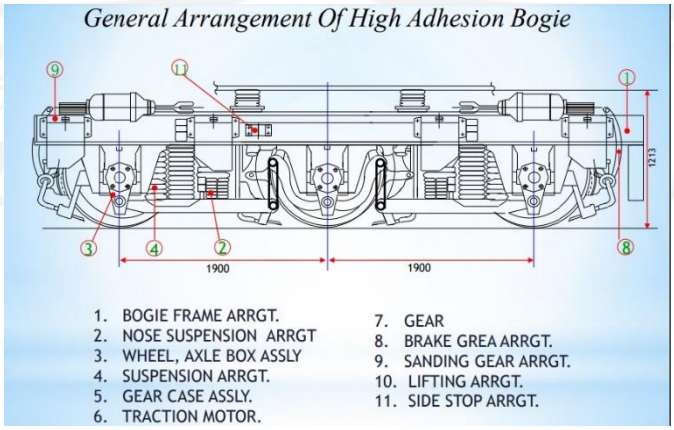


Gambar 2.9 Letak *Bogie* pada Kereta
(Sumber: Dipo Kereta DAOP 6 Yogyakarta)



Gambar 2.10 *Bogie* Kereta TB-1014
(Sumber: Dipo Kereta DAOP 6 Yogyakarta)

Di Indonesia *bogie* yang kerap dipakai adalah *bogie* tipe TB-1014, Berikut adalah dimensi dan penamaan bagian dari sebuah *bogie* :



Gambar 2.11 Nama Bagian dan Dimensi pada *Bogie*
(Sumber: Dipo Kereta DAOP 6 Yogyakarta)

2.1.6 Jalan Rel

Struktur jalan rel merupakan suatu konstruksi yang direncanakan sebagai prasarana atau infrastruktur perjalanan kereta api. Konsep struktur jalan rel adalah rangkaian super dan sub-struktur yang menjadi suatu kesatuan komponen yang mampu mendukung pergerakan kereta api secara aman. Di Indonesia standar jaan rel ialah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Standar Jalan Rel

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

Jalan rel juga memiliki berat dengan tipe sebagai berikut :

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

2.1.7 Bantalan Kayu

Jalan rel pada jembatan kereta api rangka baja pada umumnya diberi bantalan kayu bukan beton, karena kayu memiliki berat yang lebih ringan sehingga dapat

mengurangi beban dari kekuatan struktur atas jembatan kereta api rangka baja tersebut. Dimensi bantalan kayu yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.4 Dimensi Bantalan Kayu dan Toleransi yang Diijinkan di Indonesia

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

Keterangan : angka dalam kurung ( ) ialah toleransi yang diijinkan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai kapasitas dengan menggunakan peraturan pembebanan jembatan jaan rel sebelumnya sudah pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian-penelitian tersebut dapat dijadikan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan.

1. Evaluasi Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren Bentang 42 Meter Berdasarkan SNI 2833:2016 dan Peta Gempa 2017.

   Ismayana (2019) pada tugas akhirnya menganalisis Jembatan kereta api dengan struktur rangka baja tipe warren di wilayah Sumatera yang merupakan infrastruktur yang telah ada sejak jaman kolonial Belanda. Jembatan ini difungsikan sebagai moda transportasi pengangkut sumber daya alam berupa batu bara. Konstruksi jembatan kereta api harus selalu dipantau dan dievaluasi kelayakan strukturnya, terutama terhadap beban gempa. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan peta *hazard* gempa yang selalu diperbaharui. Penelitian ini menggunakan peta *hazard* gempa tahun 2017, dengan memodelkan struktur jembatan rangka baja tipe warren bentang 42 meter menggunakan *software* SAP2000 V.21. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, nilai *mode shape* terbesar UZ terjadi pada titik dengan pergerakan dominan ke arah UZ dengan *step number mode* 6 sebesar 0,82536 satuan perpindahan dan dengan nilai periode 0,075276 detik. Untuk nilai periode (T) terbesar terjadi pada *step number mode* 1 sebesar 0,37002 detik.

Displacement maksimum terjadi pada arah U3 di *joint* 25 sebesar 36,437377 mm berlawanan arah sumbu. Nilai *displacement* pada arah U3 lebih kecil dari nilai lendutan ijin sebesar 52,5 mm. Lalu, pada evaluasi kontrol tegangan, terdapat 13 batang yang mengalami *overstressed* dan batang yang mengalami tegangan terbesar terjadi pada batang tekan, yakni batang IWF150.150.7.10 dengan nilai Pu sebesar 22,462 ton dengan kapasitas Pn_{tekan} sebesar 12,612 ton. Berdasarkan ke-3 tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa, struktur jembatan memerlukan perkuatan struktur pada gelagar melintang yaitu, batang 1 (IWF1100.400.16.28), 2 (IWF1100.400.16.28) dan 7 (IWF1100.400.16.28) dan pada ikatan angin atas, yaitu batang 13-22 (IWF150.150.7.10).

2. Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api dengan Sistem Busur Atas dan Bawah.

   Teguh Jaya (2018) dalam tugas akhirnya melakukan analisis antara jembatan busur atas dan busur bawah dengan bentang yang sama untuk dua jalur kereta, sehingga diperoleh pilihan jembatan yang lebih efektif dan efesien secara kekuatan dan pembiayaan. Dari hasil analisis, diperoleh bahwa struktur jembatan *Through Arch* memiliki periode alami struktur (T_1) yang lebih besar yaitu 0,647 detik dibandingkan struktur jembatan *Deck Arch* yang hanya memiliki periode struktur (T_1) 0,555 detik. Dengan desain kondisi aman, lendutan gelagar jembatan *Through Arch* adalah 7,417 cm, lebih besar dibandingkan lendutan yang terjadi pada jembatan *Deck Arch* dengan nilai 0,555 cm. Lendutan kedua jembatan masih berada dibawah lendutan ijin sebesar 11 cm. Sedangkan dari segi pembiayaan, volume jembatan kereta api tipe *Through Arch* adalah 880.704,85 Kg dan *volume* jembatan *Deck Arch* adalah 724.090,41 kg, artinya jembatan *Deck Arch* lebih ekonomis dibandingkan tipe *Through Arch* sekitar 17,783%.

3. Modifikasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Lahor Dengan Menggunakan Konstruksi Busur Rangka Baja.

   Adhi (2017) dalam tugas akhirnya melakukan modifikasi erencanaan Jembatan Kereta Api Lahor dengan menggunakan konstruksi busur rangka

baja dengan lebar 5 m (satu jalur kereta) dan panjang bentang 160 m menerus dengan 2 pilar, terbagi menjadi 3 bentang dengan panjang masing – masing bentang 40 m – 80 m – 40 m. Jembatan tipe busur rangka baja dipilih dalam perencanaan ini karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sifat jembatan busur yang tidak memerukan pilar di tengah bentang. Selain itu material baja dipakai karena sifatnya yang kuat sehingga mumpuni dalam menopang beban kereta dan jembatan itu sendiri. Bentuk konstruksi busur juga dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien. Tugas akhir ini menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM.60 Tahun 2012 dan SNI 1725-2016. Dengan menggunakan program bantu SAP2000, kombinasi yang menghasilkan *output* gaya paling besar digunakan untuk menentukan profil rangka atas jembatan. Hasil analisis dengan program bantu SAP2000 profil utama yang terbesar pada jembatan busur menggunakan BOX 500x500x28. Dalam merencanakan bangunan bawah jembatan, dilakukan kontrol guling dan geser pada abutmen jembatan serta untuk pondasi *bored pile* dilakukan kontrol berdasarkan gaya dukung tanah dan tipe material yang digunakan. Dari perencanaan tersebut didapat lebutuhan *bored pile* pada jembatan adalah 15 buah pada masing – masing abutment dan pilar jembatan. Hasil seluruh perhitungan Tugas Akhir ini dituang dalam gambar teknik standar.

5.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan dari penelitian yang sudah ada, maka penelitian mengenai Analisis Kapasitas Struktur Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 berdasarkan standar yang terbaru yaitu Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 dari beberapa penelitian dan tugas akhir terdahulu, telah dirangkum hasilnya dalam Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan dan yang Akan Dilakukan

Nama	Judul	Tujuan Penelitian	Hasil
Adhi (2017)	Modifikasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Lahor Dengan Menggunakan Konstruksi Busur Rangka Baja.	Merencanakan sebuah jembatan kereta api baja dengan tipe jembatan busur.	Didapatkan desain struktur atas dan bawah jembatan kereta api baja tipe busur berikut dengan perhitungan serta permodelan nya menggunakan SAP2000.
Jaya (2018)	Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api dengan Sistem Busur Atas dan Bawah.	Menganalisis efisiensi penggunaan jembatan penghubung rel kereta api dari segi volumetrik material baja yang digunakan, sehingga diperoleh jenis jembatan yang paling ekonomis.	Volume jembatan kereta api tipe *Through Arch* adalah 880.704,85 kg dan volume jembatan *Deck Arch* adalah 724.090,41 kg, artinya jembatan *Deck Arch* lebih ekonomis dibandingkan tipe *Through Arch* sekitar 17,783%. Maka struktur dinyatakan aman.
Ismayana (2019)	Evaluasi Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren Bentang 42 Meter Berdasarkan SNI 2833:2016 dan Peta Gempa 2017.	Menganalisis perilaku struktur rangka atas jembatan kereta api untuk memperoleh hasil *displacement* akibat pengaruh peta *hazard* gempa 2017.	*Displacement* maksimum terjadi pada 3 arah, yakni U1, U2 dan U3. Perilaku *displacement* pada arah U2 dan U3 berlawanan dengan arah sumbu U2 dan U3, U3 merupakan lendutan yang terjadi dengan nilai 36,437377 mm lebih kecil dari lendutan ijin yaitu sebesar 52,5 mm. Maka struktur dinyatakan aman.

Lanjutan Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan dan yang Akan Dilakukan

Nama	Judul	Tujuan Penelitian	Hasil
Wiradarma (2020)	Analisis Struktur Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034	Mengetahui nilai kapasitas dan kelayakan struktur Jembatan Kereta Api Mbeling I berdasarkan pembebanan Standar Teknis Kereta Api Indnesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan

Untuk menganalisa jembatan perlu memperhitungkan beban-beban yang akan terjadi. Beban-beban yang akan diterima harus direncanakan sesuai standar yang ada dan terbaru. Pada penelitian kali ini, perhitungan pembebanan mengacu pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 serta beberapa literasi. Berdasarkan standar tersebut, jembatan harus didesain untuk menahan beban serta bebarapa efek beban yang harus dipertimbangkan. Jenis beban tersebut yaitu.

1. Beban Mati
2. Beban Hidup
3. Beban Kejut
4. Beban Horizontal
   a. Beban Lateral Kereta
   b. Beban Rem dan Traksi
5. Beban Angin
6. Beban Gempa

3.1.1 Beban Mati

Berat jenis bahan yang biasanya digunakan dalam perhitungan beban mati adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktur dari jembatan itu sendiri, ditambah dengan elemen non struktur yang dianggap tetap. Beban mati dihitung berdasarkan berat isi dan kerapatan massa (*unit weights and mass densities*) seperti Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Berat Jenis Bahan

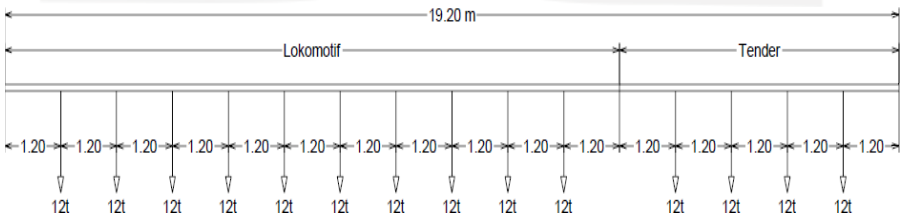
Material	Berat Jenis (kN/m^3)
Baja, Baja Cor	78,50
Besi Cor	72,50
Kayu	8,00
Beton	24,00
Aspal Anti Air	11,00
Ballast Gravel/Batu Pecah	19,00

3.1.2 Beban Hidup

Beban hidup pada kereta ai ialah berdasarkan beban gandar beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari suatu gandar. Beban gandar untuk jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 18 ton.

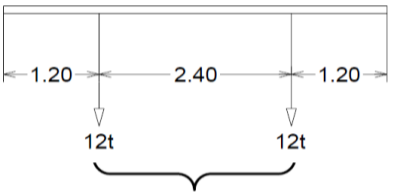
Pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jebatan Baja 2006 dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 beban hidup yang terjadi pada jembatan ini merupakan muatan gerak dari susunan kereta api yang berdasarkan Rencana Muatan 1921 (RM-1921). Skema pembebanan Rencana Muatan 1921 (RM-1921) adalah sebagai berikut.

1. Sebagai muatan gerak dianggap suatu susunan kereta api terdiri dari 2 lokomotif pakai tender skema berikut.



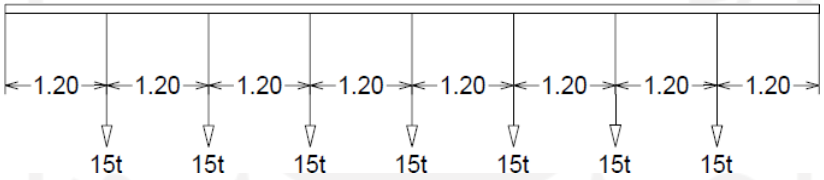
Gambar 3.1 Jumlah Berat Gandar 168 ton atau 87,5 ton/m
(Sumber: RM, 1921)

2. Jika dengan kereta/gerbong yang jumlahnya tidak tertentu seperti skema berikut.



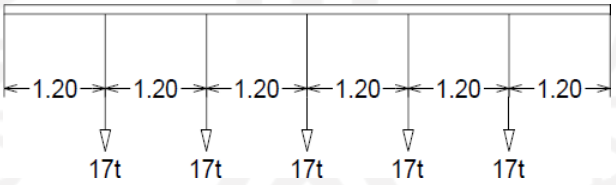
Gambar 3.2 Jumlah Berat Gandar 24 ton atau 5 ton/m
(Sumber: RM, 1921)

3. Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 15 ton skema berikut.



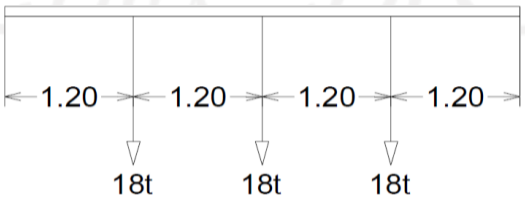
Gambar 3.3 Jika Ada 6 atau 7 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan
(Sumber: RM, 1921)

4. Jika ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 17 ton seperti skema berikut.



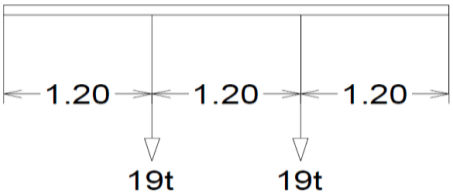
Gambar 3.4 Jika Ada 5 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan
(Sumber: RM, 1921)

5. Jika ada gandar 3 yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 18 ton seperti skema berikut.



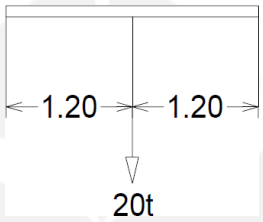
Gambar 3.5 Jika Ada 3 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan
(Sumber: RM, 1921)

6. Jika ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 19 ton seperti skema berikut.



Gambar 3.6 Jika Ada 2 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan
(Sumber: RM, 1921)

7. Jika ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 20 ton seperti skema berikut.



Gambar 3.7 Jika Ada 1 Gandar yang Dapat Tempat Perhitungan
(Sumber: RM, 1921)

Pada rencana muatan gerak tersebut selalu dipilih hasil yang berbahaya. Susunan lokomotif (L) dan gerbong/*wagon* (W) dapat dikombinasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling maksimum sebagai berikut:

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

3.1.3 Beban Kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor i adalah dengan menggunakan sebagai berikut:

1. Untuk rel pada alas balas,

$$i = 0{,}1 + \frac{25}{50+L} \qquad (3.1)$$

2. Untuk rel pada perletakan kayu,

$$i = 0{,}2 + \frac{25}{50+L} \quad (3.2)$$

3. Untuk rel secara langsung pada baja,

$$i = 0{,}3 + \frac{25}{50+L} \quad (3.3)$$

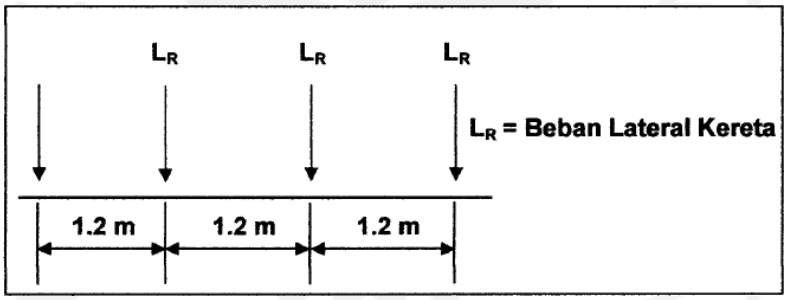
dimana,

i = faktor kejut

L= panjang bentang (m)

3.1.5 Beban Lateral Kereta

Beban lateral kereta adalah sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.8. Beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horizontal. Besaran adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau kereta listrik/diesel.



Gambar 3.8 Beban Lateral Kereta
(Sumber: PM No.60, 2012)

3.1.6 Beban Rem dan Traksi

Beban rem dan traksi adalah akibat percepatan dan perlambatan dari kereta. Beban ini bekerja pada rel dan tumpuan struktur sebagai beban merata sepanjang rel dalam bidang horizontal.

Beban pengereman dan traksi masing – masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal)

3.1.7 Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel secara horizontal, tipikal nilainya adalah sebagai berikut.

1. 3.0 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2.0 kN/m², pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin tidak termasuk areal sistem lantai.
2. 1.5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1.2 kN/m² untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan 0.8 kN/m² untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

3.1.8 Beban Gempa

Berdasarkan SNI 2833:2016, jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh, tetapi dapat mengalami kerusakan yang signifikan an gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakteristikkan dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai.

Untuk penetuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan faktor amplikasi untuk PGA, periode pendek (T=0,2) (SS) dan periode 1 detik (S1). PGA adalah percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar untuk probilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun, SS adalah parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode pendek (T=0,2) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun dan S1 adalah parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun. Faktor amplifikasi teriri dari faktor amplifikasi untuk PGA dalam 0,2 detik F_{PGA}/F_a dan faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv). Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 memberikan nilai-nilai F_{PGA}, F_a, F_V untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 3.2 PGA dan Faktor Amplifikasi Untuk 0,2 Detik (F_{PGA}/Fa)

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

(SNI 2833:2016)

Tabel 3.3 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v)

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

(SNI 2833:2016)

Catatan: untuk nilai-nilai antara, dapat dilakukan interpolasi linier

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan melalui 3 nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia, yakni peta gempa 2017 dengan probabilitas terlampaui 7% dala 75 tahun (PGA, SS, S1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA}, F_a, F_V. Berikut adalah perumusan respon spektra,

$As = F_{PGA} \times PGA$ (3.4)

$SDS = Fa \times SS$ (3.5)

$SD1 = Fv \times S1$ (3.6)

Untuk dapat membentuk grafik respon spektra di permukaan tanah, terdapat koefisien respom gempa elastik yang harus di perhitungan. Terhadap 3 kondisi periode.

1. Untuk T < T_o, koefisien respon gempa elastik (Csm) didapat melalui persamaan berikut,

   $$Csm = (SDS - As)\frac{T}{To} + As \quad (3.7)$$

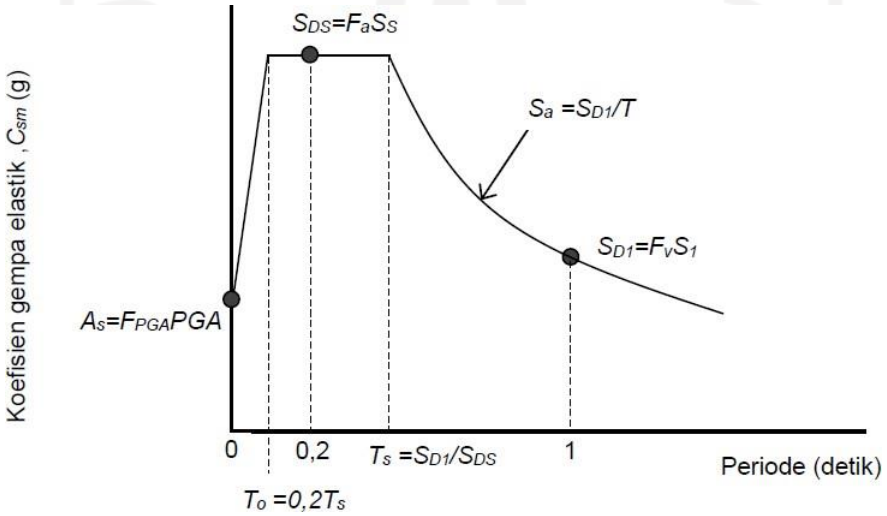
2. Untuk $T_o \leq T \leq Ts$, koefisien respon gempa elastik (Csm) sama dengan SDS.
3. Untuk periode T > Ts, koefisien respon gempa elastik (Csm) didapat melalui persamaan berikut,

   $$Csm = \frac{SD1}{T} \quad (3.8)$$

SDS adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode (T=0,2), SD1 adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1 detik. Sedangkan nilai T_o dan Ts didapat melalui persamaan berikut,

$$To = 0{,}2\ Ts \quad (3.9)$$

$$Ts = \frac{SD1}{SDS}$$



Gambar 3.9 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah
(Sumber: SNI 2833:2016)

Perhitungan beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukkan

berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (CSM) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (Rd) dengan formula yang merujuk pada persamaan dalam RSNI T-03-2005 tentang pembebanan gempa untuk jembatan, sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{Csm}{Rd} \text{ x } Wt \qquad (3.10)$$

dimana :

E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm}= Koefisien respon gempa elastis

Rd = Faktor modifikasi respon

Wt = Berat total struktur

Koefisien respon elastic (CSM) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektrum percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan.

3.1.9 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012 tentang jembatan kereta api. Perhitungan kontruksi dari sebuah jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar sesuai dengan Tabel 3.6 faktor beban berikut.

Tabel 3.4 Faktor Beban

No Kombinasi pembebanan	Faktor									
	Beban tetap	Beban transien								
	D	L	I (Lxi)	C (Lxα)	L_R	L_F	B	W_1	W_2	E
1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0					
2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0			1.0	
3	1.0	1.1			1.0		1.0		1.0	
4	1.0							1.2		
5					1.0		1.1			
6						1.1			1.0	

No Kombinasi pembebanan	Faktor									
	Beban tetap	Beban transien								
	D	L	I (Lxi)	C (Lxα)	L_R	L_F	B	W_1	W_2	E
7							1.1		1.0	
8	1.0	1.0		1.0						1.0
9										1.0
10	1.0	1.0		1.0						

dimana,

D : Beban Mati
L : Beban Hidup
I : (L x i) = Beban kejut
C : (L x α) = Beban sentrifugal
L_F : Beban Lateral
L_R : Beban rel panjang longitudinal
W_1 : Beban angin (Tanpa kereta)
B : Beban pengereman dan traksi
W_2 : Beban angin (Dengan Kereta)
E : Beban Gempa

3.2 Metode Analisis Kapasitas

3.2.1 Kapasitas Nominal Komponen Struktur

Kekuatan pada struktur jembatan rangka baja berkaitan dengan kapasitas yang mampu diterima oleh suatu mutu pada material elemen tersebut. Kapasitas nominal komponen struktur dalam penelitian ini didapat dari perhitungan analisis yang mengacu pada RSNI T-03-2005 dan literasi Metode LRFD.

3.2.2 Komponen Struktur Batang Tarik

Komponen-komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Persyaratan kuat tarik

$$P_u \leq \emptyset P_n \text{ atau } Nu \leq \emptyset N_n \quad (3.11)$$

dengan,

Ø = 0,90 untuk kondisi leleh, dan

Ø = 0,75 untuk kondisi fraktur

Pn = kuat tarik nominal yang nilainya diambil dari nilai terendah dari nilai persamaan di bawah ini:

a. Kuat tarik nominal pada penampang bruto:

$$P_n = A_g f_y \quad (3.12)$$

b. Kuat tarik nominal pada penampang efektif:

$$P_n = A_e f_u \quad (3.13)$$

dengan,

A_g = luas penampang bruto (mm^2)

A_e = luas penampang efektif (mm^2)

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

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

2. Penampang efektif

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

$Ae = A \times U$

$$U = 1 - \left(\frac{x}{L}\right) \leq 0{,}90 \quad (3.14)$$

Keterangan :

A = luas penampang, dinyatakan dalam milimeter per segi (mm^2)

U = faktor *lag geser* untuk sambungan ke komponen struktur tarik

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

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

3.2.3 Komponen Struktur Batang Tekan

Kekakuan elemen struktur berkaitan dengan fenomena tekuk (*buckling*). Suatu elemen yang memiliki kekakuan kecil akan lebih mudah terjadi tekuk dibandingkan dengan elemen yang mempunyai kekakuan besar. Berdasarkan RSNI

T-03-2005 dan literasi Metode LRFD struktur yang memikul gaya tekan aksial terfaktor harus memenuhi:

$$Pu \leq Ø\ Pn \text{ atau } Nu \leq Ø\ N_n \quad (3.15)$$

dengan: Ø = 0,85

Pu = beban terfaktor, (Pu = Nu)

Pn = kuat tekan nominal komponen struktur, (Pn = Nn)

1. Perbandingan kelangsingan:

   a). Kelangsingan elemen penampang, (Tabel 3.5) < λr (3.16)

   b). Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{Lk}{r} \leq 140$ (3.17)

2. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur, ditentukan sebagai berikut:

   $Nn = 0{,}66^{\lambda c^2} \text{ x } Ag \text{ x } fy$ untuk $\lambda c \leq 1{,}5$ (3.18)

   $Nn = \frac{0{,}88^{\lambda c^2}}{\lambda c^2} \text{ x } Ag \text{ x } fy$ untuk $\lambda c \geq 1{,}5$ (3.19)

   $$\lambda c = \frac{Lk}{ry\pi} x \sqrt{\frac{fy}{E}} \quad (3.20)$$

   $$Lk = kc \text{ x } L \quad (3.21)$$

   Keterangan:

   Ag = luas penampang bruto (mm^2)

   fy = tegangan leleh (MPa)

   λc = parameter kelangsingan

   E = modulus elastisitas bahan baja (MPa)

   L = panjang batang (mm)

   Lk = panjang batang tekuk (mm)

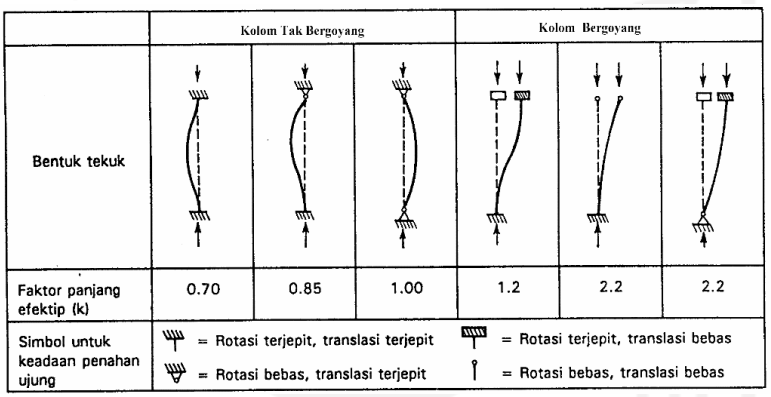
   Untuk perbandingan maksimum lebar terhadap tebal ada pada keterangan Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal

Jenis Elemen	λ	λp (kompak)	λp (tidak kompak)
Pelat Sayap Balok - I	b/t	$170 / \sqrt{fy}$	$370 / \sqrt{fy - fr}$
Pelat Badan	h/tw	$1680 / \sqrt{fy}$	$2550 / \sqrt{fy}$

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Untuk faktor panjang tekuk dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.



Gambar 3.10 Faktor Panjang Tekuk

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Tabel 3.6 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit

Situasi Rencana	Faktor Reduksi (ø)
a. Lentur	0,90
b. Geser	0,90
c. Aksial Tekan	0,85
d. Aksial Tarik	
1. Terhadap Kuat Tarik Leleh	0,90
2. Terhadap Kuat Tarik *Fraktur*	0,75
e. Penghubung Geser	0,75
f. Sambungan Baut	0.75

g. Hubungan Las	
1. Las Tumpul Penetrasi Penuh	0,90
2. Las Sudut dan Las Tumpul Penetrasi Sebagian	0,75

(Sumber: RSNI T-03-2005)

3.2.4 Komponen Struktur Lentur

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

$$Mu \leq \phi\ Mn \tag{3.22}$$

Keterangan :

Ø = 0,90

Mu = momen lentur terfaktor (Nmm)

Mn = momen lentur nominal (Nmm)

Momen lentur nominal harus memenuhi syarat di bawah ini:

1. Penampang Kompak

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

   $$Mn = Mp = fy\ .\ Z \tag{3.23}$$

2. Penampang Tidak Kompak

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

   $$Mn = Mp - (Mp - Mr)\ x \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \tag{3.24}$$

   $$Mr = (fy - fr)\ x\ S \tag{3.25}$$

3. Penampang Langsing

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

$$Mn = Mr \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 \quad (3.26)$$

a. Pelat badan yang memenuhi $\lambda \geq \lambda_{r,}$ kuat lentur nominal penampang adalah sebagai berikut :

$$Mn = Kg \times S \times fcr \quad (3.27)$$

$$Kg = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r}\right) \times \left(\frac{h}{tw} x \frac{2500}{\sqrt{fcr}}\right) \quad (3.28)$$

fcr ditentukan dengan syarat :

1) Elemen struktur yang memenuhi $\lambda G \leq \lambda p$

$$fcr = fy \quad (3.29)$$

2) Elemen struktur yang memenuhi $\lambda p \leq \lambda G \leq \lambda r$

$$fcr = Cb \times fy \times \left(1 - \frac{\lambda_G - \lambda_p}{2(\lambda(- \lambda p)}\right) \leq fy \quad (3.30)$$

a) Elemen yang memenuhi $\lambda r \leq \lambda G$

$$fcr = f'c \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_g}\right)^2 \quad (3.31)$$

$$fc = \left(\frac{C_b \times fy}{2}\right) \leq fy \quad (3.32)$$

$$C_b = \left(\frac{12{,}5 \times M_{max}}{2{,}5\, M_{max} + 3\, M\, A + 4\, M\, B + 3\, M\, C}\right) \leq 2{,}3 \quad (3.33)$$

Keterangan:

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

Mr = momen batas tekuk (Nmm)

S = modulus penampang elastis (mm^3)

Z = modulus penampang plastis (mm3), dengan asumsi

Z = 1,1 x S

λp = parameter kelangsingan untuk penampang kompak

λr = parameter kelangsingan utnuk penampang tidak kompak

λG = faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap yang didapat dari $(\frac{bf}{2 \text{ x } tf})$ dimana bf adalah lebar plat sayap (mm), dan tf adalah tebal plat sayap (mm).

f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap

= 70 MPa untuk penampang digilas (panas)

= 110 MPa untuk penampang dilas f_{cr} = tegangan kritis (Mpa)

a_r = perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan

Cb = faktor pengali momen

M_{max} = momen maksimum absolut pada bentang yang ditinjau, serta M_A, M_B, dan M_C adalah masing-masing momen absolut pada ¼ bentang, tengah bentang, dan ¾ bentang komponen struktur yang ditinjau.

3.2.5 Pengekang Lateral

Kuat lentur nominal suatu penampang harus mampu menahan pengaruh tekuk lateral dan tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan. Berdasarkan RSNI T-03-2005 tekuk lateral dapat dihitung dengan rumus sebagai berkut.

1. Bentang Pendek

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

   $M_n = M_p$ (3.34)

2. Bentang Menengah

Komponen struktur yang memenuhi Lp ≤ L ≤ Lr, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah:

$$Mn = C_b\left(M_r + (M_p - M_r)\frac{L_r - L}{L_r - L_D}\right) \le Mp \quad (3.35)$$

3. Bentang Panjang

Komponen stukrtur yang memenuhi L ≥ Lr kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah:

$$Mn = M_{cr} \le Mp \quad (3.36)$$

Keterangan:

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

Perhitungan panjang bentang untuk pengekang lateral dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Panjang Bentang Untuk Pengekangan Lateral

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

(Sumber: RSNI T-03-2005)

dimana,

$$f_L = f_y - f_r \tag{3.37}$$

$$J = \frac{1}{3} x\ (b\ x\ t^3) \tag{3.38}$$

$$I_w = I_y x\ (\frac{h}{2})^2 \tag{3.39}$$

$$G = \frac{E}{(2x(1+v))} \tag{3.40}$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja (MPa)

Iy = Inersia pada sumbu y (mm^4)

G = modulus geser baja (MPa)

Iw = konstanta *warping* (mm^6)

J = konstanta torsi (mm^4)

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

3.2.6 Interaksi Aksial dan Lentur

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

Jika $\frac{Nu}{\Phi_c Nn} \geq 0{,}2$; maka,

$$\frac{Nu}{\Phi Nn} + \frac{8}{9}(\frac{Mux}{\Phi_b Mnx} + \frac{Muy}{\Phi_b Mny}) \leq 1{,}0 \tag{3.41}$$

Jika $\frac{Nu}{\Phi_c Nn} \leq 0{,}2$; maka,

$$\frac{Nu}{2\,\Phi_c\ Nn} + (\frac{Mux}{\Phi_b Mnx} + \frac{Muy}{\Phi_b Mny}) \leq 1{,}0 \tag{3.42}$$

Keterangan:

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

Nn = kuat nominal penampang (N)

Φ_c = faktor reduksi kekuatan komponen tekan

Mux = momen lentur terfaktor terhadap sumbu x

Muy = momen lentur terfaktor terhadap sumbu y

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

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

Φ_b = faktor reduksi kuat lentur

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah cara utama yang digunakan peneliti untuk mencapai tujuan dan menentukan jawaban atas masalah yang diajukan (Nasir). Metode ialah teknik yang digeneralisasikan dengan baik dan benar agar bisa diterima ataupun digunakan dalam satu disiplin ilmu ataupun bidang disiplin dan praktek. (Hebert Bisno). Sedangkan penelitian adalah suatu pencarian fakta menurut metode objektif yang jelas untuk menemukan hubungan antar fakta dan menghasilkan dalil atau hukum (Jhon). Agar penelitian ini dapat terarah dan mendapatkan hasil yang optimal sesuai dengan yang diharapkan, maka diperlukan data-data yang tepat.

4.2 Lokasi Jembatan

Jembatan Kereta Api Mbeling I memiliki panjang total 96 m dan lebar 4,80 m. Jembatan ini terletak di Sungai Progo (Utara Jalan Yogya – Wates), Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034
(Sumber: *Google Maps*)

4.3 Data Yang Diperlukan

Metode penelitian sangat penting dalam sebuah penelitian. Salah satu yang penting adalah data - data yang menunjang untuk menganalisis struktur jembatan. Data tersebut berupa panjang jembatan, lebar jembatan, dan dimensi gelagar jembatan serta bentuk/tipe dari struktur Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034. Data tersebut diperoleh dari pengukuran langsung di lokasi jembatan dan data pendukung dari Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Jawa Bagian Tengah dan PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI) Daerah Operasi (DAOP) VI Yogyakarta. Terdapat beberapa data yang terkumpul yaitu sebagai berikut:

1. Data Administrasi
2. Data Material Jembatan
3. Data Dimensi Jembatan
4. Data Profil Jembatan

4.3.1 Data Administrasi

Berikut adalah data administrasi yang doperoleh dari PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI) Daerah Operasi (DAOP) VI Yogyakarta (2019),

Nama Jembatan : Jembatan Mbeling I (BH.2034)
Tipe Jembatan : Rangka Baja Jenis *Pennsylvania Petit Truss*
Sungai : Progo
Tahun Pembangunan : 1886, 1930, 1957
Operator : Daerah Operasi (DAOP) VI Yogyakarta
Panjang Bentang : 96 meter
Jumlah Bentang : 1 bentang
Lebar Bentang : 6 meter
Tinggi Jembatan : 15,35 meter

4.3.2 Material Jembatan

Pada Jembatan Kereta Api Mbeling I ini tersusun atas satu jemnis material yaitu baja. Penentuan nilai mutu material baja seharusnya menggunakan standar jembatan struktur rangka baja, pada standar tersebut nilai tegangan leleh (Fy)

minimum yang direkomendasikan adalah sebesar 370 Mpa Karena dinilai terlalu besar maka digunakan mutu material baja sebagai berikut :

Mutu baja : BJ37

Tegangan leleh (Fy) : 240 Mpa

4.3.3 Data Dimensi Jembatan

Berikut ini adalah data dimensi jembatan yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan :

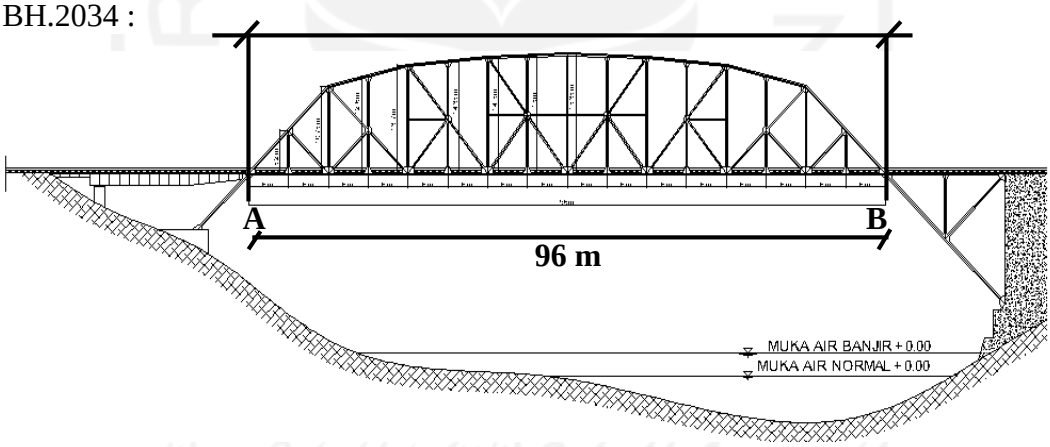
Panjang Jembatan : 96 meter

Lebar Jembatan : 6 meter

Tinggi Jembatan : 15,35 meter

4.3.4 Data Gambar Jembatan

Berikut merupakan gambar tampak dari Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 :

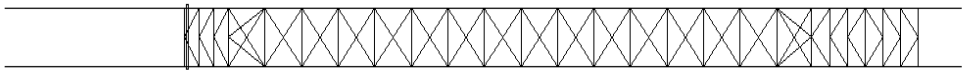


Gambar 4.2 Tampak Samping Jembatam Mbeling I BH.2034
(Sumber: Pengukuran Langsung, 2021)

Dari Gambar 4.2 tersebut di atas, elemen dari jembatan yang akan dianalisis kapasitasnya hanyalah elemen dari titik tumpu A (tumpuan sendi) ke titik tumpu B (tumpuan *rol*), yaitu sepanjang 96 m. Sedangkan pada Gambar 4.3 di bawah ini ialah ikatan angin atas dari Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034.

Gambar 4.3 Tampak Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034
(Sumber: Pengukuran Langsung, 2021)

Dan pada Gambar 4.4 berikut ini merupakan ikatan angin bawah dari Jembatan Kereta Api Mbeing I BH.2034.



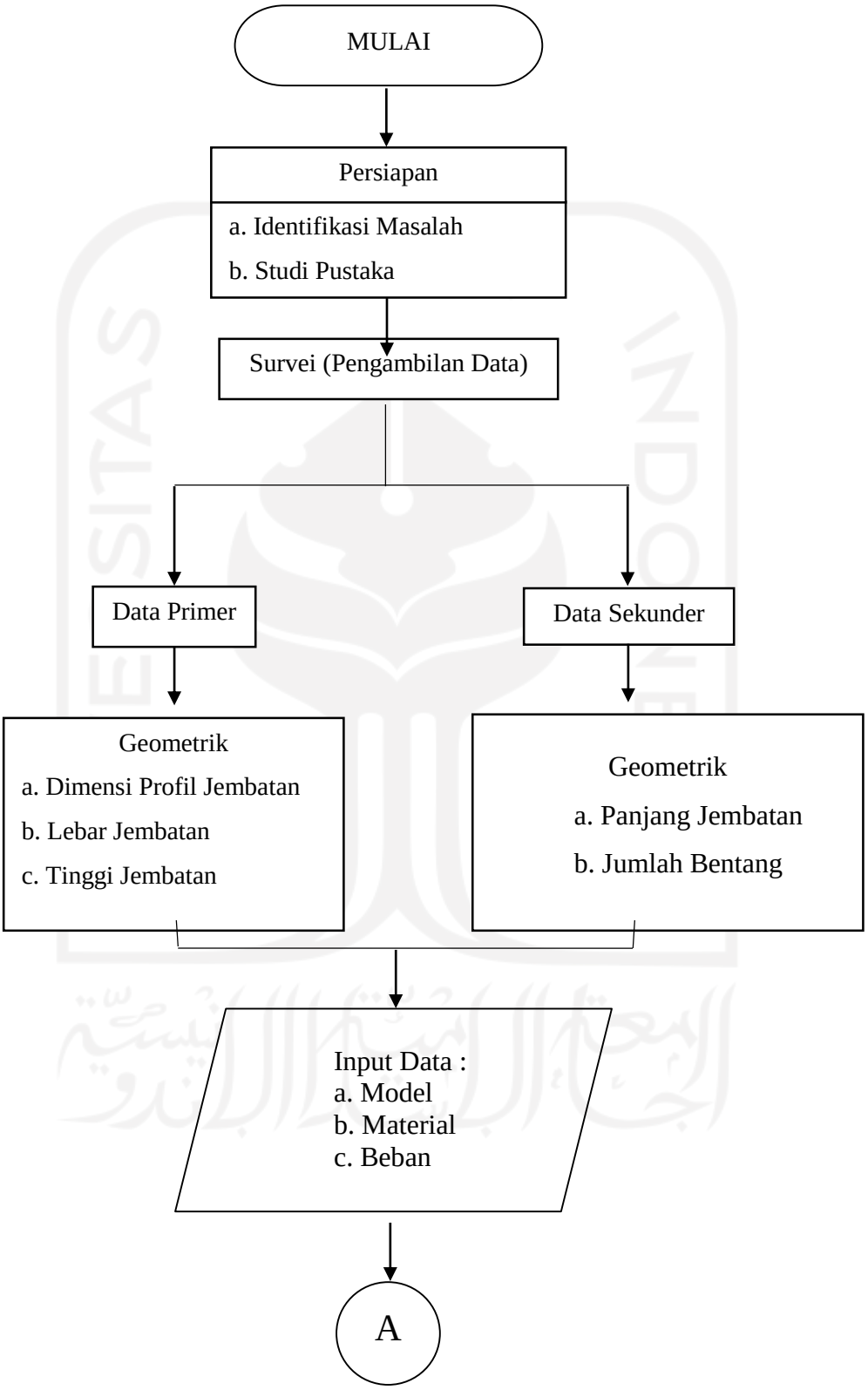
Gambar 4.4 Tampak Bawah Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034
(Sumber: Pengukuran Langsung, 2021)

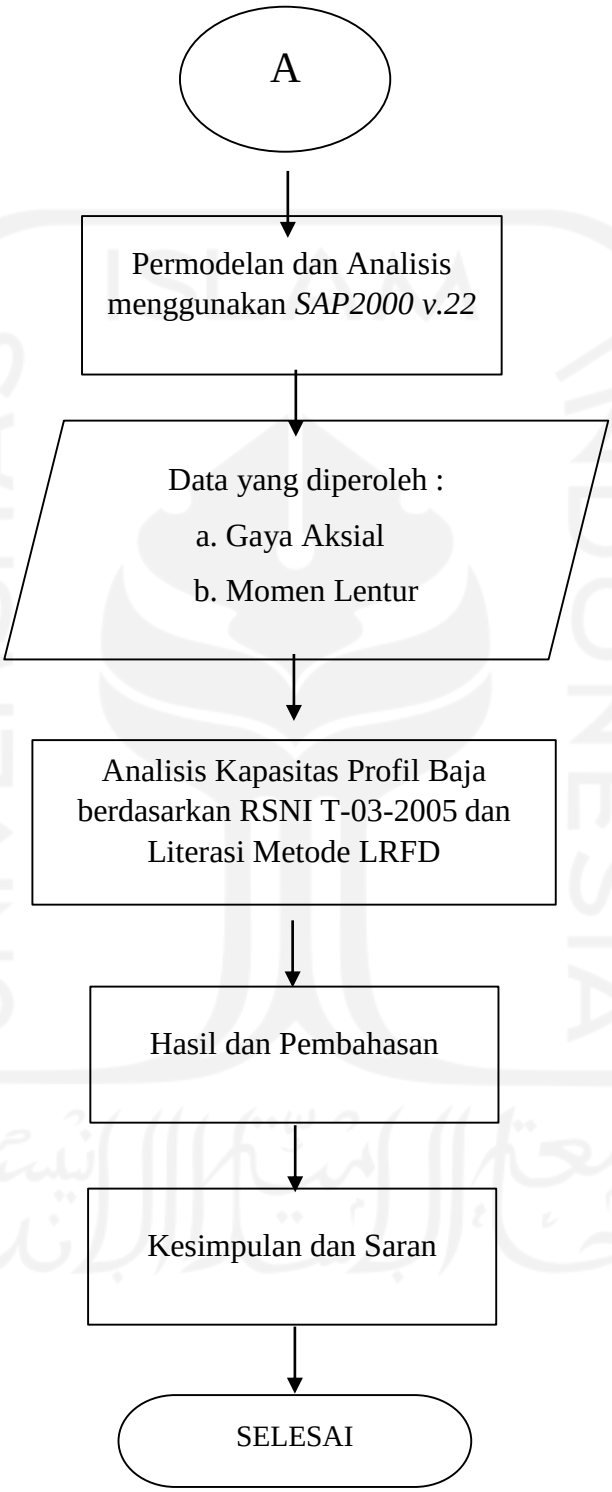
4.4 Bagan Alir Penelitian

Adapun tahapan analisis pada penelitian ini adalah sebaga berikut.

1. Melakukan pengambilan data baik primer maupun sekunder. Untuk data primer dilakukan pengukuran langsung di lokasi Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 menggunakan meteran manual dan jangka sorong. Sedangkan untuk data sekunder diperoleh dari Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Jawa Bagian Tengah dan PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI) Daerah Operasi (DAOP) VI Yogyakarta
2. Menggambar ulang spesifikasi dan konfigurasi struktur Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034.
3. Menghitung beban-beban yang bekerja pada jembatan sesuai dengan Standar Teknis Kereta Api Indonesia tentang Pembebanan untuk Jembatan 2006 serta Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012.
4. Melakukan pemodelan struktur atas jembatan menggunakan program *SAP2000 v.22*.
5. Melakukan *running analysis* menggunakan program *SAP2000 v.22*.
6. Melakukan pengolahan data dan menganalisis hasil respon struktur yang terjadi pada gelagar jembatan.
7. Pembahasan mengenai hasil dari nilai perhitungan setiap komponen jembatan yang di analisis.
8. Menyimpulkan hasil analisis struktur atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 berdasarkan standar pembebanan Standar Teknis Kereta Api Indonesia.

Langkah-langkah penyelesaian tugas akhir ini dapat digambarkan dalam bentuk *flow chart* pada gambar 4.5 berikut ini.


MULAI
Persiapan
a. Identifikasi Masalah
b. Studi Pustaka
Survei (Pengambilan Data)
Data Primer
Data Sekunder
Geometrik
a. Dimensi Profil Jembatan
b. Lebar Jembatan
c. Tinggi Jembatan
Geometrik
a. Panjang Jembatan
b. Jumlah Bentang
Input Data :
a. Model
b. Material
c. Beban
A



Gambar 4.5 Bagan Alir Penelitian
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

BAB V
ANALISIS DAN PEBAHASAN

5.1 Analisis Pembebanan

Pada struktur jembatan, terdapat beberapa tinjauan beban atau gaya yang bekerja statis maupun dinamis. Berdasarkan tugas akhir ini, dengan menggunakan kondisi kuat batas, cukup dengan mengkalkulasikan beban permanen dan beban hidup kendaraan yang terjadi untuk melakukan analisis gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan. Pembebanan jembatan mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012 dan Standar Teknis Kereta Api untuk Struktur Jembatan Baja 2006 serta beberapa literasi, berikut ini adalah penentuan beban-beban tersebut :

5.1.1 Beban Mati

Beban permanen pada umumnya adalah elemen yang sejak awal berdirinya jembatan. Pada penelitian ini, yang termasuk kategori beban mati adalah baja dari rel kereta api dan bantalan rel yang terbuat dari balok kayu. Berikut merupakan perhitungannya.

1. Jalan Rel

Panjang rel (l)	= 96 m
Jenis rel	= Tipe R.54
Berat rel (W)	= 54,43 kg/m
Jarak kedua rel	= 1067 mm

2. Bantalan Kayu

Panjang (p)	= 1800 mm
Lebar (l)	= 220 mm
Tinggi (t)	= 200 mm
Jarak perletakaan (r)	= 0,75 m

3. Perhitungan Berat Titik

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

Berat 0,75 m Rel = 54,43 kg/m x 0,75 m

= 40, 8225 kg

= 0,408 KN

Tumpuan kayu = Volume kayu x Masa jenis kayu / 2

= (p x l x t x 8 KN/m3) / 2

= (1,8 m x 0,22 m x 0,2 m x 8 KN/m3) / 2

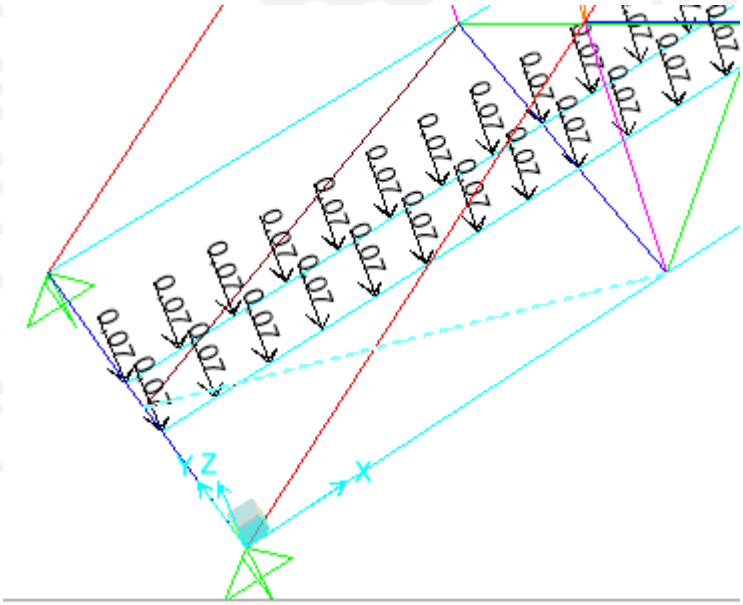
= 0,3168 KN

Berat Titik = 0,408 KN + 0,3168 KN

= 0,73 KN

5. Proyeksi Beban Mati pada *SAP2000 v.22*

Berikut merupakan hasil proyeksi arah beban mati pada Jembatan Kereta Api Mbeing I BH.2034



Gambar 5.1 Proyeksi Arah Beban Mati Sumbu XZ
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang dapat berpindah, dalam hal ini ialah satu rangkaian lokomotif dan kereta/gerbong. Dalam penentuan beban hidup pada jembatan kereta api mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2021 dan Standar Teknis Kereta Api untuk Struktur Jembatan Baja 2006 serta beberapa literasi dan pada dasarnya kereta api memiliki penumpu yang dinamakan *bogie.*

1. Lokomotif CC 206

   Lokomotif tipe CC 206 diambil karena dinilai yang paling relevan dan paling sering dioperasikan oleh PT. KAI dan juga dinilai yang paling berat karena memiliki jumlah 4 bogie dengan 3 roda statis.

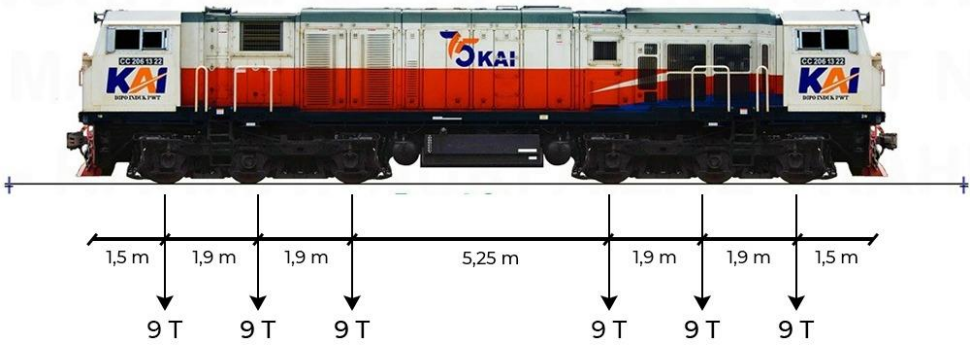
2. Berat Titik Lokomotif CC 206

   Berat (Wlok) = 108 ton

   Gaya pada *bogie* (Pb) = 54 ton

   Gaya gandar (Pg) = Pg/3 = 54/3 = 18 ton

   Gaya roda statis (Ps) = Ps/2 = 18/2 = 9 ton



Gambar 5.2 Proyeksi Pembebanan pada Lokomotif
(Sumber: https://www.balai3d.web.id)

3. Kereta

   Kereta adalah bagian dari sebuah rangkaian kereta api yang dipergunakan untuk mengangkut penumpang. Kereta diambil karena memiliki beban yang lebih berat dibandingkan gerbong pengangkut barang dan minyak/gas. Kereta

memiliki jumah 4 *bogie* dengan 2 roda statis dan menurut survei pada Dipo Kereta PT.KAI pada saat ini kereta memiiki berat isi rata rata 40 ton.

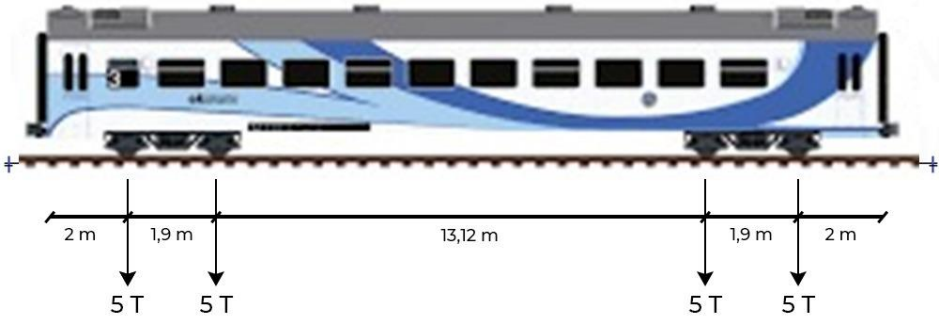
4. Berat Titik Kereta

Berat (Wlok) = 40 ton

Gaya pada *bogie* (Pb) = 20 ton

Gaya gandar (Pg) = Pg/2 = 20/2 = 10 ton

Gaya roda statis (Ps) = Ps/2 = 10/2 = 5 ton



Gambar 5.3 Proyeksi Pembebanan pada Kereta / Gerbong
(Sumber: https://www.balai3d.web.id)

5. *Bogie*

Jarak antar roda statis pada *bogie as* ke *as* = 1,9 m

6. Perhitungan Beban Hidup

Beban hidup dihitung sesuai dengan jarak beban dari ujung depan lokomotif sampai ujung belakang kereta menyesuaikan dengan panjang jembatan. Untuk perhitungan detail ada pada lampiran. Pada Jembatan Mbeling 1 BH.2034 jumlah lokomotif dan kereta yang dapat tertumpu adalah 1 lokomotif dan 4 kereta, hal tersebut dilakukan karena 1 lokomotif dengan 4 kereta adalah beban terbesar yang lewat pada Jembatan Mbeling 1 BH.2034 menurut survei di PT. KAI.

5.1.3 Beban Kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor *i* terhadap beban kereta, beban kereta sendiri diperoleh dari beban masing-masing roda statis baik lokomotif

maupun kereta/gerbong. Berikut adalah perhitungan serta proyeksi arah datangnya gaya kejut pada jembatan. Pada Gambar 5.4 adalah proyeksi arah datangnya gaya dari lokomotif dengan 3 roda statis dan pada Gambar 5.5 adalah proyeksi arah datangnya gaya dari kereta/gerbong dengan 2 roda statis.

Panjang rel pada jembatan = 96 m

Rel perletakkan kayu (i) $= 0{,}2 + \frac{25}{50+L}$

$= 0{,}2 + \frac{25}{50+96}$

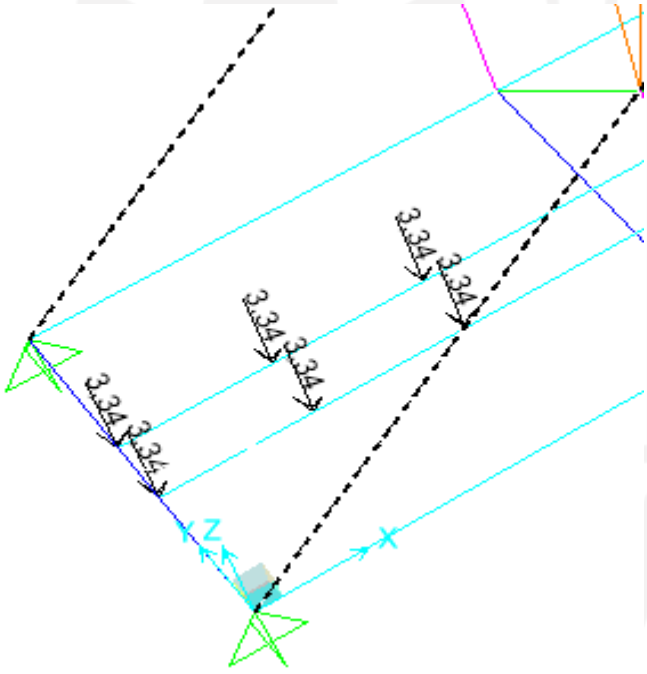
$= 0{,}371$

Untuk beban lokomotif = 0,371 x 9

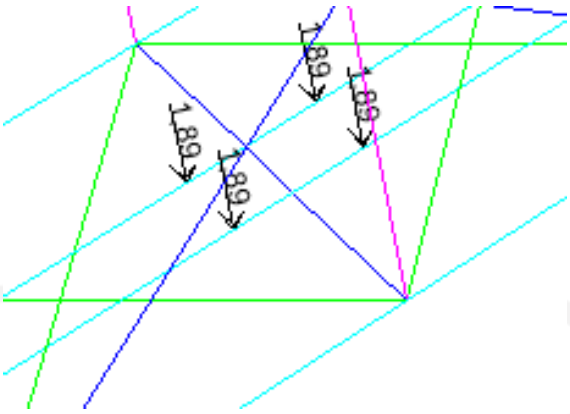
= 3,339 Ton

Untuk beban kereta = 0,371 x 5

= 1,885 Ton



Gambar 5.4 Proyeksi Arah datangnya Beban Kejut Lokomotif 3 Roda Statis
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



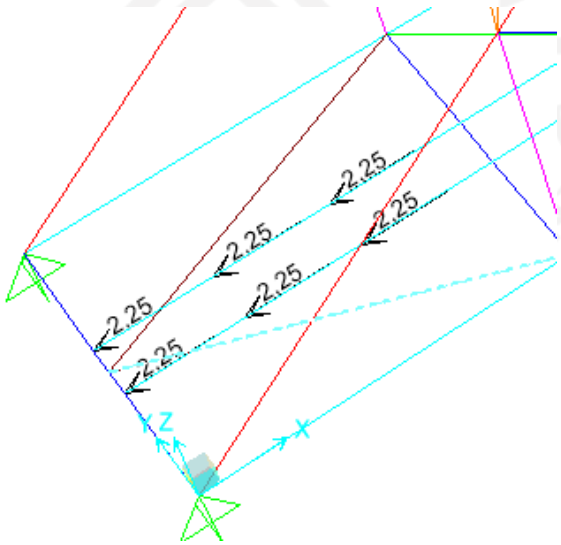
Gambar 5.5 Proyeksi Arah datangnya Beban Kejut Kereta 2 Roda Statis
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.1.4 Beban Rem

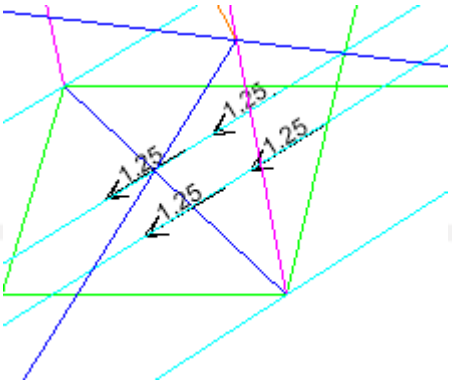
Beban pengereman dan traksi masing – masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal). Seperti sebelumnya yaitu beban kereta sendiri diperoleh dari beban masing-masing roda statis baik lokomotif maupun kereta/gerbong. Pada Gambar 5.6 adalah proyeksi arah datangnya gaya dari lokomotif dengan 3 roda statis dan pada Gambar 5.7 adalah proyeksi arah datangnya gaya dari kereta/gerbong dengan 2 roda statis.

Untuk beban lokomotif = 0,25 x 9
= 2,25 Ton

Untuk beban kereta = 0,25 x 5
= 1,25 Ton



Gambar 5.6 Proyeksi Arah datangnya Beban Rem Lokomotif 3 Roda Statis
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



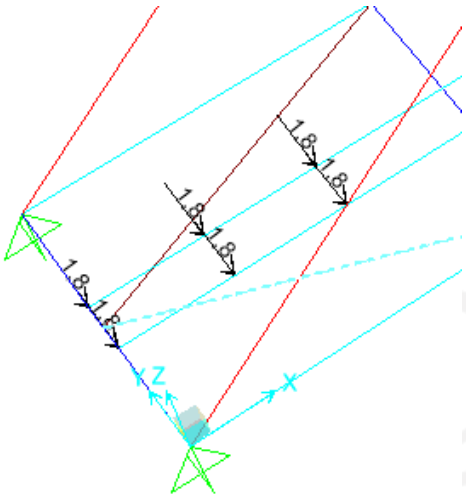
Gambar 5.7 Proyeksi Arah datangnya Beban Rem Kereta 2 Roda Statis
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.1.5 Beban Lateral

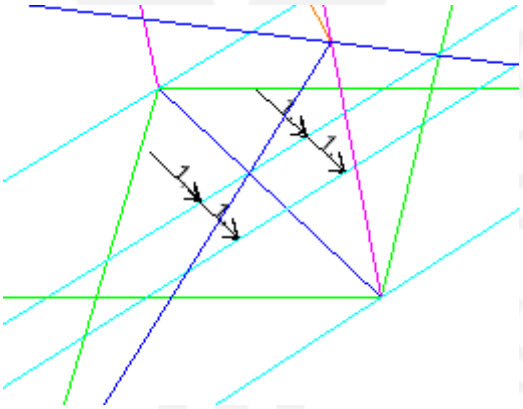
Beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horizontal. Besaran adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau kereta listrik/diesel. Diambil 20% karena dinilai paling besar. Seperti sebelumnya yaitu beban kereta sendiri diperoleh dari beban masing-masing roda statis baik lokomotif maupun kereta/gerbong. Pada Gambar 5.8 adalah proyeksi arah datangnya gaya dari lokomotif dengan 3 roda statis dan pada Gambar 5.9 adalah proyeksi arah datangnya gaya dari kereta/gerbong dengan 2 roda statis.

Untuk beban lokomotif = 0,2 x 9
= 1,8 Ton

Untuk beban kereta = 0,2 x 5
= 1 Ton



Gambar 5.8 Proyeksi Arah datangnya Beban Lateral Lokomotif 3 Roda Statis
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 5.9 Proyeksi Arah datangnya Beban Lateral Kereta 2 Roda Statis
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.1.6 Beban Angin

Digunakan 0,8 kN/m2 untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin. Sedangkan diketahui total luas bidang area jembatan adalah 1129,5 m2 dan total *joint* sejumlah 80, maka :

Total luas (l) = 1129,5 m2
Gaya (f) = 0,8 kN/m2
Total angin = Total luas x gaya
= L x f
= 903,6 KN
Jumlah joint = 80 buah

Beban angin = Total angin x Jumlah *joint*
= 903,6 x 80
= 11,295 KN
= 1,15 Ton

5.1.7 Beban Gempa

Pada pembebanan gempa kali ini akan merujuk pada SNI 2833 : 2016 yaitu standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan dan juga akan didapatkan desain respon spektrum, gempa yang akan dihitung ialah gempa di daerah DI Yogyakarta. Adapun perhitungan nya ialah sebagai berikut :

1. Level Gempa

   Pada peta gempa SNI 2833:2016 dengan level gempa terlmpaui 7% dalam 75 tahun atau level hazard (potensi bahaya) gempa 1000 tahun.

2. Kelas Situs

   Pada kelas situs diketahui Tanah Sedang (D) berdasarkan data yang ada di lapangan

3. Menentukan Respon Spektra untuk Periode Nol Detik

   Menggunakan peta pada Gambar 1 SNI 2833:2016, untuk daerah DI Yogyakarta didapatkan nilai koefisien gempa (Spga) = 0,415 g

4. Menentukan Nilai PGA dan As

   Nilai PGA dan kelas situs digunakan untuk menentukan nilai faktor amplifikasi. Nilai PGA diplotkan pada Tabel 3 SNI 2833:2016 dengan proses interpolasi linear diperoleh nilai faktor amplifikasinya (Fpga) = 1,085

   Maka nilai As = Fpga x Spga = 1,085 x 0,415
   = 0,450 g

5. Menentukan Respon Spektra di Permukaan Tanah untuk Periode Pendek (T = 0,2 detik)

Menggunakan peta pada Gambar 2 SNI 2833:2016, untuk daerah DI Yogyakarta didapatkan nilai koefisien gempa (Ss 0,2 detik) = 0,919 g. Nilai Ss 0,2 detik dan kelas situs digunakan untuk menentukan nilai faktor amplifikasi (Fa).

6. Menentukan Nilai Faktor Amplifikasi (Fa)

   Niai Fa diplotkan pada Tabel 3 SNI 2833:2016 dengan proses interpolasi linear dan diperoleh faktor amplifikasinya (Fa) = 1,132. Kemudian nilai SMS dan SDS dapat ditentukan sebagai berikut :

   SMS = Fa x Ss 0,2 dt = 1,132 x 0,919
   = 1,041

   SDS = 3/6 x SMS = 0,694

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

   Menggunakan peta pada Gambar 3 SNI 2833:2016, untuk daerah DI Yogyakarta didapatkan nilai koefisien gempa (Ss 1 detik) = 0,366 g. Nilai Ss 1 detik dan kelas situs digunakan untuk menentukan faktor amplifikasi (Fv).

8. Menentukan Nilai Faktor Amplifikasi (Fv)

   Nilai Fv diplotkan pada Tabel 4 SNI 2833:2016 dengan proses interpolasi linear diperoleh nilai faktor amplifikasinya (Fv) = 1,667. Kemudian nilai SM1 dan SD1 dapat ditentukan sebagai berikiut :

   SM1 = Fv x Ss 1 dt = 1,667 x 0,366

   SD1 = 3/6 x SM1 = 0,407

9. Menentukan nilai T0 dan Ts dari nilai SDS dan SD1

   Untuk nilai Ts, didapatkan nilai sebagai berikut :

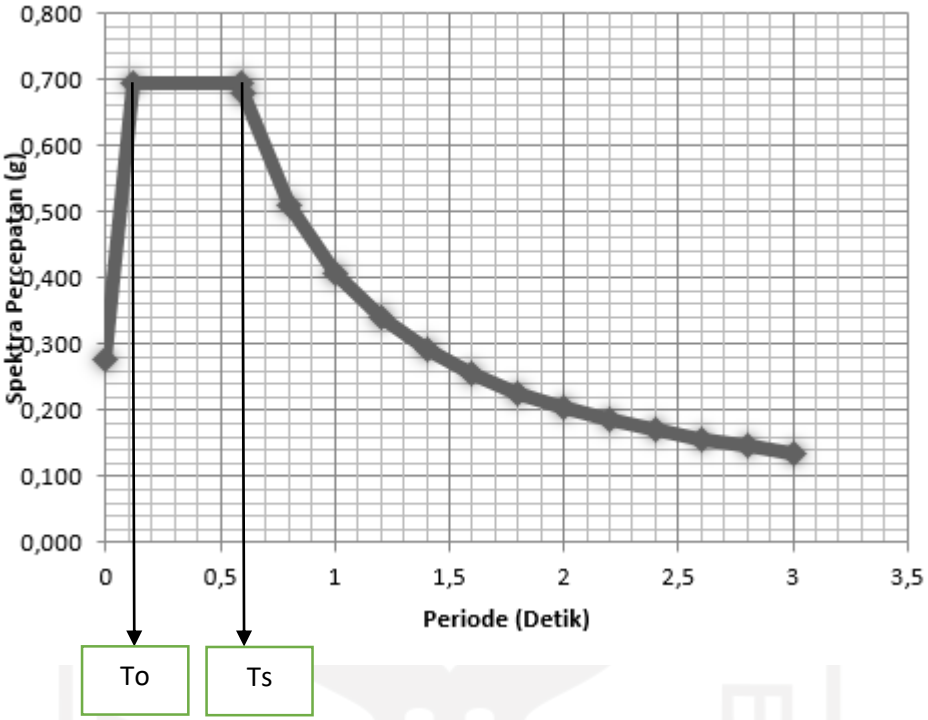
   Ts = SD1/SDS = 0,407 / 0,694
   = 0,586 detik

   Sedangkan untuk nilai T0, didapatkan nilai sebagai berikut :

   T0 = 0,2 x Ts = 0,2 x 0,586
   = 0,117 detik

10. Plot Grafik Tipikal Respon Spektra di Permukaan

    Berikut merupakan gambar plot dari T0 dan Ts



Gambar 5.10 Grafik Tipikal Respon Spektra di Permukaan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

11. Menentukan Nilai Penggunaan atau Keutamaan Struktur

    Untuk jembatan nilai keutamaan strukturnya adalah 1, maka I = 1

12. Menentukan Tingkat Daktilitas Struktur (R)

    Nilai R didapat dari Tabel 6 SNI 2833:2016 yaitu 8

13. Menentukan Periode Getar Struktur

    H (tinggi) elemen paling tinggi adalah 15,35 m. Maka T (periode) baja pemikul momennya menurut SNI 2833:2016 adalah sebagai berikut:

    T baja pemikul momen $= 0{,}0724 \times H^{0,8}$

    $= 0{,}0724 \times 15{,}35^{0,8}$

    $= 0{,}644$

13. Menentukan Cs

    Kemudian dicari Cs, kita asumsikan sebagai V,

    V pakai (Cs1) = (SDS x I) / R

= (0,694 x 1) / 8

= 0,0867

V *upper bound* (Cs2) = (SD1 x I) / (T x R)

= (0,407 x 1) / (0,644 x 8)

= 0,0789

V *lower bound* (Cs3) = 0,044 x SDS x I

= 0,044 x 0,694 x 1

= 0,0305

14. Menentukan Cs Ambil

Menurut SNI 2833:2016, ketika V pakai (Cs1) lebih besar dari pada V *lower bound* (Cs3) dan lebih kecil dari V *upper bound* (Cs2) maka V yang digunakan adalah V pakai (Cs1). Ketika V pakai (Cs1) lebih besar dari V *upper bound* (Cs2) maka yang digunakan adalah V *upper bound* (Cs2). Jika Cs2 > Cs1 > Cs3 maka dipakai Cs1 dan ketika Cs1 > Cs2 maka dipakai Cs2

Maka nilai Cs yang diambil adalah Cs2 yaitu 0,0789 (V *upper bound*)

15. Menentukan W (Berat) Total Jembatan

Berat beban mati (W *dead*) = W *dead* x faktor beban

= 418,244 x 1

= 418,244 Ton

Berat beban hidup (W *live*) = W *live* x faktor beban

= 248 x 1,1

= 272,8 Ton

W Total = W *dead* + W *live*

= 691,0446 Ton

16. Faktor Gempa

Fi = 1 x Cs diambil x W total x Total Joint pada Jembatan

= 1 x 0,0789 x 691,0446 x 80

= 0,68 Ton

Maka faktor pembebanan dari beban gempa adalah 0,68 Ton.

5.1.8 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012 tentang jembatan kereta api. Perhitungan kontruksi dari sebuah jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar sesuai dengan Tabel 3.6 faktor beban berikut.

Tabel 5.1 Faktor Beban

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

dengan,

D	: Beban mati	L	: Beban hidup
I	: (L x i) = Beban kejut	B	: Beban pengereman dan traksi
L_F	: Beban lateral	E	: Beban gempa
W_1	: Beban angin (tanpa kereta)	Ex	: Beban gempa arah x (0,3)
W_2	: Beban angin (dengan kereta)	Ey	: Beban gempa arah y (0,3)

Pada kombinasi kelima dan keenam masing-masing dikaliakan 0,3 dari beban gempa arah x dan beban gempa arah y karena gempa dianggap datang dari 2 arah. Kemudian total dari keenam kombinasi tersebut kita sebut beban “ENVE” yaitu gaya dalam maksimal dan minimal dari semua kombinasi 1-6.

5.2 Permodelan Struktur

Permodelan struktur yang dilakukan pada Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 dilakukan dengan menggunakan program *SAP2000 v.22* berdasarkan dengan data yang diperoleh di lapangan serta asumsi yang dilakukan. *Output* dari permodelan adalah gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban yang telah

dimasukkan, pada bagian ini akan diuraikan beberapa *input* yang dilakukan pada program SAP2000 v.22.

5.2.1 Material Jembatan

Pada bagian input material pada jembatan akan dibahas mengenai *input* material yang digunakan dalam struktur atas jembatan, pada struktur atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 material yang digunakan adalah baja dan penamaan baja yang dgunakan adalah baja BJ37 yaitu baja dengan tegangan putus minimum (fu) = 370 Mpa dan tegangan leleh (fy) = 240 Mpa dengan peregangan minimum 20%. Spesifikasi lain dari baja tersebut adalah dengan modulus elastisitas sebesar 200000 Mpa dan dengan satuan berat kilo newton (KN) dan satuan panjang meter (m).

5.2.2 Dimensi Batang (*Frame Properties*)

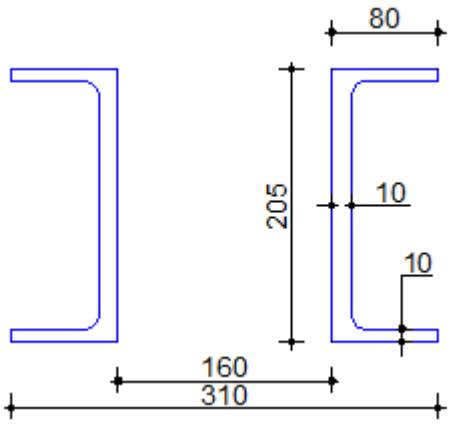
Pada bagian *frame properties* yang akan dimasukkan adalah komponen profil baja ada di lokasi. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan mengukur dimensi elemen baja menggunakan meteran pada tiap-tiap elemen struktur baja.

Pada Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 sebagian besar profilnya adalah profil lama yang sudah tidak keluar lagi pada era *modern* ini dan beberapa profilnya memakai pengaku karena dari tahun ke tahun modifikasinya tidak pernah mengganti profil semenjak modifikasi kedua pada tahun 1957. Sehingga perlu dilakukan asumsi pada proses *input* profil pada program *SAP2000 v.22*. Tabel 5.1 berikut ini adalah daftar dari penamaan profil dan terdapat 10 jenis profil baja pada Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 yaitu pada Gambar 5.11 sampai Gambar 5.20.

Tabel 5.2 Profil Baja pada Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034

No.	Elemen	Tipe Profil	Kode
1	Ikatan Angin Bawah Pojok	2C 205x80	Kode A

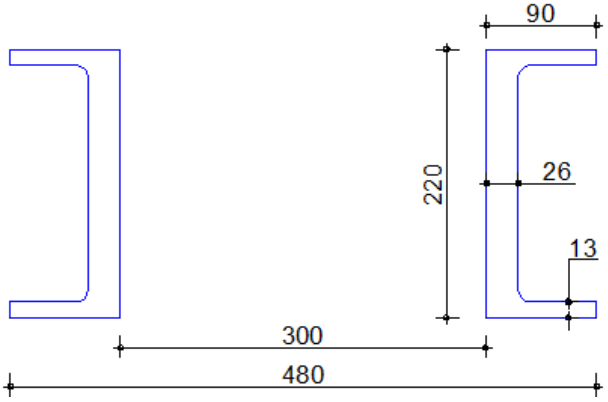
No.	Elemen	Tipe Profil	Kode
2	Batang Diagonal	2C 220x90	Kode B
3	Batang Vertikal Tengah	2C 240x90	Kode C
4	Batang Memanjang Atas	2C 580x155	Kode D
5	Ikatan Angin Tengah	2L 85	Kode E
6	Ikatan Angin Atas Bawah	2L 125	Kode F
7	Batang Memanjang Bawah	B 390x240	Kode G
8	Batang Vertikal	I/WF 280x172	Kode H
9	Gelagar Rel	I/WF 820x200	Kode I
10	Diafragma	I/WF 1400x255	Kode J



Gambar 5.11 Profil Kode A
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.11 diketahui dimenasi pada profil kode A adalah sebagai berikut.

Tinggi profil (t3) = 0,205 m
Lebar profil (t2) = 0,31 m
Tebal sayap (tf) = 0,01 m
Tebal badan (tw) = 0,01 m
Jarak badan profil (dis) = 0,16 m



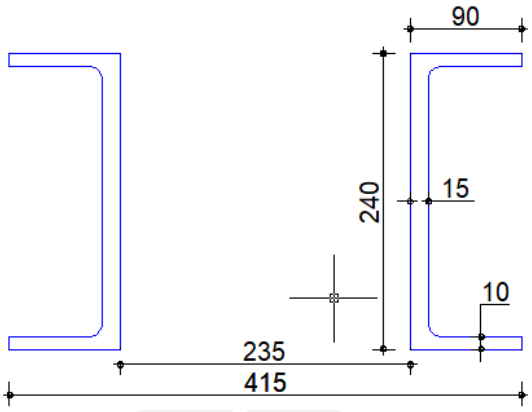
Gambar 5.12 Profil Kode B
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.12 diketahui dimenasi pada profil kode B adalah sebagai berikut.

Tinggi profil (t3) = 0,22 m
Lebar profil (t2) = 0,48 m
Tebal sayap (tf) = 0,013 m

Tebal badan (tw) = 0,026 m

Jarak badan profil (dis) = 0,3 m



Gambar 5.13 Profil Kode C

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.13 diketahui dimenasi pada profil kode C adalah sebagai berikut.

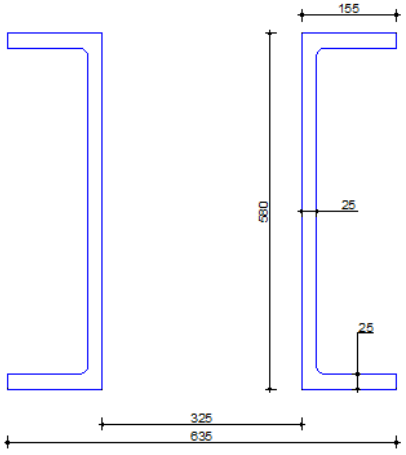
Tinggi profil (t3) = 0,24 m

Lebar profil (t2) = 0,415 m

Tebal sayap (tf) = 0,01 m

Tebal badan (tw) = 0,015 m

Jarak badan profil (dis) = 0,235 m



Gambar 5.14 Profil Kode D

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.14 diketahui dimenasi pada profil kode D adalah sebagai berikut.

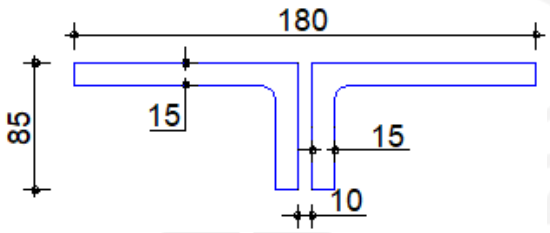
Tinggi profil (t3) = 0,58 m

Lebar profil (t2) = 0,635 m

Tebal sayap (tf) = 0,025 m

Tebal badan (tw) = 0,025 m

Jarak badan profil (dis) = 0,325 m



Gambar 5.15 Profil Kode E

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.15 diketahui dimenasi pada profil kode E adalah sebagai berikut.

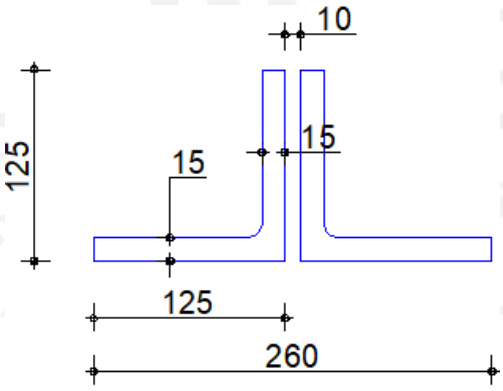
Tinggi profil (t3) = 0,085 m

Lebar profil (t2) = 0,18 m

Tebal sayap (tf) = 0,015 m

Tebal badan (tw) = 0,015 m

Jarak badan profil (dis) = 0,01 m



Gambar 5.16 Profi Kode F

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.16 diketahui dimenasi pada profil kode F adalah sebagai berikut.

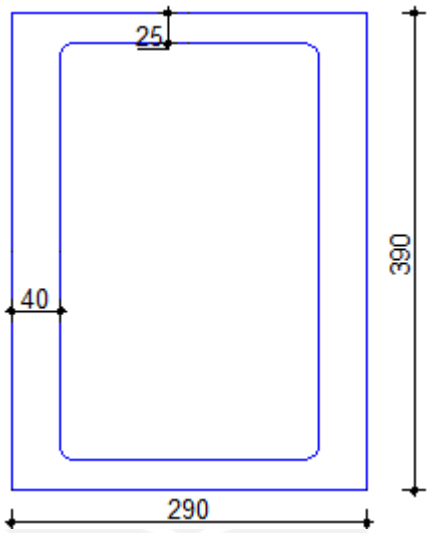
Tinggi profil (t3) = 0,125 m

Lebar profil (t2) = 0,26 m

Tebal sayap (tf) = 0,015 m

Tebal badan (tw) = 0,015 m

Jarak badan profil (dis) = 0,01 m



Gambar 5.17 Profil Kode G
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

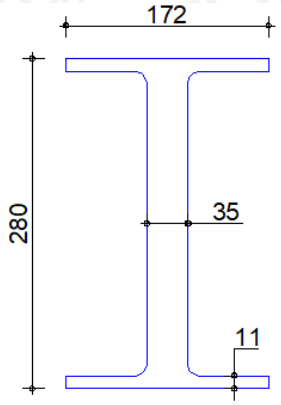
Berdasarkan gambar 5.17 diketahui dimenasi pada profil kode G adalah sebagai berikut.

Tinggi profil (t3) = 0,39 m

Lebar profil (t2) = 0,29 m

Tebal sayap (tf) = 0,025 m

Tebal badan (tw) = 0,04 m



Gambar 5.18 Profil Kode H
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

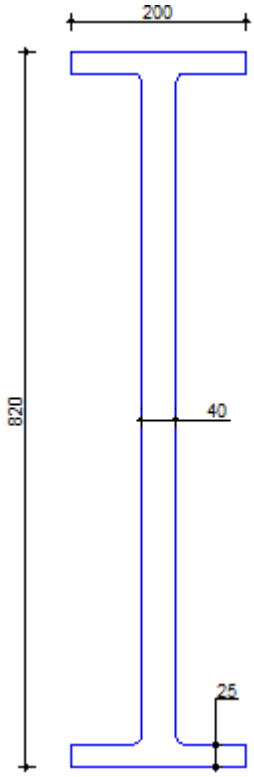
Berdasarkan gambar 5.18 diketahui dimenasi pada profil kode H adalah sebagai berikut.

Tinggi profil (t3) = 0,28 m

Lebar profil (t2) = 0,172 m

Tebal sayap (tf) = 0,011 m

Tebal badan (tw) = 0,035 m



Gambar 5.19 Profil Kode I
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

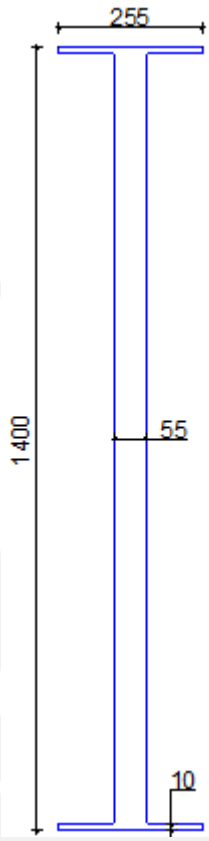
Berdasarkan gambar 5.19 diketahui dimenasi pada profil kode I adalah sebagai berikut.

Tinggi profil (t3) = 0,82 m

Lebar profil (t2) = 0,2 m

Tebal sayap (tf) = 0,025 m

Tebal badan (tw) = 0,04 m



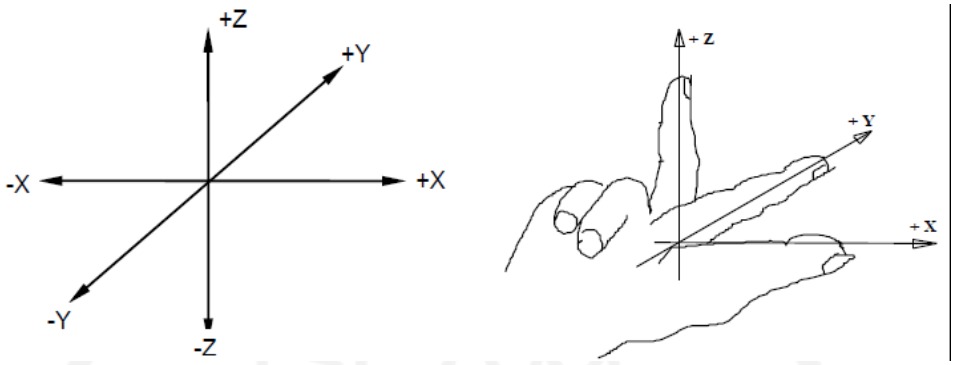
Gambar 5.20 Profil Kode J
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan gambar 5.20 diketahui dimenasi pada profil kode J adalah sebagai berikut.

Tinggi profil (t3) = 1,4 m
Lebar profil (t2) = 0,255 m
Tebal sayap (tf) = 0,035 m
Tebal badan (tw) = 0,055 m

5.2.3 Jarak Titik Antar Batang (*Grid System*)

Pada bagian *grid system* ini berfungsi untuk mengetahui berapakah jumlah jarak antar titik yang telah ditentukan sebelumnya baik titik x, titik y, maupun titik z. Jarak antar titik diketahui melalui pengukuran langsung di lapangan. Seperti yang diketahui pada program *SAP2000 v.22* sumbu x, y, z berposisi sebagai gambar berikut :



Gambar 5. 21 Sumbu X, Y dan Z pada Program *SAP2000 v.22*
(Sumber: https://www.etsworlds.id/)

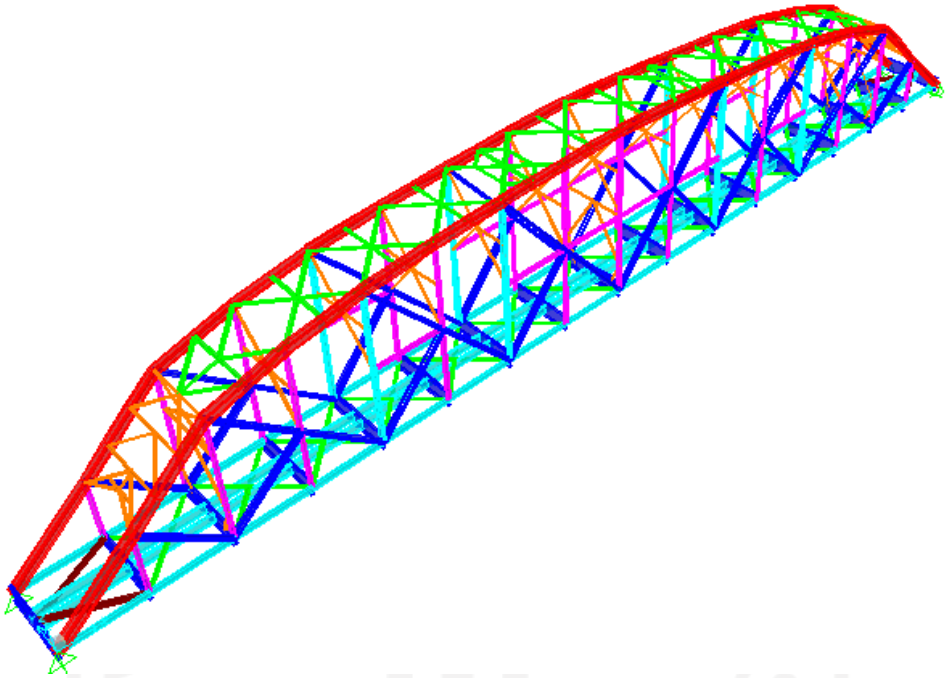
Dari pengukuran langsung di lapangan diketahui bahwa jarak "X" adalah 6 meter dari *joint* ke *joint* lainnya searah sumbu "X" sampai dengan 96 meter (panjang jembatan) dan untuk jarak "Y" adalah sepanjang 2,4665 meter ke arah gelagar rel terluar, kemudian dijumlahkan dengan 1,067 lebar rel menjadi 3,5335 meter dan berakhir di 6 meter (lebar jembatan). Sedangkan untuk jarak "Z" ialah bervariasi karena tergantung dari tinggi tiap batang vertikal dari jembatan dari titik dasar ke arah atas jembatan.

5.2.4 Tumpuan *(Restraint)*

Sebuah jembatan pada umumnya memiliki tumpuan untuk meneruskan reaksi yang dihasilkan dari suatu sistem pembebanan di struktur atas ke struktur bawah dari jembatan tersebut. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan langsung di lapangan, Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 menggunakan tumpuan berjenis sendi dan *rol*. Untuk tumpuan *rol*, jembatan tidak mampu menahan gaya torsi dan untuk gaya translasi hanya pada arah "Z". Sedangkan untuk tumpuan sendi, jembatan juga tidak dapat menahan torsi, namun mampu menahan reaksi translasi dari segala arah.

5.2.5 Permodelan Tahap Pertama

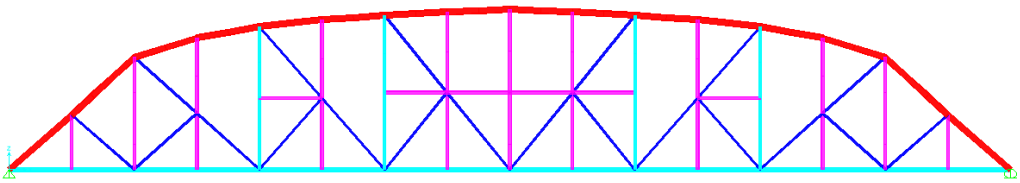
Kemudian berikut pada Gambar 5.22 merupakan permodelan struktur tahap awal setelah tahap *grid system*, *input* material *(material properties)* dan *input* dimensi profi jembatan *(frame section).*



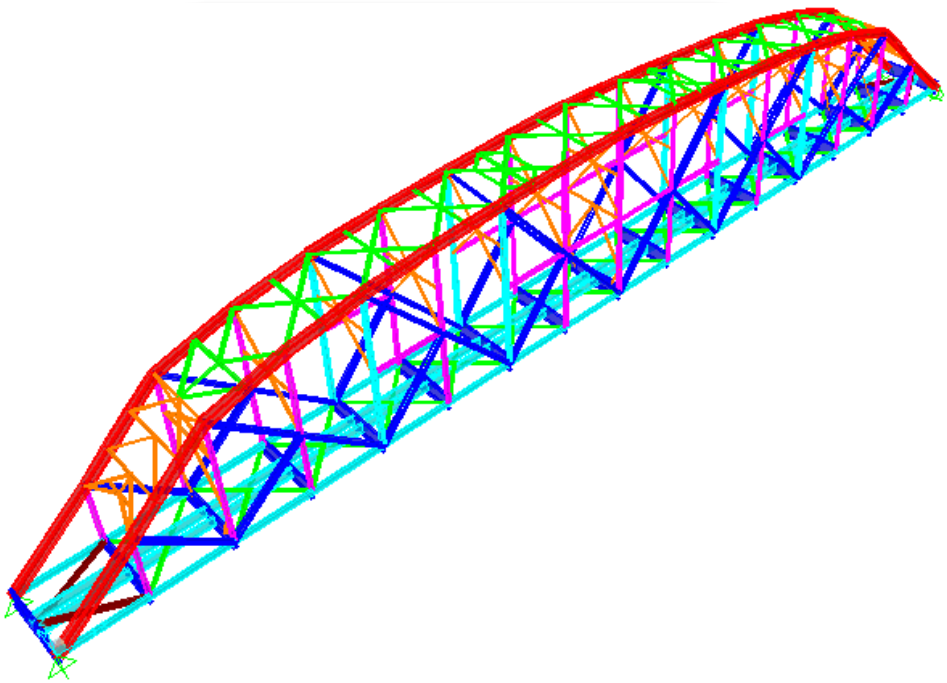
Gambar 5.22 Tampak 3-D *View Extrude* Tahap Awal Sebelum Pembebanan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.3 Hasil Analisis berdasarkan Program *SAP2000 v.22*

Pada subbab kali ini akan dijelaskan secara singkat mengenai gaya dalam yang terjadi akibat beban rencana. Berikut merupakan hasi dari fitur *Run Analysis* dari program *SAP2000 v.22* yang mana mengetahui rekapitulasi hasil analisis yang terjadi pada gaya-gaya dalam struktur jembatan serta terdapat gambar hasil diagram gaya yang terjadi. Berikut adalah permodelan *final* dari program *SAP2000 v.22* serta hasil rekapitulasi gaya total yang terjadi pada Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034.



Gambar 5.23 Tampak Sumbu Global XZ
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 5.24 Tampak 3-D *View Extrude*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Tabel 5.3 Tabel Hasil Rekap Gaya Aksial

No.	Nama Profil	Dimensi Profil (mm)	Kode	Gaya Aksial (KN)		*Frame*
1	Ikatan Angin Bawah Pojok	2C 205x80	Kode A	Maks	509,626	54
				Min	-831,836	55
2	Batang Diagonal	2C 220x90	Kode B	Maks	399,812	203
				Min	-279,899	177
3	Batang Vertikal Tengah	2C 240x90	Kode C	Maks	66,44	694
				Min	-78,646	135
4	Batang Memanjang Atas	2C 580x155	Kode D	Maks	-402,549	17
				Min	-2396,368	156

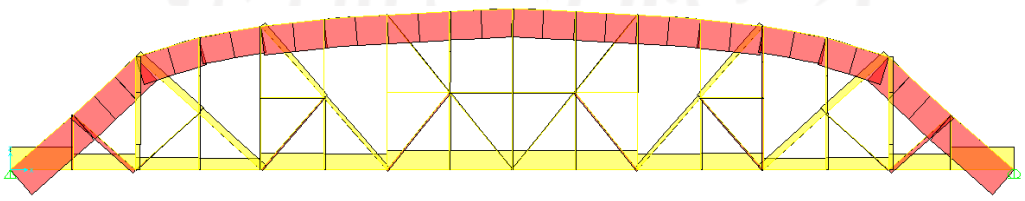
No.	Nama Profil	Dimensi Profil (mm)	Kode	Gaya Aksial (KN)		*Frame*
5	Ikatan Angin Tengah	2L 85	Kode E	Maks	299,275	736
				Min	-290,549	735
6	Ikatan Angin Atas Bawah	2L 125	Kode F	Maks	478,641	64
				Min	-392,104	67
7	Batang Memanjang Bawah	B 390x240	Kode G	Maks	2628,943	1
				Min	-886,87	140
8	Batang Vertikal	I/WF 280x172	Kode H	Maks	709,373	741
				Min	-191,954	744
9	Gelagar Rel	I/WF 820x200	Kode I	Maks	530,77	323
				Min	131,802	305
10	Diafragma	I/WF 1400x255	Kode J	Maks	308,558	290
				Min	-308,559	292

Tabel 5.4 Tabel Hasil Rekap Gaya Momen

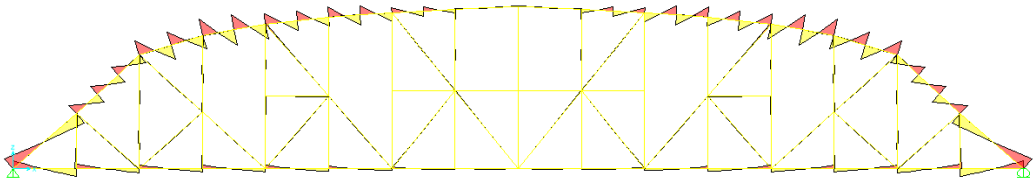
No.	Nama Profil	Dimensi Profil (mm)	Kode	Gaya Momen (KNm)		*Frame*
1	Ikatan Angin Bawah Pojok	2C 205x80	Kode A	Maks	10,2521	55
				Min	-14,1199	55
2	Batang Diagonal	2C 220x90	Kode B	Maks	9,6912	177
				Min	-17,1644	177
3	Batang Vertikal Tengah	2C 240x90	Kode C	Maks	11,0252	691
				Min	-11,0252	691
4	Batang Memanjang Atas	2C 580x155	Kode D	Maks	498,7961	483
				Min	-510,1127	17

No.	Nama Profil	Dimensi Profil (mm)	Kode	Gaya Momen (KNm)		*Frame*
5	Ikatan Angin Tengah	2L 85	Kode E	Maks	1,9073	735
				Min	-2,0657	735
6	Ikatan Angin Atas Bawah	2L 125	Kode F	Maks	6,5582	358
				Min	-7,41	358
7	Batang Memanjang Bawah	B 390x240	Kode G	Maks	289,2479	1
				Min	-308,5065	1
8	Batang Vertikal	I/WF 280x172	Kode H	Maks	36,3283	172
				Min	-36,3283	172
9	Gelagar Rel	I/WF 820x200	Kode I	Maks	941,5792	346
				Min	-1324,405	346
10	Diafragma	I/WF 1400x255	Kode J	Maks	836,0988	290
				Min	-843,201	290

Dan berikut ini merupakan gambar diagram hasil dari fitur *Run Analysis* dari program *SAP2000 v.22* yaitu contoh gambar diagram yang terjadi akibat beban mati pada sumbu XZ.



Gambar 5.25 Gaya Aksial Beban Mati
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 5.26 Gaya Momen Beban Mati
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

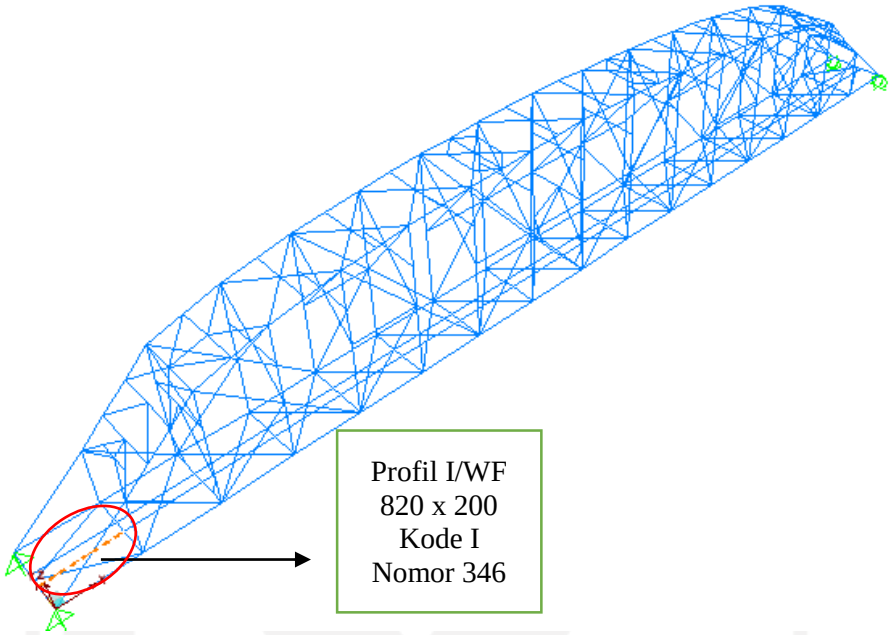
5.4 Analisis Kapasitas Tampang

Pada subbab kali ini akan dijabarkan hasil perhitungan dari analisis kapasitas tampang dari masing-masing profil untuk mengetahui apakah profil aman atau tidak. Analisis kapasitas dilakukan dengan perhitungan manual mengacu pada RSNI T-03-2005 dan literasi Metode LRFD menggunakan bantuan program *Microsoft Excel* 2013. Sedangkan program *SAP2000 v.22* digunakan untuk mencari rekapitulasi dari masing-masing gaya *ultimate* pada tampang yang terjadi. Pada perhitungan kali ini diambil contoh 1 profil untuk dihitung kapasitasnya, kapasitas yang dihitung terdiri dari kapasitas momen dan aksial tarik/tekan. Sedangkan untuk profil yang lain akan dijabarkan perhitungannya pada lampiran B.

5.4.1 Perhitungan Kapasitas Momen

Berikut merupakan contoh perhitungan kapasitas momen yang diambil pada bagian gelagar rel yaitu profil I/WF 820x200. Perhitungan menggunakan Metode LRFD, pada perhitungan kapasitas momen ini yang akan dihitung adalah perhitungan bagian profil gelagar rel (kode I) dengan metode *space frame.*

1. Berikut merupakan perhitungan kapasitas momen pada bagian gelagar rel yaitu profil I/WF 820x200 dan setelah dilakukannya rekapitulasi pada program *SAP2000 v.22* diketahui gaya momen terbesar terjadi pada batang nomor 346 :



Gambar 5.27 Letak Profil I/WF 820x200
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

a). Data Profil I/WF 820x200

B = 200 mm
H = 820 mm
Tw = 40 mm
Tf = 25 mm
Ag = 40800 mm^2
Ix = 3102000000 mm^4
Iy = 37440000 mm^4
Rx = 276 mm
Ry = 30,3 mm
Sx = 7566732 mm3
Sy = 374400 mm3
Zx = 9904000 mm3
K = 1
Fy = 240 Mpa
E = 200000 Mpa
Fr = 70 Mpa
G = 80000

b). Data Profil dan Gaya yang Bekerja

Diambil data momen terbesar yaitu pada batang nomor 346

L = 6000 mm

Nu1 = 740,05 KN

Nu2 = 740,05 KN

Mnt1 = 301,4227 KNm

Mnt2 = 301,4227 KNm

Nu pakai = 740,05 KN

Mu pakai = 301,4227 KNm

c). Efek Kolom / Tekuk

KL/rx = 21,76

KL/ry = 198,07

λc = 2,183

Untuk,

$\lambda c < 0.25$ maka $\omega = 1$

$0.25 < \lambda c < 1.2$ maka $\omega = 1.43 / (1.6 - 0.67.\lambda c)$

$\lambda c \geq 1.2$ maka $\omega = 1.25\lambda c^2$

ω = 5,96

fcr = 40,28 Mpa

$\varphi c.Nn$ = 1397 KN

d). Efek Balok

Mp = fy.Zx = 2377 KNm

Mr = (fy-fr).Sx = 1286 KNm

Panjang batang maksimum yang mampu menerima momen plastis,

$Lp = 1{,}76\, ry\, (\frac{E}{fy})^{0,5}$ = 1,539 m

Panjang bentang minimum yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral,

Lr = $ry\ (\frac{X1}{fL})(1 + ((1 + (X2.fL^2))\ ^{0,5}))\ ^{0,5}$

dengan fL = fy-fr = 170 Mpa

Konstanta puntir torsi,

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

Konstanta puntir lengkung,

Iw = $(If.h^2)/2$ = 5,26688E+12 mm^6

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

X2 = $4.\left(\frac{Sx}{G}.J\right)^3.\left(\frac{Iw}{Iy}\right)$ = 0,000015 Mpa

Maka,

Lr = 8,520 m

Karena Lp < L < Lr maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

Mn = Cb ((M1+(Mp-Mr).(Lr-L)/(Lr-Lp) ≤ Mp

Diperiksa apakah profil WF 820x200 cukup kompak untuk fy = 240 Mpa.
Syarat penampang kompak :

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

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

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

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

Penampang tersebut kompak.

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

$Cb = 12.5.Mmax/(2.5\ Mmax + 3\ MA + 4\ MB + 3\ MC\ ) \leq 2.3$

MA =1/4 L = 1500 mm = 477,8226 KNm

MB =1/2L = 3000 mm = 74,5707 KNm

MC =3/4L = 4500 mm = 508,207 KNm

Mmax = 301,4227 KNm

Cb = 0,940 > 2,3 (ok!)

Mn = 3864,180 > Mp = 2377 KNm, (ok!)

Maka digunakan Mn = Mp = 2376,960 KNm

e). Perbesaran Momen

$^{\delta} b = Cm / (1- (Nu/Ncrb)) \geq 1$

$Cm = 0.6 - (0.4 (\beta m) \leq 1$

$\beta m = M1/M2 = 1,00086$

Maka,

$Cm = 0,19965$

$\lambda c = 2,183$

$Ncrb = ((Ag.\ fy)/(\lambda c)^{2} = 2054,53\ KN$

$^{\delta} b = 0,31$

karena delta b < 1 , maka nilai $^{\delta} b$ diambil sama dengan 1

$Mux = {}^{\delta} b.\ Mnt = 301,42\ KNm$

karena $(Nu / (\varphi Nn)) = 0,53 > 0,2$

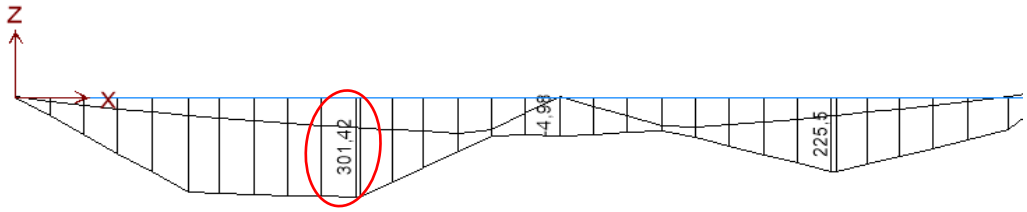
Maka,

$(Nu/(\varphi.Nu))+(8/9((Mux/(\varphi b.Mnx)) < 1$

0,655 < 1, (Ok!)

Maka Profil I/WF 820 x 200 dapat digunakan

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

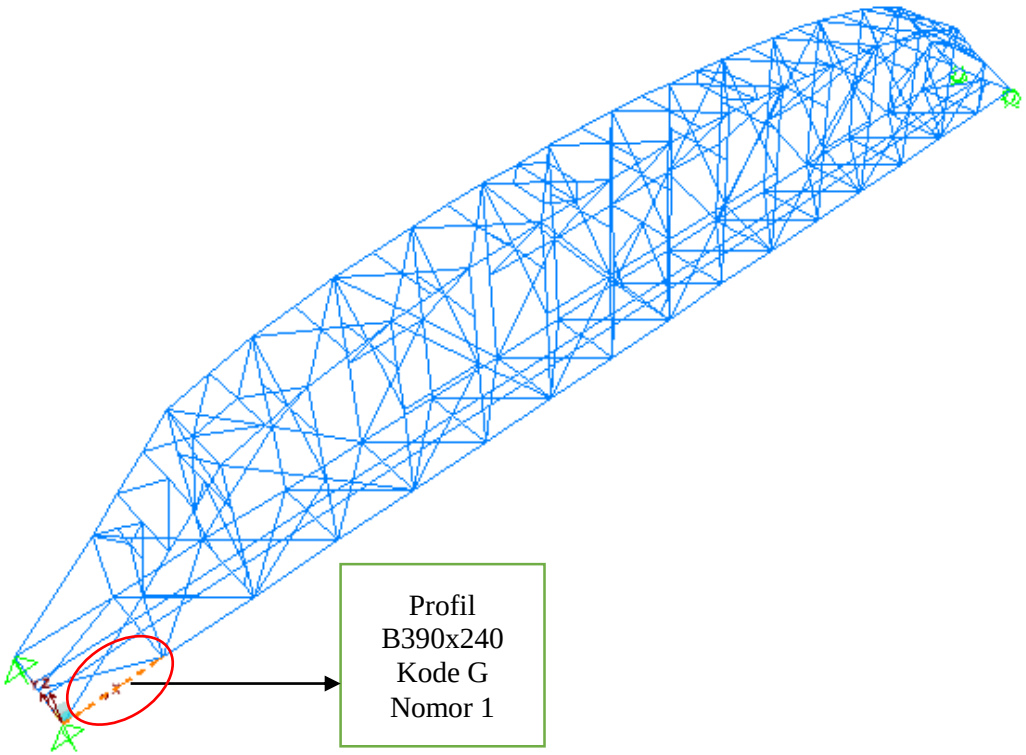


Gambar 5.28 Diagram BMD Batang Nomor 346
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.4.2 Perhitungan Kapasitas Aksial Tarik

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

1. Berikut merupakan perhitungan kapasitas aksial tarik pada profil B390x240 dan setelah dilakukannya rekapitulasi pada program *SAP2000 v.22* diketahui gaya aksial tarik terbesar terjadi pada batang nomor 1 :



Gambar 5.29 Letak Profil B390x240
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

a). Data Profil B390x240

B = 290 mm
H = 390 mm
Tw = 40 mm
Tf = 25 mm
Ag = 41700 mm^2
Ix = 745700000 mm^4
Iy = 530200000 mm^4
Rx = 134 mm
Ry = 112,8mm
Sx = 3824218 mm^3
Sy = 3656879 mm^3
Zx = 4958250 mm^3
K = 1
Fy = 240 Mpa

E = 200000 Mpa

Fr = 70 Mpa

G = 80000

b). Luas Penampang Netto

Ant = Ag – (n x d x tf)

= 41700 – (2 x 24 x 25)

= 40500 mm^2

c). Eksentrisitas Sambungan

X = (0,5 x tf) + tb

= (0,5 x 25) + 10

= 22,5 mm

d). Faktor Reduksi

U = 1 – x / Ls

= 1 – 22,5 / 370

= 0,939

e). Luas Penampang Efektif

Ae = Ant x U

= 40500 x 0,939

= 38037,162 mm^2

f). Kuat Tarik Nominal

Berdasarkan kelelehan pada penampang bruto

1. Pn = ø x Ag x Fy

= 0,9 x 41700 x 240

= 9007200 N

= 9007,2 KN

Berdasarkan fraktur pada penampang efektif

2. Pn = ø x Ae x Fu

= 0,75 x 38037,162 x 370

= 10555312,48 N

= 10555,312 KN

Kuat taraik yang dipakai = 9007,2 KN

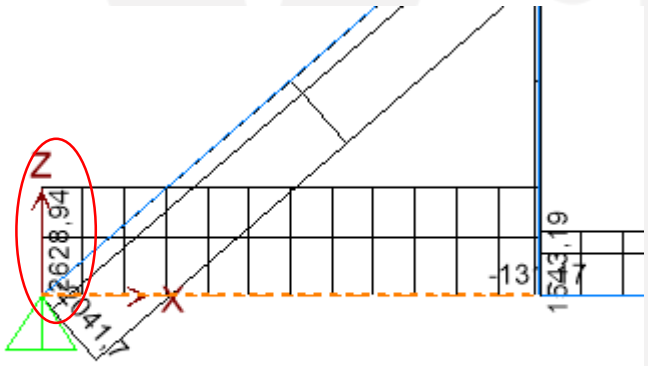
g). Cek Keamanan Profil

Pu ≤ øPn

2628,943 ≤ 9007,2 **(Aman)**

Maka Profil B390x240 dapat digunakan

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

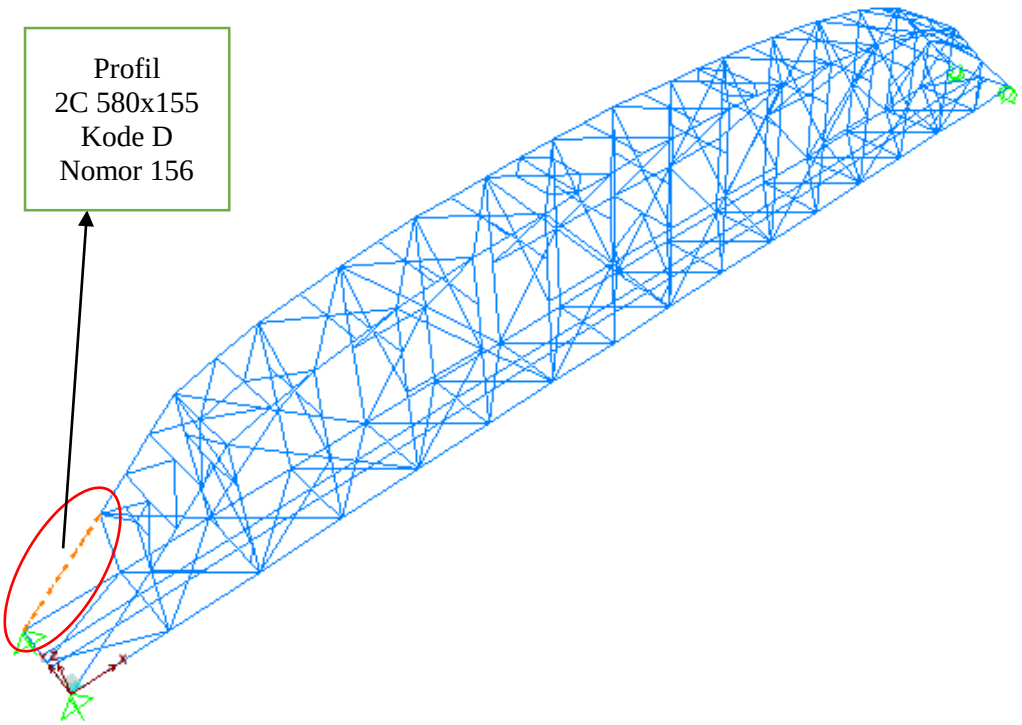


Gambar 5.30 Diagram NFD Batang Nomor 1
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.4.3 Perhitungan Kapasitas Aksial Tekan

Berikut merupakan contoh perhitungan kapasitas aksial tekan meggunakan RSNI T-03-2005 yang diambil pada profil 2C 580x155, karena pada profil inilah gaya aksial tekan terbesar terjadi dengan beban 1 jembatan. Pada perhitungan kapasitas ini yang akan dihitung adalah perhitungan aksial tekan dari profil kode D.

1. Berikut merupakan perhitungan kapasitas aksial tekan pada profil 2C 580x155 dan setelah dilakukannya rekapitulasi pada program *SAP2000 v.22* diketahui gaya aksial tekan terbesar terjadi pada batang nomor 156:



Gambar 5.31 Letak Profil 2C 580x155
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

a). Data Profil 2C 580x155

B = 635 mm
H = 580 mm
Tw = 25 mm
Tf = 25 mm
Ag = 42000 mm^2
Ix = 1815000000 mm^4
Iy = 1737000000 mm^4
Rx = 208 mm
Ry = 203,4 mm
Sx = 6257672 mm^3
Sy = 5470157 mm^3
Zx = 7812500 mm^3
K = 1
Fy = 240 Mpa

E = 200000 Mpa

Fr = 70 Mpa

G = 80000

Pu = -2396,368 KN (tekan)

b). Cek Kelangsingan Sayap

$\lambda f < \lambda r$

$bf/tf < 370 / \sqrt{fy - fr}$

$\frac{0,5\ b}{tf} < 370 / \sqrt{fy - fr}$

$\frac{0,5\ x\ 635}{25} < 370 / \sqrt{240 - 70}$

12,7 < 28,377 (tidak langsing)

c). Cek Kelangsingan Badan

$\lambda w < \lambda r$

$\frac{ht-(2xtf)}{9} < \frac{2550}{\sqrt{fy}}$

$\frac{400-(2x25)}{9} < \frac{2550}{\sqrt{240}}$

38,888 < 164,601 (tidak langsing)

d). Cek Kelangsingan Komponen Struktur

$\frac{Lk}{r} \leq 140$

$\frac{7939,7}{203,4} \leq 140$

39,034 ≤ 140 (tidak langsing)

e). Parameter Kelangsingan

$\lambda c = \frac{L\ x\ kc}{r\ x\ \text{𝛑}} \text{ x } \sqrt{fy / E}$

$\lambda c = \frac{7939,7\ x\ 1}{203,4\ x\ 3,14} \text{ x } \sqrt{240 / 200000}$

$\lambda c = 0,430$

Karena $\lambda c \leq 1,5$ maka rumus ($Pn = 0,66^{\lambda c2}$ x Ag x fy) digunakan untuk mencari aksial tekan nominal.

Pn = $0,66^{\lambda c^2}$ x Ag x fy

= $0,66^{0,430^2}$ x 42000 x 240

= 9334567,613 N

= 9334,567 KN

øPn = ø x Pn

= 0,85 x 9334567,613

= 7934382,471 N

= 7934,382 KN

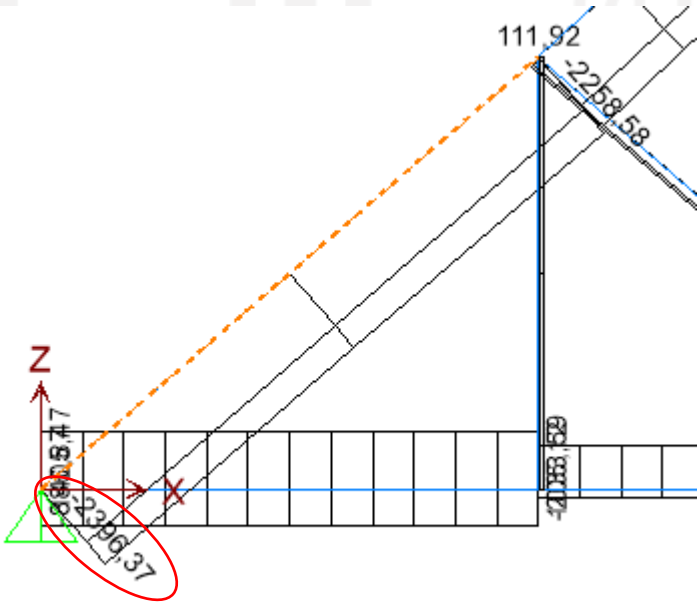
f). Cek Keamanan Profil

Pu < øPn

-2396,368 KN < 7934,382 KN **(Aman)**

Maka Profil 2C 580x155 dapat digunakan

g) Berikut merupakan gambar diagram aksial (NFD) dari batang nomor 156. Dilihat dari diagram batang NFD berikut ini, batang nomor 156 merupakan batang aksial tekan yang menunjukkan angka -2396,37 KN.



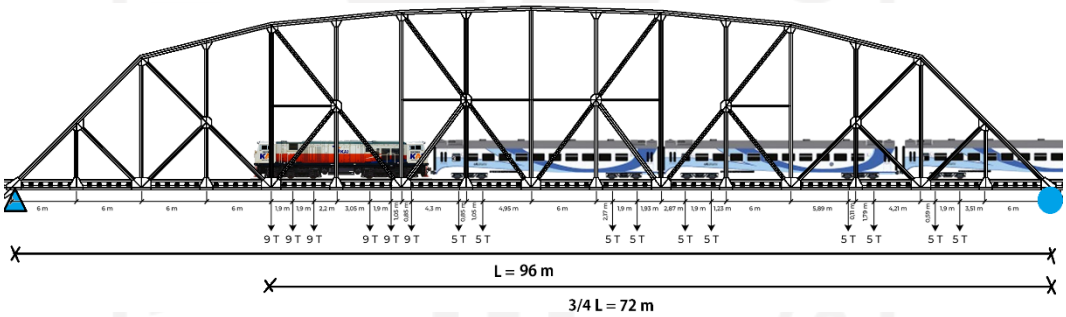
Gambar 5.32 Diagram NFD Batang Nomor 156
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

5.4.4 Perbandingan Kasus Pembebanan

Pada subbab kali ini akan dibandingkan secara analisis struktur, yaitu membandingkan gaya aksial tarik/tekan yang terjadi dari kedua kasus berikut ini yaitu beban kereta masuk 3/4 jembatan dan dengan beban kereta hanya masuk 1/2 jembatan. Untuk kedua gaya akan ditinjau dengan metode *space truss* (gaya-gaya luar dialihkan melalui perilaku aksial) pada keseluruhan batang dengan seluruh kombinasi beban.

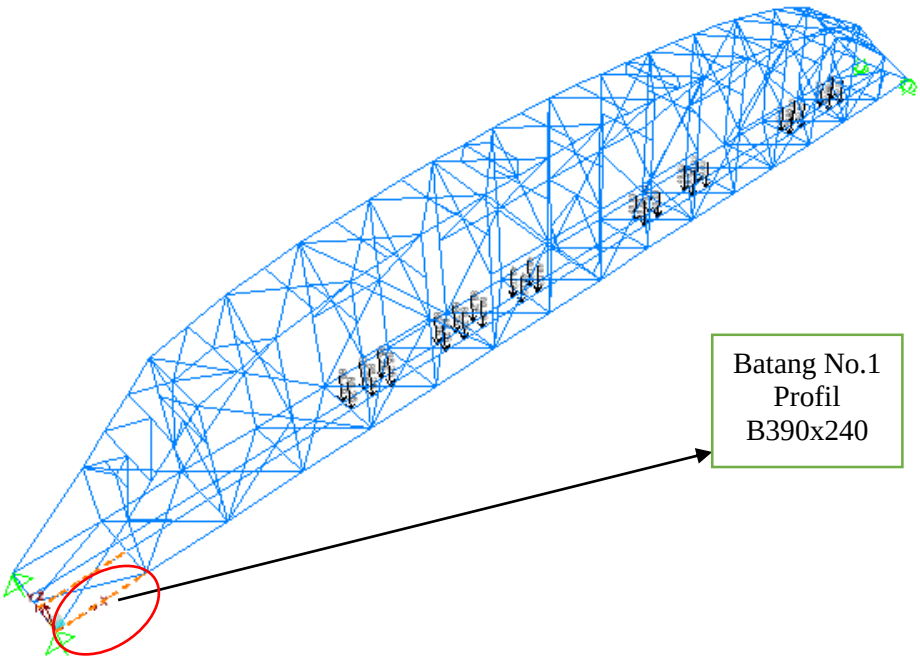
1. Beban 3/4 Jembatan

   Kasus berikut menunjukan bahwa kereta dengan lokomotif 3/4 perjalanan masuk area jembatan.



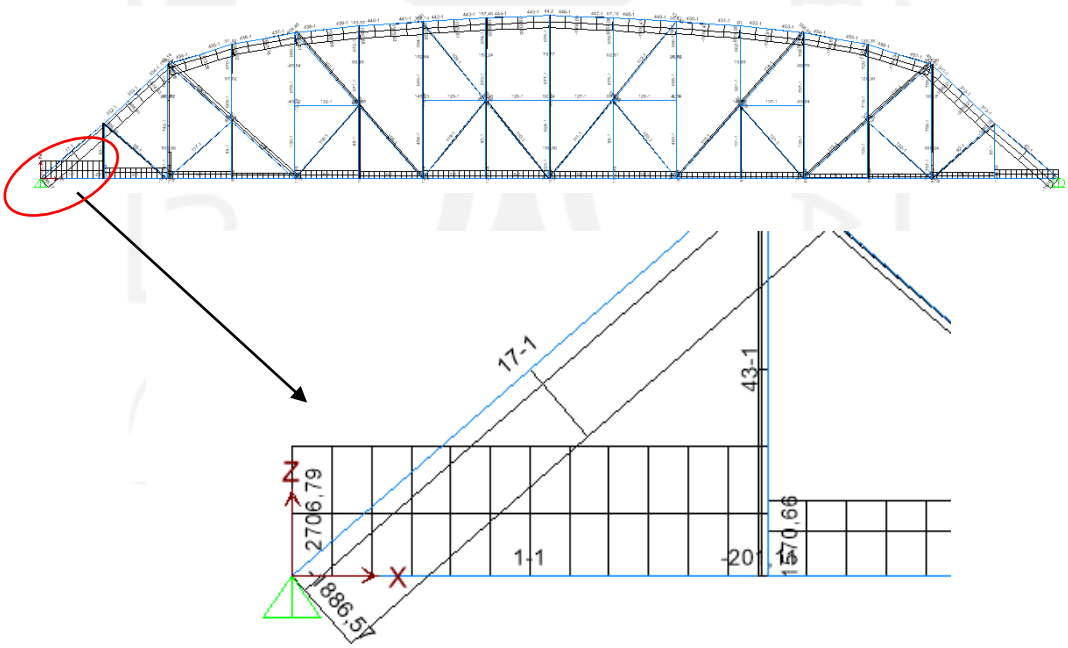
Gambar 5.33 Rangkaian Kereta dengan Beban 3/4 Jembatan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Dari kasus tersebut setelah dilakukan perhitungan metode *space truss* dengan seluruh beban kombinasi gaya aksial tarik/tekan maksimal yang terjadi adalah sebesar 2706,792 KN yaitu pada batang nomor 1 yaitu batang dengan profil B390x240. Berikut merupakan gambar dari letak batang tersebut serta gambar diagram NFD nya.



Gambar 5.34 Letak Profil dengan Gaya Aksial Maksimal dengan Beban 3/4 Jembatan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

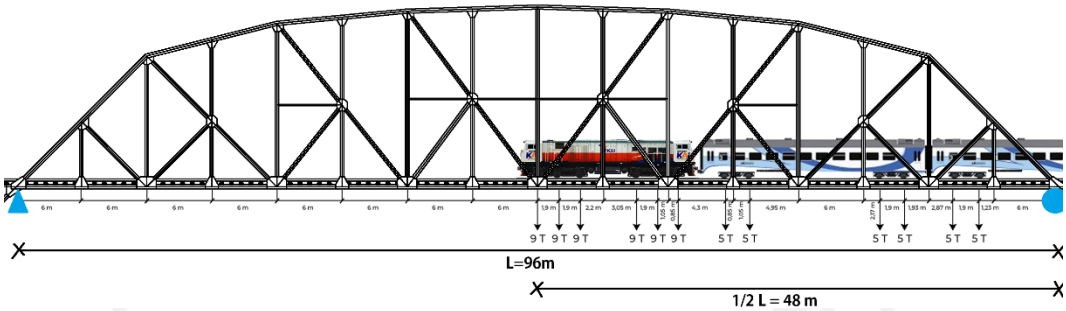


Gambar 5.35 Diagram NFD Maksimal Beban 3/4 Jembatan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

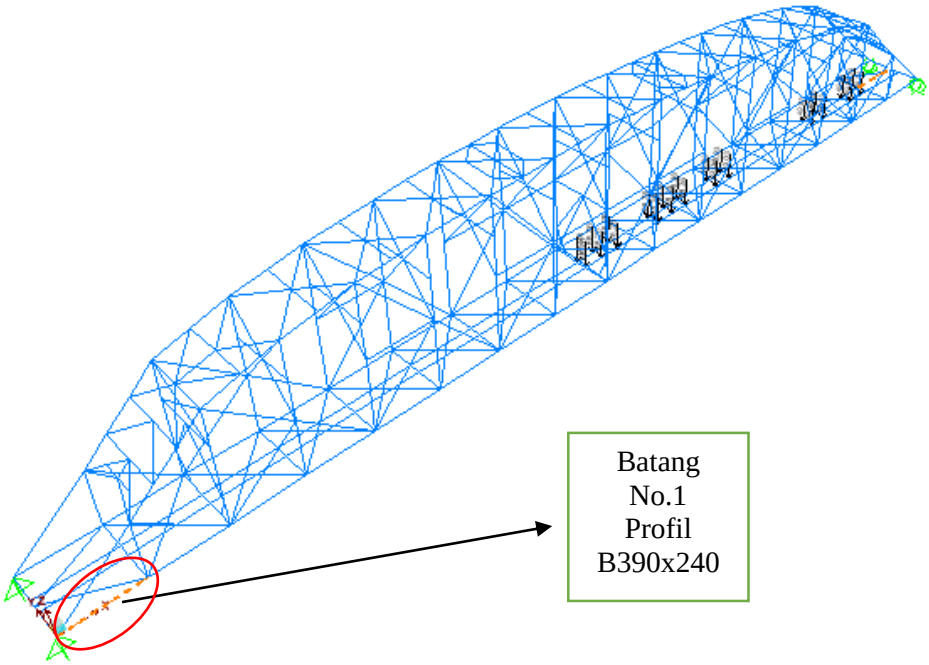
2. Beban 1/2 Jembatan

Gambar berikut menunjukan bahwa kereta dengan lokomotif 1/2 perjalanan masuk area jembatan.

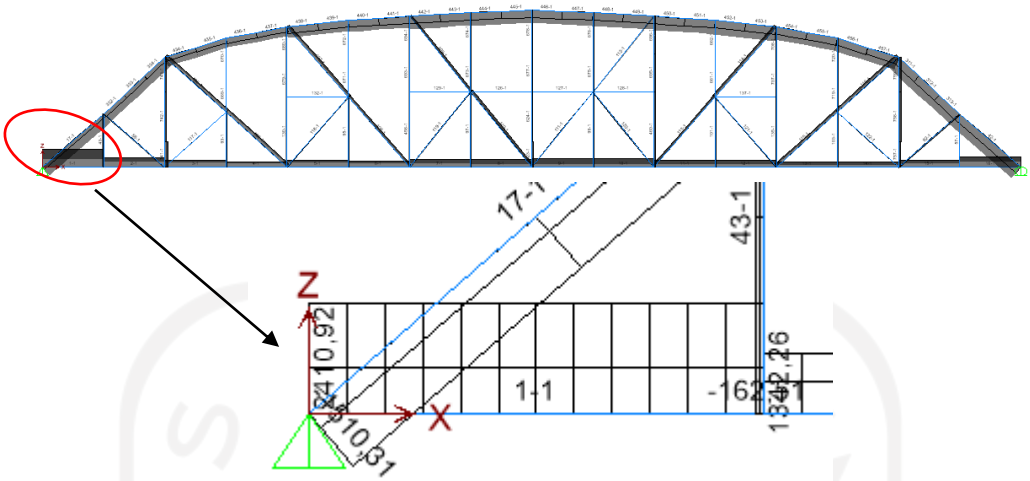


Gambar 5.36 Rangkaian Kereta dengan Beban 1/2 Jembatan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Dari kasus tersebut setelah dilakukan perhitungan metode *space truss* dengan seluruh beban kombinasi gaya aksial tarik/tekan maksimal yang terjadi adalah sebesar 2410, 919 KN yaitu pada batang nomor 1 yaitu batang dengan profil B390x240. Berikut merupakan gambar dari letak batang tersebut serta gambar diagram NFD nya.



Gambar 5.37 Letak Profil Gaya Aksial Maksimal dengan Beban 1/2 Jembatan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



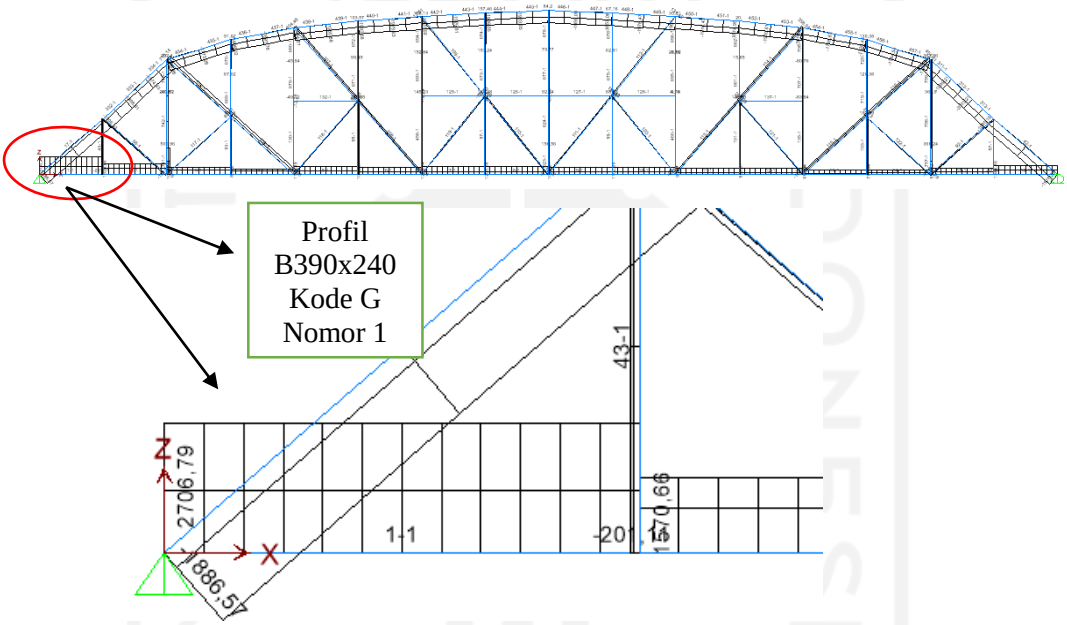
Gambar 5.38 Diagram NFD Maksimal Beban 1/2 Jembatan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berikut merupakan tabel hasil rekap dari keseluruhan kasus dengan gaya aksial maksimal tiap batang, gaya aksial maksimal dihitung menggunakan beban "ENVE" yaitu beban maksimal tiap kombinasi, agar lebih ringkas dalam penyampaiannya.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Gaya Aksial Maksimal Tiap Kasus Pembebanan

Kode Profil	Dimensi Profil	Nama Profil	Aksial Maksimal berdasarkan Letak Beban (KN)			Aksial *Utimit* Maksimal (Pu) (KN)	Aksial Nominal Maksimal (øPn) (KN)	Syarat Aman (Pu ≤ øPn)	Jenis
			Beban 1 Jembatan	Beban 0,75 Jembatan	Beban 0,5 Jembatan				
A	2C205x80	Ikatan Angin Bawah Pojok	-831,836	-878,314	-831,836	-878,314	-1097,971	Aman	Tekan
B	2C220x90	Batang Diagonal	399,812	710,138	510,38	710,138	3198,888	Aman	Tarik
C	2C240x90	Batang Vertikal Tengah	-78,646	157,415	178,539	178,539	2203,2	Aman	Tarik
						-78,646	-1845,008	Aman	Tekan
D	2C580x155	Gelagar Memanjang Atas	-2396,368	-2521,319	-2095,301	-2521,319	-7934,382	Aman	Tekan
E	2L85	Ikatan Angin Tengah	299,275	299,275	299,275	299,275	2203,5	Aman	Tarik
F	2L125	Ikatan Angin Atas Bawah	478,641	478,641	478,641	478,641	1522,8	Aman	Tarik
G	B390x240	Gelagar Memanjang Bawah	2628,943	2706,792	2410,919	2706,792	9007,2	Aman	Tarik
H	W280x172	Batang Vertikal	709,373	500,958	492,301	709,373	2767,824	Aman	Tarik
I	W820x200	Gelagar Rel	530,77	615,945	575,17	615,945	8812,8	Aman	Tarik
J	W1400x255	Diafragma	-308,559	-308,559	-308,559	-308,559	-1491,274	Aman	Tekan

Dari Tabel 5.5 tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan metode *space truss* gaya aksial terbesar terjadi ketika rangkaian kereta dengan lokomotif ada pada 3/4 jembatan yaitu sebesar 2706,792 KN pada batang nomor 1 profil B390x240 yang merupakan batang aksial tarik. Setelah dilakukan perhitungan cek keamanan profil seluruh balok yang menerima gaya aksial dari studi kasus tersebut dinyatakan aman dan memenuhi syarat, perhitungan cek keamanan tersebut akan dilampirkan. Dan berikut merupakan letak dari profil B390x240 batang nomor 1.



Gambar 5.39 Diagram NFD Maksimal dari Seluruh Kasus Pembebanan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian Analisis Struktur Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034 dinyatakan aman sesuai dengan peraturan pembebanan yang mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012, Standar Teknis Kereta Api untuk Jembatan Baja 2006 dan literasi lainnya serta analisis tampang baja yang mengacu pada RSNI T-03-2005 dan literasi Metode LRFD yaitu dengan gaya momen lentur maksimal sebesar 301,4227 KNm yang teretak pada profil I/WF 820x200 nomor batang 346 *(space frame)*. Sedangkan gaya aksial maksimal sebesar 2706,792 KN (beban rangkaian kereta 0,75 jembatan) terletak pada profil B390x240 nomor batang 1 dan merupakan gaya aksial tarik *(space truss)*

6.1 Saran

Adapun saran yang diperlukan untuk penelitan yang lebih baik adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya analisis struktur bawah dan juga redesain jembatan.
2. Melihat kompleksitas dari struktur Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034, maka perlu dilakukan simulasi analisis dengan metode-metode yang berbeda seperti halnya analisis batang menererus *(continous beam)* dari jembatan tersebut secara menyeluruh tidak hanya batang yang ditopang rangka saja.
2. Mengidentifikasi material jembatan dengan data yang lebih *valid*, baik data pengambilan langsung di lapangan maupun data sekunder dari pemilik jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2005. *RSNI T-03-2005 (Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan).* BSN. Jakarta.

Anonim. 2020. *SNI 1729:2020 (Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural).* BSN. Jakarta.

Setiawan, Agus. 2002. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD.* Penerbit Erlangga. Jakarta.

Anonim. 2016. *SNI 2833:2016 (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan).* BSN. Jakarta.

Mentri Perhubungan Republik Indonesia. 2012. *PM 60 Tahun 2012 (Pesyaratan Teknis Jalur Kereta Api).* Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perkeretaapian. Jakarta.

Mentri Perhubungan Republik Indonesia. 2006. *(Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Jembatan Baja).* Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perkeretaapian. Jakarta.

Jaya, Teguh. 2018. *Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api dengan Sistem Busur Atas dan Bawah.* Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan.

Ismayana, R.P. 2019. *Evaluasi Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren Bentang 42 Meter Berdasarkan SNI 2833:2016 dan Peta Gempa 2017.* Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Adhi, K.H. 2017. *Modifikasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Lahor Dengan Menggunakan Konstruksi Busur Rangka Baja.* Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

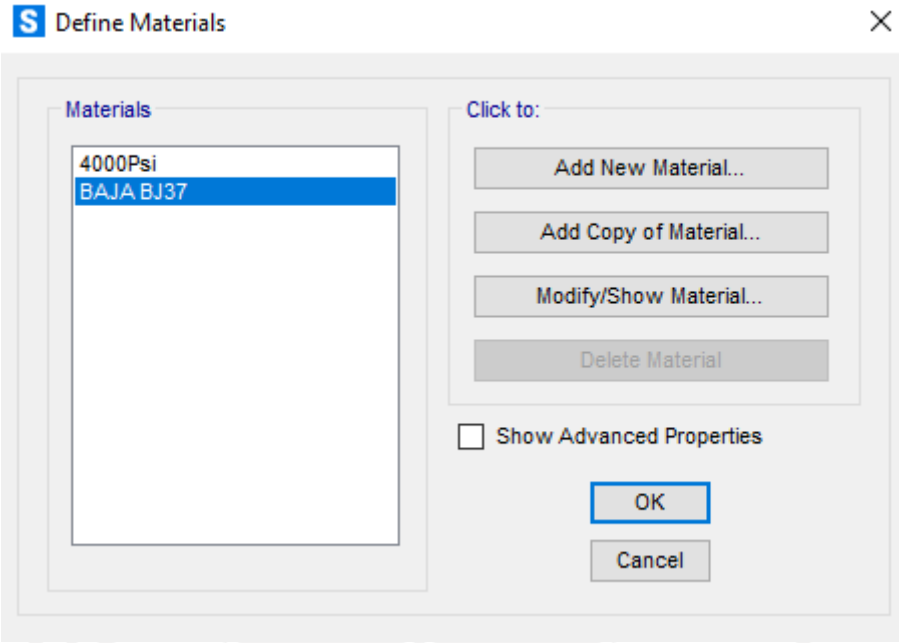
Supriyadi, B. Dkk. 2007. *Jembatan*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Utomo, Suryo H. 2006. *Jalan Rel.* Beta Offset. Yogyakarta.

LAMPIRAN

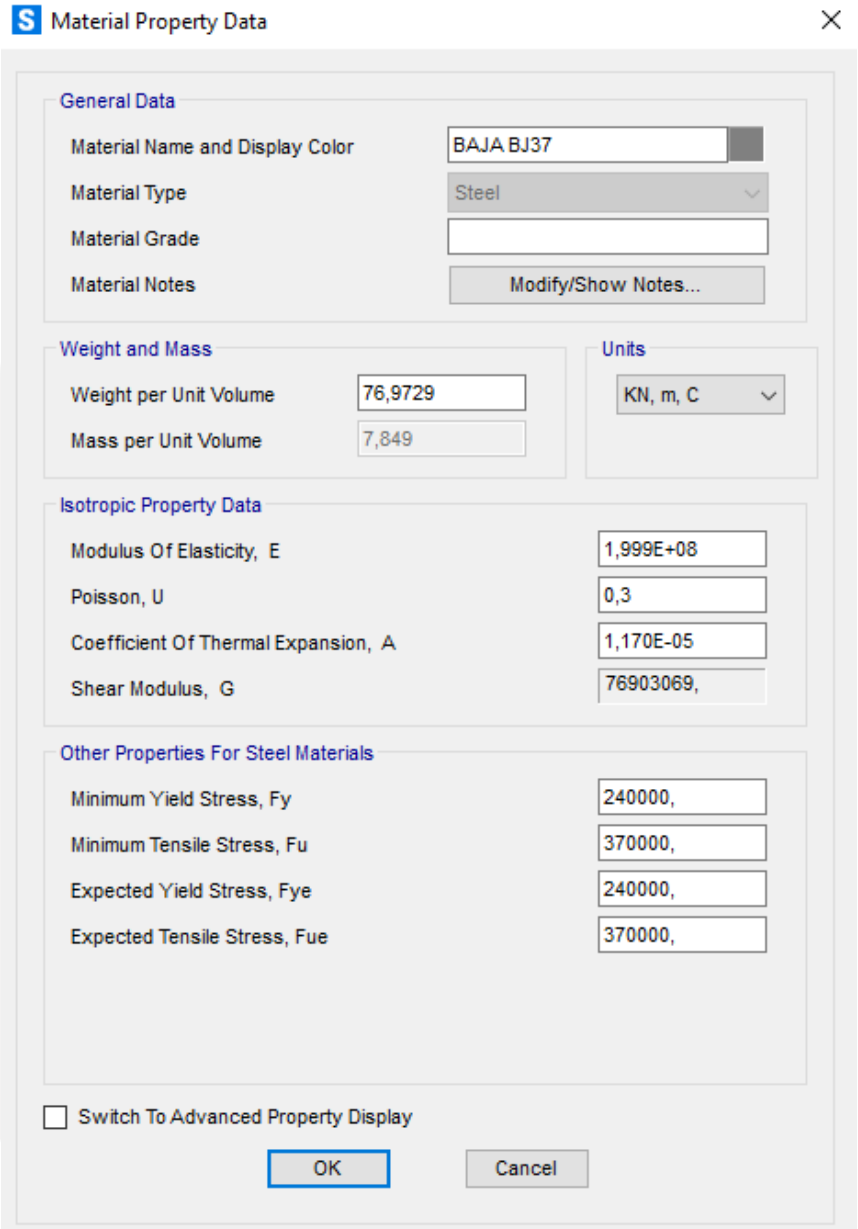
Lampiran A Proses Permodelan Pada Program *SAP2000 v.22*

Lampiran A. 1 *Material Properties* Jembatan



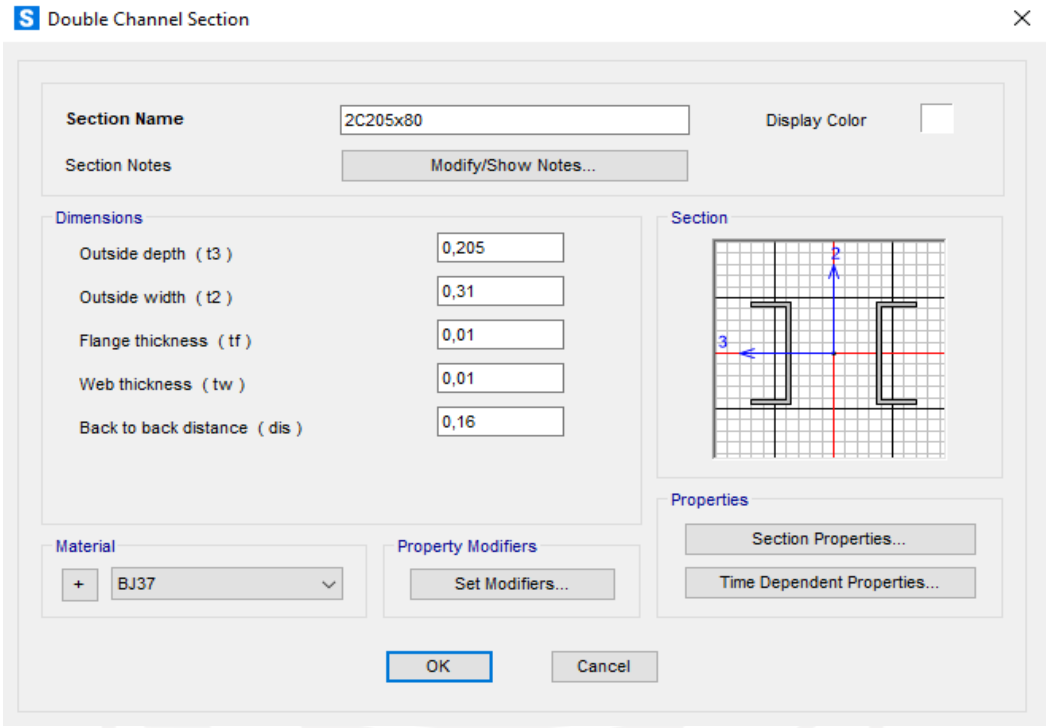
Input* Matrerial Properties pada *SAP2000 v.22

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



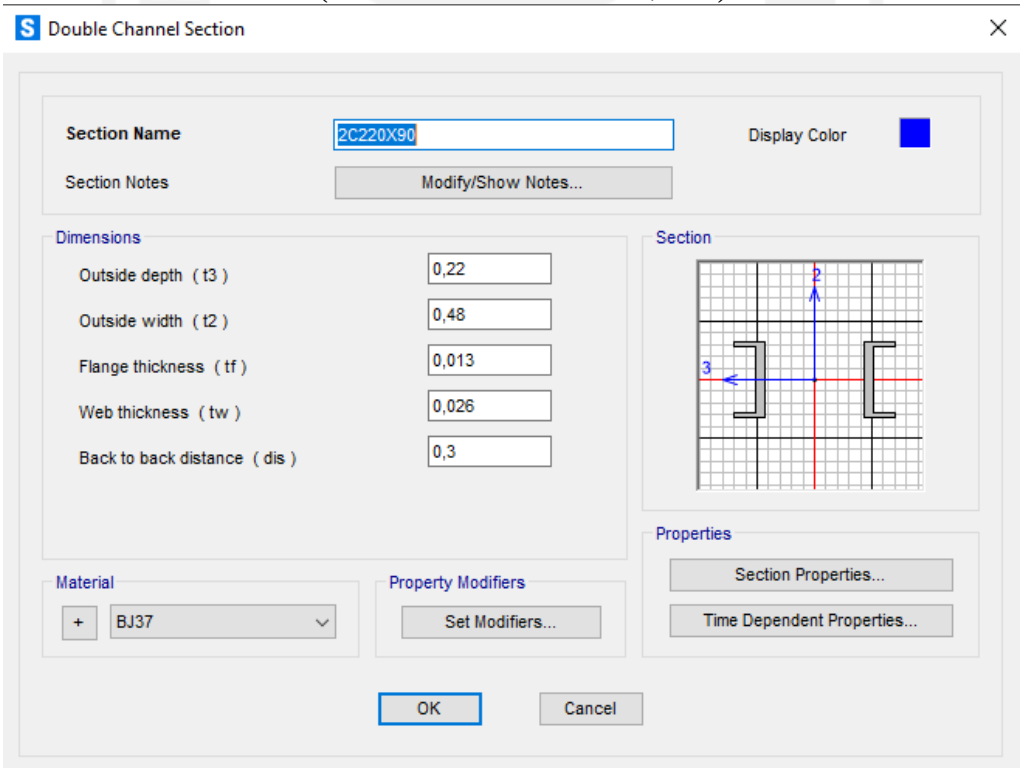
Input* Mutu Baja pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Lampiran A. 2 *Frame Properties*



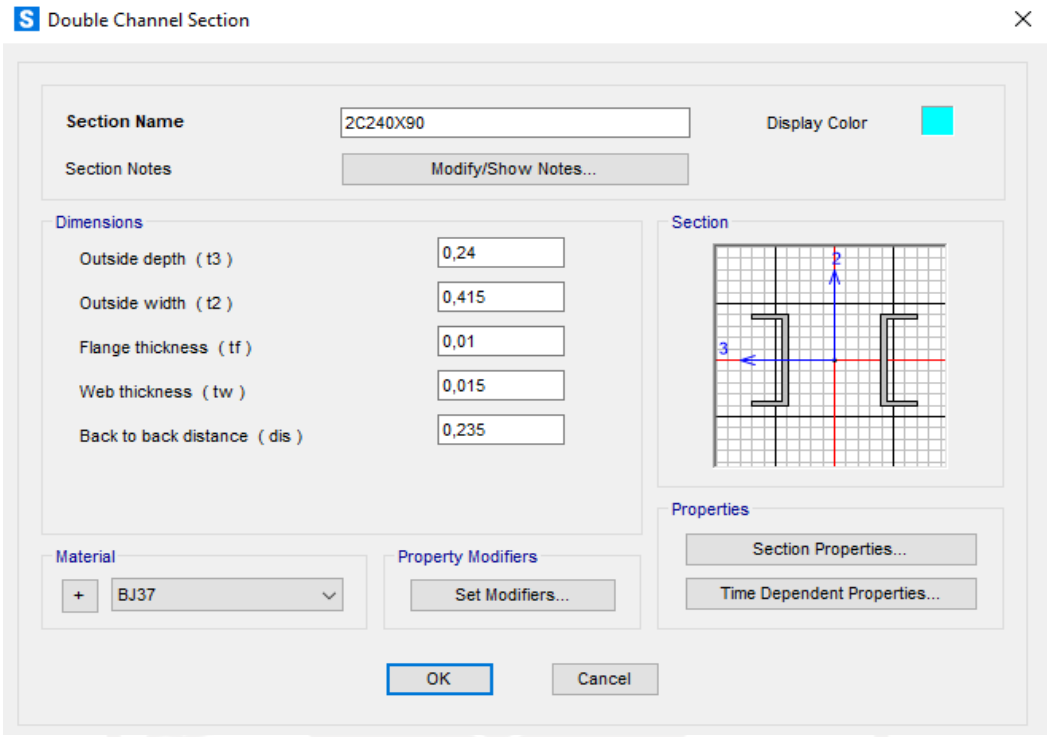
Profil Kode A

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



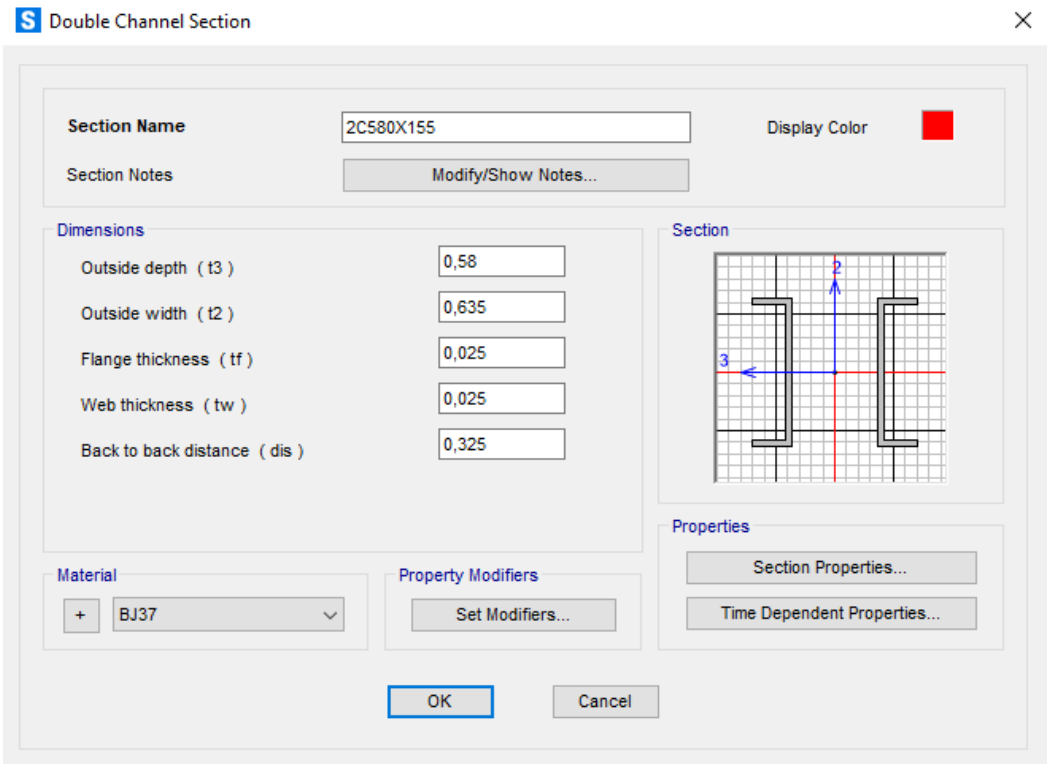
Profil Kode B

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



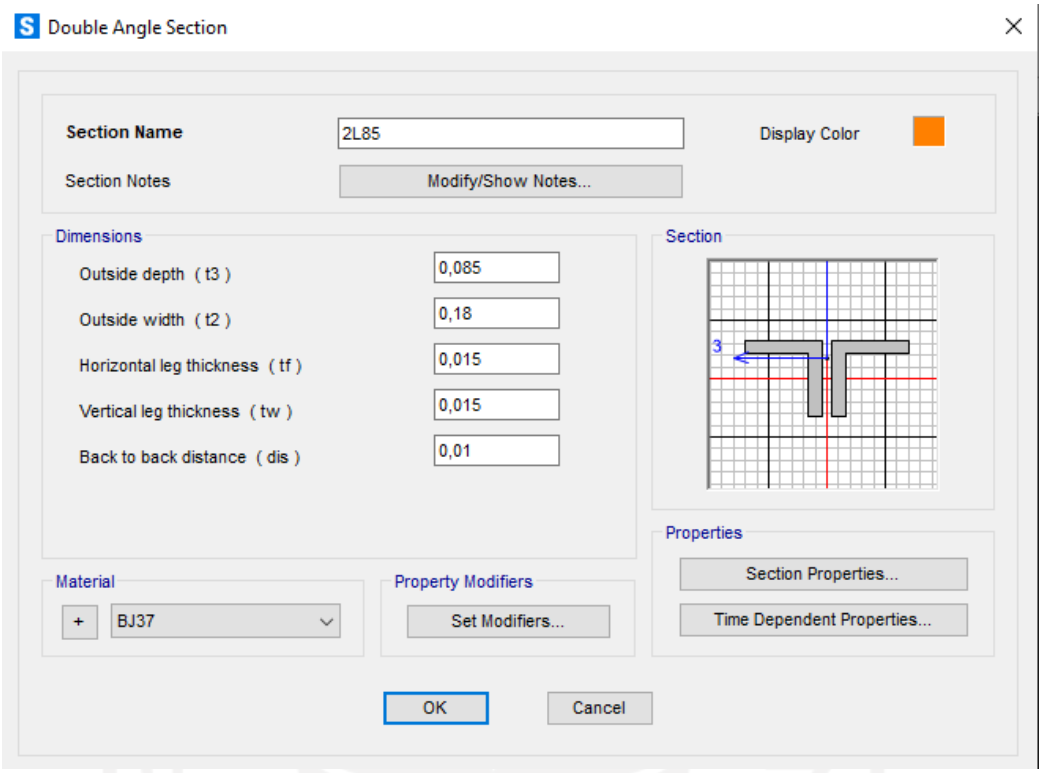
Profil Kode C

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



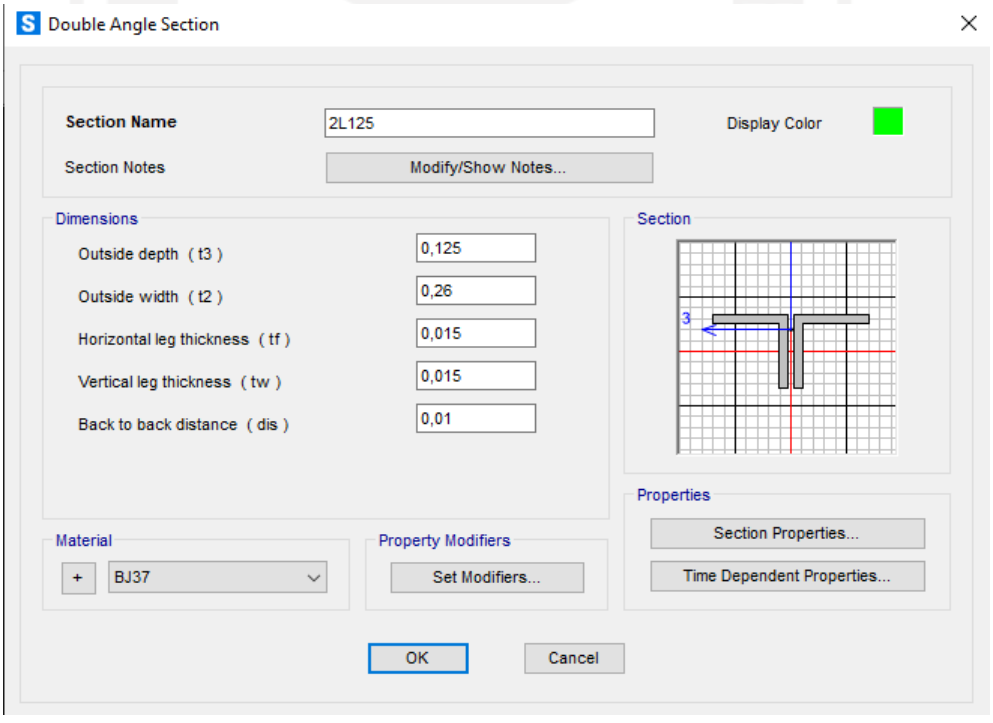
Profil Kode D

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



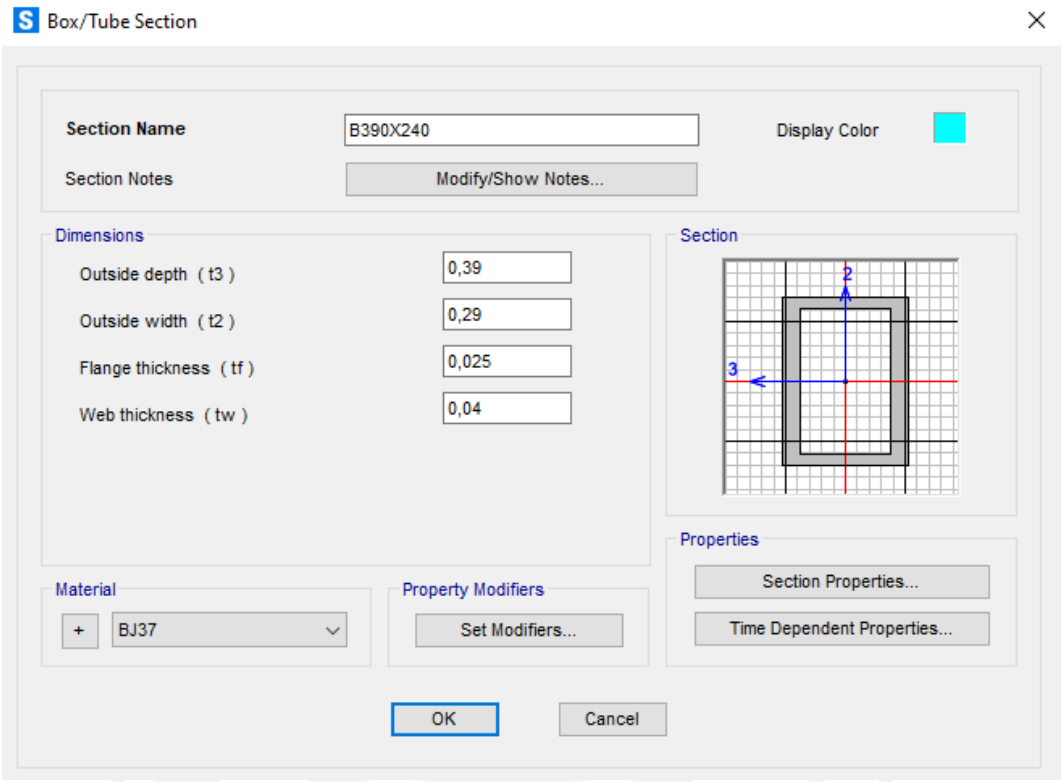
Profil Kode E

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



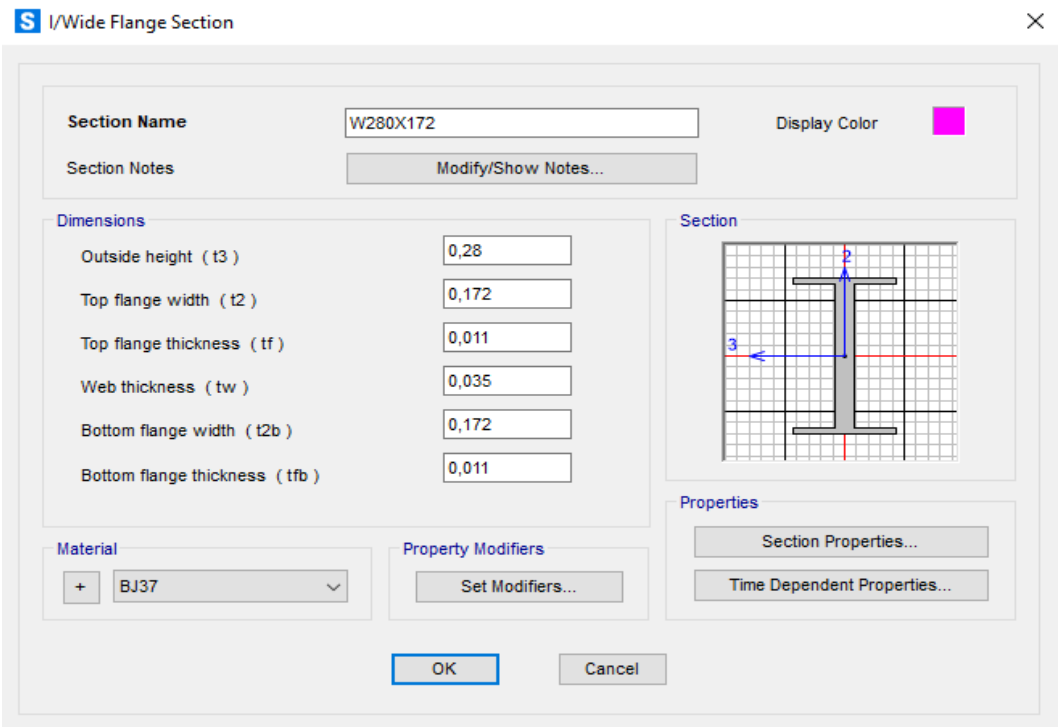
Profi Kode F

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



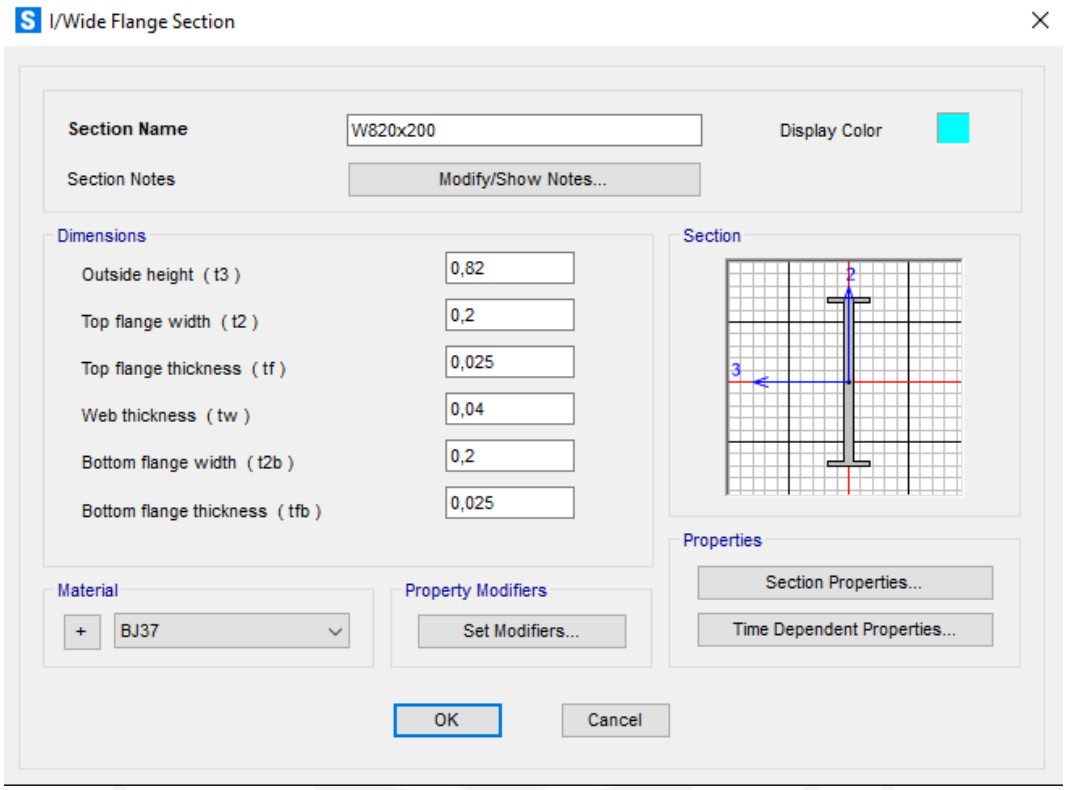
Profil Kode G

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



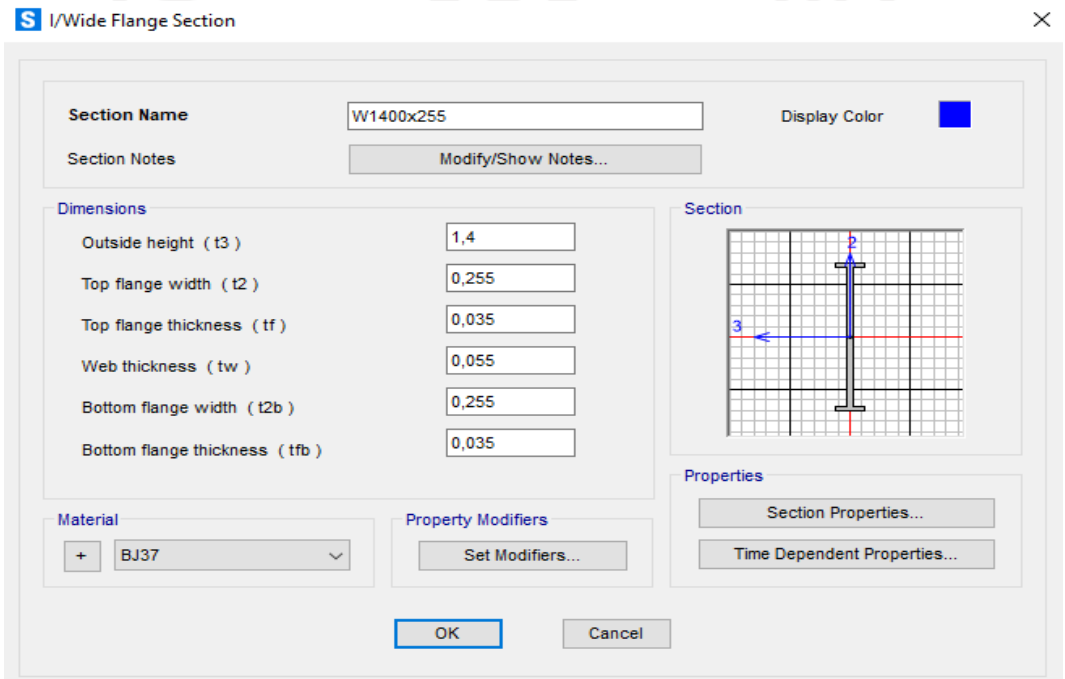
Profil Kode H

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Profil Kode I

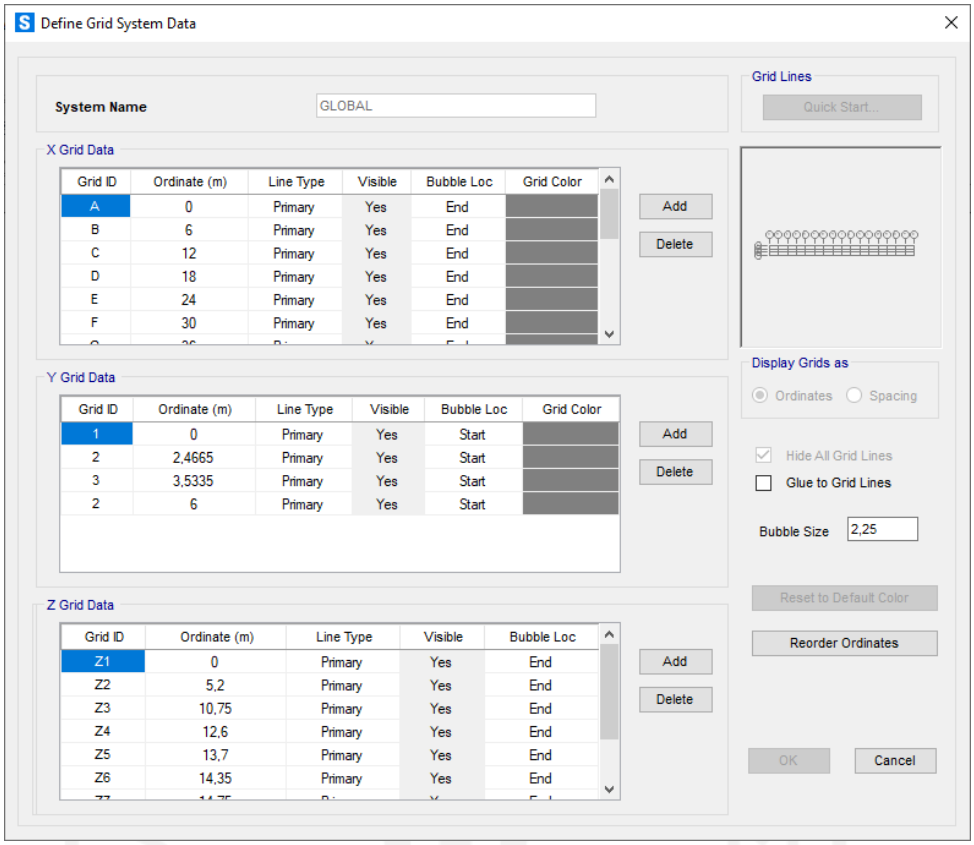
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



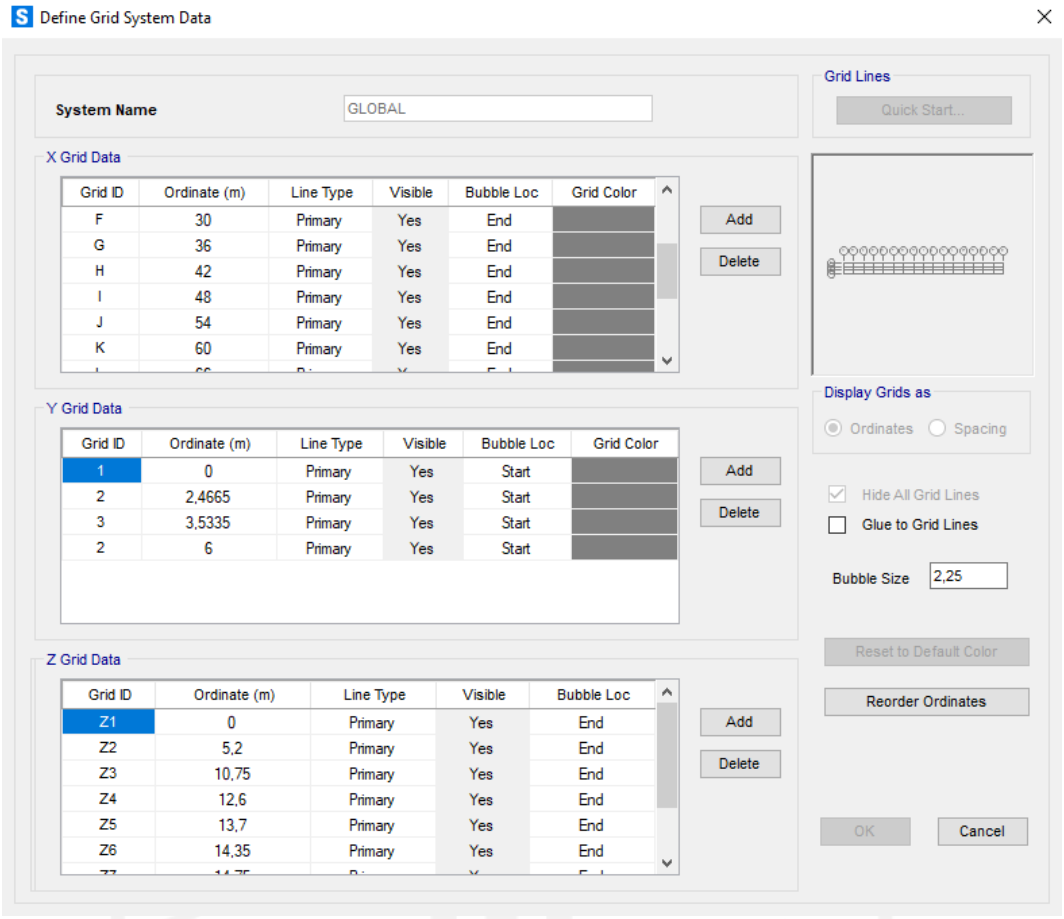
Profil Kode J

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

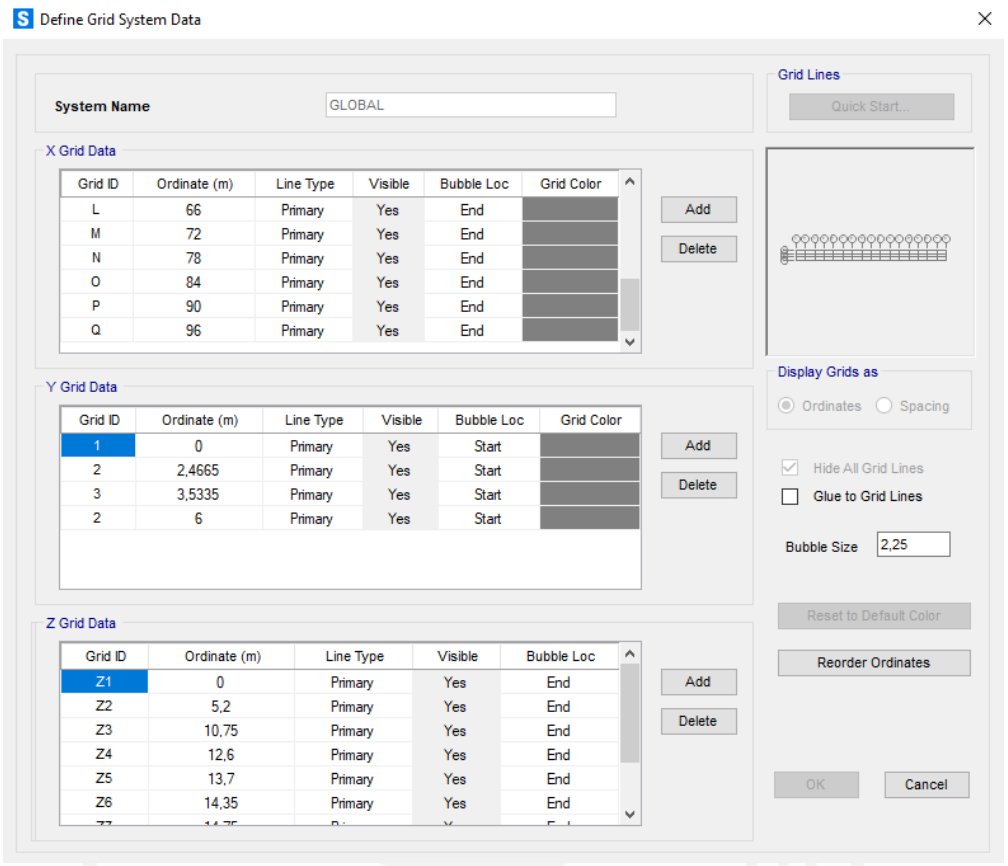
Lampiran A. 3 *Grid System*



Grid Data* (1) pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

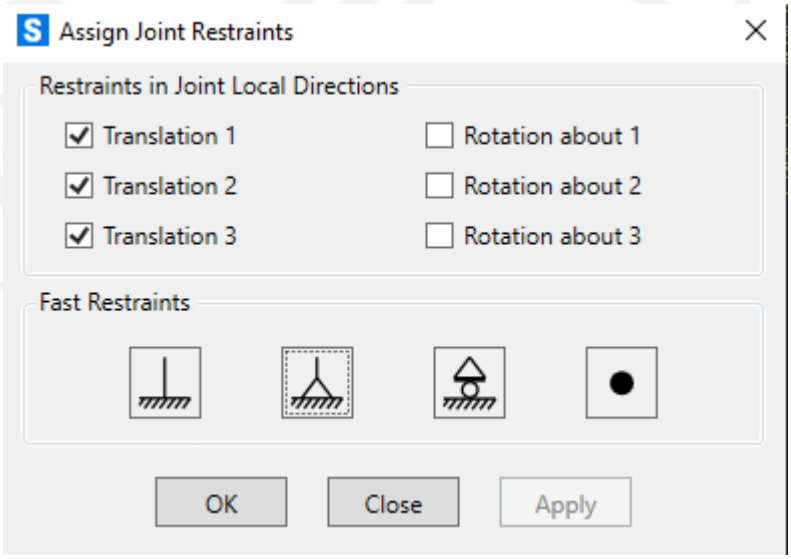


Grid Data* (2) pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

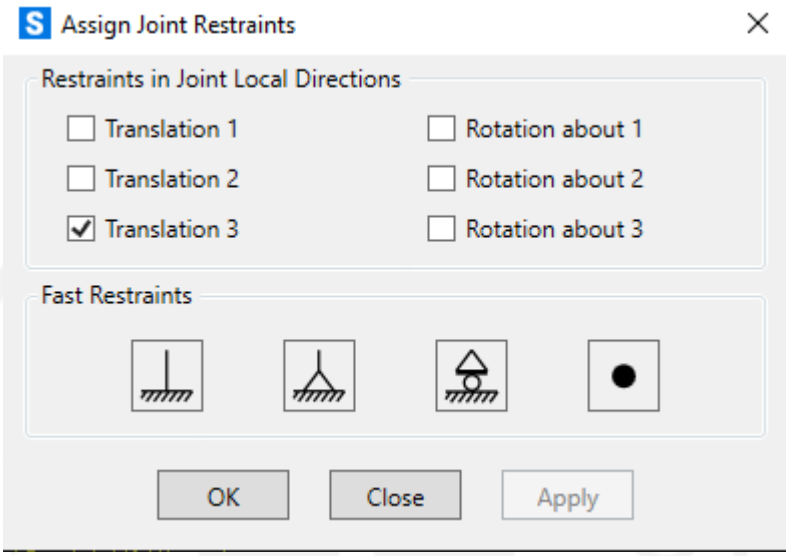


Grid Data* (3) pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Lampiran A. 4 Tumpuan (*Restraint*)

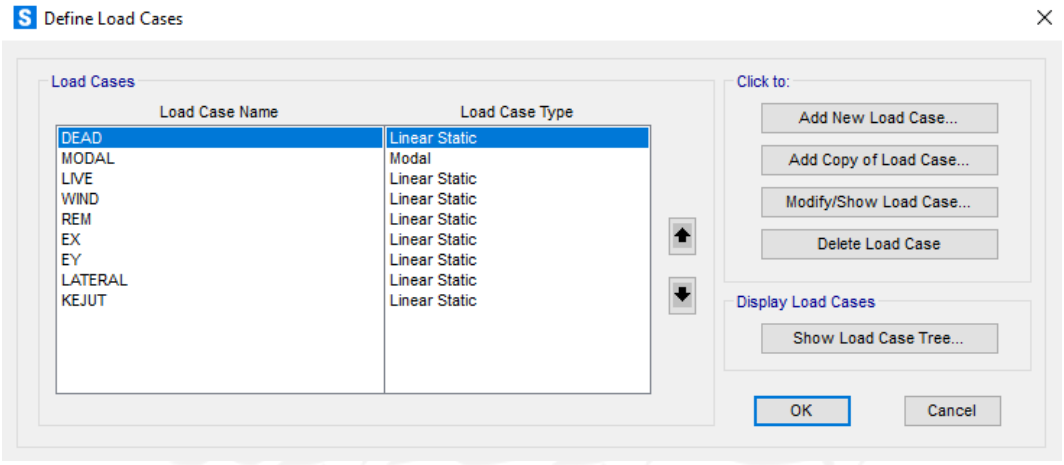


Joint Restraints* Tumpuan Sendi pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



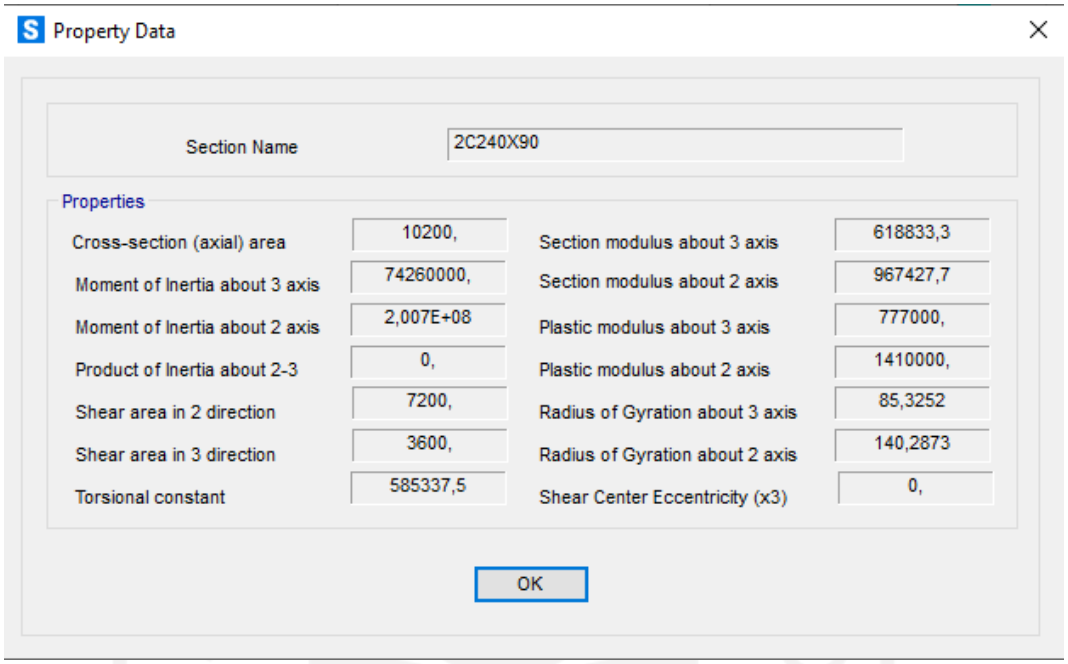
Joint Restraints* Tumpuan *Rol* pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Lampiran A. 5 *Load Assignment*



Load Cases* pada *SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Lampiran A. 6 *Property Data*



Contoh Property Data pada SAP2000 v.22
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Lampiran B Dokumentasi Pengambilan Data di Lapangan
Lampiran B. 1 Surat Izin Pengambilan Data Lapangan



KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN
BALAI TEKNIK PERKERETAAPIAN KELAS I WILAYAH JAWA BAGIAN TENGAH
Jl. CANDI PRAMBANAN BARAT RAYA NO.1 A NGALIYAN SEMARANG | TELP. (024) 7618176 | FAX. (024) 7618176

Nomor : KPII.9 /A7/BTP/JT6-DIY/2020
Sifat : -
Lampiran : -
Perihal : Izin Penelitian TA dan Pengambilan Data

Semarang, 18 November 2020
Kepada

Yth.: Ketua Prodi Teknik Sipil
Universitas Islam Indonesia
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
di
Yogyakarta

1. Menindaklanjuti Surat Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Nomor : 150/KA.Prodi PSTS/20/T.A/X/2020 tanggal 12 Nopember 2020 perihal Permohonan Izin Penelitian TA dan Pengambilan Data TA atas nama LALU RAHMAN WIRADARMA, Nomor Mahasiswa : 16511028, Prodi : Teknik Sipil disampaikan bahwa Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Wilayah Jawa Bagian Tengah memberikan ijin penelitian dan pengambilan data untuk kepentingan Tugas Akhir dengan memperhatikan batasan-batasan keterbukaan informasi public.

2. Sehubungan dengan hal tersebut di atas, mohon koordinasi lebih lanjut dengan menghubungi Sub Bagian Tata Usaha, Balai Teknik Perkeretapian Kelas I Wilayah Jawa Bagian Tengah melalui ibu Magdalena di nomor hp : 081586240476 dengan menyampaikan kebutuhan data yang diperlukan.

3. Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terimakasih.

KEPALA BALAI TEKNIK PERKERETAAPIAN
KELAS I WILAYAH JAWA BAGIAN TENGAH

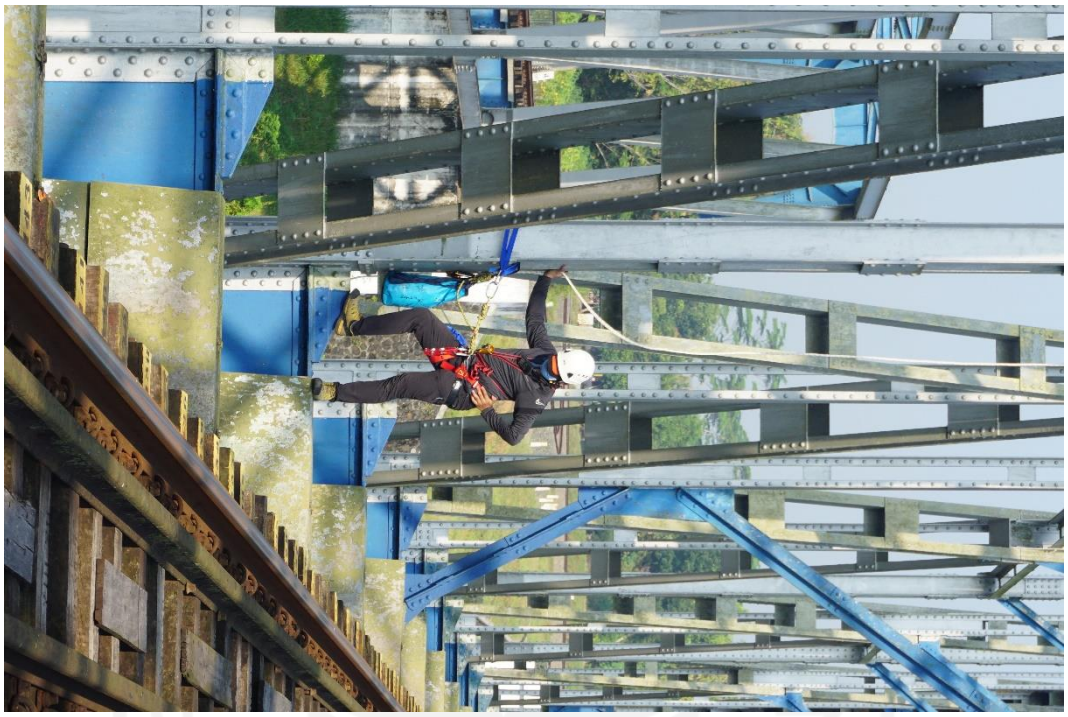
NUR SETIAWAN SIDIK
Pembina (IV/a)
NIP. 19770312 200212 1 003

Lampiran B. 2 Persiapan Pengukuran

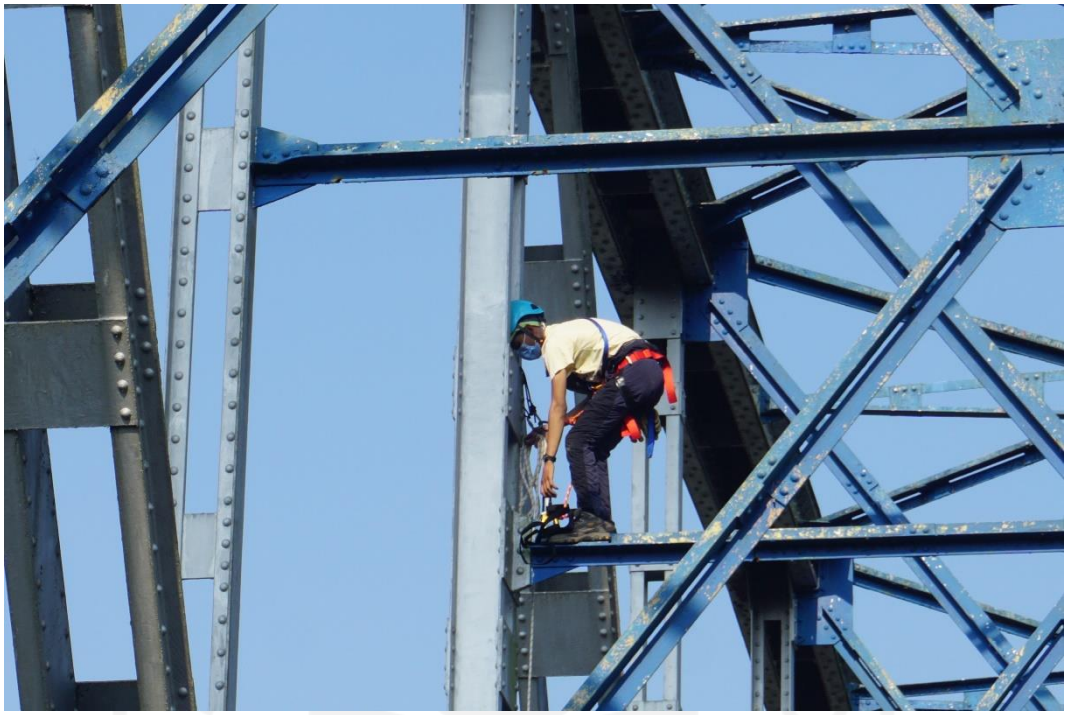




Lampiran B. 3 Pengukuran Tinggi Profil







Lampiran B. 4 Pengukuran Tebal Sayap Profil

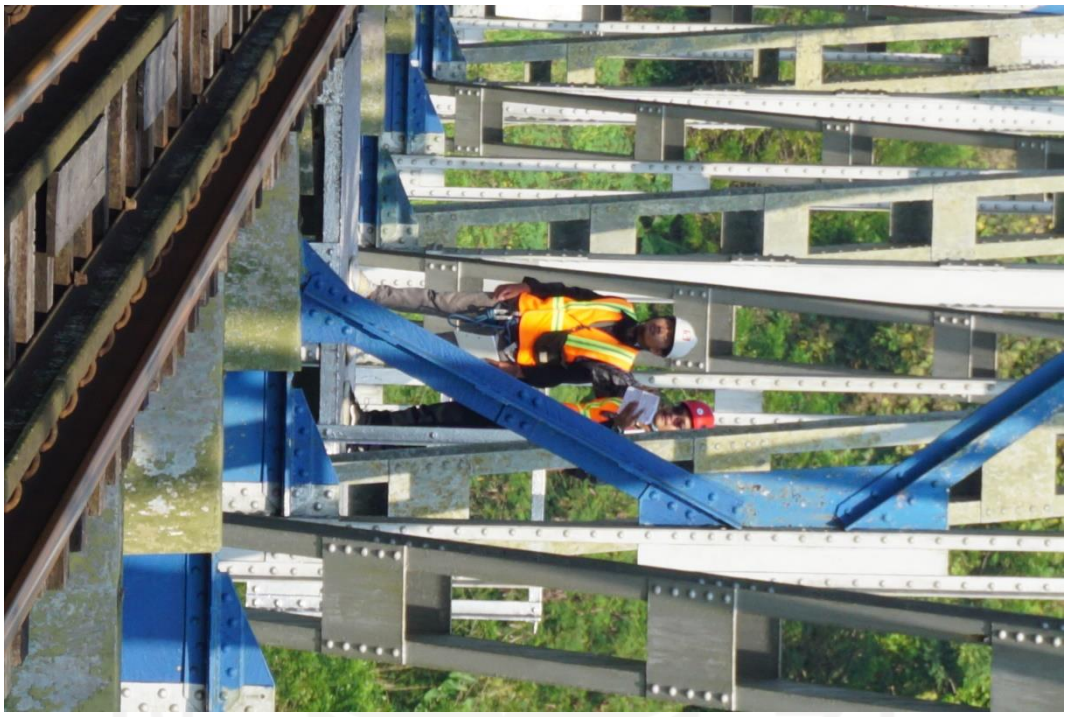


Lampiran B. 5 Pengukuran Lebar Sayap Profil





Lampiran B. 6 Pencatatan Hasil Pengukuran Profil

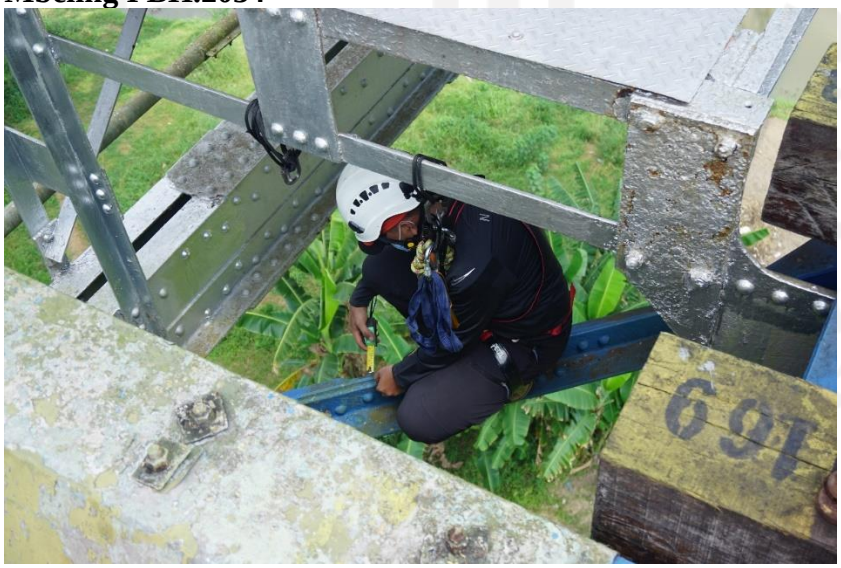




Lampiran B. 7 Pengukuran Elemen Bagian Atas Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034



Lampiran B. 8 Pengukuran Elemen Bagian Bawah Jembatan Kereta Api Mbeling I BH.2034



Lampiran B. 9 Tim Pengambilan Data (Surveyor Team)



Lampiran B. 10 Pengambilan Data Teknis Pembebanan Lokomotif dan Gerbong



Lampiran C Analisis Kapasitas Tampang Tiap Profil