

## **TUGAS AKHIR**

# **DESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BUTUH SRAGEN MENGGUNAKAN STRUKTUR RANGKA BAJA TIPE WARREN**

***(UPPER STRUCTURE DESIGN OF THE BUTUH  
SRAGEN BRIDGE USING WARREN TYPE STEEL  
TRUSS SYSTEM)***

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



**Clarizsa Ayu Maharani  
20511304**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2026**

## TUGAS AKHIR

# DESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BUTUH SRAGEN MENGGUNAKAN STRUKTUR RANGKA BAJA TIPE WARREN (UPPER STRUCTURE DESIGN OF THE BUTUH SRAGEN BRIDGE USING WARREN TYPE STEEL TRUSS SYSTEM)

Disusun Oleh

**Clarizsa Ayu Maharani**  
20511304

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

Diuji Pada Tanggal 7 Januari 2026  
Oleh Dewan Penguji



Pembimbing I

. Suharyatma, M.T  
IK:955110103

Penguji I

13.1.26

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

Penguji II

14.1.2026.

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.  
NIK: 185111304

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

 19/1/26  

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

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan sungguh-sungguh menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Setiap bagian tertentu dalam laporan Tugas Akhir ini yang mengacu atau mengutip karya pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas dan benar sesuai dengan ketentuan, kaidah, serta etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa seluruh atau sebagian isi laporan Tugas Akhir ini bukan merupakan karya saya sendiri atau mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia menerima segala bentuk sanksi yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah saya peroleh, sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 7 Januari 2026



Clarizsa Ayu Maharani

20511304

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Desain Struktur Atas Jembatan Butuh Sragen Menggunakan Struktur Rangka Baja Tipe Warren*. Tugas Akhir ini menjadi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tidak dapat disangkal bahwa dibutuhkan usaha keras dan perjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Namun dengan adanya dukungan dan bantuan dari orang-orang yang penulis sayangi, penulis mampu menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Terima kasih saya ucapkan kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Ir. Suharyatma, M.T, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membantu dan membimbing penulis.
3. Kedua orang tua penulis Ir. Muhammad Imamuddin dan Turni Lestari S.M., yang selalu memberikan dukungan, doa, nasihat, semangat, dan materil hingga selesainya Tugas Akhir ini.
4. Kakak penulis, Annisa Fatmasari Nastiti S.M., yang selalu memberi dukungan, bimbingan, dan materil hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Sahabat penulis, Nailah, Tria, Shinta, Nisa, Rara, Dinda, dan Ebed, yang selalu memberikan semangat dan bantuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Angkatan 2020 Teknik Sipil yang memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis hingga dapat terselesaikannya naskah tugas akhir ini.
7. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebut satu per satu.

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

Yogyakarta, 7 Januari 2026

Penulis,



Clarizsa Ayu Maharani

20511304

## DAFTAR ISI

|                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL                                                               | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN                                                           | ii   |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI                                                   | iii  |
| KATA PENGANTAR                                                              | iv   |
| DAFTAR ISI                                                                  | vi   |
| DAFTAR GAMBAR                                                               | ix   |
| DAFTAR TABEL                                                                | xiv  |
| ABSTRAK                                                                     | xvi  |
| <i>ABSTRACT</i>                                                             | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN                                                           | 1    |
| 1.1 Latar Belakang                                                          | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah                                                         | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian                                                       | 3    |
| 1.4 Manfaat Penelitian                                                      | 3    |
| 1.5 Batasan Penelitian                                                      | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA                                                     | 5    |
| 2.1 Penelitian Terdahulu                                                    | 5    |
| 2.1.1 Perancangan Jembatan dengan Rangka Baja Tipe <i>Pratt</i>             | 5    |
| 2.1.2 Perancangan Jembatan dengan Rangka Baja Tipe <i>Warren Truss</i> 84 M | 6    |
| 2.1.3 Perancangan Jembatan dengan Rangka Baja Tipe <i>Warren Truss</i> 65 M | 6    |
| 2.1.4 Perancangan Jembatan dengan Pelengkung Baja                           | 7    |
| 2.2 Keabsahan Penelitian                                                    | 7    |
| 2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu                                | 8    |
| BAB III LANDASAN TEORI                                                      | 10   |
| 3.1 Material Baja                                                           | 10   |
| 3.2 Material Beton                                                          | 11   |
| 3.3 Klasifikasi Kelas Jembatan                                              | 12   |
| 3.4 Tipe-tipe Jembatan Rangka Baja                                          | 12   |
| 3.5 Tipe Jembatan Warren                                                    | 13   |
| 3.6 Pembebanan Jembatan Berdasarkan SNI 1725-2016                           | 13   |

|                                    |                                                      |     |
|------------------------------------|------------------------------------------------------|-----|
| 3.6.1                              | Beban Mati                                           | 14  |
| 3.6.2                              | Beban Lalu Lintas                                    | 15  |
| 3.6.3                              | Beban Aksi Lingkungan                                | 19  |
| 3.7                                | Pembebanan Gempa pada Jembatan Menurut SNI 2833-2016 | 23  |
| 3.8                                | Konsep Perencanaan LRFD/DFBK                         | 28  |
| 3.9                                | Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )                   | 29  |
| 3.10                               | Kombinasi Pembebanan                                 | 30  |
| 3.11                               | Perencanaan Struktur Atas Jembatan                   | 35  |
| 3.11.1                             | Lantai Kendaraan                                     | 35  |
| 3.11.2                             | Komponen Balok Komposit                              | 38  |
| 3.11.3                             | Komponen Batang Lentur                               | 42  |
| 3.11.4                             | Komponen Batang Tarik                                | 46  |
| 3.11.5                             | Komponen Batang Tekan                                | 48  |
| 3.11.6                             | Sambungan                                            | 51  |
| 3.11.7                             | Anti Lendutan ( <i>camber</i> )                      | 57  |
| 3.12                               | Perencanaan Struktur Bawah Jembatan                  | 57  |
| 3.12.1                             | Abutment                                             | 58  |
| BAB IV METODE PENELITIAN           |                                                      | 60  |
| 4.1                                | Tinjauan Umum                                        | 60  |
| 4.2                                | Sumber Data                                          | 60  |
| 4.2.1                              | Lokasi Jembatan                                      | 60  |
| 4.2.2                              | Data Sekunder                                        | 61  |
| 4.3                                | Data Jembatan                                        | 61  |
| 4.4                                | Tahapan Perencanaan                                  | 65  |
| BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN |                                                      | 68  |
| 5.1                                | Tinjauan Umum                                        | 68  |
| 5.1.1                              | Perencanaan Pelat Lantai                             | 69  |
| 5.1.2                              | Perencanaan Gelagar Memanjang                        | 88  |
| 5.1.3                              | Perencanaan Gelagar Melintang                        | 97  |
| 5.1.4                              | Perencanaan Struktur Rangka Baja                     | 107 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN        |                                                      | 198 |
| 6.1                                | Kesimpulan                                           | 198 |
| 6.2                                | Saran                                                | 199 |
| DAFTAR PUSTAKA                     |                                                      | 200 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1 Lokasi Jembatan Butuh Sragen                                                                             | 2  |
| Gambar 3.1 Tipe Jembatan Rangka                                                                                     | 13 |
| Gambar 3.2 Beban Lajur “D”                                                                                          | 16 |
| Gambar 3.3 Gambar Pembebanan Truk “T” (500 kN)                                                                      | 17 |
| Gambar 3.4 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Untuk Pembebanan Lajur “D”                                            | 18 |
| Gambar 3.5 Peta Percepatan Puncak Di Batuan Dasar (PGA) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun             | 24 |
| Gambar 3.6 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun | 24 |
| Gambar 3.7 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun   | 25 |
| Gambar 3.8 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah                                                         | 26 |
| Gambar 3.9 Gambar Komponen-komponen Struktur Jembatan Rangka                                                        | 35 |
| Gambar 3.10 Gambar Modulus Penampang Berbagai Tipe Profil Simetri                                                   | 44 |
| Gambar 3.11 Distribusi Tegangan pada Level Beban Berbeda                                                            | 44 |
| Gambar 3.12 Gaya tarik yang disalurkan oleh baut pada sambungan                                                     | 47 |
| Gambar 3.13 Gambar Faktor panjang efektif                                                                           | 51 |
| Gambar 3.14 Mekanisme Keruntuhan Geser Blok Pada Sambungan                                                          | 56 |
| Gambar 3.15 Abutment Jembatan                                                                                       | 58 |
| Gambar 4.1 Koordinat Letak Jembatan Butuh                                                                           | 60 |
| Gambar 4.2 Bagan Alur Penelitian                                                                                    | 65 |
| Gambar 5.1 Potongan Memanjang Jembatan                                                                              | 68 |
| Gambar 5.2 Potongan Melintang Jembatan                                                                              | 68 |
| Gambar 5.3 Peta Kontur                                                                                              | 69 |
| Gambar 5.4 Potongan Melintang Pelat Lantai                                                                          | 69 |
| Gambar 5.5 Tampak Atas Pelat Lantai Kendaraan                                                                       | 71 |
| Gambar 5.6 Beban Truk (TT)                                                                                          | 73 |



|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 5.36 Gelagar Memanjang Tengah                                       | 109 |
| Gambar 5.37 Gaya Rem Akibat Beban Truk                                     | 114 |
| Gambar 5.38 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA)                   | 120 |
| Gambar 5.39 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (Ss)  | 121 |
| Gambar 5.40 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar (S1)    | 122 |
| Gambar 5.41 Grafik Respons Spektrum                                        | 126 |
| Gambar 5.42 Penampang Abutment                                             | 127 |
| Gambar 5.43 Tampak Kiri Jembatan Pemodelan SAP2000                         | 133 |
| Gambar 5.44 Tampak Kanan Jembatan Pemodelan SAP2000                        | 133 |
| Gambar 5.45 Tampak Bawah Jembatan Pemodelan SAP2000                        | 133 |
| Gambar 5.46 Tampak Atas Jembatan Pemodelan SAP2000                         | 133 |
| Gambar 5.47 Input Beban Mati Sendiri (MS) pada SAP2000                     | 134 |
| Gambar 5.48 Input Beban Mati Tambahan (MA) pada SAP2000                    | 135 |
| Gambar 5.49 Input Beban Terbagi Rata (BTR) pada SAP2000                    | 135 |
| Gambar 5.50 Input Beban Garis Terpusat (BGT) pada SAP2000                  | 136 |
| Gambar 5.51 Input Beban Rem (TB) pada SAP2000                              | 137 |
| Gambar 5.52 Input Beban Pejalan Kaki (TP) pada SAP2000                     | 137 |
| Gambar 5.53 Input Beban EWs pada SAP2000                                   | 138 |
| Gambar 5.54 Input Beban EWl pada SAP2000                                   | 138 |
| Gambar 5.55 Input Beban Gempa EQx                                          | 139 |
| Gambar 5.56 Input Beban Gempa EQy                                          | 139 |
| Gambar 5.57 Grafik NFD Kombinasi Kuat I pada SAP2000                       | 140 |
| Gambar 5.58 Grafik BMD Kombinasi Kuat I pada SAP2000                       | 141 |
| Gambar 5.59 Penampang Ujung Sisi Depan Batang Bawah                        | 147 |
| Gambar 5.60 Penampang Ujung Sisi Depan Batang Diagonal                     | 153 |
| Gambar 5.61 Penampang Ujung Sisi Depan Batang Ikatan Angin Tengah          | 158 |
| Gambar 5.62 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Atas                  | 164 |
| Gambar 5.63 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Atas | 164 |
| Gambar 5.64 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Atas      | 165 |
| Gambar 5.65 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu Sambungan Batang Atas               | 165 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 5.66 Pelat Buhul Tekan Sambungan Batang Rangka Atas                                 | 167 |
| Gambar 5.67 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Bawah                                 | 170 |
| Gambar 5.68 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Bawah                | 170 |
| Gambar 5.69 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Bawah                     | 170 |
| Gambar 5.70 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu Sambungan Batang Bawah                              | 171 |
| Gambar 5.71 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur Pelat Buhul Luar Batang Bawah               | 173 |
| Gambar 5.72 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur pada Pelat Buhul Dalam Batang Bawah         | 174 |
| Gambar 5.73 Pola Keruntuhan Geser Blok Batang Rangka Bawah                                 | 175 |
| Gambar 5.74 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal                              | 177 |
| Gambar 5.75 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut                                    | 178 |
| Gambar 5.76 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal                  | 178 |
| Gambar 5.77 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu pada Sambungan Batang Bawah                         | 179 |
| Gambar 5.78 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur pada Pelat Buhul Luar Batang Bawah          | 181 |
| Gambar 5.79 Pola Keruntuhan Geser Blok Batang Rangka Diagonal                              | 182 |
| Gambar 5.80 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Ikatan Angin Tengah                          | 185 |
| Gambar 5.81 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Ikatan Angin Tengah         | 185 |
| Gambar 5.82 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal                  | 185 |
| Gambar 5.83 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu pada Sambungan Ikatan Angin Tengah                  | 186 |
| Gambar 5.84 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur pada Pelat Buhul Batang Ikatan Angin Tengah | 187 |
| Gambar 5.85 Kuat Geser Blok Batang Ikatan Angin Tengah                                     | 188 |
| Gambar 5.86 Tampak Atas Rangka Jembatan                                                    | 191 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| Gambar 5.87 Tampak Samping Rangka Jembatan | 191 |
| Gambar 5.88 Detail Sambungan A             | 192 |
| Gambar 5.89 Detail Sambungan B             | 192 |
| Gambar 5.90 Detail Sambungan C             | 193 |
| Gambar 5.91 Detail Sambungan D             | 193 |
| Gambar 5.92 Detail Sambungan E             | 194 |
| Gambar 5.93 Detail Sambungan F             | 194 |
| Gambar 5.94 Detail Sambungan G             | 195 |
| Gambar 5.95 Lendutan Jembatan              | 196 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang                           | 8   |
| Tabel 3.1 Sifat Mekanis Baja Struktural                                         | 11  |
| Tabel 3.2 Berat Isi Untuk Beban Mati                                            | 14  |
| Tabel 3.3 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri                                      | 15  |
| Tabel 3. 4 Faktor Beban Mati Tambahan                                           | 15  |
| Tabel 3.5 Faktor Beban Lajur “D”                                                | 16  |
| Tabel 3.6 Faktor Beban Truk “TT”                                                | 17  |
| Tabel 3.7 Nilai V0 Dan Z0 Permukaan Hulu Pada Berbagai Kondisi                  | 20  |
| Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar (PB)                                              | 21  |
| Tabel 3.9 Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan                      | 21  |
| Tabel 3.10 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal                                | 22  |
| Tabel 3.11 Rata-rata akibat pengaruh temperatur berdasarkan sifat bahan         | 23  |
| Tabel 3.12 Faktor Amplifikasi Untuk PGA Dan 0,2 Detik (FPGA/Fa)                 | 25  |
| Tabel 3.13 Besar Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (Fv)            | 26  |
| Tabel 3.14 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Bangunan Bawah                    | 28  |
| Tabel 3.15 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Hubungan Antar Elemen<br>Struktur | 28  |
| Tabel 3.16 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit                  | 29  |
| Tabel 3.17 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit Beton            | 30  |
| Tabel 3.18 Tabel Kombinasi beban dan faktor beban                               | 33  |
| Tabel 3.19 Tabel Parameter Pengaruh Pelat Beton Komposit Dengan Dek Baja        | 41  |
| Tabel 3.20 Perbandingan Maksimum Lebar terhadap Tebal untuk Elemen<br>Tertekan  | 49  |
| Tabel 3.21 Tipe Baut Menurut Ukurannya                                          | 52  |
| Tabel 3.22 Tipe Baut Menurut Kekuatan Nominalnya                                | 52  |
| Tabel 3.23 Faktor Amplifikasi Untuk PGA Dan 0,2 Detik (FPGA/Fa)                 | 123 |
| Tabel 3.24 Besar Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (Fv)            | 123 |
| Tabel 4.1 Data Rencana Desain Jembatan                                          | 61  |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Merata Kerja Pelat Lantai              | 74  |
| Tabel 5.2 Rekapitulasi Momen Ultimit pada Pelat                     | 80  |
| Tabel 5.3 Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai                        | 87  |
| Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Merata Kerja Pelat Lantai Kendaraan    | 91  |
| Tabel 5.5 Rekapitulasi Beban Terpusat Kerja Pelat Lantai Kendaraan  | 92  |
| Tabel 5.6 Rekapitulasi Beban Pada Gelagar Melintang                 | 101 |
| Tabel 5.7 Analisis Kelas Situs Pada BM-1                            | 117 |
| Tabel 5.8 Analisis Kelas Situs Pada BM-5                            | 118 |
| Tabel 5.9 Respons Spektrum                                          | 124 |
| Tabel 5.10 Berat Struktur Rangka Baja                               | 126 |
| Tabel 5.11 Berat Mati pada Pelat Lantai Kendaraan                   | 127 |
| Tabel 5.12 Data Dimensi Abutment                                    | 128 |
| Tabel 5.13 Rekap Gaya Batang Rangka Atas                            | 141 |
| Tabel 5.14 Rekap Gaya Batang Rangka Bawah                           | 141 |
| Tabel 5.15 Rekap Gaya Batang Rangka Diagonal                        | 142 |
| Tabel 5.16 Rekap Gaya Batang Ikatan Angin Atas Tengah               | 142 |
| Tabel 5.17 Rekap Gaya Batang Ikatan Angin Atas Ujung                | 143 |
| Tabel 5.18 Rekapitulasi Kapasitas Penampang                         | 162 |
| Tabel 5.19 Rekapitulasi Kekuatan Sambungan pada Setiap Jenis Batang | 190 |
| Tabel 5.20 Rekapitulasi Jumlah Sambungan Baut                       | 190 |
| Tabel 5.21 Rekapitulasi Lendutan dan <i>Camber</i>                  | 196 |

## ABSTRAK

Jembatan Butuh dibangun sebagai akses penghubung antara Desa Pilang dan Desa Gedongan. Jembatan ini membentang diatas Sungai Bengawan Solo, tepatnya di Kecamatan Plupuh, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah. Jembatan ini direncanakan dibangun dengan menggunakan struktur atas rangka baja tipe *warren* dengan total panjang 150 m dan terbagi dalam 3 bentang dengan panjang setiap bentang 50 m sehingga jembatan ini memiliki 2 pilar ditegahnya.

Dasar yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini merujuk pada peraturan dalam perencanaan beton dan baja yaitu SNI 1729 (2020), RSNI T-03 (2005), dan RSNI T-12 (2004). Sedangkan dalam pembebanan menggunakan SNI 1725 (2016) dan SNI 2833 (2016). Untuk analisis struktur rangka jembatan menggunakan bantuan *Microsoft Excel* dan *software* SAP2000 V26 dalam analisis kekuatan struktur rangka.

Hasil yang didapatkan dalam perencanaan jembatan ini yaitu, pelat lantai memiliki tebal 0,25 m. Gelagar memanjang menggunakan IWF 300x150x6,5x9 dan gelagar melintang menggunakan IWF 700x300x14x25. Rangka utama batang atas menggunakan IWF 500x500x32x32. Rangka utama batang bawah menggunakan IWF 500x500x32x32. Rangka utama batang diagonal menggunakan IWF 500x500x19x32. Ikatan angin tengah menggunakan IWF 250x175x8x12. Ikatan angin ujung menggunakan IWF 350x300x12x9. Sambungan menggunakan baut mutu A490 dan A325.

**Kata kunci :** Jembatan, Rangka, Baja, *Warren*, *SAP2000*

## ***ABSTRACT***

*The Butuh Bridge was constructed as a connecting access between Pilang Village and Gedongan Village. This bridge spans the Bengawan Solo River, located in Plupuh District, Sragen Regency, Central Java Province. The bridge was planned to be constructed using a Warren-type steel truss superstructure with a total length of 150 m, divided into three spans of 50 m each, so that the bridge has two intermediate pillar in the middle.*

*The basis used in the planning of this bridge refers to regulations for concrete and steel design, namely SNI 1729 (2020), RSNI T-03 (2005), and RSNI T-12 (2004). Meanwhile, the loading design uses SNI 1725 (2016) and SNI 2833 (2016). Structural analysis of the bridge truss was carried out with the assistance of Microsoft Excel and SAP2000 V26 software to analyze the structural strength.*

*The results obtained from the bridge design are as follows: the deck slab has a thickness of 0,25 m. The steel profile that used on the stringer is IWF 300x150x6,5x9, the steel profile that used on the cross girder is IWF 800x300x14x26. The upper main truss is IWF 500×500×32×32, the steel profile that used on the bottom main truss is IWF 500x500x32x32, the steel profile that used on the diagonal main truss is IWF 500x500x19x32. the steel profile that used on the middle bracing is IWF 250×175×8×12, the steel profile that used on the end bracing is IWF 350×300×12×9. The connections use A490 and A325 grade bolts.*

**Keyword :** Bridge, Truss, Steel, Warren, SAP2000

# **BAB I**

## **PENDAHULAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kabupaten Sragen merupakan salah satu kabupaten yang terdapat di Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Sragen memiliki luas wilayah sebesar 941,55 km<sup>2</sup> yang terbagi dalam 20 kecamatan, 12 kelurahan, dan 196 desa. Kabupaten Sragen merupakan salah satu dari 35 kabupaten dan kota di provinsi Jawa Tengah yang memiliki potensi ekonomi yang tinggi.

Kabupaten Sragen tidak hanya kaya akan sumber daya alam dan sumber daya manusia, namun juga mempunyai potensi besar di bidang perdagangan, industri, dan pariwisata. Berkat letak geografisnya yang menguntungkan, Sragen menjadi tujuan investasi ideal dengan peluang pengembangan di bidang pertanian, perkebunan, peternakan, industri dan pariwisata. Untuk menjalankan mobilitas dibutuhkan sarana dan prasarana yang memadai berupa infrastruktur transportasi salah satunya jembatan.

Jembatan merupakan konstruksi yang menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh rintangan, seperti lembah, sungai, laut, jalan kereta api, jalan raya, dan sebagainya, sehingga dapat mempercepat jarak tempuh dari suatu tempat ke tempat yang lainnya. Jembatan menjadi Infrastruktur yang krusial untuk menunjang aktivitas masyarakat dan juga membantu meningkatkan ekonomi pada suatu daerah.

Jembatan Butuh merupakan jembatan yang menghubungkan Desa Pilang di Kecamatan Masaran dan Desa Gedongan di Kecamatan Plupuh dan melintasi Sungai Bengawan Solo. Untuk meningkatkan aksesibilitas masyarakat maka direncanakan untuk membangun Jembatan Butuh dengan menggunakan desain jembatan rangka baja dengan tipe konfigurasi yang akan digunakan yaitu tipe *warren*, yang mana tipe jembatan tersebut akan digunakan dalam penelitian ini. Jembatan rangka baja tipe *warren* ini umum digunakan di dunia dengan

menggunakan metode Load Resistance and Factor Design (LRFD) dan memanfaatkan perangkat lunak SAP2000. Adapun kelebihan dari jembatan rangka baja tipe *warren* adalah memiliki sistem rangka membagi beban ke batang-batang tarik dan tekan, sehingga semua beban dapat disalurkan secara merata ke seluruh rangka. Pada lokasi penelitian jembatan rangka tipe *warren* memungkinkannya membentang di atas sungai dengan bentang menengah hingga panjang tanpa perlu banyak pilar di dalam air.



**Gambar 1.1 Lokasi Jembatan Butuh Sragen**

(Sumber: *Google Earth*)

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil desain pelat jembatan baja yang aman menahan beban rencana?
2. Bagaimana hasil desain dan pemilihan profil baja yang aman menahan beban rencana pada struktur atas jembatan?
3. Bagaimana hasil desain pada sambungan struktur atas jembatan yang aman menahan beban rencana?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Untuk mendapat hasil desain pelat jembatan baja yang aman menahan beban rencana.
2. Untuk mendapat hasil desain dan pemilihan profil baja yang aman menahan beban rencana pada struktur atas jembatan.
3. Untuk mendapat hasil desain pada sambungan struktur atas jembatan yang aman menahan beban rencana.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari pengerjaan tugas akhir adalah sebagai berikut.

1. Bagi penulis, diharapkan dapat menambah pengetahuan penulis terkait perencanaan perencanaan struktur atas jembatan rangka baja dengan tipe *warren*.
2. Bagi pembaca secara umum, diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran dan dapat menambah wawasan terkait perencanaan jembatan rangka baja dengan tipe *warren*.

### 1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Struktur jembatan yang akan direncanakan mencakup struktur atas.
2. Struktur atas yang akan digunakan pada perencanaan ini adalah rangka baja dengan tipe *warren* dengan pelat lantai menggunakan beton bertulang.
3. Perhitungan pembebanan jembatan menggunakan pedoman SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.
4. Perhitungan beban gempa menggunakan pedoman SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
5. Perhitungan struktur pada struktur atas jembatan menggunakan pedoman RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.
6. Perhitungan struktur beton jembatan menggunakan pedoman RSNI T-12-2004 tentang Perancangan Struktur Beton Jembatan.
7. Kondisi jembatan yang ditentukan sebagai desain sebagai berikut:

- a. Tipe jembatan : Rangka baja tipe *warren*
  - b. Jumlah total jembatan : 150 m
  - c. Panjang satu bentang : 50 m
  - d. Lebar jembatan : 7,72 m
  - e. Lebar perkerasan jalan : 6 m
  - f. Jumlah pilar : 2 buah
  - g. Jumlah abutment : 2 buah
- 8. Analisis beban gempa yang dilakukan mengabaikan akibat sesar aktif yang ada dilokasi.
  - 9. Analisis struktur atas jembatan menggunakan bantuan *software* SAP2000.
  - 10. Perencanaan ini tidak meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Studi pustaka merupakan proses utama dalam mengumpulkan data dalam bentuk buku, jurnal, makalah, maupun peraturan-peraturan yang berkaitan dengan proses penelitian. Sebelumnya sudah banyak penelitian terkait desain jembatan yang telah dilakukan, sehingga dapat menjadi referensi penulis dalam proses penelitian desain jembatan. Kualitas dari suatu studi pustaka juga berpengaruh dalam kualitas penelitian yang dibuat. Pada bab ini akan membahas beberapa penelitian terdahulu terkait perancangan jembatan.

##### **2.1.1 Perancangan Jembatan dengan Rangka Baja Tipe *Pratt***

Penelitian ini pernah dilakukan oleh Dwi (2020). Dalam penelitian berjudul “Re-Design Jembatan Nambangan Bantul Menggunakan Rangka Baja Type Pratt”. Pada penelitian ini desain awal jembatan I *girder* prategang lalu jembatan di redesain menggunakan struktur rangka baja tipe *pratt* dengan panjang 150 m dengan 2 bentang yang masing-masing sepanjang 70 m. Jembatan ini didesain menggunakan 2 abutment dan 1 buah pilar yang terletak di tengah bentang. Beberapa peraturan yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 2833-2008 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan, RSNI T- 02-2005 tentang Standar Pembebanan untuk Jembatan, dan RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Jembatan. Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada perencanaan struktur atas diperoleh pagar pembatas jembatan atau *railing* menggunakan profil baja HSS3x0,25, trotoar dengan tulangan pokok P16-170 dan tulangan susut P10-150, pelat lantai menggunakan *steel deck*, gelagar memanjang menggunakan profil baja IWF 12x305, gelagar melintang menggunakan profil baja IWF 30x326, rangka utama menggunakan profil baja IWF 33x318, dan sambungan

baut menggunakan profil baja A325x1,5''. Untuk struktur bawah abutment direncanakan menggunakan fondasi *bored pile*, dengan diameter 1,2 m sedalam 20,25 m, lalu pada pilar juga menggunakan fondasi *bored pile*, dengan diameter 1,5 m sedalam 12,65 m.

### **2.1.2 Perancangan Jembatan dengan Rangka Baja Tipe *Warren Truss* 84 M**

Penelitian ini pernah dilakukan oleh Fakhri (2022). Dalam penelitian “Perancangan Jembatan Kiringan Dengan Gelagar Baja Berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016”. Pada penelitian menggunakan struktur rangka baja tipe warren sepanjang 84 m dan lebar jembatan 8 m. Beberapa peraturan yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. Berdasarkan penelitian tersebut, struktur yang ditinjau mencakup struktur atas dan struktur bawah jembatan. Pada perencanaan struktur atas diperoleh tebal pelat lantai 250 mm, gelagar memanjang menggunakan material baja profil IWF 300x150x6,5x9, gelagar melintang menggunakan profil baja IWF 800x300x14x26, dan rangka utama menggunakan profil baja IWF 500x500x19x32. Untuk struktur direncanakan menggunakan abutment menggunakan tipe T terbalik dengan dimensi *breast wall* 1,2 m x 11 m dan tinggi 8,5 m, *pile cap* dengan dimensi 7,8 m x 12,6 m x 1,5 dan pondasi tiang pancang dengan diameter 0,8 m sedalam 18 m sebanyak 15 buah.

### **2.1.3 Perancangan Jembatan dengan Rangka Baja Tipe *Warren Truss* 65 M**

Penelitian ini pernah dilakukan oleh Ibnu (2023). Dalam penelitian “Redesign Struktur Jembatan Kabupaten Magelang Menggunakan Baja Tipe Warren Truss”. Pada penelitian menggunakan struktur rangka baja tipe warren sepanjang 65 m dan lebar jembatan 11 m. Beberapa peraturan yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu SNI 1725-2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan, yaitu SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Dan RSNI T-03-2005 tentang Struktur Baja untuk Jembatan. Berdasarkan penelitian tersebut, struktur yang ditinjau hanya mencakup struktur atas jembatan. Pada perencanaan struktur

atas diperoleh gelagar memanjang menggunakan profil baja IWF 36X720, gelagar melintang menggunakan profil baja IWF 16x45, batang diagonal menggunakan profil baja IWF 33x468, batang tepi atas (*top chord*) menggunakan IWF 30x191, batang tepi bawah (*bottom chord*) menggunakan profil baja IWF 33x619, dan ikatan angin atas (*top bracing*) menggunakan profil baja IWF 12x40. Lalu pada pelat lantai kendaraan didapatkan, tebal aspal 0,05 m, berat jenis aspal  $22 \text{ kN/m}^3$ , tebal pelat baja 0,0075 m, beban mati pada pelat baja  $0,59 \text{ kN/m}^3$ .

#### 2.1.4 Perancangan Jembatan dengan Pelengkung Baja

Penelitian ini pernah dilakukan oleh Sariyandri (2023). Dalam penelitian berjudul “Redesain Struktur Atas Jembatan Wae Longge Menggunakan Sistem Jembatan Pelengkung Baja”. Pada penelitian menggunakan struktur jembatan komposit dengan struktur gelagar baja dengan panjang 84 m dan lebar jembatan 8 m. Jembatan ini didesain menggunakan 2 abutment dan 2 buah pilar. Beberapa peraturan yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan, SNI 1725:2016 tentang Peraturan Standar Pembebanan Jembatan dan SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada perencanaan struktur atas diperoleh gelagar memanjang menggunakan IWF 300x200x9x14, gelagar melintang menggunakan IWF 900x300x18x34, balok *tie beam* menggunakan Box 1200x600x40x40, kabel penggantung menggunakan *Macalloy* 520, Ø72 mm, balok pelengkung menggunakan Box 1300x600x40x40, balok pengaku menggunakan IWF 350x350x12x19.

## 2.2 Keabsahan Penelitian

Penelitian ini mengambil topik tentang perancangan struktur atas jembatan menggunakan tipe jembatan rangka baja tipe *warren* dengan total panjang 150 m yang dibagi menjadi 3 bentang dengan panjang setiap bentang 50 m berdasarkan peraturan SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban

Gempa, RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, RSNI T-12-2004 tentang Perancangan Struktur Beton Jembatan.

2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa kesamaan namun juga ada perbedaan pada penelitian ini. Adapun perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

| Aspek          | Penelitian Terdahulu                                                   |                                                                                               |                                                                                  |                                                                                        | Penelitian yang Akan Dilakukan                                                            |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nama Peneliti  | Dwi Aneka Kartini<br>(2020)                                            | Fakhri Pratama Nurfauzi<br>(2022)                                                             | Ibnu Yahya<br>(2023)                                                             | Sariyandri<br>(2023)                                                                   | Clarizsa Ayu Maharani<br>(2026)                                                           |
| Judul          | Re-Desain Jembatan Nambangan Bantul Menggunakan Rangka Baja Type Pratt | Perancangan Jembatan Rangka Baja Tipe Warren Bentang 80 M (Studi Kasus: Jembatan Gembryangan) | Redesign Struktur Jembatan Kabupaten Magelang Menggunakan Baja Tipe Warren Truss | Redesain Struktur Atas Jembatan Wae Longge menggunakan Sistem Jembatan Pelengkung Baja | Redesain Struktur Atas Jembatan Butuh Sragen Menggunakan Struktur Rangka Baja Tipe Warren |
| Jenis Jembatan | Rangka Baja Tipe Pratt                                                 | Rangka Baja Tipe Warren                                                                       | Rangka Baja Tipe Warren                                                          | Pelengkung Baja                                                                        | Rangka Baja Tipe Warren                                                                   |
| Desain         | Struktur atas-bawah                                                    | Struktur atas-bawah                                                                           | Struktur atas                                                                    | Struktur atas                                                                          | Struktur atas                                                                             |

**Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang**

| <b>Profil Gelagar</b> | Profil baja IWF                                              | Profil baja IWF                                              | Profil baja IWF                             | Profil baja IWF                               | Profil baja IWF                                                             |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bentang</b>        | 140 m                                                        | 80 m                                                         | 65 m                                        | 82 m                                          | 150 m                                                                       |
| <b>Lebar</b>          | 7 m                                                          | 9,69 m                                                       | 11 m                                        | 9 m                                           | 7,72 m                                                                      |
| <b>Peraturan</b>      | SNI 2833-2008, SNI 2847-2013, RSNI T-12,2004, RSNI T-02-2005 | SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, RSNI T 03-2005, RSNI T 12-2004 | SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, SNI T-03-2005 | RSNI T-02-2005, RSNI T-03-2005, SNI 2833-2016 | SNI 1729-2020, SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, RSNI T 03-2005, RSNI T 12-2004 |

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Material Baja**

Baja merupakan campuran besi, karbon, dan logam lainnya dengan bahan campuran lainnya. Material baja sangat umum digunakan dalam struktur karena memiliki tingkat kekakuan yang tinggi. Fakhri (2022) menyatakan sifat material baja kuat menahan tegangan tarik tetapi lemah menahan gaya tekan. Baja kuat menahan gaya tarik dan lemah menahan gaya tekan, jika baja diberi gaya tekan yang berlebih maka dapat terjadi puntir. Tri dan Erlina (2019) menyatakan adapun kelebihan material baja dalam penggunaannya adalah sebagai berikut.

1. Memiliki berat (*self weight*) sendiri yang kecil sehingga baja menjadi ringan
2. Memiliki kekuatan yang tinggi dan mudah dalam penyambungan dan pemasangan.
3. Mengikuti hukum Hooke, dimana saat mencapai tegangan yang cukup tinggi, modulus elastis dari konstruksi baja dapat dihitung dengan tepat.
4. Mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang besar sebelum mencapai keruntuhan. Bila dibebani secara berlebih akan mengalami pengurangan luas penampang dan terjadi defleksi besar yang menjadi tanda bahaya sebelum keruntuhan.
5. Mutu bahannya lebih homogen dan konsisten karena pembuatannya melalui proses pabrikasi.

Selain itu material baja juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya.

1. Biaya pemeliharannya besar karena harus dilakukan pengecatan secara berkala atau *galvanizing* dapat mengantisipasi karat pada baja akibat pemakaian luar ruangan.
2. Jika baja terkena temperatur yang tinggi akan mereduksi kekuatan baja secara drastis. Baja juga bersifat konduktor sehingga perlu dilengkapi dengan *fire proofing*.

3. Bahaya leleh (*fatigue*) jika baja menerima tegangan berulang seperti beban gempa maupun beban bergerak kendaraan. Baja akan mengalami retak mikroskopis yang jika semakin meluas dapat menyebabkan kegagalan struktur.

Peran baja dalam konstruksi berdasarkan sifat mekanis baja struktural dalam RSNI T-03-2005, dalam perencanaannya harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan sesuai dengan Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Sifat Mekanis Baja Struktural**

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

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

1. Modulus elastis (E) = 200.000 MPa
2. Modulus Geser (G) = 80.000 MPa
3. Angka *poisson* ( $\mu$ ) = 0,30
4. Koefisien pemuaian ( $\alpha$ ) =  $12 \times 10^{-6}$  per °C

### 3.2 Material Beton

Beton merupakan bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland, air, dan bahan tambahan (*admixture*). Sifat utama beton adalah kuat menahan kuat tekan yang tinggi tetapi lemah menahan gaya tarik. Kekuatan beton tergantung dari beberapa faktor seperti proporsi campuran, kondisi temperatur, dan kelembaban pada lokasi beton mengeras.

Semakin bertambahnya umur, beton akan semakin mengeras dan pada usia 28 hari akan mencapai umur kekuatan rencana ( $f'_c$ ). Bertambahnya kekuatan beton juga dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama *curing*.

### 3.3 Klasifikasi Kelas Jembatan

Pada peraturan Bina Marga, jembatan di klarifikasikan menjadi 3 kelas berdasarkan lebar jembatan dan beban lalu lintas BM. Klasifikasi jembatan menurut kelasnya sebagai berikut.

a. Jembatan Permanen Kelas A

Jembatan pemanen dengan lebar total 9 m yang terdiri dari badan jalan selebar 6 m dan lebar trotoar 1 m pada bagian kanan dan kirinya. Jembatan menggunakan beban lalu lintas BM – 100.

b. Jembatan Permanen Kelas B

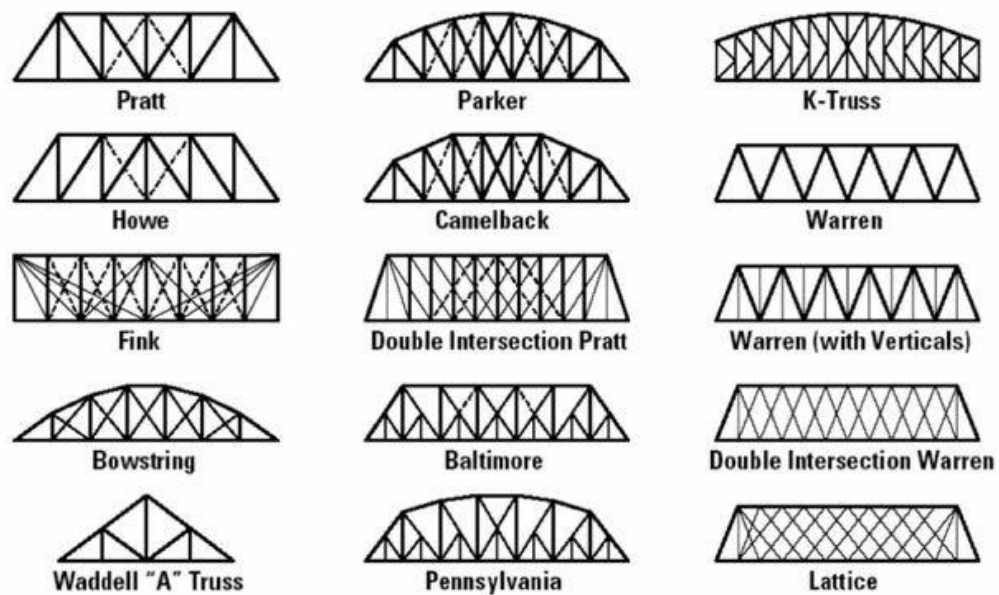
Jembatan pemanen dengan lebar total 7 m yang terdiri dari badan jalan selebar 6 m dan lebar trotoar 0,5 m pada bagian kanan dan kirinya. Jembatan menggunakan beban lalu lintas BM – 100.

c. Jembatan Permanen Kelas C

Jembatan pemanen dengan lebar total 4,5 m yang terdiri dari badan jalan selebar 3,5 m dan lebar trotoar 0,5 m pada bagian kanan dan kirinya. Jembatan menggunakan beban lalu lintas BM – 70.

### 3.4 Tipe-tipe Jembatan Rangka Baja

Jenis jembatan berdasarkan strukturnya meliputi jembatan kayu, jembatan busur, jembatan balok, jembatan rangka, dan jembatan gantung. Jembatan rangka baja adalah jembatan yang struktur utamanya berupa rangka yang terdiri dari batang-batang baja yang saling terhubung pada setiap ujungnya sehingga berbentuk seperti segitiga, dimana setiap segitiga dalam rangka baja menyalurkan gaya tarik dan gaya tekan melalui batang-batangnya.



**Gambar 3.1 Tipe Jembatan Rangka**

(Sumber: aretestructures.com)

### 3.5 Tipe Jembatan Warren

Jembatan tipe *warren* merupakan salah satu tipe jembatan yang dipatenkan oleh insinyur dari Inggris, James Warren pada tahun 1848. Jembatan tipe ini memiliki konstruksi berbentuk segitiga sama sisi, sehingga jembatan lebih stabil dan tidak mudah mengalami perubahan bentuk saat diberi beban. Jembatan tipe warren populer digunakan diberbagai negara termasuk Indonesia.

### 3.6 Pembebanan Jembatan Berdasarkan SNI 1725-2016

Pada proses perencana jembatan, pembebanan jembatan merupakan faktor penting yang harus diperhitungkan. Hal ini diperlukan untuk mengetahui dan memastikan bahwa bangunan memiliki kekuatan dan stabilitas yang cukup untuk menahan beban-beban yang diterima. Berdasarkan hasil analisis pembebanan maka dapat menentukan material dan dimensi yang tepat sehingga perencanaan lebih efisien.

### 3.6.1 Beban Mati

Beban mati atau *dead load* merupakan berat permanen pada struktur itu sendiri, yang relatif konstan saat diam. Beban mati juga termasuk komponen non-struktural yang bersifat permanen. Beban mati dihitung berdasarkan dimensi pada desain dan berat jenis bahan yang akan digunakan, lalu berat bagian-bagian tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi ( $g$ ). Berdasarkan standar yang digunakan percepatan gravitasi adalah  $9,81 \text{ m/detik}^2$ . Besarnya kerapatan massa dan berat isi bahan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.2 Berat Isi Untuk Beban Mati**

| No. | Bahan                                                                        | Berat Isi<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | Kerapatan<br>Massa<br>( $\text{kg/m}^3$ ) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| 1   | Lapisan Lapisan permukaan beraspal<br>( <i>bituminous wearing surfaces</i> ) | 22,0                             | 2245                                      |
| 2   | Besi tuang ( <i>cast iron</i> )                                              | 71,0                             | 7240                                      |
| 3   | Timbunan tanah dipadatkan<br>( <i>compacted sand, silt or clay</i> )         | 17,2                             | 1755                                      |
| 4   | Kerikil dipadatkan ( <i>roller gravel</i> )                                  | 18,8-22,7                        | 1920-2315                                 |
| 5   | Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )                                      | 22,0                             | 2245                                      |
| 6   | Beton ringan ( <i>low density</i> )                                          | 12,25-19,6                       | 1250-2000                                 |
| 7   | Beton $f'_c < 35 \text{ MPa}$                                                | 22,0-25,0                        | 2320                                      |
|     | $35 < f'_c < 105 \text{ MPa}$                                                | $22 + 0,022 f'_c$                | $2240 + 2,29 f'_c$                        |
| 8   | Baja ( <i>steel</i> )                                                        | 78,5                             | 7850                                      |
| 9   | Kayu (ringan)                                                                | 7,8                              | 800                                       |
| 10  | Kayu keras ( <i>hard wood</i> )                                              | 11,0                             | 1125                                      |

(Sumber: SNI 1725-2016)

#### 1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri merupakan berat pada bagian struktur tersebut dan komponen lainnya yang dipikul oleh jembatan itu sendiri. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.3 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri**

| Tipe beban | Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )          |      |                                           |            |
|------------|-----------------------------------------|------|-------------------------------------------|------------|
|            | Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ ) |      | Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ ) |            |
|            | Bahan                                   |      | Biasa                                     | Terkurangi |
| Tetap      | Baja                                    | 1,00 | 1,10                                      | 0,90       |
|            | Aluminium                               | 1,00 | 1,10                                      | 0,90       |
|            | Beton pracetak                          | 1,00 | 1,20                                      | 0,85       |
|            | Beton dicor di tempat                   | 1,00 | 1,30                                      | 0,75       |
|            | Kayu                                    | 1,00 | 1,40                                      | 0,70       |

(Sumber: SNI 1725-2016)

## 2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan beban seluruh yang besarnya dapat berubah seiring bertambahnya usia jembatan. Berikut merupakan tabel nilai faktor beban mati tambahan berdasarkan keadaanya.

**Tabel 3. 4 Faktor Beban Mati Tambahan**

| Tipe Beban | Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )          |                     |                                           |            |
|------------|-----------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|------------|
|            | Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ ) |                     | Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ ) |            |
|            | Keadaan                                 |                     | Biasa                                     | Terkurangi |
| Tetap      | Umum                                    | 1,00 <sup>(1)</sup> | 2,00                                      | 0,70       |
|            | Khusus (terawasi)                       | 1,00                | 1,40                                      | 0,80       |

Catatan (1): Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

(Sumber: SNI 1725-2016)

### 3.6.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas pada jembatan merupakan beban yang terdiri dari 2 beban, pertama, beban lajur “D”, yang bekerja merata pada seluruh luas jalur lalu lintas sehingga pergerakan kendaraan yang lewat dapat mempengaruhi struktur jembatan. Kedua beban truk “T”, yang merupakan acuan kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi di dalam lajur lalu lintas untuk mendapatkan momen maksimum dari pengaruh kendaraan berat.

1. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur atau “D” terdiri atas 2 beban yaitu beban terbagi rata (BTR) serta beban garis (BGT). Adapun faktor beban lajur “D” yang digunakan terdapat pada tabel berikut.

**Tabel 3.5 Faktor Beban Lajur “D”**

| Tipe beban | Jembatan        | Faktor Beban                            |                                           |
|------------|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
|            |                 | Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TD}^S$ ) | Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TD}^U$ ) |
| Transien   | Beton           | 1,00                                    | 1,80                                      |
|            | Box Girder Baja | 1,00                                    | 2,00                                      |

(Sumber: SNI 1725-2016)

Pada beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  sebagai berikut.

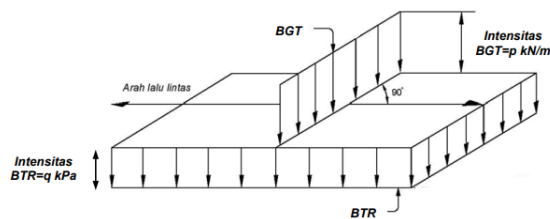
Jika  $L \leq 30$  m :  $q = 9,0$  kPa

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

Keterangan :

$q$  = Intensitas beban terbagi rata (BTR) arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)



**Gambar 3.2 Beban Lajur “D”**

(Sumber: SNI 1725-2016)

Beban garis terpusat (BGT) besar intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m dan untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus beban garis terpusat yang identik harus dalam posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

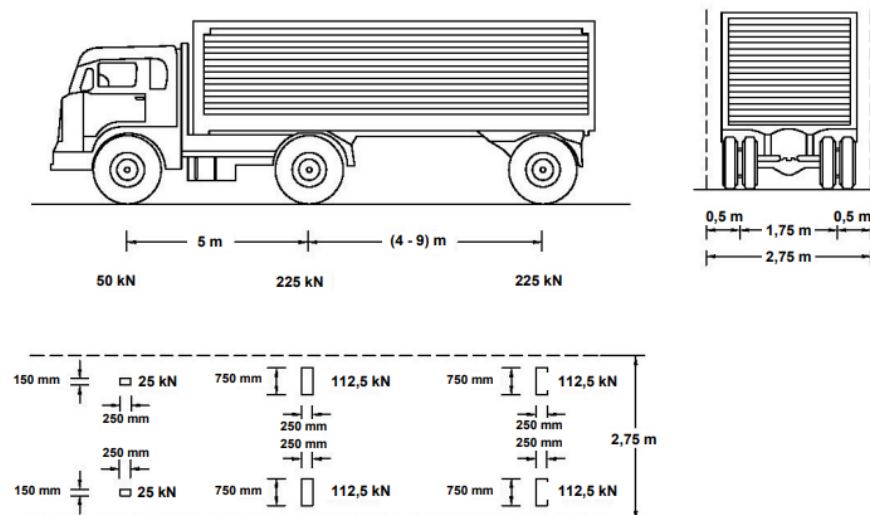
2. Beban Truk (TT)

Beban truk merupakan beban yang digunakan untuk perhitungan struktur lantai pada jembatan. Beban truk tidak bekerja secara bersamaan dengan beban lajur “D”. Faktor untuk beban truk dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

**Tabel 3.6 Faktor Beban Truk “TT”**

| Jembatan        | Faktor Beban |           |
|-----------------|--------------|-----------|
|                 | $K^{STD}$    | $K^{UTD}$ |
| Beton           | 1,0          | 1,8       |
| Box Girder Baja | 1,0          | 2,0       |

(Sumber: SNI 1725-2016)



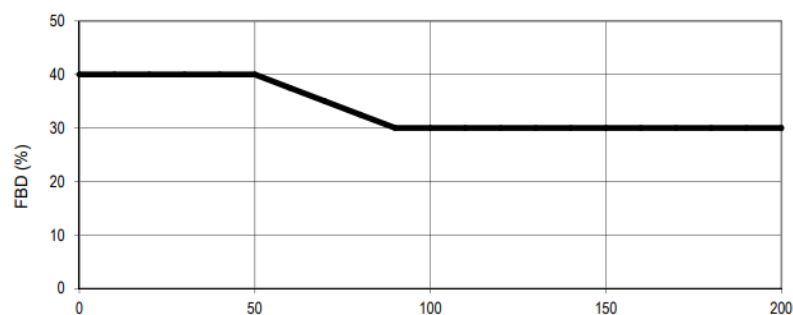
**Gambar 3.3 Gambar Pembebanan Truk “T” (500 kN)**

(Sumber: SNI 1725-2016)

Pada Gambar 3.2 Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar, dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata, yaitu bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai yang sama besar. Untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan jarak antara 2 gandar tersebut dapat berubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m.

### 3. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis dihasilkan dari interaksi antara kendaraan bergerak dengan jembatan. Faktor beban dinamis dipengaruhi oleh suspensi kendaraan yang biasanya diantara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Diambil 30% dari FBD untuk pembebanan truk "T". Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan dibawah permukaan tanah seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD tidak diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan untuk kedalaman 2 m jangan kurang dari 10%.



**Gambar 3.4 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Untuk Pembebanan Lajur "D"**

(Sumber: SNI 1725-2016)

4. Beban Rem (*TB*)

Beban rem diasumsikan secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas jalan pada masing-masing arah longitudinal yang paling menentukan. Gaya rem diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR. Untuk jembatan yang akan dirubah menjadi jalan satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

5. Beban Pejalan Kaki (*TP*)

Seluruh komponen trotoar yang lebih 600 mm harus direncanakan untuk dapat menahan beban pejalan kaki sebesar 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan di masing-masing lajur jalan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan.

### 3.6.3 Beban Aksi Lingkungan

Berdasarkan pedoman SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, aksi lingkungan merupakan suatu beban yang timbul dari penyebab alami seperti temperatur, angin, aliran air, gempa, dan penyebab alami lainnya. Beban aksi lingkungan dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian faktor alami tersebut. Pada penelitian ini hanya memperhitungkan beban angin, temperatur, dan beban gempa.

1. Beban Angin Horizontal

Berdasarkan pedoman yang di gunakan, tekanan angin ditentukan berdasarkan asumsi kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10 m diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana ( $V_{DZ}$ ), dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \quad (3.1)$$

Keterangan:

$V_{DZ}$  = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana,  $Z$  (km/jam)

- $V_{10}$  = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)  
 $V_B$  = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm  
 $Z$  = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)  
 $V_o$  = Kecepatan gesekan angin (km/jam)  
 $Z_o$  = Panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

Pada  $V_{10}$  diperoleh dari grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang, survei angin yang dilakukan di lokasi jembatan, dan dapat diasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  hingga 126 km/jam. Berikut merupakan tabel untuk mendapat nilai  $V_o$  dan  $Z_o$ .

**Tabel 3.7 Nilai  $V_o$  Dan  $Z_o$  Permukaan Hulu Pada Berbagai Kondisi**

| Kondisi        | Lahan Terbuka | Sub Urban | Kota |
|----------------|---------------|-----------|------|
| $V_o$ (km/jam) | 13,2          | 17,6      | 19,3 |
| $Z_o$ (mm)     | 70            | 1000      | 2500 |

(Sumber: SNI 1725-2016)

2. Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

Beban angin pada struktur dapat direncanakan menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda pada bagian struktur yang tidak melibatkan beban angin yang bekerja pada kendaraan. Tekanan rencana angin dapat diketahui dari persamaan berikut.

$$P_D = P_D \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.2)$$

Keterangan:

$P_D$  = Tekanan angin rencana (MPa)

$P_B$  = Tekanan angin dasar (MPa)

Tekanan angin dasar ( $P_B$ ) dapat ditentukan dari tabel berikut ini.

**Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar ( $P_B$ )**

| <b>Komponen Bangunan<br/>Atas</b> | <b>Angin Tekan<br/>(MPa)</b> | <b>Angin Hisap<br/>(MPa)</b> |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Rangka, kolom, dan pelengkung     | 0,0024                       | 0,0012                       |
| Balok                             | 0,0024                       | N/A                          |
| Permukaan datar                   | 0,0019                       | N/A                          |

(Sumber: SNI 1725-2016)

Gaya total beban angin yang diambil tidak boleh kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

3. Gaya angin pada kendaraan ( $EW_I$ )

Jembatan yang direncanakan harus memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, tekanan angin harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Jika angin yang bekerja tidak tegak lurus terhadap struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil dalam tabel berikut.

**Tabel 3.9 Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan**

| <b>Sudut<br/>(°)</b> | <b>Komponen<br/>tegak lurus</b> | <b>Komponen<br/>sejajar</b> |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Derajat              | N/mm                            | N/mm                        |
| 0                    | 1,46                            | 0,00                        |
| 15                   | 1,28                            | 0,18                        |
| 30                   | 1,20                            | 0,35                        |
| 45                   | 0,98                            | 0,47                        |
| 60                   | 0,50                            | 0,55                        |

(Sumber: Sumber: SNI 1725-2016)

4. Tekanan angin vertikal

Gaya angin vertikal merupakan arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Jembatan yang direncanakan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan atau gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9.6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan dengan lebar jembatan, dari parapet hingga trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan.

5. Beban Temperatur

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur ( $\Delta T$ ) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut.

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\text{max design}} - T_{\text{min design}}) \quad (3.3)$$

Keterangan :

$L$  = panjang komponen jembatan (mm)

$\alpha$  = koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Berikut merupakan temperatur jembatan rata-rata nominal berdasarkan tipe bangunan atas.

**Tabel 3.10 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal**

| Tipe bangunan atas                                                                                                                                             | Temperatur jembatan rata-rata minimum<br>(1) | Temperatur jembatan rata-rata maksimum |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.                                                                                                                  | 15°C                                         | 40°C                                   |
| Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja                                                                                                            | 15°C                                         | 40°C                                   |
| Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.                                                                                                      | 15°C                                         | 40°C                                   |
| CATATAN (1): Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut. |                                              |                                        |

(Sumber: SNI 1725-2016)

**Tabel 3.11 Rata-rata akibat pengaruh temperatur berdasarkan sifat bahan**

| <b>Bahan</b>                                       | <b>Koefisien perpanjangan akibat suhu (<math>\alpha</math>)</b> | <b>Modulus Elastisitas (MPa)</b>       |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Baja                                               | $12 \times 10^{-6}$ per °C                                      | 200.000                                |
| Beton:<br>Kuat tekan <30 MPa<br>Kuat tekan >30 MPa | $10 \times 10^{-6}$ per °C<br>$11 \times 10^{-6}$ per °C        | $4700\sqrt{f_c'}$<br>$4700\sqrt{f_c'}$ |

(Sumber: SNI 1725-2016)

### 3.7 Pembebanan Gempa pada Jembatan Menurut SNI 2833-2016

Dampak dari gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan struktur bangunan sehingga dapat mengakibatkan korban, sehingga perencanaan jembatan terhadap beban gempa sangat penting dalam rangka perencanaan konstruksi jembatan. Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

#### 1. Beban Gempa ( $E_Q$ )

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon ( $R$ ) dengan formulasi sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (3.4)$$

Keterangan :

$E_Q$  = Gaya gempa horizontal statis (kN)

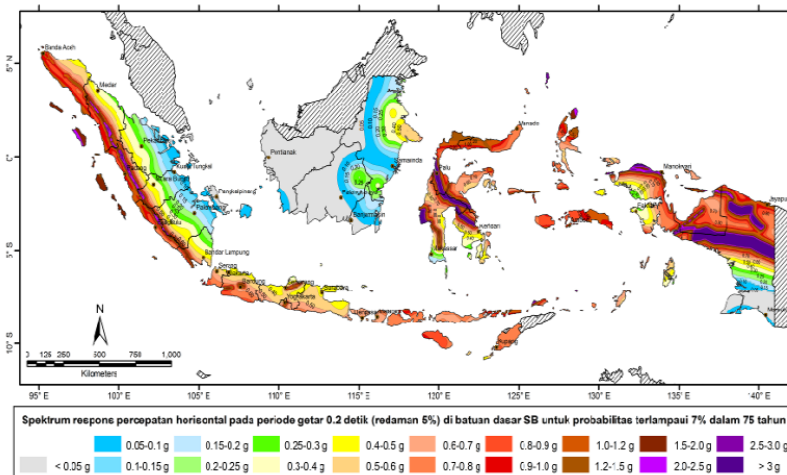
$C_{sm}$  = Koefisien respons elastik

$R$  = Faktor modifikasi respons

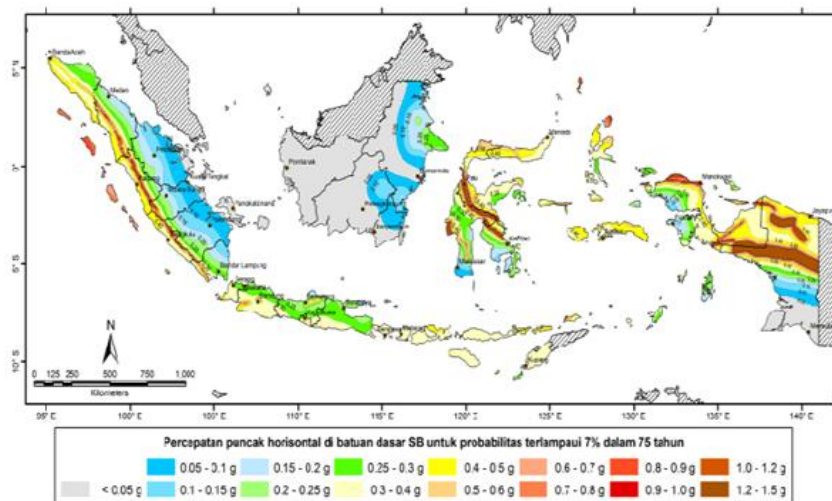
$W_t$  = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

Koefisien respon elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan disesuaikan dengan zona wilayah. Berikut merupakan Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8, peta percepatan puncak batuan

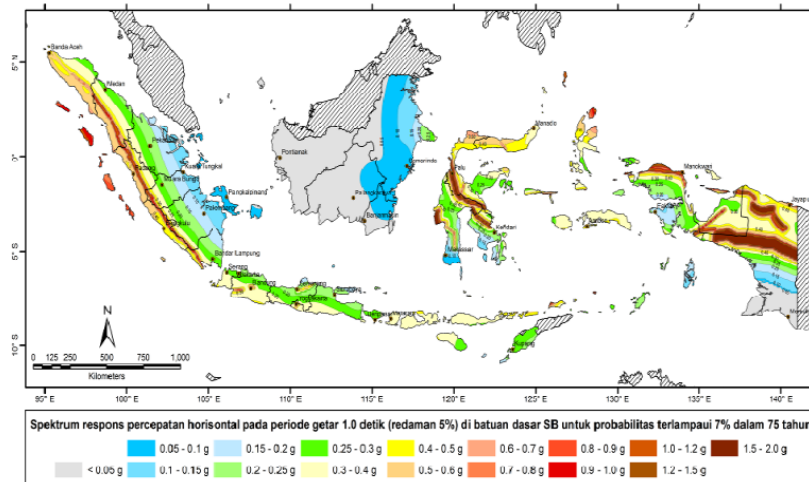
dasar (PGA) dan espons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik pada batuan dasar yang mewakili tingkat potensi bahaya gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.



**Gambar 3.5 Peta Percepatan Puncak Di Batuan Dasar (PGA) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun**  
(Sumber: SNI 2833-2016)



**Gambar 3.6 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun**  
(Sumber: SNI 2833-2016)



**Gambar 3.7 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun**  
(Sumber: SNI 2833-2016)

## 2. Faktor situs

Untuk menentukan respon spektra pada permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek atau  $T=0,2$  detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar ( $F_{PGA}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Faktor amplifikasi dan untuk PGA berdasarkan kelas situs permukaan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.12 dan Tabel 3.13 berikut ini.

**Tabel 3.12 Faktor Amplifikasi Untuk PGA Dan 0,2 Detik ( $F_{PGA}/F_a$ )**

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

(Sumber: SNI 2833-2016)

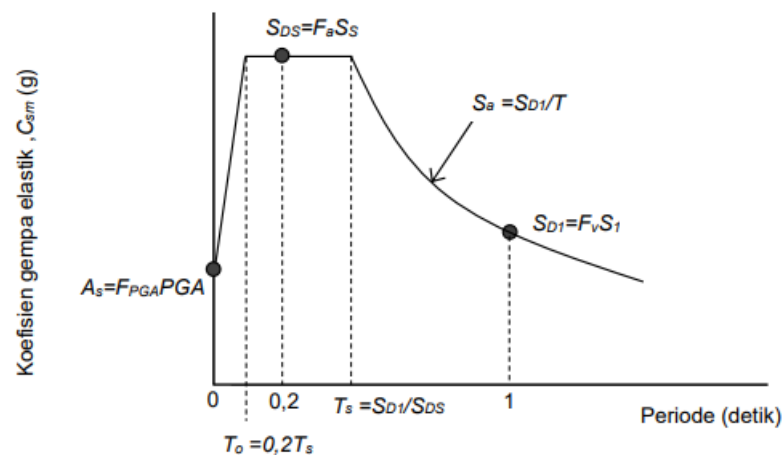
**Tabel 3.13 Besar Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik ( $F_v$ )**

| Kelas Situs       | $S_1 \leq 0,1$ | $S_1 = 0,2$ | $S_1 = 0,3$ | $S_1 = 0,4$ | $S_1 \geq 0,5$ |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Batuan Keras (SA) | 0,8            | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8            |
| Batuan (SB)       | 1,0            | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 1,0            |
| Tanah Keras (SC)  | 1,7            | 1,6         | 1,5         | 1,4         | 1,3            |
| Tanah Sedang (BD) | 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             |

(Sumber: SNI 2833-2016)

## 3. Respons spektra rencana

Respon spektra merupakan nilai dari gambaran respon maksimum dari sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami teredam akibat suatu goyangan tanah. Agar lebih praktis maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan seperti pada Gambar 3.8.

**Gambar 3.8 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah**

(Sumber: SNI 2833-2016)

Terdapat tiga nilai dalam menentukan respon spektra di permukaan tanah yang mengacu pada peta gempa di Indonesia yaitu PGA,  $S_s$ , dan  $S_1$ , serta nilai

amplifikasi  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$ . Adapun perumusan spektra adalah sebagai berikut.

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (3.5)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (3.6)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (3.7)$$

Keterangan:

- $A_s$  = Koefisien percepatan puncak muka tanah (g)
- $F_{PGA}$  = Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0 detik.
- $F_a$  = Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0,2 detik
- $F_v$  = Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1,0 detik
- $PGA$  = Percepatan puncak batuan dasar mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.
- $S_{DS}$  = Nilai spektra permukaan tanah pada periode 0,2 detik.
- $S_{D1}$  = Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik.
- $S_s$  = Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ( $T = 0.2$  detik)
- $S_1$  = parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 Detik

#### 4. Faktor modifikasi respons (R)

Faktor modifikasi respon digunakan untuk menghitung kuat butuh atau kuat rencana elemen struktur berdasarkan analisis elastis akibat perilaku daktail. Gaya gempa rencana pada bangunan bawah pada setiap elemen struktur ditentukan dengan membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon. Apabila dalam perencanaan digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor respon (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur. Adapun nilai faktor

modifikasi dapat dilihat pada tabel dan tabel berikut ini.

**Tabel 3.14 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Bangunan Bawah**

| Bangunan Bawah              | Katagori Kepentingan |         |         |
|-----------------------------|----------------------|---------|---------|
|                             | Sangat Penting       | Penting | Lainnya |
| Pilar tipe dinding          | 1,5                  | 1,5     | 2,0     |
| Tiang/kolom beton bertulang | 1,5                  | 2,0     | 3,0     |
| Tiang vertikal              | 1,5                  | 1,5     | 2,0     |
| Tiang miring                |                      |         |         |
| Kolom tunggal               | 1,5                  | 2,0     | 3,0     |
| Tiang baja dan komposit     |                      |         |         |
| Tiang vertikal              | 1,5                  | 3,5     | 5,0     |
| Tiang miring                | 1,5                  | 2,0     | 3,0     |
| Kolom majemuk               | 1,5                  | 3,5     | 5,0     |

(Sumber: SNI 2833-2016)

**Tabel 3.15 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Hubungan Antar Elemen Struktur**

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

(Sumber: SNI 2833-2016)

### 3.8 Konsep Perencanaan LRFD/DFBK

Metode *Load Resistance Factor Design* (LRFD) atau juga dikenal dengan sebutan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) merupakan suatu metode dalam perancangan struktur baja dan komponen struktural sehingga kekuatan

desain sama atau melebihi kekuatan perlu komponen akibat kombinasi beban. Desain struktur baja akan dikatakan aman apabila daya tahan dari struktur lebih besar dari beban yang harus dipikul struktur seperti pada persyaratan berikut.

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (3.8)$$

Dengan:

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan

$R_n$  = Kekuatan nominal

$\gamma_i$  = Faktor kelebihan beban

$Q$  = Beban (beban mati, beban hidup, beban angin)

### 3.9 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )

Berdasarkan pada peraturan RSNI T-03-2005, faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) diambil dari nilai-nilai pada Tabel berikut ini.

**Tabel 3.16 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit**

| Situasi rencana                                | Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ) |
|------------------------------------------------|------------------------------------|
| 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 dengan penetrasi penuh           | 0,90                               |
| 2. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian | 0,75                               |

(Sumber: RSNI T-03-2005)

**Tabel 3.17 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit Beton**

| Situasi rencana            | Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ) |
|----------------------------|------------------------------------|
| a. Lentur                  | 0,80                               |
| b. Geser dan Torsi         | 0,70                               |
| c. Aksial tekan            |                                    |
| 1. Tulangan spiral         | 0,70                               |
| 2. Tulangan sengkang biasa | 0,65                               |
| d. Tumpuan beton           | 0,70                               |

(Sumber: RSNI T-03-2005)

**3.10 Kombinasi Pembebanan**

Berdasarkan SNI 1725-2016 terdapat kategori kombinasi pembebanan pada perancangan struktur jembatan.

## 1. Kuat I

Kombinasi jembatan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

## 2. Kuat II

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

## 3. Kuat III

Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam

## 4. Kuat IV

Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

## 5. Kuat V

Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan

dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

6. Ekstrem I

Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\gamma$  EQ yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

7. Ekstrem II

Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.

8. Layan I

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

9. Layan II

Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

10. Layan III

Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik bagian badan dari jembatan beton segmental.

11. Layan IV

Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

12. Fatik

Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Diambil nilai yang menghasilkan nilai terbesar atau kondisi ekstrim maksimum dan minimum. Nantinya nilai tersebut akan digunakan dalam perencanaan desain jembatan yang akan dibuat. Faktor-faktor dalam penentuan nilai kombinasi pembebanan jembatan dapat dilihat pada Tabel 3.18 berikut ini.

Tabel 3.18 Tabel Kombinasi beban dan faktor beban

| Keadaan Batas     | MS<br>MA<br>TA<br>PR<br>PL<br>SH | TT<br>TD<br>TB<br>TR<br>TP | EU   | EW <sub>S</sub> | EW <sub>L</sub> | BF   | EU <sub>n</sub> | TG            | ES            | Gunakan salah satu |      |      |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|---------------|---------------|--------------------|------|------|
|                   |                                  |                            |      |                 |                 |      |                 |               |               | EQ                 | TC   | TV   |
| Kuat I            | $\gamma_p$                       | 1,8                        | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Kuat II           | $\gamma_p$                       | 1,4                        | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Kuat III          | $\gamma_p$                       | -                          | 1,00 | 1,40            | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Kuat IV           | $\gamma_p$                       | -                          | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | -             | -             | -                  | -    | -    |
| Kuat V            | $\gamma_p$                       | -                          | 1,00 | 0,40            | 1,00            | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Ekstrem I         | $\gamma_p$                       | $\gamma_{EQ}$              | 1,00 | -               | -               | 1,00 | -               | -             | -             | 1,00               | -    | -    |
| Ekstrem II        | $\gamma_p$                       | 0,50                       | 1,00 | -               | -               | 1,00 | -               | -             | -             | -                  | 1,00 | 1,00 |
| Daya layan I      | 1,00                             | 1,00                       | 1,00 | 0,30            | 1,00            | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Daya layan II     | 1,00                             | 1,30                       | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | -             | -             | -                  | -    | -    |
| Daya layan III    | 1,00                             | 0,80                       | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Daya layan IV     | 1,00                             | -                          | 1,00 | 0,7             | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | -             | 1,00          | -                  | -    | -    |
| Fatik (TD dan TR) | -                                | 0,75                       | -    | -               | -               | -    | -               | -             | -             | -                  | -    | -    |

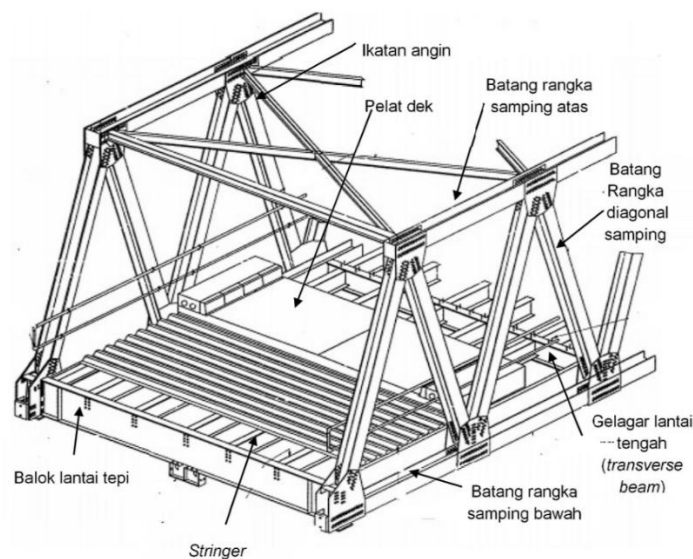
(Sumber: SNI 1725:2016)

Keterangan:

|     |                                                                                                                                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MS  | = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan                                                                                                                              |
| MA  | = beban mati perkerasan dan utilitas                                                                                                                                                      |
| TA  | = gaya horizontal akibat tekanan tanah                                                                                                                                                    |
| PL  | = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental |
| PR  | = gaya prategang                                                                                                                                                                          |
| SH  | = gaya akibat susut/rangkak                                                                                                                                                               |
| TB  | = gaya akibat rem                                                                                                                                                                         |
| TR  | = gaya sentrifugal                                                                                                                                                                        |
| TC  | = gaya akibat tumbukan kendaraan                                                                                                                                                          |
| TV  | = gaya akibat tumbukan kapal                                                                                                                                                              |
| EQ  | = gaya gempa                                                                                                                                                                              |
| EQ  | = gaya gempa                                                                                                                                                                              |
| TD  | = beban lajur "D"                                                                                                                                                                         |
| TT  | = beban truk "T"                                                                                                                                                                          |
| TP  | = beban pejalan kaki                                                                                                                                                                      |
| SE  | = beban akibat penurunan                                                                                                                                                                  |
| ET  | = gaya akibat temperatur gradien                                                                                                                                                          |
| EUn | = gaya akibat temperatur seragam                                                                                                                                                          |
| EF  | = gaya apung                                                                                                                                                                              |
| EWs | = beban angin pada struktur                                                                                                                                                               |
| EWL | = beban angin pada kendaraan                                                                                                                                                              |
| EU  | = beban arus dan hanyutan                                                                                                                                                                 |

### 3.11 Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Struktur atas pada jembatan memiliki beberapa elemen seperti struktur rangka baja, parapet, pelat lantai jembatan (*bridge deck*), balok melintang, balok memanjang, balok girder dan oprit landasan. Elemen-elemen tersebut memiliki peran dalam menopang beban lalu lintas, beban mati, dan beban angin. Beban yang terjadi pada struktur atas kemudian disalurkan menuju struktur bawah. Komponen-komponen pada jembatan rangka dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



**Gambar 3.9 Gambar Komponen-komponen Struktur Jembatan Rangka**

(Sumber: Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, 2021)

Beberapa hal pada struktur atas jembatan yang akan direncanakan sebagai berikut ini.

#### 3.11.1 Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan pada jembatan berfungsi untuk menahan beban lalu lintas, lapis perkerasan maupun berat pelat tersebut untuk diteruskan diteruskan ke struktur bawahnya. Lantai kendaraan bertumpu pada gelagar dan bebannya akan ditopang oleh gelagar untuk didistribusikan ke tiang dan abutment.

1. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Berdasarkan RSNI T-12-2004, pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan, yang harus memenuhi ketentuan tebal minimum pelat berikut ini.

$$t_s \geq 200 \text{ mm} \quad (3.9)$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm} \quad (3.10)$$

Dengan:

$t_s$  = Tebal pelat lantai kendaraan (mm)

$l$  = Bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (mm)

2. Perhitungan Tulangan

a. Menentukan momen ultimit rencana

$$M_u = K. M_{MS} + K. M_{MA} + K. M_{TT} + K. M_{TP} \quad (3.11)$$

Dengan:

$M_u$  = Momen ultimit (kNm)

$K$  = Faktor beban ultimit

$M_{MS}$  = Momen akibat berat sendiri (kNm)

$M_{MA}$  = Momen akibat beban mati tambahan (kNm)

$M_{TT}$  = Momen akibat beban truk (kNm)

$M_{TP}$  = Momen akibat beban pejalan kaki (kNm)

b. Menentukan momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3.12)$$

Dengan:

$M_n$  = Momen nominal (kNm)

$\phi$  = Faktor reduksi lentur pada beton sebesar 0,8

c. Menentukan rasio tulangan

Syarat yang harus dipenuhi dalam menentukan rasio tulangan sebagai berikut ini.

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maksimum}} \quad (3.13)$$

1) Rasio tulangan minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.14)$$

2) Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{\text{balanca}} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (3.15)$$

$$\rho_{\text{balanca}} = 0,75 \rho_{\text{balanca}} \quad (3.16)$$

3) Rasio tulangan perlu

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m R_n}{f_y}} \right) \quad (3.17)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad (3.18)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d} \quad (3.19)$$

d. Menentukan luas tulangan pokok

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d \quad (3.20)$$

e. Menentukan jarak tulangan pokok

$$S_{\text{pokok}} = \frac{A \cdot d \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \quad (3.21)$$

### 3.11.2 Komponen Balok Komposit

Balok komposit pada jembatan adalah gabungan antara balok baja dan pelat beton yang bekerja sama untuk mendukung beban. Balok komposit pada jembatan biasanya menggunakan kombinasi baja sebagai gelagar dan beton bertulang sebagai pelat lantai jembatan. Berikut merupakan hal perlu diperhatikan dalam perencanaan balok komposit pada gelagar memanjang

#### 1. Penentuan lebar efektif balok komposit

Lebar efektif pelat pada balok komposit diambil nilai terkecil dari persamaan berikut ini.

##### a. Untuk balok interior

$$b_E \leq \frac{L}{4} \quad (3.22)$$

$$b_E \leq b_0 \text{ (untuk jarak balok yang sama)} \quad (3.23)$$

##### b. Untuk balok eksterior

$$b_E \leq \frac{L}{8} + \text{jarak tepi} \quad (3.24)$$

$$b_E \leq \frac{b_0}{2} + \text{jarak tepi} \quad (3.25)$$

Dengan:

$b_E$  = Lebar efektif balok

$L$  = panjang pelat lantai

$b_0$  = jarak antar gelagar balok

#### 2. Penentuan jenis profil

Penentuan jenis profil diperlukan untuk memperhitungkan momen lentur nominal ( $M_n$ ) pada balok komposit gelagar memanjang. Jenis profil dibedakan menjadi dua kondisi sebagai berikut.

- a. Apabila  $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka momen nominal ( $M_n$ ) harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis).

b. Apabila  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka momen nominal ( $M_n$ ) harus ditentukan dari superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penopangan, untuk keadaan batas leleh pada baja.

3. Menentukan posisi sumbu netral plastis

Untuk menghitung momen plastis balok komposit, maka ditentukan posisi sumbu netral plastis berdasarkan proporsi C dan T. Ada dua kondisi distribusi tegangan plastis yang mungkin terjadi pada balok baja.

a.  $T \leq C$ , garis sumbu netral plastis terdapat pada pelat beton.

b.  $T \geq C$ , garis sumbu netral plastis di baja pelat sayap atau pelat badan.

Resultan gaya tekan maksimum (C) dan Resultan gaya tarik maksimum (T) dihitung dari persamaan berikut.

$$C = 0,85.f_c'.Ac \quad (3.26)$$

$$T = F_y.A_s \quad (3.27)$$

Dengan:

$F_c'$  = Kuat tekan beton

$F_y$  = Kuat leleh baja

$A_c$  = Luas penampang tekan

$A_s$  = Luas penampang tarik

4. Menentukan momen nominal

Momen nominal adalah momen analisa penampang berdasarkan keseimbangan statis dan kompatibilitas tegangan dan regangan. Momen nominal pada balok komposit didasarkan pada letak garis netral pada balok tersebut yang dijelaskan pada dua kondisi berikut ini.

a. Pada kondisi  $T \leq C$

$$M_n = T \times jd \quad (3.28)$$

Dengan:

$M_n$  = Momen nominal balok komposit

$T$  = Resultan gaya tarik maksimum

$d_l$  = Jarak dari resultan gaya tekan beton ke resultan gaya tarik baja

b. Pada kondisi  $T \geq C$

$$M_n = C \times j_d \quad (3.29)$$

Dengan:

$M_n$  = Momen nominal balok komposit

$T$  = Resultan gaya tarik maksimum

$C$  = Resultan gaya tekan maksimum

$j_d$  = jarak antara resultan gaya tekan dan gaya tarik

#### 5. Penghubung Geser

*Shear connector* atau penghubung geser berfungsi untuk menyatukan struktur komposit seperti pada pelat lantai jembatan dengan gelagar yang bekerja sebagai penahan untuk menghindari terangkatnya salah satu komponen pada sewaktu dibebani. Beberapa hal yang perlu diperhitungkan dalam merencanakan penghubung geser adalah sebagai berikut.

##### a. Menentukan diameter stud

Ukuran baut ditentukan dari batas ukuran berikut ini.

$$d_{sa} < 2,5 \, t_f \quad (3.30)$$

Dengan:

$d_{sa}$  = Diameter baut

$t_f$  = Tebal pelat sayap profil baja

##### b. Menentukan kuat geser nominal satu stud

Kuat geser pada sebuah baut diambil dari nilai terkecil dari persamaan berikut ini.

$$Q_{n1} = 0,5 \times A_{sa} \times \sqrt{f_c' \times E_c} \quad (3.31)$$

$$Q_{n2} = R_g \times R_p \times A_{sa} \times F_u \quad (3.32)$$

Dengan:

$Q_n$  = Kuat geser nominal satu baut ( $\text{mm}^2$ )

$A_s$  = Luas penampang baut

$f_c'$  = Kuat tekan beton

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$F_u$  = Kekuatan tarik minimum baut

$R_g$  = Koefisien untuk memperhitungkan efek grup

$R_p$  = Faktor efek posisi untuk baut geser

Nilai Koefisien untuk memperhitungkan efek grup ( $R_g$ ) dan faktor efek posisi untuk baut geser ( $R_p$ ) untuk setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 3.19 berikut ini.

**Tabel 3.19 Tabel Parameter Pengaruh Pelat Beton Komposit Dengan Dek Baja**

| Kondisi                                                                                                                 | $R_g$ | $R_p$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Tampa dek                                                                                                               | 1,0   | 0,75  |
| Dek diorientasikan paralel terhadap profil baja                                                                         |       |       |
| $\frac{w_r}{h_r} \geq 1,5$                                                                                              | 1,0   | 0,75  |
| $\frac{w_r}{h_r} < 1,5$                                                                                                 | 0,85  | 0,75  |
| Dek diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja Jumlah angkur baja stad berkepala yang memiliki rusuk dek yang sama |       |       |
| 1                                                                                                                       | 1,0   | 0,6   |
| 2                                                                                                                       | 0,85  | 0,6   |
| 3 atau lebih                                                                                                            | 0,7   | 0,6   |
| $h_r$ = tinggi rusuk nominal<br>$w_r$ = lebar rata-rata rusuk atau hauns beton                                          |       |       |

(Sumber: SNI 1729-2020)

c. Menentukan jumlah baut

Untuk mendapatkan jumlah baut yang dibutuhkan maka digunakan persamaan berikut.

$$n = \frac{V_h}{Q_n} \quad (3.33)$$

Dengan:

$V'$  = Gaya geser nominal

$Q_n$  = Kuat geser nominal baut

d. Pemasangan stud

Berikut ini merupakan ketentuan pemasangan stud pada gelagar baja.

1) Jarak minimal antar baut secara memanjang

$$S_1 = 6 \times d_{sa} \quad (3.34)$$

2) Jarak minimal antar baut secara melintang

$$S_2 = 4 \times d_{sa} \quad (3.35)$$

3) Jarak maksimal antar baut

$$S_{maks} = 3 \times d_{sa} \quad (3.36)$$

Dengan:

$S_1$  = Jarak minimal antar baut secara memanjang

$S_2$  = Jarak minimal antar baut secara melintang

$S_{maks}$  = jarak maksimal antar baut

$d_{sa}$  = Diameter baut

$ts$  =Tebal pelat lantai

### 3.11.3 Komponen Batang Lentur

Komponen struktur lentur (*flexural member*) biasa dijumpai pada balok maupun gelagar pada jembatan berperan dalam menerima beban dari pelat jembatan. Komponen struktur lentur disebut juga sebagai struktur gabungan batang tarik dan batang tekan dengan suatu separasi yang dapat bersifat tetap atau berubah

sebagai fungsi dari posisi. Dalam perencanaan struktur lentur perlu memperhitungkan beberapa hal berikut ini.

1. Lentur Sederhana Profil Simetris

Tegangan lentur pada penampang profil umumnya dapat dihitung dengan rumus tegangan pada momen lentur apabila beban bekerja minimal satu sumbu simetri, yang melalui pusat geser sehingga terjadi momen lentur. Tegangan lentur yang terjadi pada penampang dapat dihitung dari persamaan berikut.

$$f = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y} \quad (3.37)$$

$$S_x = \frac{I_x}{C_y} \quad (3.38)$$

$$S_y = \frac{I_y}{C_x} \quad (3.39)$$

Dengan:

$f$  = Tegangan lentur (MPa)

$M_x$  = Momen elastis arah x (Nmm)

$M_y$  = Momen elastis arah y (Nmm)

$S_x$  = Modulus penampang arah x ( $mm^3$ )

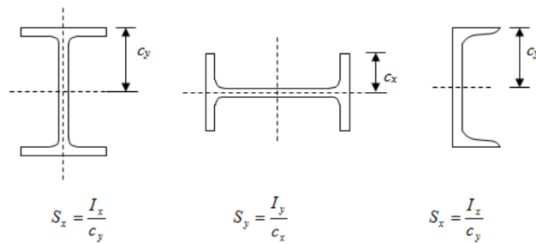
$S_y$  = Modulus penampang arah y ( $mm^3$ )

$I_x$  = Momen inersia arah x ( $mm^4$ )

$I_y$  = Momen inersia arah y ( $mm^4$ )

$C_x$  = Jarak dari titik berat ke tepi serat arah x (mm)

$C_y$  = Jarak dari titik berat ke tepi serat arah y (mm)



**Gambar 3.10 Gambar Modulus Penampang Berbagai Tipe Profil Simetri**

(Sumber: ocw.upj.ac.id)

## 2. Momen Leleh Balok Terkekang Lateral

Balok yang diberikan beban yang terus meningkat maka tegangan yang terjadi pada balok juga akan meningkat hingga penampang mulai mencapai kuat leleh atau juga disebut momen leleh. Saat seluruh penampang mengalami momen leleh maksimum yang dapat ditahan oleh penampang maka akan terjadi kondisi yang disebut dengan momen plastis. Momen plastis yang terjadi pada penampang dapat dihitung dari persamaan berikut.

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z$$

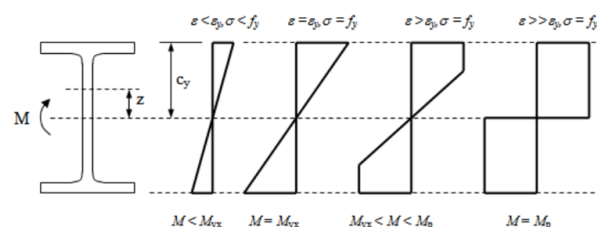
Dengan:

$M_n$  = Momen nominal (Nmm);

$M_p$  = Momen plastis (Nmm)

$f_y$  = Tegangan leleh minimum baja

$Z$  = Modulus penampang plastis ( $\text{mm}^3$ )



**Gambar 3.11 Distribusi Tegangan pada Level Beban Berbeda**

(Sumber: ocw.upj.ac.id)

### 3. Teluk torsi lateral

Tekuk torsi lateral atau *lateral torsional buckling* merupakan salah satu kegagalan pada balok lentur yang terjadi akibat balok mengalami tegangan tarik yang menyebabkan penampang balok bergerak atau bergeser ke arah samping. Panjang pada balok mempengaruhi momen lentur yang menyebabkan terjadinya tekuk torsi lateral disebut momen kritis. Semakin panjang suatu balok maka momen kritisnya semakin kecil. Untuk meningkatkan momen kritis, bagian atas balok diberi tumpuan lateral agar pada titik dimana ada tumpuan lateral tidak terjadi perpindahan kesamping. Berikut merupakan persyaratan untuk tekuk torsi lateral.

- Apabila pada kondisi tekuk torsi lateral elastik ( $L > L_p$ ), maka keadaan batas dari tekuk torsi lateral tidak digunakan
- Apabila pada kondisi tekuk torsi lateral inelastik ( $L_p < L < L_r$ ), maka momen nominal dapat dihitung dengan

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot F_y \cdot S) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.3)$$

- persamaan berikut ini. Apabila  $L > L_r$ , maka momen nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \leq M_p \quad (3.40)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x \cdot H_o} \left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (3.41)$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x}, \text{ untuk profil I simetris ganda } c = 1 \quad (3.42)$$

- Batas panjang  $L_p$  dan  $L_r$  ditentukan sebagaimana berikut ini.

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.43)$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot H_o} + \sqrt{\left( \frac{J_c}{S_x \cdot H_o} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7 f_y}{E} \right)^2}} \quad (3.44)$$

### 3.11.4 Komponen Batang Tarik

Batang tarik pada jembatan dirancang untuk menahan gaya tarik searah panjang batangnya. Tegangan tarik yang terjadi akibat gaya yang bekerja tidak boleh melebihi tegangan ijin. Komponen batang tarik pada jembatan umumnya terdapat pada ikatan angin pada struktur atas jembatan. Komponen batang tekan pada jembatan rangka umumnya terdapat pada ikatan angin pada struktur atas jembatan. Perencanaan batang tarik sebenarnya adalah menentukan luas penampang lintang batang yang cukup untuk menahan beban yang bekerja (Luwes Purwo Resmi, 2002)

#### 1. Persyaratan kuat tarik rencana

Gaya aksial terfaktor ( $P_u$ ) pada struktur harus memenuhi persyaratan berikut.

$$P_u \leq \phi P_n \quad (3.45)$$

Kuat tarik nominal ( $P_n$ ) pada persyaratan tersebut diambil dari nilai terkecil pada bersamaan berikut.

##### a. Kuat tarik nominal

$$P_n = A_e \times f_y \quad (3.46)$$

##### b. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur penampang efektif

$$P_n = A_e \times f_u \quad (3.47)$$

Dengan:

$A_g$  = Luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$A_e$  = Luas penampang efektif terhadap gaya tarik ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = Tegangan leleh baja (MPa)

$f_u$  = Tegangan tarik putus baja (MPa)

$\phi$  = Nilai faktor tahanan. Pada kondisi leleh diambil  $\phi = 0,90$  dan pada kondisi fraktur diambil  $\phi = 0,75$

2. Luas penampang efektif

Luas penampang efektif merupakan luasan yang digunakan dalam komponen struktur ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$A_e = A_{nt} \times U \quad (3.48)$$

Dengan:

$A_e$  = Luas penampang efektif

$A_{nt}$  = Luas penampang bersih ( $\text{mm}^2$ )

$U$  = Nilai faktor reduksi *shearlag*

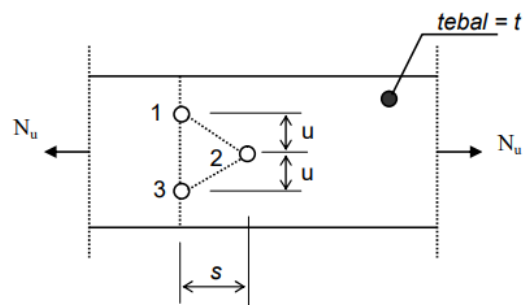
3. Luasan akibat sambungan baut

Luasan penampang komponen struktur batang tarik yang terdapat sambungan baut ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$A = A_{nt} \quad (3.49)$$

Dengan:

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



**Gambar 3.12 Gaya tarik yang disalurkan oleh baut pada sambungan**

(Sumber: RSNI T-03-2005)

Potongan 1-3 :  $A_{nt} = A_g - n \cdot d \cdot t \quad (3.50)$

Potongan 1-2-3 :  $A_{nt} = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s^2 t}{4u} \quad (3.51)$

Dengan:

$A = A_g$  = Luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$A_{nt}$  = Luas penampang bersih ( $\text{mm}^2$ )

$t$  = Tebal penampang (mm)

$d$  = Diameter lubang baut (mm)

$n$  = Banyaknya lubang dalam satu garis potongan

$s$  = Jarak antara sumbu lubang antara dua lubang yang bersebelahan pada arah sejajar sumbu komponen struktur (mm)

$u$  = Jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur (mm)

### 3.11.5 Komponen Batang Tekan

Komponen batang tekan pada jembatan dirancang untuk menahan gaya tekan secara sentris searah panjang batangnya dan memberikan tekanan yang sama pada tampang lintang (Luwes Purwo Resmi, 2002). Komponen batang tekan pada jembatan umumnya terdapat pada ikatan angin pada struktur atas jembatan.

#### 1. Perencanaan akibat gaya tekan

Struktur yang menerima gaya tekan terfaktor harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$P_u \leq \phi_n P_n \quad (3.52)$$

Dengan:

$\phi_n$  = Faktor reduksi kekuatan gaya aksial tekan dalam keadaan batas ultimit sebesar 0,85

$P_u$  = Kuat tekan terfaktor komponen struktur tekan (MPa)

$P_n$  = Kuat tekan nominal komponen struktur tekan (MPa)

#### 2. Kelangsingan elemen penampang baja

Pada profil baja dapat terjadi tekuk lokal yang dapat dicegah dengan adanya syarat dimana nilai rasio antara lebar dan tebal pelat yang dibatasi tidak boleh melebihi besar dari batas rasio kelangsingan ( $\lambda_r$ ). Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan pada baja dapat dilihat pada Tabel 3.20 berikut.

**Tabel 3.20 Perbandingan Maksimum Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tertekan**

| Jenis Elemen         |                                                                                                                                                                                                                | $\lambda$ | Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal |                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                      |                                                                                                                                                                                                                |           | $\lambda_p$ (kompak)                       | $\lambda_r$ (tak-kompak)                   |
| Elemen tanpa pengaku | Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur                                                                                                                                                                     | b/t       | $\frac{170}{\sqrt{f_y}}$                   | $\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$             |
|                      | Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur                                                                                                                                        | b/t       | $\frac{170}{\sqrt{f_y}}$                   | $\frac{420}{\sqrt{\frac{f_y - f_r}{k_e}}}$ |
|                      | Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan                                                                                                                                               | b/t       | -                                          | $\frac{290}{\sqrt{\frac{f_y}{k_e}}}$       |
|                      | Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan | b/t       | -                                          | $\frac{250}{\sqrt{f_y}}$                   |
|                      | Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya.                        | b/t       | -                                          | $\frac{200}{\sqrt{f_y}}$                   |
|                      | Pelat badan dari profil T                                                                                                                                                                                      | d/t       | -                                          | $\frac{335}{\sqrt{f_y}}$                   |

(Sumber: RSNI T-03-2005)

3. Kelangsingan komponen struktur tekan

Kelangsingan pada komponen struktur tekan berkaitan dengan stabilitas profil baja dalam mengalami gaya tekan. Struktur tekan yang panjang dan

langsing cenderung lebih rentan mengalami tekuk (*buckling*), yaitu kondisi dimana struktur melengkung ketika mencapai beban kritis tertentu. Rasio kelangsingan komponen struktur tekan dibatasi oleh persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \leq 140 \quad (3.53)$$

Dengan:

K = Faktor batang efektif

L = Panjang batang (mm)

r = Jari-jari girasi (mm)

4. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur

Tekuk lentur adalah kondisi batang pada saat batang menerima gaya tekan di sekitar sumbunya. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur ditentukan sebagai berikut ini.

$$N_n = (0,66^{\lambda c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \text{ untuk } \lambda c \leq 1,5 \quad (3.54)$$

$$N_n = \frac{0,88}{\lambda c^2} \cdot A_g \cdot f_y \text{ untuk } \lambda c \leq 1,5 \quad (3.55)$$

$$\lambda = \frac{Lk}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3.56)$$

$$Lk = k_c L \quad (3.57)$$

Dengan:

$A_g$  = Luas penampang bruto (mm)

$f_y$  = Tegangan leleh (MPa)

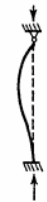
$\lambda_c$  = Parameter kelangsingan

E = Modulus elastisitas baja (MPa)

L = Panjang batang tekan (mm)

r = Jari-jari girasi (mm)

$k_c$  = Faktor panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan rangka (mm)

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

**Gambar 3.13 Gambar Faktor panjang efektif**

(Sumber: RSNI T-03, 2005)

5. Kuat tekan akibat tekuk lentur-puntir

Kuat tekan rencana akibat tekuk-lentur puntir dapat terjadi pada penampang – penampang yang memiliki satu sumbu simetri saja seperti profil kanal, profil T, siku ganda dan siku tunggal sama kaki, meskipun demikian kuat tekan rencana akibat tekuk-lentur puntir juga dapat terjadi pada penampang – penampang tanpa sumbu simetri seperti profil siku tunggal tak sama kaki dan profil Z.

### 3.11.6 Sambungan

Dalam menyatukan beberapa profil baja agar menjadi struktur yang stabil, maka diperlukan perencanaan sambungan. Beberapa jenis sambungan yang umum digunakan pada profil struktural antara lain sambungan baut, las, pin, dan juga pelat. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sambungan sebagai berikut.

1. Pengurangan luas penampang profil

$$\frac{Sp^2t}{4Sg} \quad (3.58)$$

2. Tipe baut

Baut memiliki beragam tipe yang disesuaikan dengan kebutuhan. Tipe baut

dibedakan berdasarkan diameternya. Berikut merupakan tipe baut menurut ukurannya.

**Tabel 3.21 Tipe Baut Menurut Ukurannya**

| Diameter Nominal Baut | Luas Baut  |            |            |
|-----------------------|------------|------------|------------|
|                       | $A_e$ (mm) | $A_s$ (mm) | $A_0$ (mm) |
| M16                   | 144        | 157        | 201        |
| M20                   | 225        | 245        | 314        |
| M24                   | 324        | 363        | 452        |
| M30                   | 519        | 561        | 706        |
| M36                   | 759        | 817        | 1016       |

(Sumber: RSNI T-03 -2005)

Keterangan:

$A_c$  = Luas inti dari baut (mm)

$A_s$  = Luas yang digunakan untuk menghitung kekuatan tarik (mm)

$A_0$  = Luas pada bagian polos nominal baut berdasarkan diameter nominal baut (mm)

Adapun tipe baut berdasarkan menurut kekuatan nominalnya adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.22 Tipe Baut Menurut Kekuatan Nominalnya**

| Tipe Baut                                                            | Kuat Tarik Nominal, $F_{nt}$ (MPa) | Kekuatan Geser Nominal dalam Sambungan Tipe Tumpu, $F_{nv}$ (Mpa) |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Baut A307                                                            | 310                                | 188                                                               |
| Baut grup A (A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser   | 620                                | 372                                                               |
| Baut grup A (A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser       | 620                                | 457                                                               |
| Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser | 780                                | 457                                                               |

|                                                                                                     |            |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|
| Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser                                    | 780        | 579         |
| Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser | $0,75 F_u$ | $0,450 F_u$ |
| Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser     | $0,75 F_u$ | $0,563 F_u$ |

(Sumber: SNI 1729-2015)

### 3. Spasi dan jarak tepi minimum

Jarak spasi minimum pada baut yaitu jarak antar pusat lubang baut yang harus diambil tidak kurang dari 3 kali diameter nominal baut sebagaimana persamaan berikut.

$$s \geq 3d \quad (3.59)$$

Dengan:

s = Spasi antar baut (mm)

d = Diameter baut nominal (mm)

dalam merencanakan sambungan baut juga harus memenuhi persyaratan jarak tepi minimum sebagai berikut.

$$st \geq 1,25d \quad (3.60)$$

Dengan:

st = Jarak baut ke tepi sambungan baut (mm)

d = Diameter baut nominal (mm)

### 4. Tahanan nominal baut

Dari persyaratan LRFD suatu baut menerima beban terfaktor ( $R_u$ ), yang harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$R_u \leq \phi_n R_n \quad (3.61)$$

Dengan:

$\phi_n$  = Faktor reduksi kekuatan baut sebesar 0,75

$R_u$  = Kekuatan terfaktor (N)

$R_n$  = kekuatan nominal baut (N)

5. Tahanan geser baut

Gaya geser nominal yang diizinkan pada baut harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$\phi R_n = 0,75 \times Fnv \times A_b \quad (3.62)$$

Dengan:

$\phi R_n$  = Kuat geser nominal baut (N)

$Fnv$  = Kuat geser baut (MPa)

$A_b$  = Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir ( $mm^2$ )

6. Tahanan tarik baut

Gaya tarik nominal yang diizinkan pada baut harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$\phi R_n = 0,75 \times Fnt \times A_b \quad (3.63)$$

Dengan:

$\phi R_n$  = Kuat geser nominal baut (N)

$Fnt$  = Kuat tarik baut (MPa)

$A_b$  = Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir ( $mm^2$ )

7. Tahanan tumpu baut

Gaya geser nominal yang diterima komponen baut pada pelat harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$R_n = 3 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \quad (3.64)$$

Dengan:

$R_n$  = Kuat geser nominal baut (N)

$d_b$  = Diameter baut nominal (mm)

$t_p$  = Tebal pelat (mm)

$F_u$  = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan dari material sambungan (MPa)

8. Tahanan tumpu pelat buhul

Gaya geser nominal yang diterima pelat buhul harus memenuhi persyaratan berikut ini.

$$R_n = 1.5 \times L_{ct} \times t_p \times F_u \quad (3.65)$$

Dengan:

$R_n$  = Kuat geser nominal baut (N)

$d_b$  = Diameter baut nominal (mm)

$t_p$  = Tebal pelat (mm)

$F_u$  = Kekuatan tarik putus yang disyaratkan dari material sambungan (MPa)

9. Tahanan tarik pelat buhul

Kekuatan tahanan tarik pada pelat buhul harus diambil nilai terkecil dari persamaan berikut ini.

a. Kekuatan tarik leleh pelat buhul

$$\phi R_n = 0,90 \times F_y \times A_g \quad (3.66)$$

Dengan:

$R_n$  = Kuat geser nominal baut (N)

$F_y$  = Kuat tarik leleh pelat (MPa)

$A_g$  = Luas penampang bruto (mm<sup>2</sup>)

b. Kekuatan keruntuhan tarik pelat buhul

$$\phi R_n = 0,75 \times F_u \times A_e \quad (3.67)$$

Dengan:

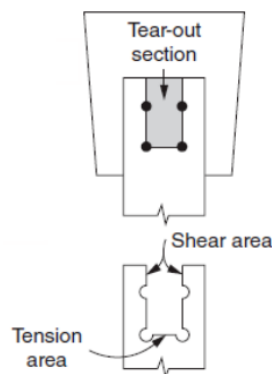
$R_n$  = Kuat geser nominal baut (N)

$F_u$  = Kekuatan tarik putus pelat (MPa)

$A_e$  = luas penampang efektif (mm<sup>2</sup>)

10. Tahanan blok geser

Tahanan blok geser merupakan salah satu kegagalan yang mungkin terjadi pada sambungan berlubang dimana tegangan tarik yang terjadi pada sepanjang bidang tarik sedangkan tegangan geser terjadi pada sepanjang garis longitudinal antara lubang baut. Berikut merupakan



**Gambar 3.14 Mekanisme Keruntuhan Geser Blok Pada Sambungan**

(Sumber: Alan Williams, 2016)

$$R_n = [(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}) + (U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt})] \leq [(0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv}) + (U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt})] \quad (3.68)$$

Dengan:

$R_n$  = Kuat geser nominal (N)

$F_u$  = Kuat tarik putus pelat (MPa)

$F_y$  = Kuat tarik leleh pelat (MPa)

- $Anv$  = Luas bidang yang mengalami gaya geser ( $\text{mm}^2$ )  
 $Av_g$  = Luas bidang keruntuhan blok geser ( $\text{mm}^2$ )  
 $Ant$  = Luas bidang yang mengalami gaya tarik ( $\text{mm}^2$ )  
 $Ubs$  = Koefisien reduksi pada keruntuhan balok geser. Apabila tegangan tarik merata,  $Ubs = 1$  dan jika tegangan tarik tidak merata,  $Ubs = 0,5$

#### 11. Tahanan tekan pelat buhul

Kekuatan tekan pada pelat buhul untuk keadaan batas leleh dan tekuk harus ditentukan sebagaimana persamaan berikut ini.

- a. Batas kelangsingan

$$\frac{KL}{r} \leq 25 \quad (3.69)$$

- b. Kapasitas desak

$$\phi P_{nt} = 0,85 \times F_y \times A_g \times \text{Jumlah pelat buhul} \quad (3.70)$$

#### 3.11.7 Anti Lendutan (*camber*)

Jembatan memiliki ruang kosong dibawah rangka jembatan yang disebut *camber*. Jika lendutan yang memanfaatkan lengkungan lantai kendaraan jembatan. *Camber* juga disebut dengan anti lendutan karena berfungsi untuk melawan lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja pada jembatan. Untuk mengetahui tipe rangka paling efektif ditinjau dari beban maksimum yang mampu ditahan, lendutan yang terjadi pada beban tertentu dan nilai gaya batangnya terhadap berat sendiri jembatan. Menurut RSNI T-03-2005 balok diatas gelagar menerus memiliki lendutan maksimum sebesar  $1/800 \times \text{bentang}$ , sedangkan pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah  $1/1.000 \times \text{bentang}$ .

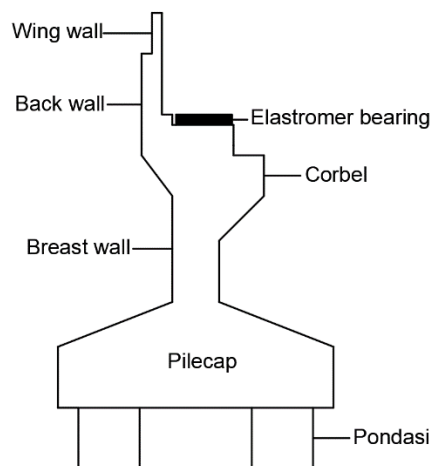
#### 3.12 Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Struktur bawah jembatan merupakan bagian konstruksi jembatan yang memiliki fungsi utama yaitu menopang struktur atas jembatan dan diteruskan

kebawah tanah, fungsi lainnya sebagai penghubung antara jalan dengan jembatan sekaligus untuk menahan tanah di belakang abutment jembatan.

### 3.12.1 Abutment

Abutment atau kepala jembatan merupakan elemen konstruksi yang berada di kedua ujung jembatan. Fungsinya adalah menerima beban struktur utama jembatan, dari bagian atas jembatan dan meneruskannya ke pondasi. Abutment juga memiliki fungsi sebagai penahan tanah secara vertikal yang kemudian disalurkan ke pondasi, sehingga kondisi tanah juga perlu dipertimbangkan dalam merencanakan abutment. Beberapa bagian abutment dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 3.15 Abutment Jembatan**

#### 1. Beban yang bekerja pada abutment

Berikut merupakan beban yang berpengaruh dalam perencanaan abutment jembatan.

##### a. Beban reaksi dari struktur atas jembatan

- 1) Beban mati sendiri
- 2) Beban mati tambahan
- 3) Beban lalu lintas
- 4) Beban pejalan kaki
- 5) Beban rem

- 6) Beban gesekan perletakan
- 7) Beban angin struktur atas
- 8) Beban angin kendaraan
- 9) Beban gempa
- b. Beban dari struktur bawah jembatan
  - 1) Beban mati sendiri
  - 2) Tekanan tanah aktif

## 2. Stabilitas abutment

Abutment direncanakan untuk menahan gaya luar yang dapat mengakibatkan terjadinya guling dan geser pada abutment. Untuk memastikan abutment dapat menahan gaya guling dan geser maka stabilitas pada abutment dibatasi oleh faktor aman. Berikut merupakan rumus perhitungan stabilisasi abutment.

### a. Stabilitas geser

$$SF \text{ Sliding} = \frac{\sum Rh}{\sum P} \geq SF \quad (3.71)$$

Dimana:

$SF \text{ Sliding}$  = Faktor aman terhadap geser

$Rh$  = Tahanan geser (kN)

$P$  = Gaya geser (kN)

$SF$  = *Safety factor*

### b. Stabilitas guling

$$SF \text{ Overturning} = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} \geq SF \quad (3.72)$$

Dimana:

$SF \text{ Overturning}$  = Faktor aman terhadap guling

$Mw$  = Tahanan geser (kN)

$Mgl$  = Gaya geser (kN)

$SF$  = *Safety factor*

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

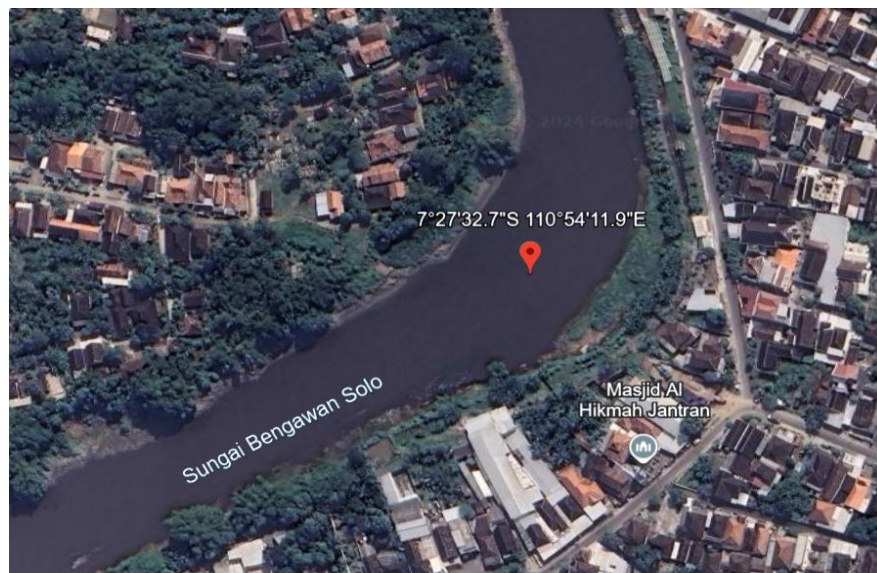
#### **4.1 Tinjauan Umum**

Dalam membuat suatu penelitian desain struktur perlu dilakukan analisis struktur terhadap beban-beban yang bekerja untuk memastikan kekuatan dan keamanan desain tersebut. Untuk melakukan analisis struktur yang akurat diperlukan data-data yang lengkap.

#### **4.2 Sumber Data**

##### **4.2.1 Lokasi Jembatan**

Lokasi Jembatan berlokasi di Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah. Jembatan ini berada di perbatasan antara Desa Pilang di Kecamatan Masaran dan Desa Gedongan di Kecamatan Plupuh yang dipisahkan oleh Sungai Bengawan Solo. Lokasi Jembatan Butuh dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



**Gambar 4.1 Koordinat Letak Jembatan Butuh**

(Sumber: *Google Earth*)

#### 4.2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah jenis data berdasarkan cara memperolehnya, yang mana data ini diperoleh bukan dari tangan pertama tetapi dari kedua, ketiga atau seterusnya. Pada penelitian ini data yang tidak secara langsung diperoleh dari lokasi melainkan diperoleh melalui penelitian orang lain dalam bentuk dokumen. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini berasal dari PT. Wastu Anopama. Adapun data sekunder yang diperoleh antara lain;

1. Data topografi
2. Data penyidikan tanah (*bore log*)

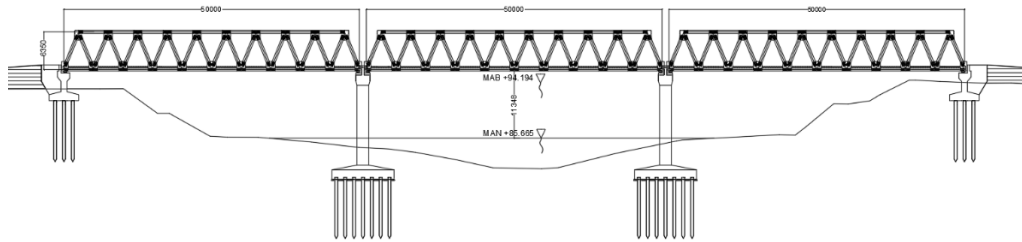
#### 4.3 Data Jembatan

Jembatan Butuh menggunakan struktur atas rangka baja tipe *warren*. Pada penelitian ini hanya mendesain satu bentang dari 3 buah bentang yang ada. Berikut merupakan Tabel 4.1 tentang data rencana desain jembatan.

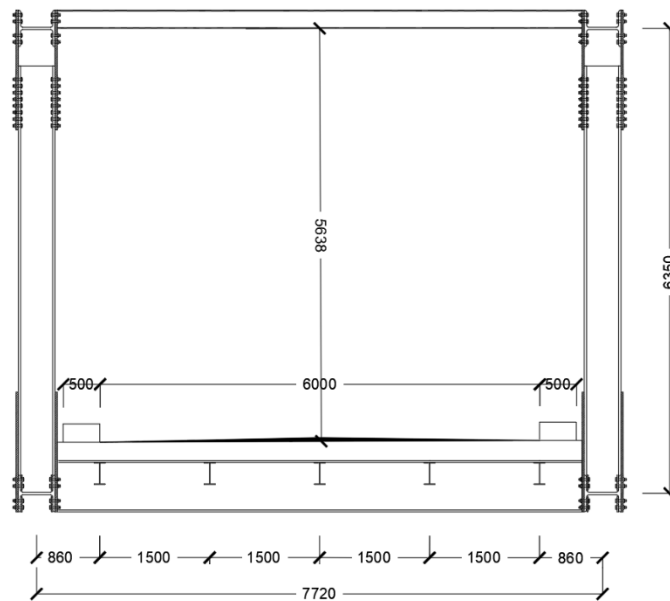
**Tabel 4.1 Data Rencana Desain Jembatan**

| <b>Komponen</b>              | <b>Keterangan</b>       |
|------------------------------|-------------------------|
| Tipe Struktur Jembatan       | Rangka Baja Tipe Warren |
| Fungsi Jembatan              | Jembatan Jalan Raya     |
| Kelas Jembatan               | Kelas B                 |
| Panjang Bentang Jembatan     | 150 m                   |
| Panjang Bentar Kotor         | 50 m                    |
| Jumlah Bentang               | 3 Bentang               |
| Jumlah Pilar                 | 2 Buah                  |
| Lebar Perkerasan Jalan       | 6 m                     |
| Lebar Trotoar                | 0,50 m                  |
| Jumlah Lajur                 | 2 Lajur                 |
| Jumlah Abutment              | 2 Buah                  |
| Tinggi Jembatan              | 6,35 m                  |
| Tinggi Bebas Lalu Lintas     | 5,638 m                 |
| Tinggi Dari Permukaan Sungai | 11,348 m                |
| Jenis Pondasi                | Tiang Pancang           |

Dari data jembatan tersebut, diperlukan penyajian dalam bentuk visual agar informasi dapat dipahami dengan lebih jelas dan mudah. Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 yang memperlihatkan tampak memanjang dan tampak melintang jembatan yang akan direncanakan.

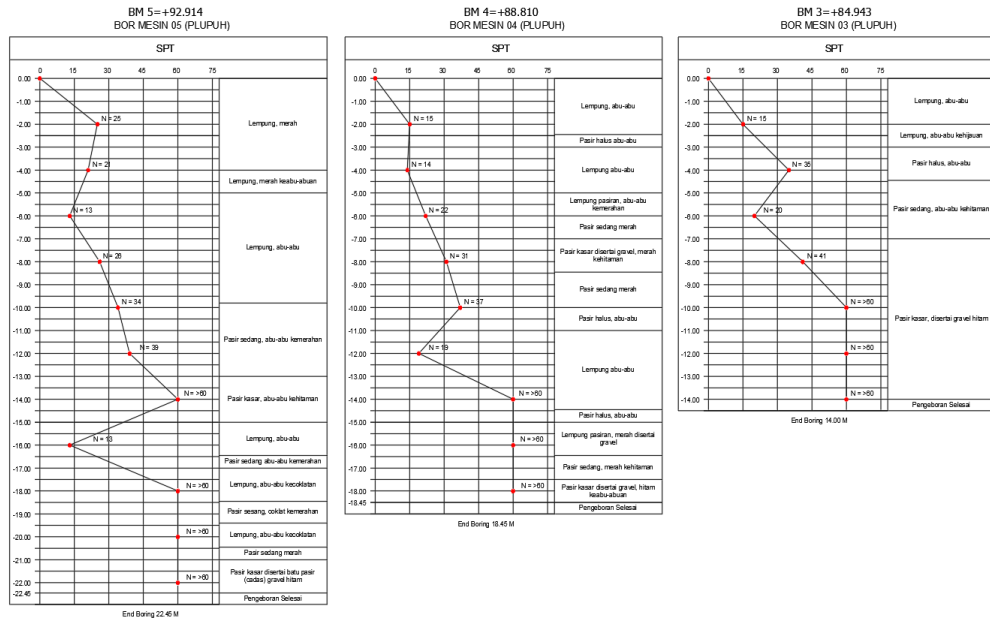


**Gambar 4.2 Rencana Tampak Memanjang Jembatan**



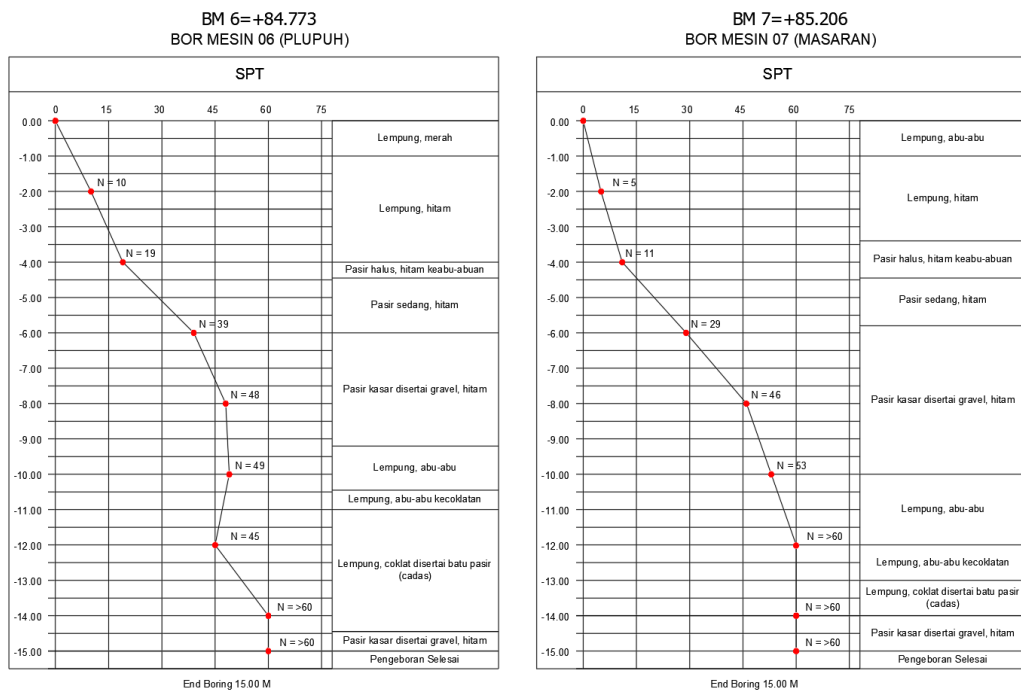
**Gambar 4.3 Rencana Tampak Melintang Jembatan**

Kemudian pada data sekunder terdapat data penyelidikan tanah (*borlog*). Data tersebut akan digunakan pada setiap *abutment* jembatan. Data penyelidikan tanah pada Jembatan Butuh Sragen ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 sebagaimana berikut ini.

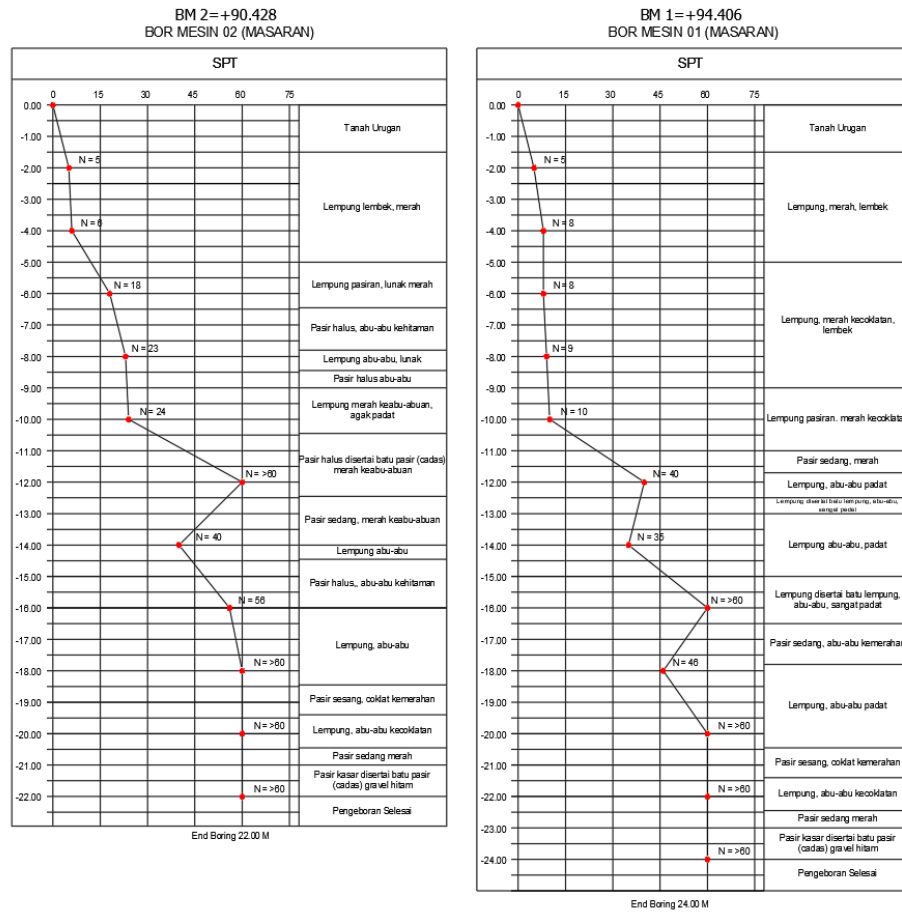


**Gambar 4.4 Pengujian Bor Log di Lokasi Abutment**

Berdasarkan hasil pengujian SPT yang diperoleh bahwa rata-rata tanah keras berada di kedalaman

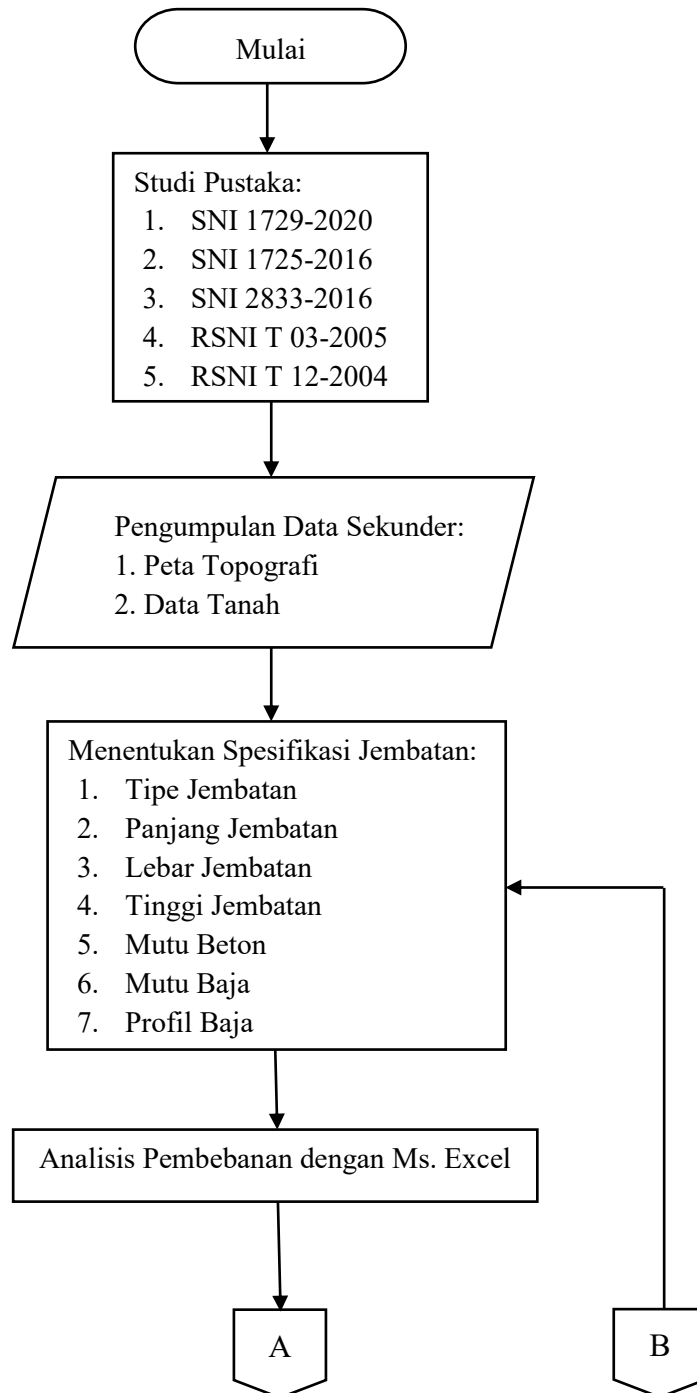


**Gambar 4.5 Pengujian Bor Log di Lokasi pilar**

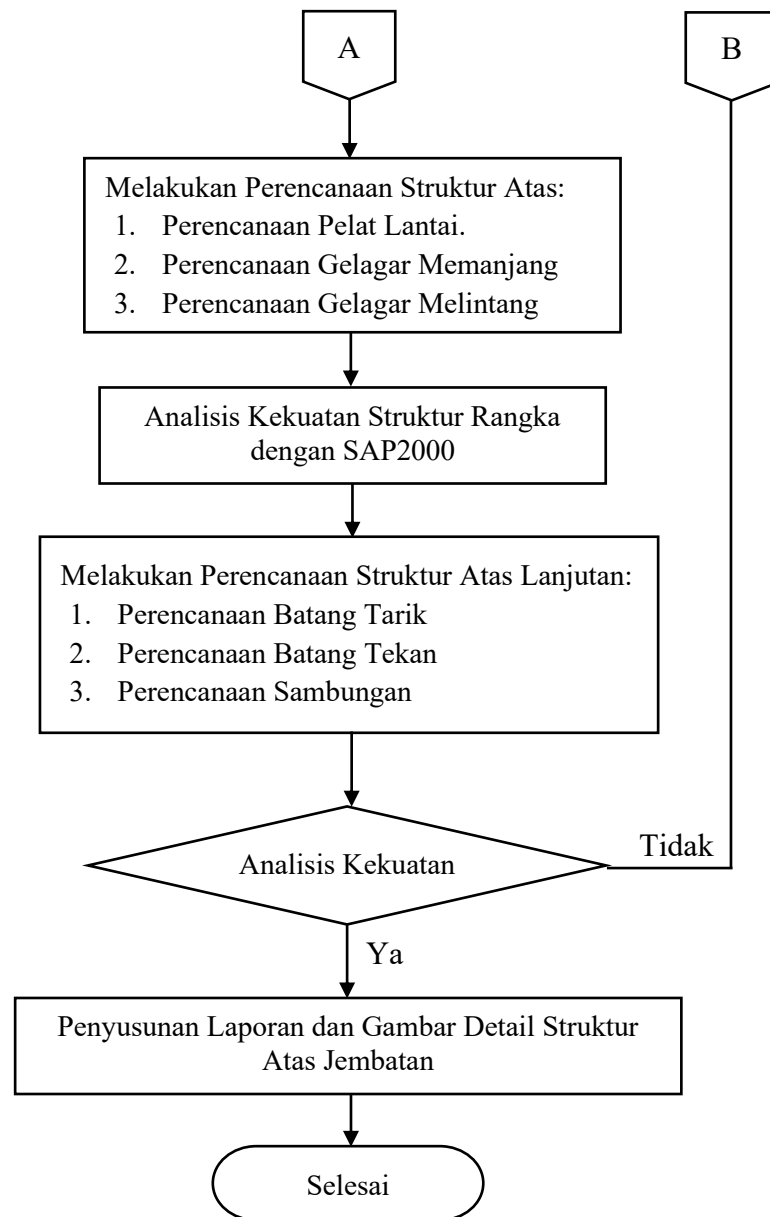


**Gambar 4.6 Pengujian Bor Log di Lokasi Abutment**

#### 4.4 Tahapan Perencanaan



**Gambar 4.7 Bagan Alur Penelitian**



**Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alur Penelitian**

Tahapan yang akan dilakukan oleh penulis dalam penelitian perancangan jembatan adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data sekunder jembatan yang akan direncanakan, meliputi data topografi dan data tanah.
2. Menentukan tipe jembatan, panjang jembatan, lebar jembatan, tinggi jembatan, profil baja yang akan digunakan, mutu beton, dan mutu baja yang akan digunakan.

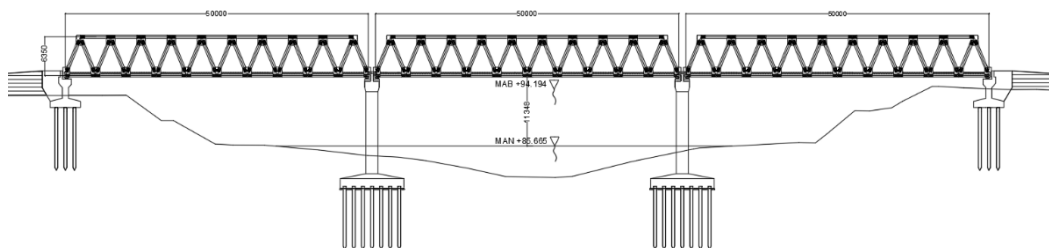
3. Melakukan analisis pembebanan yang bekerja pada jembatan berdasarkan SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan dan dilakukan pengolahan dengan software Microsoft Office Excel.
4. Melakukan perencanaan struktur atas jembatan yang meliputi pelat lantai kendaraan, gelagar memanjang, dan gelagar melintang.
5. Melakukan analisis struktur rangka menggunakan software SAP2000 v22
6. Melakukan perencanaan pada bagian struktur rangka meliputi batang tarik, batang tekan, dan sambungan.
7. Menyusun hasil perencanaan disertai penggambaran detail struktur Jembatan.

## BAB V

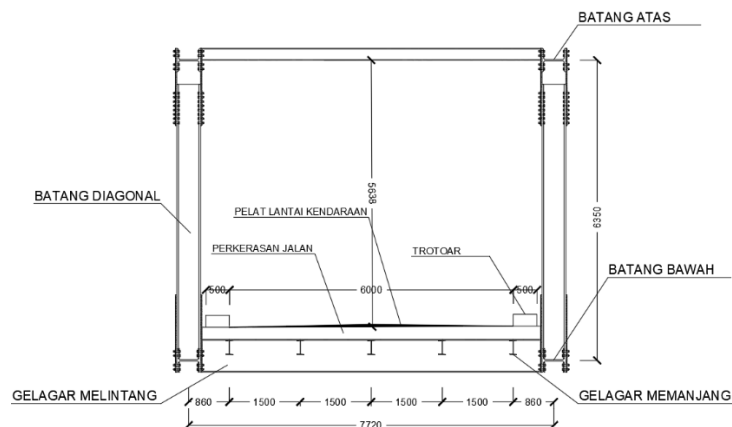
### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Tinjauan Umum

Analisis struktur Jembatan Butuh di Sragen dilakukan dengan menggunakan program Ms. Excel dan untuk analisis kekuatan struktur rangka menggunakan SAP 2000. Desain jembatan direncanakan menggunakan konstruksi gelagar baja-beton sebagai struktur komposit dengan tipe simple beam. Perencanaan Jembatan Butuh mencakup struktur atas dan bawah. Analisis dilakukan sesuai dengan desain struktur yang telah direncanakan. Perencanaan Struktur Atas Jembatan. Struktur atas jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut ini.

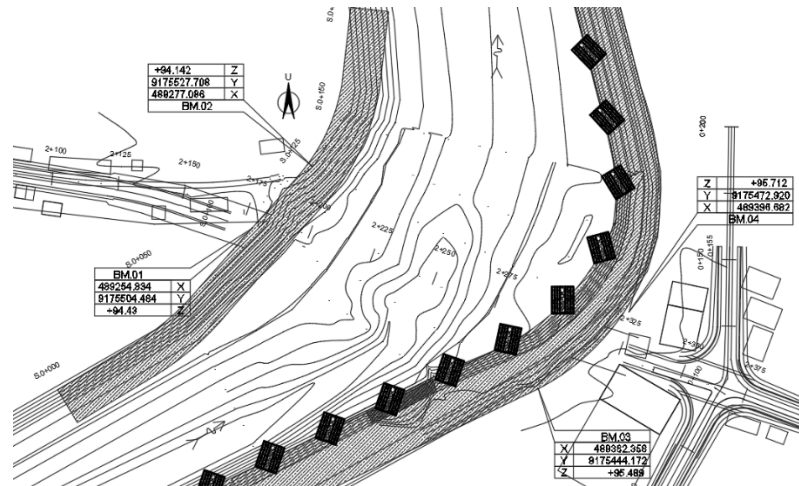


**Gambar 5.1 Potongan Memanjang Jembatan**



**Gambar 5.2 Potongan Melintang Jembatan**

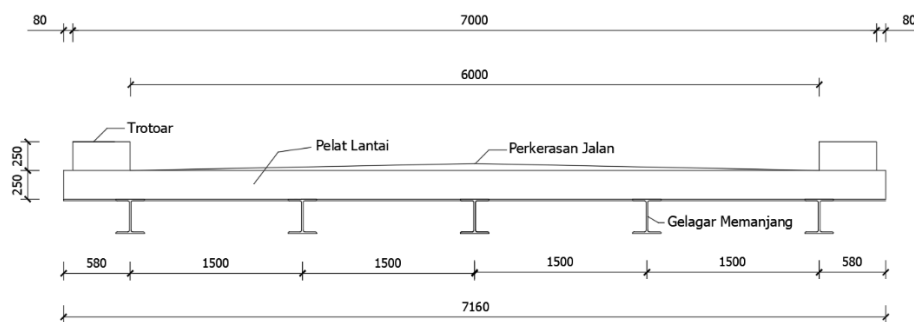
Selanjutnya, peta topografi untuk wilayah yang akan dibangun jembatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3 Peta Kontur**

### 5.1.1 Perencanaan Pelat Lantai

Pada penelitian perencanaan jembatan ini menggunakan pelat lantai dengan struktur beton bertulang. Struktur beton bertulang pada pelat lantai dipilih agar dapat menahan beban lalu lintas dan struktur rangka di atasnya kemudian beban tersebut disalurkan kepada bagian struktur bawah jembatan. potongan melintang pelat lantai jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



**Gambar 5.4 Potongan Melintang Pelat Lantai**

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam perencanaan pelat lantai kendaraan pada jembatan.

### 1. Data Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Berikut ini merupakan data yang digunakan dalam perencanaan pelat lantai jembatan.

- a. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
- b. Tebal trotoar ( $h_2$ ) = 0,22 m
- c. Tebal lapis perkerasan jalan ( $h_3$ ) = 0,05 m
- d. Tebal genangan air hujan ( $h_4$ ) = 0,05 m
- e. Lebar trotoar ( $b$ ) = 0,50 m
- f. Berat jenis beton ( $\gamma_b$ ) = 24 kN/m<sup>3</sup>
- g. Berat jenis aspal ( $\gamma_a$ ) = 22 kN/m<sup>3</sup>
- h. Berat jenis air ( $\gamma_w$ ) = 10 kN/m<sup>3</sup>
- i. Panjang tinjauan ( $l$ ) = 1 m

### 2. Penentuan Tebal Pelat

Tebal pelat lantai kendaraan ditentukan berdasarkan nilai terbesar sesuai ketentuan RSNI T-12 2004 berikut ini.

- a.  $t_{s_{min1}} \geq 200 \text{ mm}$
- b.  $t_{s_{min1}} \geq (100 + 40 \times L) \text{ mm}$   
 $\geq (100 + 40 \times 1,50) \text{ mm}$   
 $\geq 150 \text{ mm}$

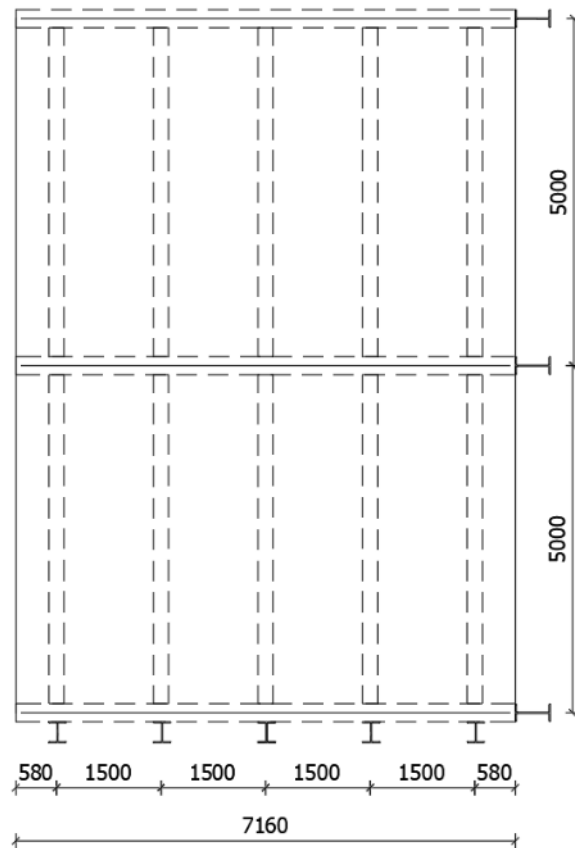
Sehingga,

$$t_s = 250 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

Berdasarkan ketentuan tersebut didapatkan tebal minimum untuk pelat lantai kendaraan sebesar 200 mm. Sehingga tebal pelat lantai yang digunakan sebesar 250 mm.

### 3. Penentuan Tipe Pelat

Berikut merupakan penentuan tipe pelat yang digunakan berdasarkan gambar pelat lantai yang ditunjukkan pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5 Tampak Atas Pelat Lantai Kendaraan**

$$L_x = 1500 \text{ mm}$$

$$L_y = 5000 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5000}{1500}$$

$$= 3,33 > 2 \text{ (Tipe Pelat Satu Arah)}$$

Berdasarkan perbandingan sisi panjang ( $L_y$ ) dengan sisi pendek ( $L_x$ ) nilainya lebih besar dari 2, sehingga menggunakan tipe pelat satu arah.

#### 4. Pembebanan

Berikut ini merupakan perhitungan beban mati sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup beban yang terjadi pada pelat lantai kendaraan yang ditinjau sepanjang 1 m secara memanjang.

## a. Beban mati sendiri (MS)

## 1) Berat pelat lantai

$$\begin{aligned}
 Q_{pelat} &= \gamma_b \times l \times t_s \\
 &= 24 \times 1 \times 0,25 \\
 &= 6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## b. Beban mati tambahan (MA)

## 1) Berat trotoar

$$\begin{aligned}
 Q_{trotoar} &= \gamma_b \times l \times h_2 \\
 &= 24 \times 1 \times 0,22 \\
 &= 5,28 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## 2) Lapis perkerasan jalan

$$\begin{aligned}
 Q_{aspal} &= \gamma_a \times l \times h_3 \\
 &= 22 \times 1 \times 0,05 \\
 &= 1,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## 3) Genangan air hujan

$$\begin{aligned}
 Q_{air \text{ hujan}} &= \gamma_w \times l \times h_4 \\
 &= 10 \times 1 \times 0,05 \\
 &= 0,5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## c. Beban pejalan kaki (TP)

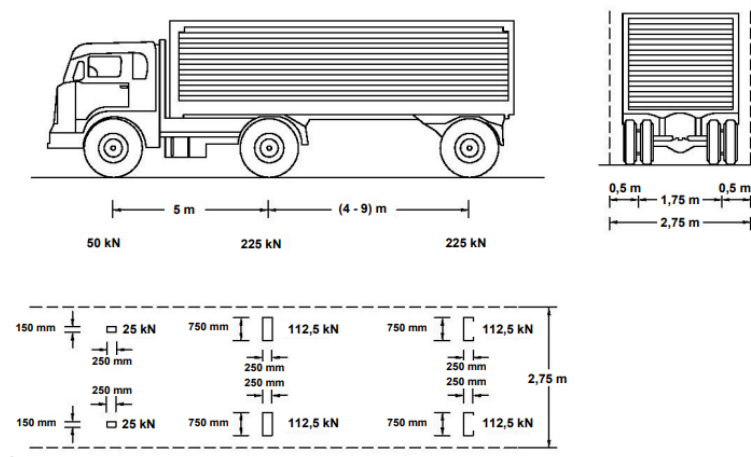
Berdasarkan SNI 1725-2016, Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.

$$\begin{aligned}
 Q_{TP} &= q \times l \\
 &= 5 \times 1 \\
 &= 5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## d. Beban truk (TT)

Pembebanan truk terdiri dari sebuah truk dengan berat 500 kN. Truk tersebut memiliki lebar truk 2750 mm dan lebar gandar 1750 mm. Berat tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata yang sama besar pada pelat lantai. Jarak 2 gandar tersebut disesuaikan untuk mendapatkan

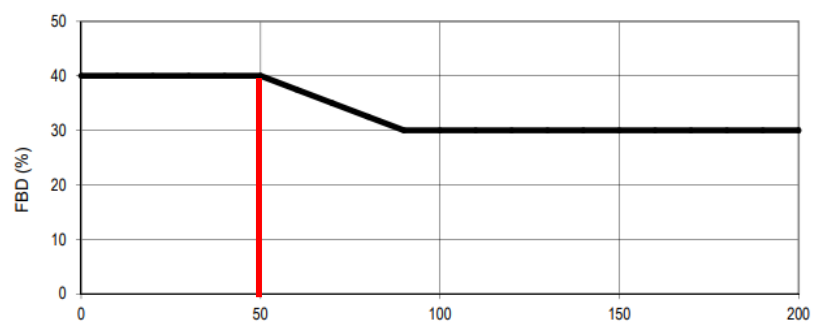
momen terbesar pada arah memanjang jembatan. Ilustrasi beban truk TT dapat dilihat pada Gambar 5.6.



**Gambar 5.6 Beban Truk (TT)**

(Sumber: SNI 1725-2016)

Dari gambar tersebut diambil intensitas beban truk satu roda sebesar 112,5 kN. Nilai tersebut selanjutnya dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD) yang merupakan penambahan beban akibat truk bergerak dinamis pada jembatan. Untuk mendapatkan nilai faktor beban dinamis (FBD) digunakan grafik pada Gambar 5.7 berikut ini,



**Gambar 5.7 Grafik Faktor Beban Dinamis**

(Sumber: SNI 1725-2016)

Dari grafik didapatkan nilai tambah faktor beban dinamis pada bentang jembatan 5 m adalah sebesar 30%. Selanjutnya nilai tersebut digunakan pada perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Intensitas beban truk TT} &= 112,5 \text{ kN} \\
 \text{Faktor beban dinamis (FDB)} &= 40 \% \\
 P_{TT} &= TT \times (100\% + \text{FDB}) \\
 &= 112,5 \times (100\% + 40\%) \\
 &= 157,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rekapitulasi beban

Beban yang telah dihitung selanjutnya dikalikan dengan faktor beban sesuai SNI 1725-2016. Berikut merupakan faktor beban yang digunakan pada rekapitulasi beban pada pelat lantai serta rekapitulasi beban pada pelat lantai ditunjukkan pada Tabel 5.1.

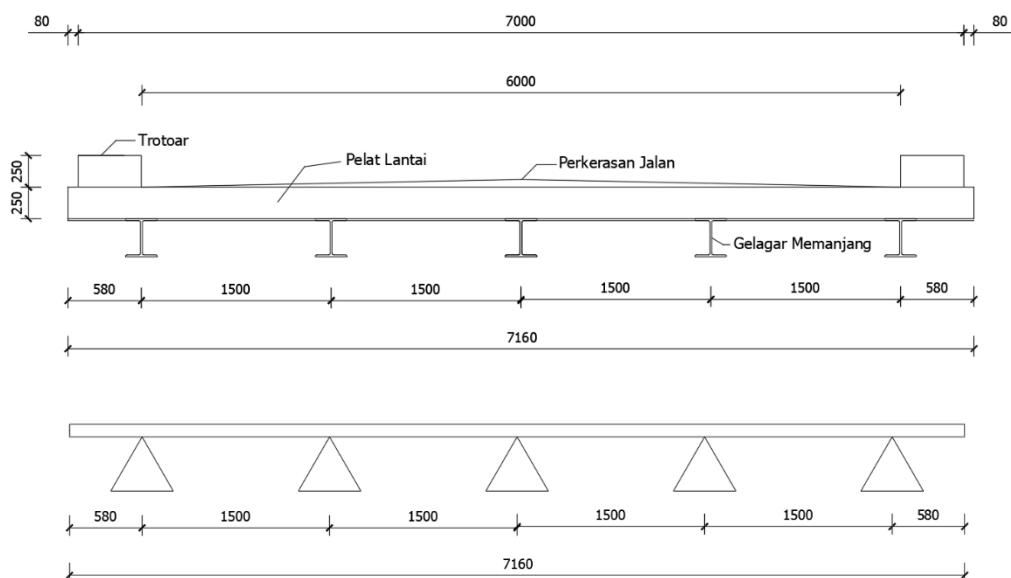
$$\begin{aligned}
 \text{Faktor beban mati sendiri beton (K}_{UMS}) &= 1,3 \\
 \text{Faktor beban mati tambahan (K}_{UMS}) &= 2 \\
 \text{Faktor beban truk (K}_{UT}) &= 2 \\
 \text{Faktor beban pejalan kaki (K}_{TP}) &= 1,8
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Merata Kerja Pelat Lantai**

| Kode Beban | Nama Beban             | Q (kN/m) | Faktor Beban | Qu (kN/m) |
|------------|------------------------|----------|--------------|-----------|
| MS         | Pelat Lantai           | 6        | 1,3          | 7,8       |
| MA         | Trotoar                | 5,28     | 2            | 10,56     |
|            | Lapis Perkerasan Jalan | 1,1      | 2            | 2,2       |
|            | Genangan Air Hujan     | 0,5      | 2            | 1         |
| TP         | Pejalan Kaki           | 5        | 1,8          | 9         |
| Kode Beban | Nama Beban             | P (kN)   | Faktor Beban | Pu (kN)   |
| TT         | Truk                   | 157,5    | 2            | 315       |

## 5. Analisis Struktur

Dari perhitungan pembebanan yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan analisis struktur menggunakan *software* SAP2000 untuk mengetahui momen pada pelat lantai. Pelat menyalurkan beban ke gelagar memanjang sehingga dimodelkan sebagai struktur menerus dengan tumpuan sendi di atas gelagar memanjang. Berikut ini merupakan potongan melintang pemodelan pelat lantai diatas gelagar memanjang yang akan digunakan dalam analisis struktur dapat dilihat pada Gambar 5.8.

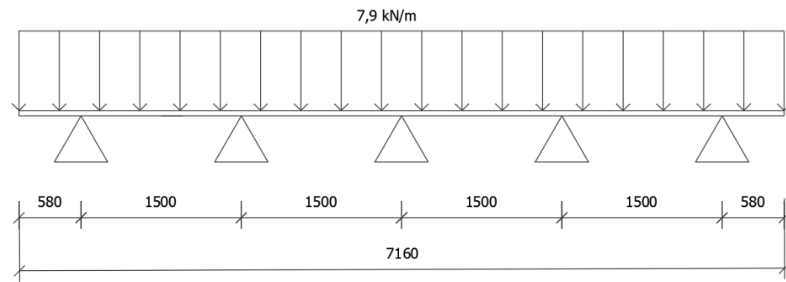


**Gambar 5.8 Pemodelan Analisis Struktur Pelat Lantai**

Berikut merupakan hasil analisis struktur dari beban yang telah di masukkan pada pemodelan.

### a. Beban mati sendiri

Pada analisis berat mati sendiri pelat lantai, *Input* beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut ini.



**Gambar 5.9 Input Beban Mati Sendiri Pelat**



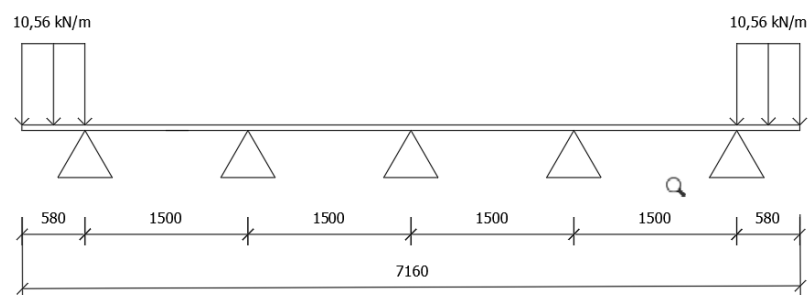
**Gambar 5.10 Momen Beban Mati Sendiri Pelat**

b. Beban mati tambahan

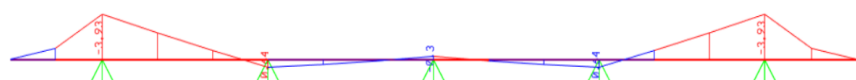
Pada analisis berat mati tambahan pelat lantai, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar dan Gambar berikut ini.

1) Trotoar

Pada analisis berat mati tambahan trotoar, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut ini.



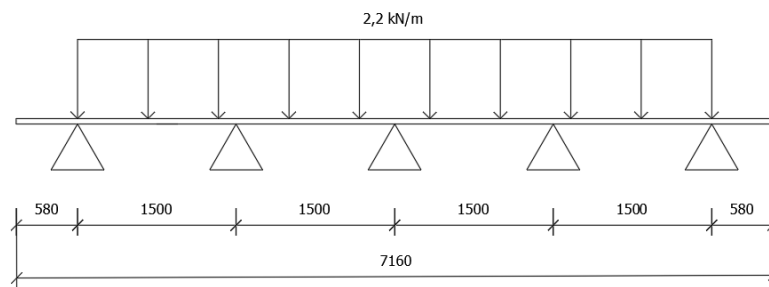
**Gambar 5.11 Input Beban Mati Tambahan Trotoar**



**Gambar 5.12 Momen Beban Mati Tambahan Trotoar**

## 2) Lapis perkerasan jalan

Pada analisis berat mati tambahan perkerasan jalan, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut ini.



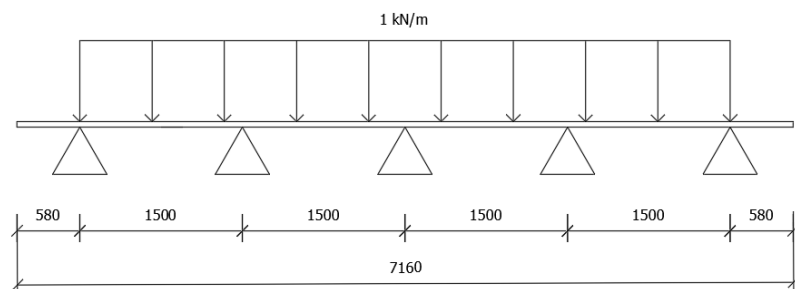
**Gambar 5.13 Input Beban Mati Tambahan Lapis Perkerasan Jalan**



**Gambar 5.14 Momen Beban Mati Tambahan Lapis Perkerasan Jalan**

## 3) Genangan Air Hujan

Pada analisis berat mati tambahan genangan air hujan, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut ini.



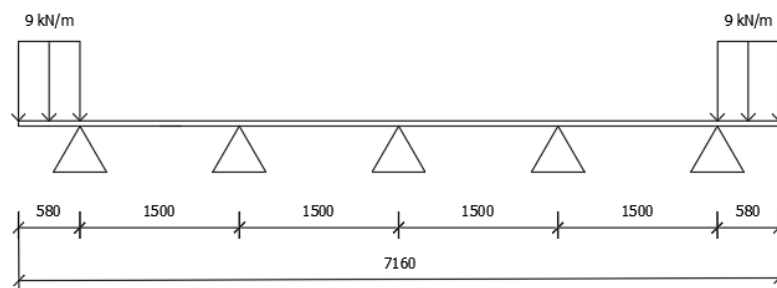
**Gambar 5.15 Input Beban Mati Tambahan Genangan Air Hujan**



**Gambar 5.16 Momen Beban Mati Tambahan Genangan Air Hujan**

c. Beban pejalan kaki

Pada analisis berat mati tambahan beban pejalan kaki, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 berikut ini.



**Gambar 5.17 Input Beban Mati Tambahan Beban Pejalan Kaki**



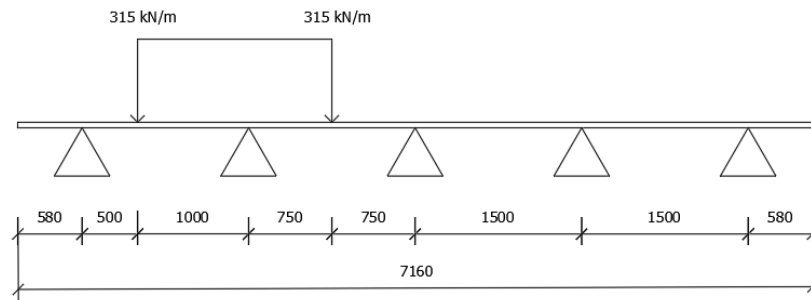
**Gambar 5.18 Momen Beban Mati Tambahan Beban Pejalan Kaki**

d. Beban truk

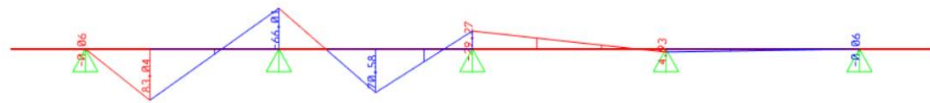
Pada analisis berat mati tambahan beban truk menggunakan 2 analisis momen yaitu dengan satu truk dan dua truk. Dari kedua analisis momen tersebut diambil momen terbesar.

1) Satu truk

Pada analisis beban satu buah truk, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 berikut ini.



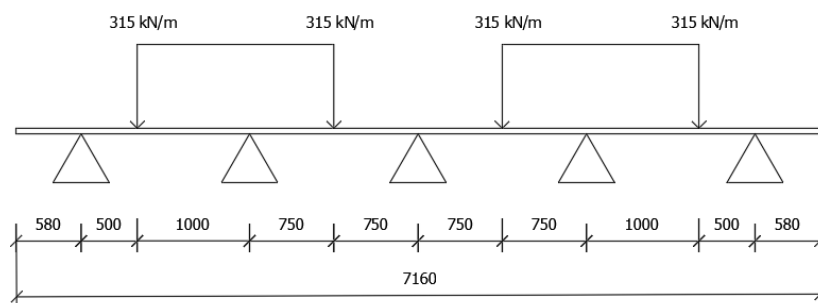
**Gambar 5.19 Input Beban Satu Truk**



**Gambar 5.20 Momen Beban Satu Truk**

## 2) Dua truk

Pada analisis beban dua buah truk, Input beban dan hasil momen ditunjukkan pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 berikut ini.



**Gambar 5.21 Input Beban Satu Truk**



**Gambar 5.22 Momen Beban Dua Truk**

## e. Rekapitulasi Momen Pada Pelat

**Tabel 5.2 Rekapitulasi Momen Ultimit pada Pelat**

| Kode Beban    | Beban                  | Momen (kNm) |         |
|---------------|------------------------|-------------|---------|
|               |                        | Positif     | Negatif |
| MS            | Pelat Lantai           | 1,61        | -2,94   |
| MA            | Trotoar                | 0,64        | -3,93   |
|               | Lapis Perkerasan Jalan | 0,37        | -0,54   |
|               | Genangan Air Hujan     | 0,16        | -0,27   |
| TP            | Pejalan Kaki           | 0,54        | -3,37   |
| TT            | Truk                   | 83,04       | -66,01  |
| <b>Jumlah</b> |                        | 86,36       | -77,06  |

## 6. Penulangan Pelat Lantai Jembatan

## a. Tulangan Momen Positif

## 1) Tulangan Pokok

|                                            |             |
|--------------------------------------------|-------------|
| Diameter tulangan pokok ( $d_p$ )          | = 16 mm     |
| Kuat tekan beton ( $f'_c$ )                | = 30 MPa    |
| Kuat leleh baja tulangan ( $f_y$ )         | = 420 MPa   |
| Tebal pelat lantai ( $t_s$ )               | = 250 mm    |
| Selimut beton ( $s_b$ )                    | = 40 mm     |
| Lebar tinjauan ( $l$ )                     | = 1000 mm   |
| Faktor reduksi kuat letur beton ( $\phi$ ) | = 0,8       |
| Momen ultimate ( $M_u$ )                   | = 86,36 kNm |

a) Menghitung nilai momen nominal ( $M_n$ )

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{86,36 \cdot 10^6}{0,8} \\
 &= 107950000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

b) Menentukan tinggi efektif ( $d$ )

$$\begin{aligned}
 d &= t_s - s_b - (0,5 \times d_p) \\
 &= 250 - 40 - (0,5 \times 19) \\
 &= 202 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c) Menghitung nilai koefisien penampang ( $R_n$ )

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{107950000}{1000 \cdot 16^2} \\ &= 2,646 \text{ MPa} \end{aligned}$$

d) Menghitung jumlah tulangan maksimal yang bisa dipasang di 1 baris

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \cdot 30} \\ &= 16,471 \end{aligned}$$

e) Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho \text{ min } 1 &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,00333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ min } 2 &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} \\ &= 0,00326 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min pakai} = 0,00333$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,471} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,471 \times 2,646}{420}} \right) \\ &= 0,00666 \end{aligned}$$

$\rho \text{ perlu} > \rho \text{ min}$ , maka rasio tulangan yang dipakai adalah sebagai berikut.

$0,00666 > 0,00333$ , maka aman.

$$\rho \text{ pakai} = 0,00666$$

f) Menghitung luas tulangan pokok ( $A_s$ )

$$\begin{aligned}
 \text{As pokok 1} &= \rho \times l \times d \\
 &= 0,00666 \times 1000 \times 202 \\
 &= 1215,496 \text{ mm}^2 \\
 \\
 \text{As pokok 2} &= \frac{l \times d}{F_y} \\
 &= \frac{1000 \times 202}{420} \\
 &= 480,952 \text{ mm}^2 \\
 \text{As pokok pakai} &= 1346,288 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

g) Menghitung jarak tulangan pokok (S)

$$\begin{aligned}
 S_{pokok} &= \frac{A1d \times l}{As} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{1346,288} \\
 &= 149,270 \text{ mm} \\
 S_{pokok} \text{ pakai} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

h) Kontrol luas tulangan perlu dan pakai

$$\begin{aligned}
 As' &= \frac{A1d \times l}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{100} \\
 &= 2009,600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$As' > As$ , maka aman.

Tulangan pokok pada pelat lantai kendaraan momen positif menggunakan tulangan D16-100.

2) Tulangan bagi

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tulangan bagi (db)} &= 16 \text{ mm} \\
 \text{Lebar Tinjauan (l)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{Tebal pelat (ts)} &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

a) Menghitung luas tulangan bagi (As)

$$As_{bagi\ 1} = 50\% \times As \text{ Pokok}$$

$$\begin{aligned}
 &= 50\% \times 1346,288 \\
 &= 673,144 \text{ mm}^2 \\
 A_{s_{bagi\ 2}} &= 0,002 \times l \times ts \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 250 \\
 &= 500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ bagi pakai}} = 673,144 \text{ mm}^2$$

b) Menghitung jarak tulangan bagi (S)

$$\begin{aligned}
 S_{bagi} &= \frac{A1d \times l}{S \text{ bagi pakai}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 100}{673,144} \\
 &= 298,539 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks\ 1} &= 5 \times ts \\
 &= 5 \times 250 \\
 &= 1250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks\ 2} = 450 \text{ mm}$$

$$S_{bagi \text{ pakai}} = 150 \text{ mm}$$

c) Kontrol luas tulangan perlu dan pakai

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \frac{A1d \times l}{S \text{ bagi pakai}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{150} \\
 &= 1339,733 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_s' > A_s$ , maka aman.

Tulangan pokok pada pelat lantai kendaraan momen positif menggunakan tulangan D16 – 150.

b. Tulangan Momen Negatif

1) Tulangan pokok

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tulangan pokok (dp)} &= 16 \text{ mm} \\
 \text{Kuat tekan beton (f'c)} &= 30 \text{ MPa} \\
 \text{Kuat leleh baja tulangan (fy)} &= 420 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal pelat lantai (ts)} &= 250 \text{ mm} \\
 \text{Selimut beton (sb)} &= 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar tinjauan (l)} &= 1000 \text{ mm} \\ \text{Faktor reduksi kuat letur beton } (\phi) &= 0,8 \\ \text{Momen ultimate (Mu)} &= 77,06 \text{ kNm}\end{aligned}$$

a) Menghitung nilai momen nominal (Mn)

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{77,06 \cdot 10^6}{0,8} \\ &= 96325000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

b) Menentukan tinggi efektif (d)

$$\begin{aligned}d &= t_s - s_b - (0,5 \times d_p) \\ &= 250 - 40 - (0,5 \times 19) \\ &= 202 \text{ mm}\end{aligned}$$

c) Menghitung nilai koefisien penampang (Rn)

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{96325000}{1000 \cdot 16^2} \\ &= 2,361 \text{ MPa}\end{aligned}$$

d) Menghitung jumlah tulangan maksimal yang bisa dipasang di 1 baris

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \cdot 30} \\ &= 16,471\end{aligned}$$

e) Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned}\rho \text{ min 1} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,00333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ min 2} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} \\ &= 0,00326\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min pakai}} = 0,00333$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,471} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,471 \times 2,361}{420}} \right) \\ &= 0,00591\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$ , maka rasio tulangan yang dipakai adalah sebagai berikut.

$0,00591 > 0,00333$ , maka aman

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,005908$$

f) Menghitung luas tulangan pokok ( $A_s$ )

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pokok 1}} &= \rho \times l \times d \\ &= 0,005908 \times 1000 \times 202 \\ &= 1193,439 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pokok 2}} &= \frac{l \times d}{F_y} \\ &= \frac{1000 \times 202}{420} \\ &= 480,950 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pokok pakai}} = 1193,439 \text{ mm}^2$$

g) Menghitung jarak tulangan pokok ( $S$ )

$$\begin{aligned}S_{\text{pokok}} &= \frac{A1d \times l}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{1193,439} \\ &= 168,387 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{\text{pokok pakai}} = 100 \text{ mm}$$

h) Kontrol luas tulangan perlu dan pakai

$$\begin{aligned}A_{s'} &= \frac{A1d \times l}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{100}\end{aligned}$$

$$= 2009,6 \text{ mm}^2$$

$A_s' > A_s$ , maka aman.

Tulangan pokok pada pelat lantai kendaraan momen positif menggunakan tulangan D16 – 150.

## 2) Tulangan Bagi

$$\text{Diameter tulangan bagi (db)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Tinjaan (l)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (ts)} = 250 \text{ mm}$$

### a) Menghitung luas tulangan bagi ( $A_s$ )

$$A_{s_{bagi\ 1}} = 50\% \times A_s \text{ Pokok}$$

$$= 50\% \times 1193,439$$

$$= 596,7197 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{bagi\ 2}} = 0,002 \times l \times ts$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 250$$

$$= 500 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ bagi pakai} = 596,7197 \text{ mm}^2$$

### b) Menghitung jarak tulangan bagi (S)

$$S_{bagi} = \frac{A1d \times l}{S \text{ bagi pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{596,7197}$$

$$= 336,7746 \text{ mm}$$

$$S_{maks\ 1} = 5 \times ts$$

$$= 5 \times 250$$

$$= 1250 \text{ mm}$$

$$S_{maks\ 2} = 450 \text{ mm}$$

$$S_{bagi\ \text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

### c) Kontrol luas tulangan perlu dan pakai

$$A_s' = \frac{A1d \times l}{S \text{ bagi pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{150}$$

$$= 1339,733 \text{ mm}^2$$

$A_s' > A_s$ , maka aman.

Tulangan pokok pada pelat lantai kendaraan momen positif menggunakan tulangan D16 – 150

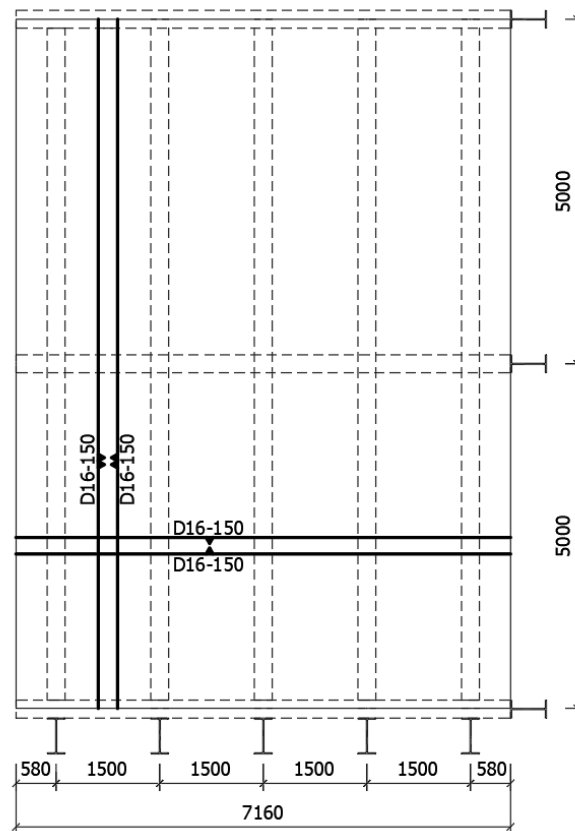
#### 7. Rekapitulasi Tulangan Pelat

Kebutuhan tulangan pelat lantai dari perhitungan yang telah dilakukan ditampilkan pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.3 Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai**

| Bagian                      | Tulangan Pokok | Tulangan Bagi |
|-----------------------------|----------------|---------------|
| Pelat momen positif (bawah) | D16 – 100      | D16 – 150     |
| Pelat momen negatif (atas)  | D16 – 100      | D16 – 150     |

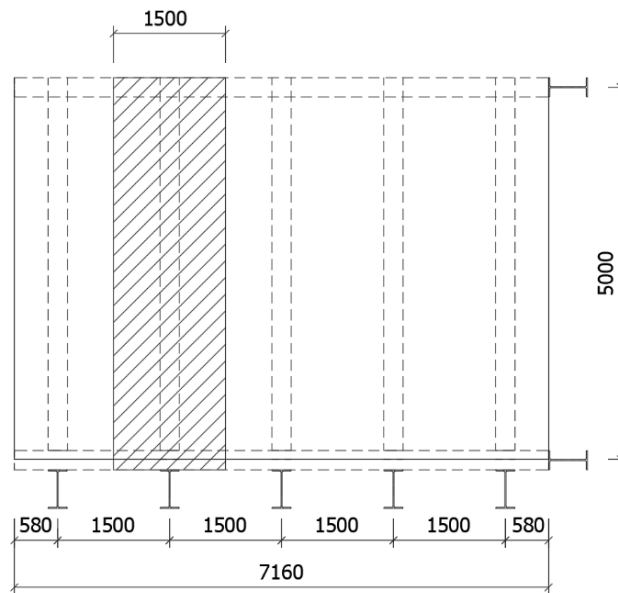
Selanjutnya dari hasil rekapitulasi tersebut, dibuat gambar penempatan tulangan yang ditampilkan pada Gambar berikut ini.



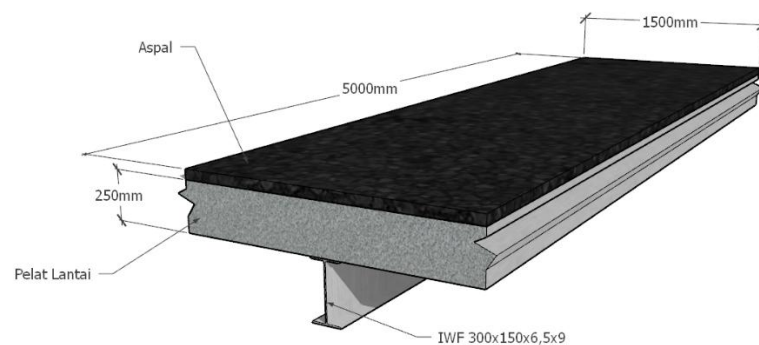
**Gambar 5.23 Tulangan Pelat Lantai Kendaraan**

### 5.1.2 Perencanaan Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang merupakan struktur baja dibawah pelat lantai kendaraan yang searah dengan sumbu jalan. Gelagar memanjang menerima beban diatasnya seperti beban dari lantai kendaraan dan beban kendaraan. Dari gelagar memanjang beban tersebut akan diteruskan menuju gelagar melintang. Tinjauan gelagar memanjang dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut ini.



**Gambar 5.24 Tinjauan Gelagar Memanjang**



**Gambar 5.25 Detail Tinjauan Gelagar Memanjang**

Berikut ini merupakan perhitungan perencanaan gelagar memanjang jembatan.

1. Pembebanan

a. Beban mati sendiri (MS)

1) Gelagar memanjang (MS1)

Profil baja = IWF 300 × 150 × 6,5 × 9

Panjang gelagar (L) = 5 m

Berat gelagar (W) = 36,7 kg/m

= 0,36 kN/m

## 2) Pelat lantai

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi pelat (ts)} &= 0,25 \text{ m} \\
 \text{Lebar pelat (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis beton } (\gamma_b) &= 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\
 q_{MS1} &= \gamma_b \times b \times ts \\
 &= 24 \times 1,5 \times 0,25 \\
 &= 9 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## b. Beban mati tambahan (MA)

## 1) Lapis perkerasan jalan

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal lapis perkerasan (h2)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Lebar lapis perkerasan (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis aspal } (\gamma_a) &= 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\
 q_{\text{lapis perkerasan}} &= \gamma_a \times b \times h2 \\
 &= 22 \times 1,5 \times 0,05 \\
 &= 1,65 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## 2) Air hujan

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal genangan air hujan (h3)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Lebar (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis air } (\gamma_w) &= 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\
 q_{\text{air hujan}} &= \gamma_w \times b \times h \\
 &= 10 \times 1,5 \times 0,05 \\
 &= 0,75 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## c. Beban lajur (TD)

## 1) Beban terbagi merata (BTR)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang jembatan (L)} &= 150 \text{ m} \\
 \text{Lebar (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{BTR} &= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{L} \right) \right) \\
 &= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{150} \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,560 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 q_{\text{BTR}} &= \text{BTR} \times b \\
 &= 4,560 \times 1,5 \\
 &= 6,840 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2) Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{BGT} &= 49 \text{ kN/m} \\
 \text{Faktor beban dinamis} &= 40 \% \\
 \text{Faktor beban } (\gamma_{\text{TD}}) &= 1,8 \\
 P_{\text{BGT}} &= b \times \text{BGT} \times \text{FBD} \\
 &= 1,5 \times 49 \times (100 + 40) \% \\
 &= 102,900 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Rekapitulasi beban

Berikut merupakan faktor beban yang digunakan pada rekapitulasi beban pada gelagar memanjang serta rekapitulasi beban pada gelagar memanjang ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor beban mati sendiri beton} &= 1,3 \\
 \text{Faktor beban mati sendiri baja} &= 1,1 \\
 \text{Faktor beban mati tambahan} &= 2 \\
 \text{Faktor beban truk pada jembatan baja} &= 2 \\
 \text{Faktor beban pejalan kaki} &= 1,8
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Merata pada Gelagar Memanjang**

| Kode Beban                | Nama Beban             | Q (kN/m) | Faktor Beban | Qu (kN/m)     |
|---------------------------|------------------------|----------|--------------|---------------|
| MS                        | Pelat Lantai           | 0,36     | 1,1          | 0,396         |
| MA                        | Trotoar                | 9        | 1,3          | 11,7          |
|                           | Lapis Perkerasan Jalan | 1,65     | 2            | 3,3           |
|                           | Genangan Air Hujan     | 0,75     | 2            | 1,5           |
| TD                        | Beban Terbagi Merata   | 6,84     | 1,8          | 12,312        |
| <b>Total Beban Merata</b> |                        |          |              | <b>29,208</b> |

**Tabel 5.5 Rekapitulasi Beban Terpusat Kerja Pelat Lantai Kendaraan**

| Kode Beban                  | Nama Beban                 | P (kN/m) | Faktor Beban | Pu (kN/m) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|--------------|-----------|
| TD                          | Beban terbagi merata (BTR) | 102,900  | 1,8          | 185,220   |
| <b>Total Beban Terpusat</b> |                            |          |              | 185,220   |

2. Momen *ultimate* ( $M_u$ )

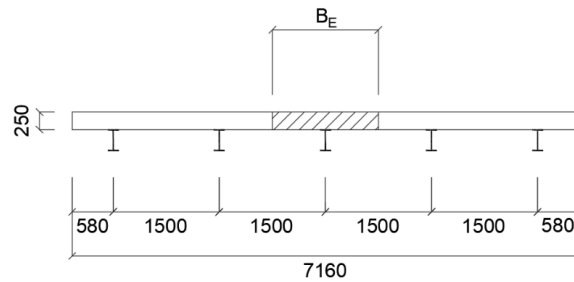
$$\begin{aligned}
 \text{Momen } ultimate (M_u) &= \left(\frac{1}{8} \times q \times L^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times P \times L\right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 29,208 \times 5^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 185,220 \times 5\right) \\
 &= 322,800 \text{ kN /m}
 \end{aligned}$$

3. Desain Gelagar Memanjang

|                                      |                        |
|--------------------------------------|------------------------|
| Tegangan maksimum beton ( $f_c'$ )   | = 30 MPa               |
| Tegangan leleh profil baja ( $f_y$ ) | = 410 MPa              |
| Profil baja                          | = IWF 300x150x6,5x9    |
| Tinggi (h)                           | = 300 mm               |
| Lebar (b)                            | = 150 mm               |
| Tebal badan ( $t_w$ )                | = 6,5 mm               |
| Tebal sayap ( $t_f$ )                | = 9 mm                 |
| Berat (w)                            | = 36,7 kg/m            |
| Luas penampang ( $A_s$ )             | = 4678 mm <sup>2</sup> |
| Tebal pelat lantai ( $t_s$ )         | = 250 mm               |

a. Lebar efektif pelat lantai ( $b_E$ )

Berikut merupakan penampang melintang yang digunakan dalam perhitungan lebar efektif pelat lantai pada Gambar 5.26.



**Gambar 5.26 Lebar Efektif Pelat**

Lebar pelat lantai ( $L_2$ ) = 7160 mm

Jarak antar gelagar memanjang ( $b_0$ ) = 1500 mm

Lebar efektif pelat yang digunakan merupakan

$$\begin{aligned} b_{E1} &\leq \frac{L_2}{4} \\ &= \frac{7160}{4} \\ &= 1790 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{E1} &\leq b_0 \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$b_E$  pakai = 1500 mm

b. Klasifikasi profil badan

$$\begin{aligned} \lambda_w &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{300}{6,5} \\ &= 46,156 \text{ mm} \end{aligned}$$

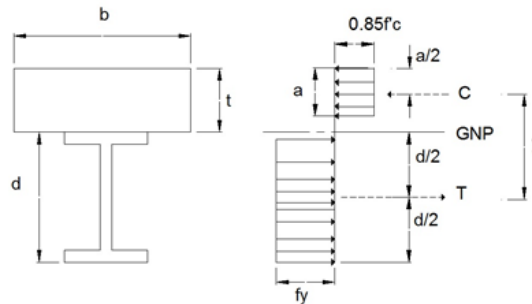
$$\begin{aligned} \lambda_{pw} &= 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 3,76 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &= 83,045 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw}$ , maka digunakan penampang kompak.

c. Momen Plastis

Karena menggunakan penampang kompak maka momen nominal yang digunakan yaitu momen plastis. Sumbu netral pada balok komposit perlu

dicari untuk menghitung momen tersebut. Posisi sumbu netral pada distribusi tegangan plastis dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut ini.



**Gambar 5.27 Distribusi Tegangan Plastis**

- 1) Luas penampang beton ( $A_c$ )

$$\begin{aligned} A_c &= t_s \times b_e \\ &= 250 \times 1500 \\ &= 375000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- 2) Resultan gaya maksimum

- a) Resultan gaya tekan maksimum (C)

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \times f'_c \times A_c \\ &= 0,85 \times 30 \times 375000 \\ &= 9562500 \text{ N} \end{aligned}$$

- b) Resultan gaya tarik maksimum (T)

$$\begin{aligned} T &= f_y \times A_s \\ &= 410 \times 4678 \\ &= 1917980 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena  $C > T$ , maka garis netral plastis berada pada pelat lantai.

- d. Jarak garis netral plastis ke tepi atas pelat beton (gnp)

$$\begin{aligned} \text{gnp} &= \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times B_e} \\ &= \frac{410 \times 4678}{0,85 \times 30 \times 1500} \\ &= 50,143 \text{ mm} \end{aligned}$$

- e. Jarak dari tepi atas profil baja ke resultan gaya tekan beton (Y1)

$$Y1 = t_s - 0,5 \times \text{gnp}$$

$$= 250 - 0,5 \times 50,143$$

$$= 224,928 \text{ mm}$$

f. Jarak dari resultan gaya tekan beton ke resultan gaya tarik baja ( $d_1$ )

$$d_1 = Y_1 + (0,5 \times h)$$

$$= 224,928 + (0,5 \times 300)$$

$$= 374,928 \text{ mm}$$

g. Momen nominal lentur balok komposit

$$\phi M_n = \phi M_p = \frac{\phi \times F_y \times A_s \times d_1}{1000}$$

$$= \frac{0,9 \times 410 \times 4678 \times 374,928}{1000}$$

$$= 647194,597 \text{ Nmm}$$

$$= 647,195 \text{ kNm}$$

h. Cek keamanan profil terhadap momen

$$\phi M_n = 647,195 \text{ kNm}$$

$$M_u = 322,800 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_u, \text{ maka aman}$$

i. Penghubung geser (*shear connector*)

Penghubung geser menggunakan stud dari produksi Nelson Stud Welding dengan spesifikasi S3L *Shear Connectors* (SC), berikut merupakan spesifikasinya.

$$\text{Diameter stud } (d_{\text{stud}}) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tegangan ultimate stud } (F_{U_{\text{stud}}}) = 450 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal sayap profil baja } (t_f) = 9 \text{ mm}$$

1) Cek batasan diameter stud

$$d_{\text{stud}} < 2,5 t_f$$

$$16 < 2,5 \times 9$$

$$16 < 22,5, \text{ maka aman}$$

2) Kuat geser nominal satu stud

$$R_g = 1$$

$$R_p = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 Q_{n1} &= 0,5 \times A_{sa} \times \sqrt{f'_c \times E_c} \\
 &= 0,5 \times \frac{1}{4} \pi \times 16^2 \times \sqrt{30 \times 4700 \sqrt{30}} \\
 &= 88346,576 \text{ N} \\
 &= 88,347 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{n2} &= R_g \times R_p \times A_{sa} \times F_{u_{stud}} \\
 &= 1 \times 0,75 \times \frac{1}{4} \pi \times 16^2 \times 450 \\
 &= 67858,401 \text{ N} \\
 &= 67,858 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$Q_{n \text{ pakai}} = 67,858 \text{ kN}$$

3) Gaya geser perlu

$$\begin{aligned}
 V' &= F_y \times A_s \\
 &= 410 \times 410 \\
 &= 1917980 \text{ N} \\
 &= 1917,98 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4) Jumlah stud (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{V'}{Q_n} \\
 &= \frac{1917,98}{67,858} \\
 &= 28,264
 \end{aligned}$$

$$n \text{ pakai} = 32 \text{ buah}$$

5) Jarak pemasangan (S)

a. Jarak longitudinal minimal antar stud

$$\begin{aligned}
 S1 &= \frac{L}{0,5n} > 6 \times d_{stud} \\
 &= \frac{5000}{0,5 \times 32} > 6 \times 19 \\
 &= 312,5 \text{ mm} > 114 \text{ mm, maka aman}
 \end{aligned}$$

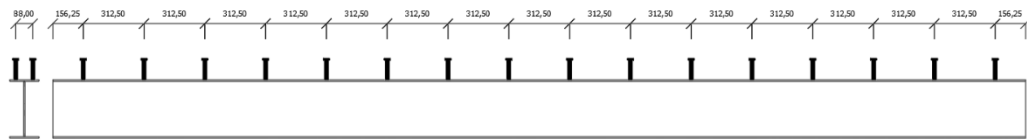
b. Jarak transversal minimum antar stud

$$\begin{aligned}
 S2 &= 4 \times d_{stud} \\
 &= 4 \times 19 \\
 &= 76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Jarak maksimal stud

$$\begin{aligned} S_3 &= 8 \times t_s \\ &= 8 \times 250 \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pemasangan *shear connector* pada gelagar memanjang dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan 5.29 berikut ini.



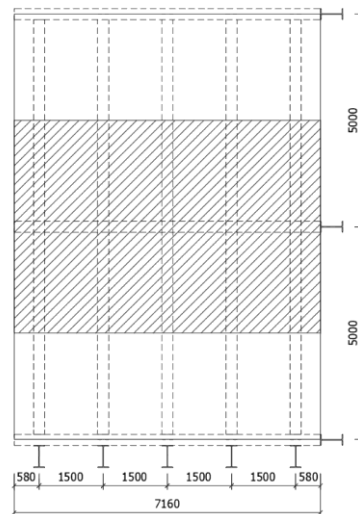
**Gambar 5.28 Tampak Samping Pemasangan Shear Connector pada Gelagar Memanjang**



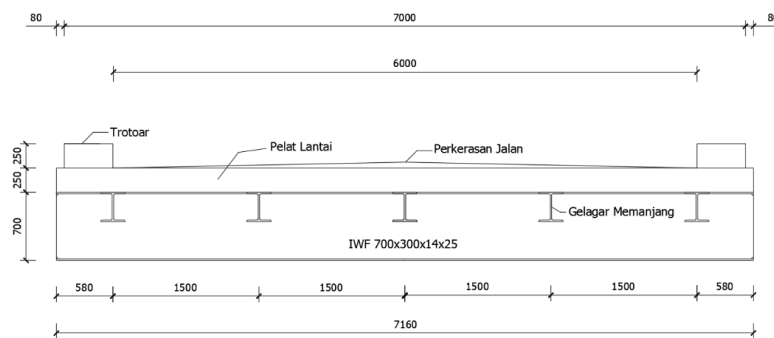
**Gambar 5.29 Tampak Atas Pemasangan Shear Connector pada Gelagar Memanjang**

### 5.1.3 Perencanaan Gelagar Melintang

Gelagar melintang, atau sering disebut sebagai diafragma, adalah elemen struktural pada jembatan yang berfungsi untuk menghubungkan beberapa gelagar memanjang serta menyalurkan gaya lentur dari gelagar memanjang ke rangka jembatan. Gelagar melintang yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.31 berikut ini.



**Gambar 5.30 Tinjauan Gelagar Melintang**



**Gambar 5.31 Potongan Gelagar Melintang**

Berikut ini perhitungan dalam perencanaan gelagar me melintang jembatan.

1. Pembebanan

a. Beban mati sendiri (MS)

1) Gelagar melintang (MS1)

$$\text{Profil baja} = \text{IWF } 700 \times 300 \times 14 \times 25$$

$$\text{Panjang gelagar} = 7,16$$

$$\text{Berat gelagar} = 174,27 \text{ kg/m}$$

$$= 1,709 \text{ kN/m}$$

2) Gelagar memanjang (MS2)

$$\text{Profil baja} = \text{IWF } 300 \times 150 \times 6,5 \times 9$$

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

$$\text{Berat gelagar} = 36,7 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,36 \text{ kN/m} \\
 P_{MS2} &= w \times L \\
 &= 0,36 \times 5 \\
 &= 1,8 \text{ kN} \\
 3) \text{ Berat pelat lantai (MS3)} \\
 \text{Tinggi pelat (ts)} &= 0,25 \text{ m} \\
 \text{Lebar tinjauan pelat (b)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis beton } (\gamma_b) &= 24 \text{ kN/m}^3 \\
 q_{MS3} &= \gamma_b \times b \times h \\
 &= 24 \times 5 \times 0,25 \\
 &= 30 \text{ kN/m} \\
 \text{b. Beban mati tambahan (MA)} \\
 1) \text{ Berat trotoar (MA1)} \\
 \text{Tinggi trotoar (h2)} &= 0,25 \text{ m} \\
 \text{Lebar tinjauan trotoar (b)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis beton } (\gamma_b) &= 24 \text{ kN/m}^3 \\
 q_{MA1} &= \gamma_b \times b \times h \\
 &= 24 \times 5 \times 0,25 \\
 &= 30 \text{ kN/m} \\
 2) \text{ Lapis perkerasan jalan (MA2)} \\
 \text{Tebal lapis perkerasan (h3)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Lebar tinjauan (b)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis aspal } (\gamma_b) &= 22 \text{ kN/m}^3 \\
 q \text{ lapis perkerasan} &= \gamma_b \times b \times h \\
 &= 22 \times 5 \times 0,05 \\
 &= 5,5 \text{ kN/m} \\
 3) \text{ Air hujan (MA3)} \\
 \text{Tebal genangan air hujan (h4)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Lebar tinjauan (b)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis air } (\gamma_w) &= 10 \text{ kN/m}^3 \\
 q \text{ air hujan} &= \gamma_w \times b \times h
 \end{aligned}$$

$$= 10 \times 5 \times 0,05$$

$$= 2,5 \text{ kN/m}$$

c. Beban lajur (TD)

1) Beban terbagi merata (BTR)

$$\text{Panjang jembatan (L)} = 50 \text{ m}$$

$$\text{Lebar tinjauan (b)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{BTR} = 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{L} \right) \right)$$

$$= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{50} \right) \right)$$

$$= 7,2 \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ BTR} = \text{BTR} \times b$$

$$= 7,2 \times 5$$

$$= 36 \text{ kN/m}$$

2) Beban garis terpusat (BGT)

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

$$\text{Faktor beban dinamis (FBD)} = 40\%$$

$$q \text{ BGT} = \text{BGT} \times (100\% + \text{FBD})$$

$$= 49 \times (100\% + 40\%)$$

$$= 68,6 \text{ kN/m}$$

d. Beban pejalan kaki (TP)

$$\text{Panjang trotoar (b)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Intensitas beban pejalan kaki} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat sendiri akibat pejalan kaki (Q}_{TP}\text{)}$$

$$Q_{TP} = q \times b$$

$$= 5 \times 5$$

$$= 25 \text{ kN/m}$$

e. Rekapitulasi beban

Berikut merupakan faktor beban yang digunakan pada rekapitulasi beban pada gelagar melintang serta rekapitulasi beban pada gelagar melintang ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

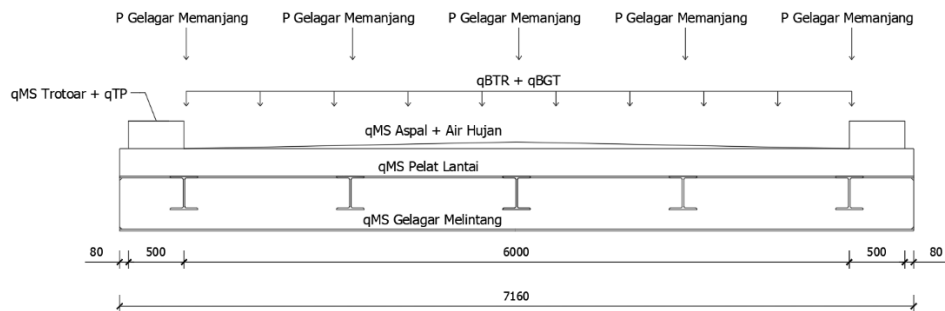
|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Faktor beban mati sendiri beton | = 1,3 |
| Faktor beban mati sendiri baja  | = 1,1 |
| Faktor beban mati tambahan      | = 2   |
| Faktor beban kendaraan          | = 1,8 |
| Faktor beban pejalan kaki       | =1,8  |

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Beban Pada Gelagar Melintang**

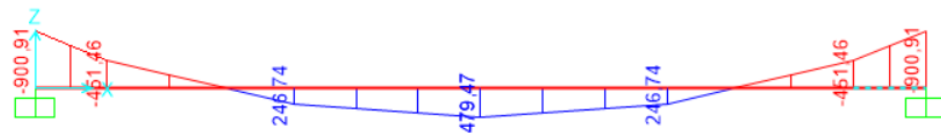
| Kode Beban | Nama Beban             | Q (kN/m) | Faktor Beban | Qu (kN/m) |
|------------|------------------------|----------|--------------|-----------|
| MS         | Gelagar melintang      | 1,709    | 1,1          | 1,880     |
|            | Pelat Lantai           | 30       | 1,3          | 39        |
| MA         | Trotoar                | 30       | 2            | 60        |
|            | Lapis Perkerasan Jalan | 5,5      | 2            | 11        |
|            | Genangan Air Hujan     | 2,5      | 2            | 5         |
| TD         | Beban terbagi rata     | 36       | 1,8          | 64,80     |
|            | Beban garis terpusat   | 68,6     | 1,8          | 123,48    |
| TP         | Pejalan Kaki           | 25       | 1,8          | 45        |
| Kode Beban | Nama Beban             | P (kN)   | Faktor Beban | Pu (kN)   |
| MS         | Gelagar memanjang      | 1,8      | 1,1          | 1,98      |

2. Perhitungan momen dan gaya geser

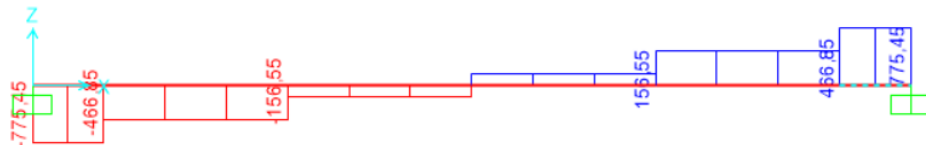
Perhitungan momen dan gaya geser dilakukan pada SAP2000 yang diasumsikan gelagar melintang sebagai balok terjepit pada bagian ujungnya terhadap rangka baja. Berikut ini merupakan gambar pembebanan, grafik BMD, dan grafik SFD yang ditunjukkan pada Gambar 5.32, Gambar 5.33, dan Gambar 5.34.



**Gambar 5.32 Pembebanan pada Gelagar Melintang**



**Gambar 5.33 BMD Gelagar Melintang**



**Gambar 5.34 SFD Gelagar Melintang**

3. Analisis pada penampang profil

|                                      |                                                            |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Tegangan leleh profil baja ( $F_y$ ) | = 410 MPa                                                  |
| Profil baja                          | = IWF 700 × 300 × 14 × 25                                  |
| Tinggi ( $h$ )                       | = 700 mm                                                   |
| Lebar ( $b$ )                        | = 300 mm                                                   |
| Tebal badan ( $t_w$ )                | = 14 mm                                                    |
| Tebal sayap ( $t_f$ )                | = 25 mm                                                    |
| Berat ( $W$ )                        | = 174,24 kg/m                                              |
| Luas penampang ( $A_s$ )             | = $2 \times b \times t_f + t_w \times (h - 2 \times t_f)$  |
|                                      | = $2 \times 300 \times 25 + 14 \times (700 - 2 \times 25)$ |
|                                      | = 24100 mm <sup>2</sup>                                    |

|                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Momen inersia X                 | = 202977,0833 mm <sup>4</sup> |
| Momen inersia Y                 | = 112648633 mm <sup>4</sup>   |
| Radius girasi X                 | = 290,212 mm                  |
| Radius girasi Y                 | = 68,368 mm                   |
| Modulus elastis X               | = 5799345,238 mm <sup>3</sup> |
| Modulus elastis Y               | = 750990,889 mm <sup>3</sup>  |
| Modulus plastis X               | = 6541250 mm <sup>3</sup>     |
| Modulus plastis Y               | = 1156850 mm <sup>3</sup>     |
| Panjang sokongan terkekang (Lb) | = 1500 mm                     |

a. Cek klasifikasi profil

1) Sayap

$$\begin{aligned}\lambda_f &= \frac{0,5 \times b}{t_f} \\ &= \frac{0,5 \times 300}{25} \\ &= 6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pf} &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &= 8,393\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pf} &= \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &= 22,086\end{aligned}$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf}$  dan  $\lambda_f < \lambda_{rf}$ , maka profil sayap kompak dan tidak langsing.

2) Badan

$$\begin{aligned}\lambda_w &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{700}{14} \\ &= 50,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{pw} &= 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{410}} \\
 &= 83,045
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rw} &= 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{410}} \\
 &= 125,892
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan  $\lambda_w < \lambda_{pw}$  dan  $\lambda_w < \lambda_{rw}$ , maka profil badan kompak dan tidak langsing.

- b. Kuat lentur kondisi leleh umum (plastis sempurna)

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \times F_y \\
 &= 6541250 \times 410 \\
 &= 2681912500 \text{ Nmm} \\
 &= 2681,9125 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- c. Kuat lentur kondisi tekuk torsi-lateral

- 1) Konstanta pembengkokan

$$\begin{aligned}
 C_w &= \frac{I_y \times h_o^2}{4} \\
 &= \frac{112648633 \times (700 - 25)^2}{4} \\
 &= 1,283 \times 10^{13}
 \end{aligned}$$

- 2) Radius girasi efektif

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \sqrt{\frac{I_y \times h_o}{2 \times S_x}} \\
 &= \sqrt{\frac{112648633 \times (700 - 25)}{2 \times 5799345,238}} \\
 &= 80,967 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 3) Konstanta torsi

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{1}{3} \times [(2 \times t_f^3 \times b) + (t_w^3 \times h_o)] \\
 &= \frac{1}{3} \times [(2 \times 25^3 \times 300) + (14^3 \times (700 - 25))]
 \end{aligned}$$

$$= 3742400 \text{ mm}^4$$

4) Batas panjang tidak terbreis secara lateral untuk kondisi batas leleh

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \times 68,368 \times \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &= 2657,603 \end{aligned}$$

5) Batas panjang tidak terbreis secara lateral untuk kondisi batas tekuk torsi lateral inelastis.

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \times \sqrt{\frac{J}{S_x \times h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_x \times h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times F_y}{E}\right)^2}} \\ A &= 1,95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \\ &= 1,95 \times 80,967 \times \frac{200000}{0,7 \times 410} \\ &= 110025,432 \\ B &= \sqrt{\frac{J}{S_x \times h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_x \times h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times F_y}{E}\right)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{3742400}{5799345,238 \times (800-26)} + \sqrt{\left(\frac{3742400}{5799345,238 \times (800-26)}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times 410}{200000}\right)^2}} \\ &= 0,069 \\ L_r &= A \times B \\ &= 110025,432 \times 0,069 \\ &= 7628,785 \text{ mm} \end{aligned}$$

6) Panjang sokong terkekang

$$L_b = 1500 \text{ mm}$$

Karena  $L_b < L_p < L_r$ , maka tidak terjadi tekuk torsi lateral. Oleh karena itu, momen nominal yang digunakan adalah momen nominal berdasarkan kondisi leleh biasa.

d. Cek pada keamanan profil terhadap lentur

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_p \\ &= 0,9 \times 2681,9125 \end{aligned}$$

$$= 2413,721 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1025,050 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u$ , maka aman.

e. Kuat geser balok

1) Rasio tinggi tebal

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{700}{14} \\ &= 50\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pw1} &= 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 2,24 \times \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &= 49,473\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pw2} &= 1,1 \times \sqrt{5,34 \times \frac{E}{F_y}} \\ &= 1,1 \times \sqrt{5,34 \times \frac{200000}{410}} \\ &= 56,142\end{aligned}$$

Karena  $\lambda > \lambda_{pw1}$  dan  $\lambda > \lambda_{pw2}$ , maka perlu dicari nilai  $C_v$  dengan nilai  $\phi$  adalah 1.

2) Menghitung  $C_v$

$$\begin{aligned}C_v &= \frac{1,1 \sqrt{k_v \times \frac{E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}} \\ &= \frac{1,1 \sqrt{5,34 \times \frac{200000}{410}}}{\frac{700}{14}} \\ &= 1,123\end{aligned}$$

3) Cek keamanan profil terhadap geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \times 0,6 \times F_y \times A_{web} \times C_v \\ &= 1 \times 0,6 \times 410 \times (700 \times 14) \times 1,123 \\ &= 2706933,343 \text{ N} \\ &= 2706,933343 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$V_u = 775,45$$

$\phi V_n > V_u$ , maka aman.

#### 5.1.4 Perencanaan Struktur Rangka Baja

Rangka baja difungsikan sebagai struktur utama dalam perencanaan jembatan ini. Struktur tersebut dirancang untuk menerima dan menahan beban aksial, yang meliputi gaya tekan maupun gaya tarik. Perencanaan struktur rangka baja pada jembatan dapat adalah sebagai berikut ini.

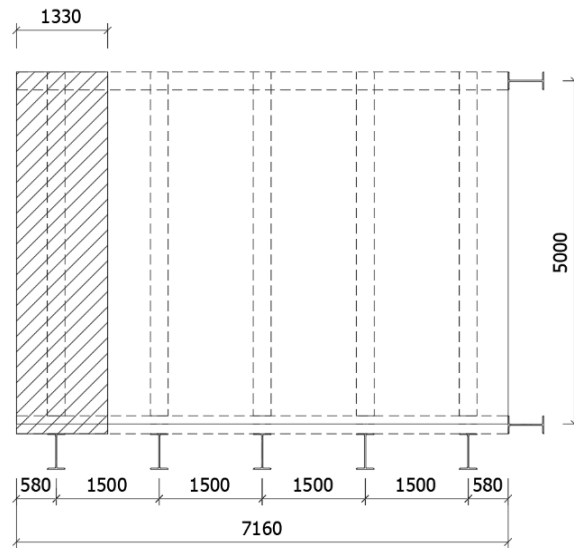
##### 1. Pembebanan

###### a. Beban mati sendiri (MS)

Pemberian beban pada rangka disesuaikan dengan jalur distribusi beban yang terjadi. Komponen jembatan pertama yang menerima beban dari kendaraan serta pelat lantai adalah gelagar memanjang. Beban yang bekerja pada gelagar memanjang ini kemudian dikonversi menjadi beban titik, yang diteruskan ke gelagar melintang di setiap titik tumpuan untuk dianalisis lebih lanjut.

###### 1) Beban gelagar memanjang tepi

Proses pembebanan pada rangka dilakukan berdasarkan jalur penyaluran beban yang terjadi secara struktural. Komponen jembatan yang pertama kali menerima beban dari kendaraan serta pelat lantai adalah gelagar memanjang. Perhitungan beban pada rangka dilakukan dengan meninjau beban yang bekerja pada gelagar memanjang, yang kemudian dikonversikan menjadi beban titik pada gelagar melintang di setiap titik tumpuannya. Bagian yang ditinjau untuk analisis beban mati sendiri pada gelagar memanjang tepi dapat dilihat pada Gambar

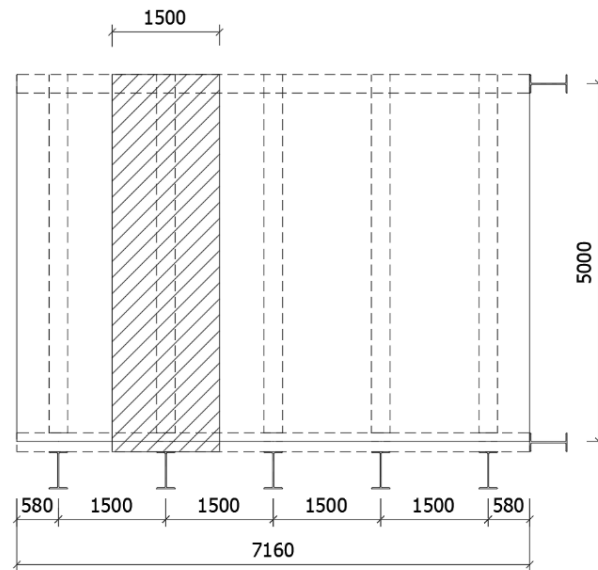


**Gambar 5.35 Gelagar Memanjang Tepi**

|                                  |                                                                                                               |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tinggi pelat (ts)                | = 0,25 m                                                                                                      |
| Lebar pelat (b)                  | = 1,330 m                                                                                                     |
| Panjang (l)                      | = 5 m                                                                                                         |
| Berat jenis beton ( $\gamma_b$ ) | = $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$                                                                           |
| $P_{\text{pelat}}$               | $= \gamma_b \times b \times ts \times l$<br>$= 24 \times 1,330 \times 0,25 \times 5$<br>$= 39,9 \text{ Kn/m}$ |

2) Berat gelagar memanjang tengah

Bagian yang ditinjau untuk analisis beban mati sendiri pada gelagar memanjang tengah dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut ini.



**Gambar 5.36 Gelagar Memanjang Tengah**

|                                  |                                                                                                           |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tinggi pelat (ts)                | = 0,25 m                                                                                                  |
| Lebar pelat (b)                  | = 1,5 m                                                                                                   |
| Panjang (l)                      | = 5 m                                                                                                     |
| Berat jenis beton ( $\gamma_b$ ) | = $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$                                                                       |
| $P_{\text{pelat}}$               | $= \gamma_b \times b \times ts \times l$<br>$= 24 \times 1,5 \times 0,25 \times 5$<br>$= 45 \text{ kN/m}$ |

b. Beban mati tambahan (MA)

1) Beban pada gelagar memanjang tepi

a) Trotoar

|                                  |                                                                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Tinggi trotoar (h)               | = 0,25 m                                                                          |
| Lebar trotoar (b)                | = 0,50 m                                                                          |
| Panjang (l)                      | = 5 m                                                                             |
| Berat jenis beton ( $\gamma_b$ ) | = $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$                                               |
| $P_{\text{trotoar}}$             | $= \gamma_b \times b \times h \times l$<br>$= 24 \times 0,5 \times 0,25 \times 5$ |

$$= 15 \text{ kN}$$

b) Lapis perkerasan jalan

$$\text{Tebal lapis perkerasan (h)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar lapis perkerasan (b)} = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (l)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis aspal } (\gamma_a) = 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{lapis perkerasan}} &= \gamma_a \times b \times h \times l \\ &= 22 \times 0,75 \times 0,05 \times 5 \\ &= 4,125 \text{ kN} \end{aligned}$$

c) Air hujan

$$\text{Tebal genangan air hujan (h)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (l)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis air } (\gamma_w) = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{air hujan}} &= \gamma_w \times b \times h \times l \\ &= 10 \times 0,75 \times 0,05 \times 5 \\ &= 1,875 \text{ kN} \end{aligned}$$

d) Berat total

Dari perhitungan diatas didapatkan berat total pada gelagar memanjang tepi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_{\text{trotoar}} + P_{\text{perkerasan}} + P_{\text{air hujan}} \\ &= 15 + 4,125 + 1,875 \\ &= 21 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Beban pada gelagar memanjang tengah

a) Lapis perkerasan jalan

$$\text{Tebal lapis perkerasan (h)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar lapis perkerasan (b)} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (l)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis aspal } (\gamma_a) = 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{lapis perkerasan}} &= \gamma_a \times b \times h \times l \\
 &= 22 \times 1,5 \times 0,05 \times 5 \\
 &= 8,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## b) Air hujan

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal genangan air hujan (h)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Lebar (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Panjang (l)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis air } (\gamma_w) &= 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\
 P_{\text{air hujan}} &= \gamma_w \times b \times h \times l \\
 &= 10 \times 1,5 \times 0,05 \times 5 \\
 &= 3,75 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## c) Berat total

Dari perhitungan diatas didapatkan berat total pada gelagar memanjang Tengah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= P_{\text{perkerasan}} + P_{\text{air hujan}} \\
 &= 8,25 + 3,75 \\
 &= 12 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## c. Beban lajur (TD)

## 1) Beban pada gelagar memanjang tepi

## a) Beban terbagi merata (BTR)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang jembatan (L)} &= 50 \text{ m} \\
 \text{Panjang gelagar memanjang (l)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Lebar lajur (b)} &= 0,75 \text{ m} \\
 \text{BTR} &= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{L} \right) \right) \\
 &= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{50} \right) \right) \\
 &= 7,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 P_{\text{BTR}} &= \text{BTR} \times b \times l \\
 &= 7,20 \times 0,75 \times 5 \\
 &= 27,00 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

## 2) Berat gelagar memanjang tengah

## a) Beban terbagi merata (BTR)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang jembatan (L)} &= 50 \text{ m} \\
 \text{Panjang gelagar memanjang (l)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Lebar lajur (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{BTR} &= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{L} \right) \right) \\
 &= 9 \times \left( 0,5 + \left( \frac{15}{50} \right) \right) \\
 &= 7,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 P_{BTR} &= \text{BTR} \times b \times l \\
 &= 7,20 \times 1,5 \times 5 \\
 &= 52,00 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

## 3) Berat gelagar melintang tengah

## a) Beban terbagi terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 \text{BGT} &= 49 \text{ kN/m} \\
 \text{Faktor beban dinamis (FBD)} &= 40\% \\
 P_{BGT} &= \text{BGT} \times \text{FBD} \\
 &= 49 \times (100 + 40\%) \\
 &= 68,6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## d. Beban pejalan kaki (TP)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang gelagar memanjang (l)} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Intensitas beban pejalan kaki} &= 5 \text{ kN/m}^2 \\
 P_{TP} &= \text{intensitas pejalan kaki} \times l \\
 &= 5 \times 5 \\
 &= 25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## e. Beban rem (TB)

## 1) Beban rem 1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat gandar truk} &= 125 \text{ kN} \\
 \text{Beban rem 1} &= 25\% \times \text{berat gandar truk} \\
 &= 25\% \times 125
 \end{aligned}$$

$$= 31,25 \text{ kN}$$

## 2) Beban rem 2

$$\text{Berat truk rencana (TT)} = 500 \text{ kN}$$

$$\text{Beban terbagi rata (BTR)} = 5,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Lebar jalur (b)} = 6 \text{ m}$$

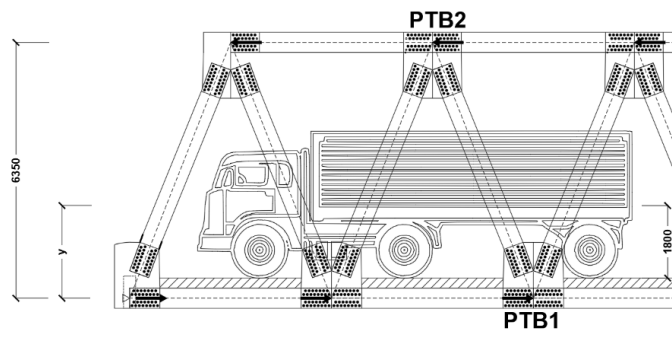
$$\text{Panjang bentang jembatan (L)} = 150 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban rem 2} &= 5\% \times (TT + (BTR \times b \times L)) \\ &= 5\% \times (500 + (5,40 \times 6 \times 150)) \\ &= 268 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua nilai beban rem yang ada, dipilih nilai yang paling besar yaitu 198,25 kN. Beban rem ini kemudian ditempatkan pada jalur yang dilalui oleh kendaraan dengan arah gerak yang sama. Gaya rem dianggap bekerja secara horizontal pada ketinggian 1800 mm dari permukaan jalan. Karena gaya ini akan bekerja pada gelagar memanjang, maka perlu ditentukan jarak (lengan gaya) antara titik aplikasi beban rem dan posisi gelagar memanjang tersebut.

$$\begin{aligned} y &= 1800 + t_a + t_s + h/2 \\ &= 1800 + 50 + 250 + 300/2 \\ &= 2250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena struktur rangka tidak menerima momen, sehingga momen akibat gaya rem tersebut ditransformasikan menjadi gaya longitudinal yang saling berlawanan pada elemen-elemen struktur yang terhubung, terutama pada titik buhul bawah dan titik buhul atas. Pemodelan gaya rem akibat beban truk dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut ini.



**Gambar 5.37 Gaya Rem Akibat Beban Truk**

Selanjutnya dicari gaya rem pada tiap titik buhul, dengan jumlah sebagai berikut.

Joint bawah = 11 buah

Joint atas = 10 buah

Gaya rem tiap titik buhul bawah

$$\sum M_1 = 0$$

$$[(P_{TB1} \times H) \times \text{joint bawah}] - [TB \times (H - y)] = 0$$

$$\begin{aligned} P_{TB1} &= \frac{TB \times (H - y)}{H \times \text{joint bawah}} \\ &= \frac{268 \times (6350 - 2250)}{6350 \times 11} \\ &= 15,731 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya rem tiap titik buhul bawah

$$\sum M_1 = 0$$

$$[(P_{TB2} \times H) \times \text{joint atas}] - [TB \times y] = 0$$

$$\begin{aligned} P_{TB1} &= \frac{TB \times y}{H \times \text{joint atas}} \\ &= \frac{268 \times 2250}{6350 \times 10} \\ &= 9,496 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Beban angin struktur ( $EW_s$ )

Beban angin yang bekerja pada struktur jembatan merupakan tekanan angin horizontal yang diasumsikan berasal dari angin rencana dengan kecepatan dasar (VB) antara 90 hingga 126 km/jam. Beban ini dianggap tersebar secara merata di seluruh permukaan jembatan yang terpapar angin. Dalam perencanaan beban angin, kondisi permukaan hulu

diasumsikan sebagai wilayah sub-urban. Karena tidak tersedia data survei angin, maka kecepatan angin pada ketinggian 10.000 mm diasumsikan sama dengan kecepatan dasar angin rencana. Pada struktur atas jembatan memiliki 3 bentang jembatan sehingga pada perhitungan beban angin hanya ditinjau dari 1 bentang jembatan. Beban angin pada struktur jembatan dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

|                                                     |               |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| Kecepatan gesekan angin ( $V_o$ )                   | = 17,6 km/jam |
| Kecepatan angin elevasi 10000 m ( $V_{10}$ )        | = 126 km/jam  |
| Kecepatan angin rencana dasar ( $V_B$ )             | = 126 km/jam  |
| Elevasi struktur dari permukaan tanah ( $Z$ )       | = 13500 mm    |
| Panjang gesekan angin di hulu jembatan ( $Z_0$ )    | = 1000 mm     |
| Tekanan angin dasar tekan ( $P_{B \text{ tekan}}$ ) | = 0,0024 MPa  |
| Tekanan angin dasar hisap ( $P_{B \text{ hisap}}$ ) | = 0,0012 MPa  |

1) Kecepatan angin rencana di elevasi rencana

$$\begin{aligned}
 V_{DZ} &= 2,5 \times V_o \times \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \times \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \\
 &= 2,5 \times 17,6 \times \left( \frac{126}{126} \right) \times \ln \left( \frac{13500}{1000} \right) \\
 &= 114,518 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

2) Tekanan angin tekan

$$\begin{aligned}
 P_D \text{ tekan} &= P_B \times \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \\
 &= 0,0024 \times \left( \frac{114,518}{126} \right)^2 \\
 &= 0,0020 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3) Tekanan air hisap

$$\begin{aligned}
 P_D \text{ hisap} &= P_B \times \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \\
 &= 0,0012 \times \left( \frac{114,518}{126} \right)^2 \\
 &= 0,0010 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang batang atas (la)} = 45 \text{ m}$$

$$\text{Panjang batang bawah (lb)} = 50 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi jembatan (h)} = 6,35$$

$$\text{Jumlah joint (n)} = 21 \text{ buah}$$

4) Luas area beban angin

$$\begin{aligned} A_b &= 30\% \times \frac{la + lb}{2} \times h \\ &= 30\% \times \frac{45 + 50}{2} \times 6,35 \\ &= 90,488 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5) Gaya angin horizontal bidang tekan

$$\begin{aligned} P_{EWT} &= A_b \times P_{DT} \\ &= 90,488 \times (0,0020 \times 1000) \\ &= 179,394 \text{ kN} \end{aligned}$$

6) Gaya angin horizontal bidang tekan tiap joint

$$\begin{aligned} P_{EWT} &= \frac{P_{EWT}}{\text{jumlah joint}} \\ &= \frac{179,394}{31} \\ &= 8,543 \text{ kN} \end{aligned}$$

7) Gaya angin horizontal bidang hisap

$$\begin{aligned} P_{EWH} &= A_b \times P_{DH} \\ &= 8,543 \times (0,0010 \times 1000) \\ &= 89,697 \text{ kN} \end{aligned}$$

8) Gaya angin horizontal bidang hisap tiap joint

$$\begin{aligned} P_{EWH} &= \frac{89,697}{21} \\ &= 4,271 \text{ kN} \end{aligned}$$

g. Beban angin kendaraan (EWI)

Tekanan angin tambahan pada struktur jembatan dapat diinduksi oleh aliran udara yang ditimbulkan oleh kendaraan yang melintas. Beban ini dimodelkan sebagai tekanan kontinu sebesar 1,46 N/mm yang bekerja secara normal terhadap bidang vertikal pada elevasi 1800 mm di atas permukaan perkerasan. Jarak antar roda pada tiap sumbu kendaraan diasumsikan sebesar 1,50 meter. Perhitungan berikut disusun untuk mengevaluasi kontribusi beban aerodinamis tersebut terhadap struktur.

$$P_{EWI} = \frac{h}{x} \times TEW$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,8}{1,75} \times 1,46 \\
 &= 1,752 \text{ kN} \\
 \text{Jumlah joint (n)} &= 55 \text{ buah} \\
 P_{EWL} \text{ tiap joint} &= \frac{PEWL}{n} \\
 &= \frac{1,752}{55} \\
 &= 0,0319 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

h. Beban gempa (EQ)

1) Penentuan kelas situs berdasarkan pengujian N-SPT

Kelas situs ditentukan dari karakteristik tanah di lokasi suatu struktur berdasarkan pengujian N-SPT. Dari data pengujian N-SPT digunakan 2 titik lokasi yaitu pada BM-1 dan BM-5. Penentuan kelas situs didasarkan pada BM-1 dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.7 Analisis Kelas Situs Pada BM-1**

| Kedalaman<br>(m) | Jenis Tanah                                             | Tebal<br>Lapisan<br>(t) | N-<br>SPT | t/N          |
|------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|--------------|
| 2                | Lempung merah                                           | 2                       | 24        | 0,083        |
| 4                | Lempung merah keabu- abuan                              | 2                       | 21        | 0,095        |
| 6                | Lempung abu-abu                                         | 2                       | 13        | 0,154        |
| 8                |                                                         | 2                       | 26        | 0,077        |
| 10               | Pasir sedang abu-abu kemerahan                          | 2                       | 34        | 0,059        |
| 12               |                                                         | 2                       | 39        | 0,051        |
| 14               | Pasir kasar abu-abu kehitaman                           | 2                       | 60        | 0,033        |
| 16               | Lempung abu-abu                                         | 2                       | 13        | 0,154        |
| 18               | Lempung abu-abu kecoklatan                              | 2                       | 60        | 0,033        |
| 20               | Lempung abu-abu kecoklatan                              | 2                       | 60        | 0,033        |
| 22               | Pasir kasar disertai batu pasir<br>(cadas) gravel hitam | 1,45                    | 60        | 0,033        |
| <b>Jumlah</b>    |                                                         | <b>22</b>               |           | <b>0,807</b> |

$$\begin{aligned}
 \bar{N} \text{ BM-1} &= \frac{\sum t}{\sum \left(\frac{t}{n}\right)} \\
 &= \frac{22}{0,807} \\
 &= 27,274
 \end{aligned}$$

Penentuan kelas situs yang berdasarkan BM-5 dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

**Tabel 5.8 Analisis Kelas Situs Pada BM-5**

| Kedalaman<br>(m) | Jenis Tanah                                             | Tebal<br>Lapisan<br>(t) | N-<br>SPT | t/N          |
|------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|--------------|
| 2                | Lempung merah                                           | 2                       | 24        | 0,083        |
| 4                | Lempung merah keabu- abuan                              | 2                       | 21        | 0,095        |
| 6                | Lempung abu-abu                                         | 2                       | 13        | 0,154        |
| 8                | Lempung abu-abu                                         | 2                       | 26        | 0,077        |
| 10               | Pasir sedang abu-abu kemerahan                          | 2                       | 34        | 0,059        |
| 12               |                                                         | 2                       | 39        | 0,051        |
| 14               | Pasir kasar abu-abu kehitaman                           | 2                       | 60        | 0,033        |
| 16               | Lempung abu-abu                                         | 2                       | 13        | 0,154        |
| 18               | Lempung abu-abu kecoklatan                              | 2                       | 60        | 0,033        |
| 20               | Lempung abu-abu kecoklatan                              | 2                       | 60        | 0,033        |
| 22               |                                                         | 2                       | 60        | 0,033        |
| 24               | Pasir kasar disertai batu pasir<br>(cadas) gravel hitam | 2                       | 60        | 0,033        |
| <b>Jumlah</b>    |                                                         | <b>24</b>               |           | <b>0,840</b> |

$$\begin{aligned}
 \bar{N} \text{ BM-5} &= \frac{\sum t}{\sum \left(\frac{t}{n}\right)} \\
 &= \frac{24}{0,840} \\
 &= 28,573
 \end{aligned}$$

Dari analisa tersebut  $15 \leq \bar{N} < 50$  maka kelas situs dapat diambil tanah sedang.

## 2) Analisis jembatan terhadap pengaruh gempa

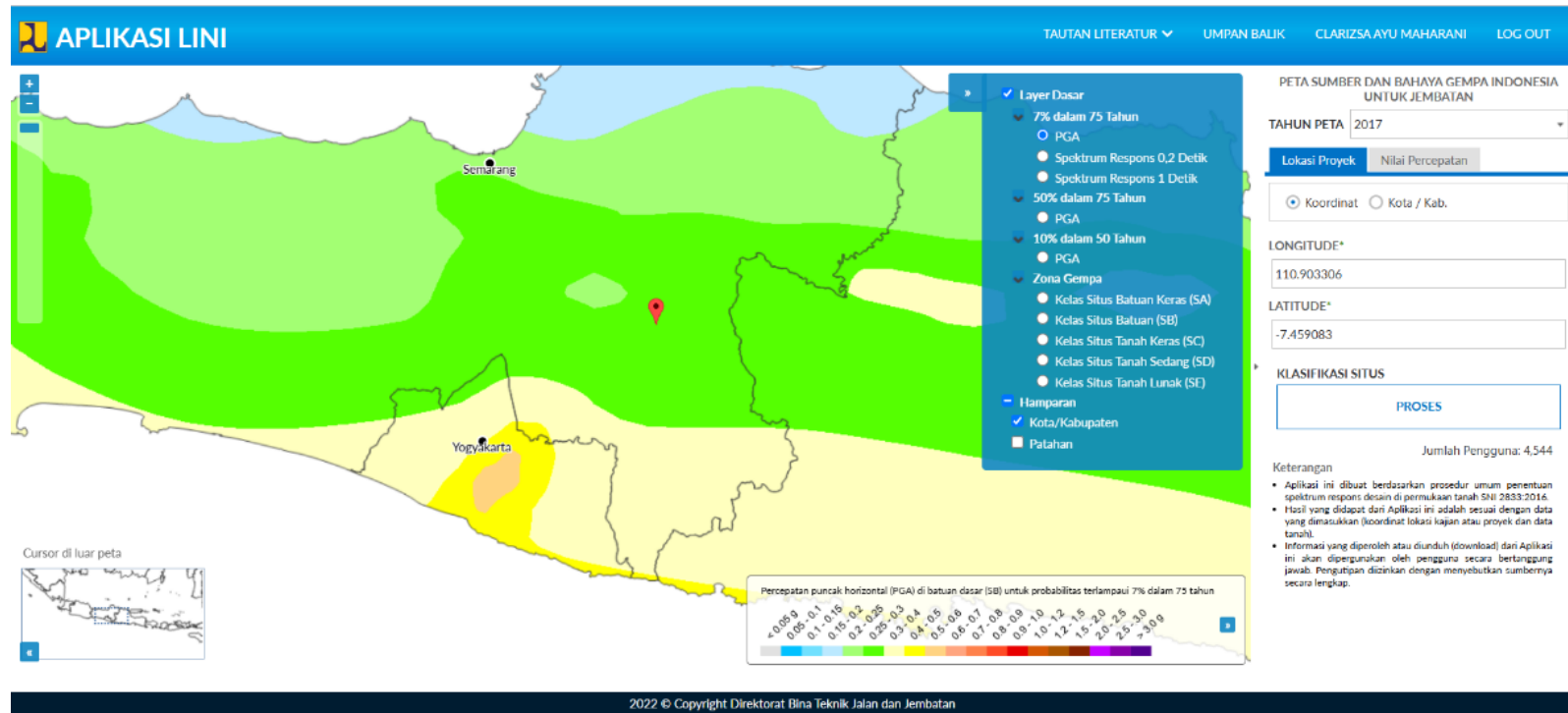
Pengaruh gempa dianalisis menggunakan parameter respons spektrum pada koordinat jembatan pada wilayah yang telah ditentukan, sehingga respons spektrum akan berbeda-beda pada setiap wilayah. Berikut merupakan koordinat lokasi pembangunan jembatan Butuh Sragen.

Lokasi jembatan = Kecamatan Plupuh, Kabupaten Sragen,  
Provinsi Jawa Tengah

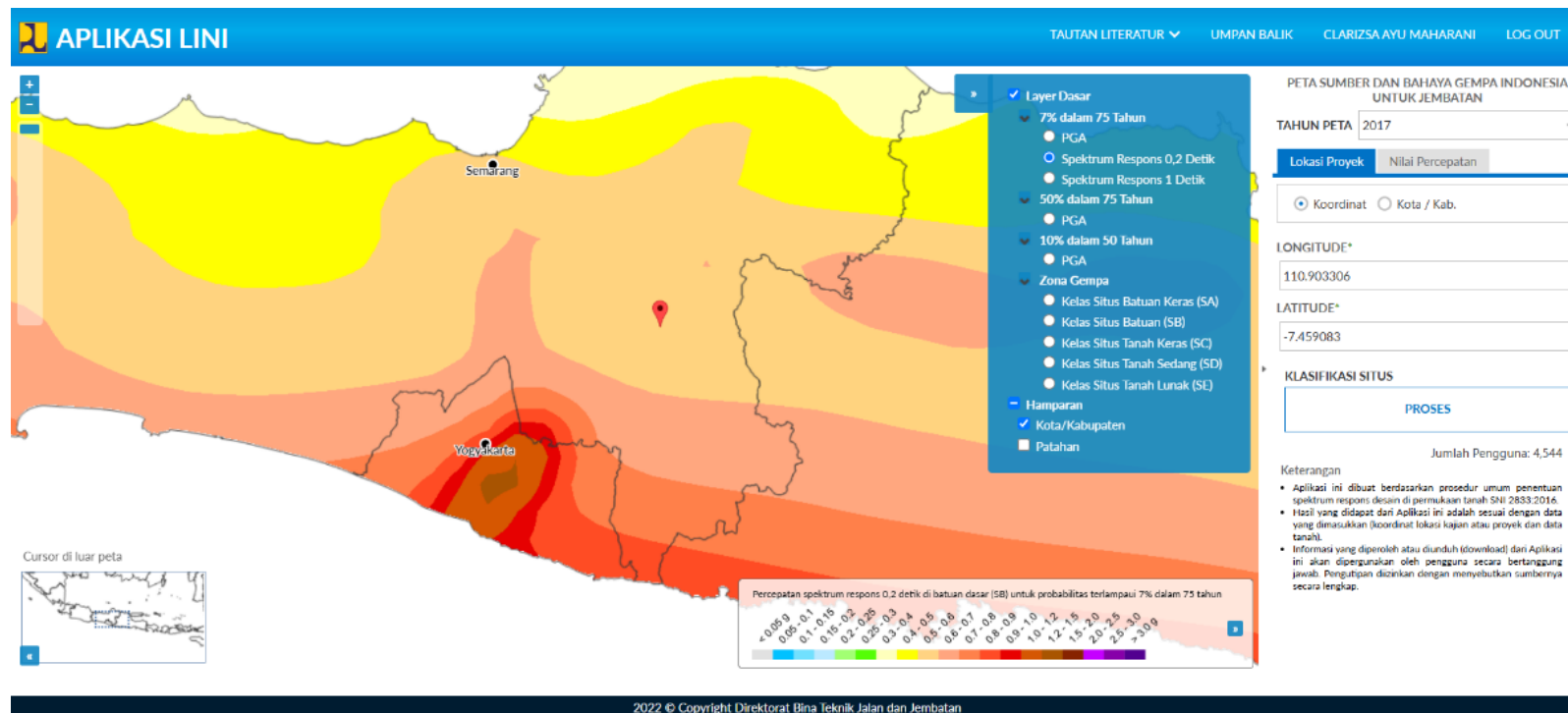
Longitude = 110.903306

Latitude = -7.459083

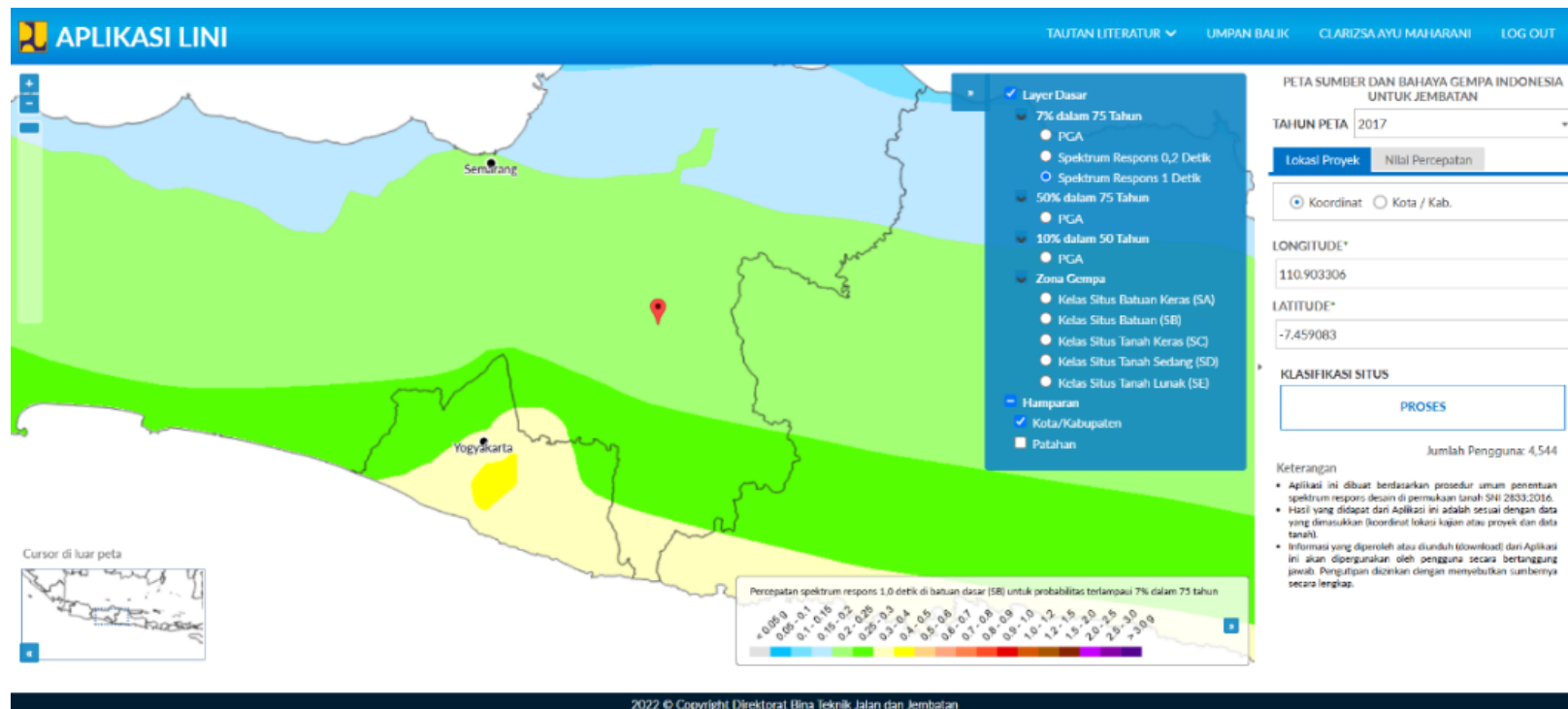
Berdasarkan data koordinat yang telah diperoleh, selanjutnya ditentukan nilai PGA, Ss, dan S1. Nilai-nilai ini dapat diperoleh dari peta gempa tahun 2017 yang tercantum dalam SNI 2833:2016 atau melalui aplikasi LINI Bina Marga yang dapat diakses melalui situs web <http://lini.binamarga.pu.go.id/>. Dari Aplikasi LINI Bina Marga didapatkan nilai PGA, Ss, dan S1 pada Gambar 5.38, Gambar 5.39, dan Gambar 5.40 berikut ini.



**Gambar 5.38 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA)**



**Gambar 5.39 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (Ss)**



**Gambar 5.40 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar (S1)**

Dari Aplikasi LINI Bina Marga didapatkan data sebagai berikut.

Percepatan puncak batuan dasar (PGA) 7% 75 Tahun = 0.261933

Percepatan tanah periode pendek ( $S_s$ ) 7% 75 Tahun = 0.556856

Percepatan puncak batuan dasar ( $S_1$ ) 7% 75 Tahun = 0.227939

Kondisi tanah berdasarkan pengujian N-SPT = Tanah sedang

Selanjutnya menentukan faktor amplifikasi berdasarkan Tabel dan Tabel 3.12 berikut.

**Tabel 3.23 Faktor Amplifikasi Untuk PGA Dan 0,2 Detik ( $F_{PGA}/F_a$ )**

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

(Sumber: SNI 2833-2016)

**Tabel 3.24 Besar Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik ( $F_v$ )**

| Kelas Situs       | $S_1 \leq 0,1$ | $S_1 = 0,2$ | $S_1 = 0,3$ | $S_1 = 0,4$ | $S_1 \geq 0,5$ |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Batuan Keras (SA) | 0,8            | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8            |
| Batuan (SB)       | 1,0            | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 1,0            |
| Tanah Keras (SC)  | 1,7            | 1,6         | 1,5         | 1,4         | 1,3            |
| Tanah Sedang (BD) | 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             |

(Sumber: SNI 2833-2016)

Dari tabel tersebut didapatkan nilai faktor amplikasi sebagai berikut.

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

$$F_a = 1,4$$

$$F_v = 2,0$$

Dari nilai faktor amplikasi yang didapat maka dilakukan analisis respons spektra sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_s &= F_{PGA} \times PGA \\ &= 1,4 \times 0.261933 \\ &= 0,3667062 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S M_s &= F_a \times S_s \\ &= 1,4 \times 0.556856 \\ &= 0,7795984 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S M_1 &= F_v \times S_1 \\ &= 2,0 \times 0.227939 \\ &= 0,455878 \end{aligned}$$

Kemudian nilai respon spektrum yang didapat dari Aplikasi LINI Bina Marga disusun sebagaimana Tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5.9 Respons Spektrum**

| <b>T</b> | <b>A</b> |
|----------|----------|
| 0        | 0,20789  |
| 0,11695  | 0,51973  |
| 0.2      | 0,51973  |
| 0,58476  | 0,51973  |
| 0.7      | 0,51973  |
| 0.8      | 0,51973  |
| 0.9      | 0,51973  |
| 1.0      | 0,50653  |
| 1        | 0,43417  |
| 1.1      | 0,37990  |

**Lanjutan Tabel 5.9 Respons Spektrum**

| <b>T</b> | <b>A</b> |
|----------|----------|
| 1.2      | 0,33769  |
| 1.3      | 0,23378  |
| 1.4      | 0,21708  |
| 1.5      | 0,20261  |
| 1.6      | 0,18995  |
| 1.7      | 0,17878  |
| 1.8      | 0,16884  |
| 1.9      | 0,15996  |
| 2        | 0,15196  |
| 2.1      | 0,14472  |
| 2.2      | 0,13814  |
| 2.3      | 0,13214  |
| 2.4      | 0,12663  |
| 2.5      | 0,12157  |
| 2.6      | 0,11689  |
| 2.7      | 0,11256  |
| 2.8      | 0,10854  |
| 2.9      | 0,10480  |
| 3        | 0,10131  |
| 3.1      | 0,09804  |
| 3.2      | 0,09497  |
| 3.3      | 0,09210  |
| 3.4      | 0,08939  |
| 3.5      | 0,08683  |
| 3.6      | 0,08442  |
| 3.7      | 0,08214  |
| 3.8      | 0,07998  |



## b) Berat mati pelat lantai kendaraan

Berikut ini merupakan perhitungan berat mati pelat lantai kendaraan yang dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Berat Mati pada Pelat Lantai Kendaraan**

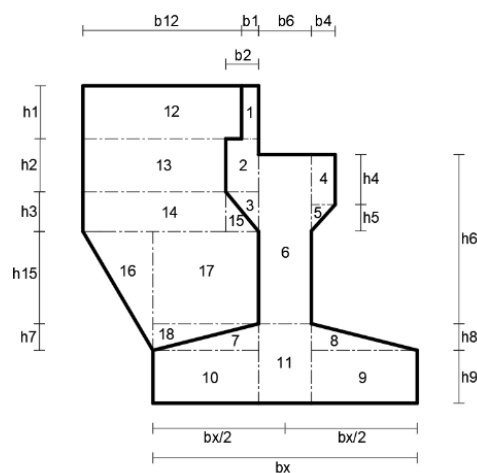
| Beton                                              | Berat (kN/m <sup>3</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Jumah (kN)  |
|----------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
| Pelat Lantai                                       | 24                         | 89,5                     | 2148        |
| Trotoar                                            | 24                         | 12,5                     | 300         |
| Perkerasan Jalan                                   | 22                         | 15                       | 330         |
| Genangan Hujan                                     | 10                         | 15                       | 150         |
| <b>Total Berat Struktur Pelat Lantai Kendaraan</b> |                            |                          | <b>2928</b> |

## c) Berat total struktur atas

$$\begin{aligned}
 W_t &= \text{Total berat struktur rangka baja} + \\
 &\quad \text{Total Berat Struktur Pelat Lantai Kendaraan} \\
 &= 1889,2192 + 2928 \\
 &= 4822,5353 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 4) Kekakuan struktur (Kp)

Nilai kekakuan diperoleh dari momen inersia komponen breast wall pada abutment. Di bawah ini disajikan data dan gambar penampang abutment.



**Gambar 5.42 Penampang Abutment**

**Tabel 5.12 Data Dimensi Abutment**

| <i>Back Wall</i>   |      |    |     |      |    |
|--------------------|------|----|-----|------|----|
| h1                 | 1000 | mm | b1  | 320  | mm |
| h2                 | 1000 | mm | b2  | 620  | mm |
| h3                 | 750  | mm | b3  | 620  | mm |
| <i>Corbel</i>      |      |    |     |      |    |
| h4                 | 940  | mm | b4  | 450  | mm |
| h5                 | 500  | mm | b5  | 450  | mm |
| <i>Breast Wall</i> |      |    |     |      |    |
| h6                 | 3190 | mm | b6  | 1000 | mm |
| <i>Pile Cap</i>    |      |    |     |      |    |
| bx                 | 5000 | mm | by  | 6000 | mm |
| bbx                | 9000 | mm |     |      |    |
| h7                 | 500  | mm | b7  | 2000 | mm |
| h8                 | 500  | mm | b8  | 2000 | mm |
| h9                 | 1000 | mm | b9  | 2000 | mm |
| h10                | 1000 | mm | b10 | 2000 | mm |
| h11                | 1500 | mm | b18 | 1000 | mm |
| <i>Wing Wall</i>   |      |    |     |      |    |
| h12                | 1000 | mm | b12 | 3160 | mm |
| h13                | 1000 | mm | b13 | 2700 | mm |
| h14                | 750  | mm | b14 | 2700 | mm |
| h15                | 750  | mm | b15 | 620  | mm |
| h16                | 2240 | mm | b16 | 1320 | mm |
| h17                | 1740 | mm | b16 | 2000 | mm |
| h18                | 500  | mm | b17 | 2000 | mm |

Dari data tersebut dihitung kekakuan struktur sebagai berikut.

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa

Modulus elastis beton ( $E_c$ ) =  $4700 \sqrt{f'_c}$

$$\begin{aligned}
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ MPa} \\
 &= 25742960 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Lebar abutment (bbx)} = 8,3 \text{ m}$$

$$\text{Panjang breast wall (b6)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lengan breast wall (h6)} = 3,19 \text{ m}$$

a) Kekakuan struktur arah X

$$\begin{aligned}
 \text{Momen inersia (Ix)} &= \frac{1}{12} \times Bbx \times b6^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 8,3 \times 1^3 \\
 &= 0,692 \text{ m}^4 \\
 \text{Kekakuan struktur (Kp)} &= 3 \times \frac{E \times I_x}{L^3} \\
 &= 3 \times \frac{25742960 \times 0,692}{3,19^3} \\
 &= 1645525,198 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b) Kekakuan struktur arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{Momen inersia (Ix)} &= \frac{1}{12} \times b6 \times bbx^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 1 \times 8,3^3 \\
 &= 47,649 \text{ m}^4 \\
 \text{Kekakuan struktur (Kp)} &= 3 \times \frac{E \times I_x}{L^3} \\
 &= 3 \times \frac{25742960 \times 47,649}{3,19^3} \\
 &= 113360231 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

5) Periode getar struktur (T)

a) Periode getar struktur arah X

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{Wt}{g \cdot Kp}} \\
 &= 2\pi \sqrt{\frac{4822,5353}{9,81 \cdot 1645525,198}} \\
 &= 0,1086 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

b) Periode getar struktur arah Y

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{W_t}{g \cdot K_p}} \\
 &= 2\pi \sqrt{\frac{4822,5353}{9,81 \cdot 113360231}} \\
 &= 0,0131 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

6) Menentukan koefisien respons elastik (Csm)

a) Penentuan Csm arah X

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{SM_1}{SM_s} \\
 &= \frac{0,455878}{0,7795984} \\
 &= 0,585 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times T_s \\
 &= 0,2 \times 0,585 \\
 &= 0,11695 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Karena  $T_0 < T < T_s$ , nilai koefisien respons elastik sama dengan nilai SD1.

$$C_{sm} = 0,455878 \text{ detik}$$

b) Penentuan Csm arah Y

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{SM_1}{SM_s} \\
 &= \frac{0,455878}{0,7795984} \\
 &= 0,585 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times T_s \\
 &= 0,2 \times 0,585 \\
 &= 0,11695 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Karena  $T < T_0$ , nilai koefisien respons elastik didapatkan dari persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 C_{sm} &= (SM_s - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \\
 &= (0,7795984 - 0,3667062) \frac{0,0131}{0,11695} + 0,3667062 \\
 &= 0,4128998 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

## 7) Gaya gempa rencana

## a) Gaya gempa arah X

$$\begin{aligned}
 EQ_x &= \frac{C_{sm}}{R} \times Wt \\
 &= \frac{0,4558780}{2} \times 4822,5353 \\
 &= 1099,2439 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah joint (n)} = 8$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya gempa per joint} &= \frac{EQ_x}{n} \\
 &= \frac{1099,2439}{8} \\
 &= 137,405 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## b) Gaya gempa arah Y

$$\begin{aligned}
 EQ_y &= \frac{C_{sm}}{R} \times Wt \\
 &= \frac{0,4128998}{2} \times 4822,5353 \\
 &= 995,612 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah joint (n)} = 42$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya gempa per joint} &= \frac{EQ_y}{n} \\
 &= \frac{995,612}{42} \\
 &= 23,705 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan memiliki 2 tinjauan, yaitu gempa arah longitudinal atau 100%  $EQ_x$  + 30%  $EQ_y$  dan gempa arah transversal atau 100%  $EQ_y$  + 30%  $EQ_x$ . Untuk itu diperlukan perhitungan nilai 30% EQ terlebih dahulu sebagai dasar persamaan tersebut.

$$\begin{aligned}
 30\% EQ_x &= 30\% \times EQ_x \\
 &= 30\% \times 137,405 \\
 &= 41,222 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 30\% EQ_y &= 30\% \times EQ_y \\
 &= 30\% \times 23,705 \\
 &= 7,112 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 2. Analisis Struktur

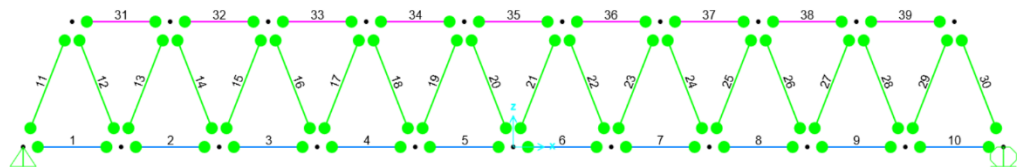
### a. Pemodelan

Dalam proses pemodelan struktur rangka jembatan ke dalam perangkat lunak analisis struktur seperti SAP2000, terdapat sejumlah prinsip dasar yang harus diperhatikan, khususnya terkait dengan perilaku struktur rangka. Salah satu prinsip penting dalam perancangan dan pemodelan rangka jembatan adalah bahwa elemen-elemen utama dari rangka tersebut, seperti batang atas, batang bawah, dan batang diagonal, umumnya dianggap bekerja hanya menahan gaya aksial (tarik dan tekan) tanpa menerima momen lentur. Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kondisi struktur yang sebenarnya di lapangan, perlu dilakukan pelepasan momen (moment release) pada sambungan-sambungan tertentu dalam model.

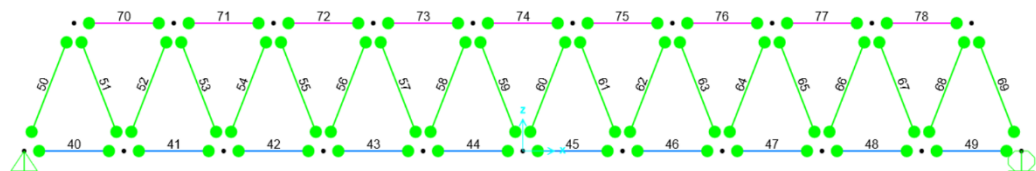
Pelepasan momen ini bertujuan agar elemen-elemen batang hanya menahan gaya aksial dan tidak menanggung momen, sesuai dengan karakteristik struktur rangka sebenarnya yang umumnya didesain sebagai sistem sendi batang. Proses pelepasan momen ini tidak hanya diterapkan pada batang utama seperti batang atas, batang bawah, dan batang diagonal, tetapi juga perlu diterapkan pada elemen-elemen lainnya seperti ikatan angin atas dan gelagar memanjang yang menghubungkan bagian-bagian rangka.

Selain itu, penempatan tumpuan pada model juga harus disesuaikan dengan kondisi riil struktur. Dalam hal ini, tumpuan jembatan diposisikan pada kedua ujung dari bagian rangka utama, menggunakan jenis tumpuan sendi dan rol (sendi-rol) yang memungkinkan struktur mengalami pergerakan horizontal pada salah satu ujung, sementara tetap menahan beban vertikal pada kedua ujungnya. Pemilihan jenis tumpuan ini sangat penting untuk mencerminkan respons struktur terhadap beban yang bekerja, termasuk beban mati, beban hidup, serta pengaruh suhu atau deformasi lainnya. Dengan mempertimbangkan semua aspek tersebut, maka proses pemodelan struktur rangka jembatan di SAP2000

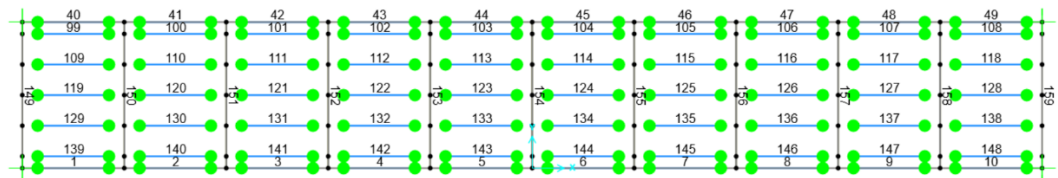
dapat menghasilkan representasi yang lebih akurat terhadap kondisi sebenarnya di lapangan. Berikut ini ditampilkan hasil pemodelan struktur rangka jembatan yang telah disusun menggunakan perangkat lunak SAP2000 yang dapat dilihat pada gambar berikut.



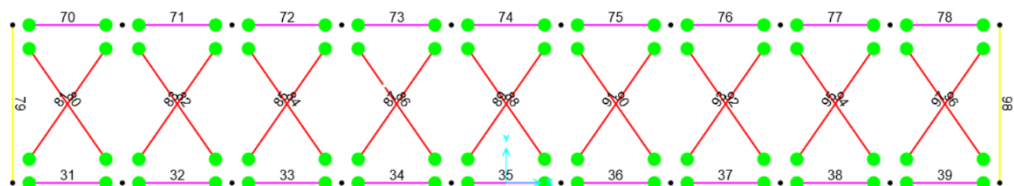
**Gambar 5.43 Tampak Kiri Jembatan Pemodelan SAP2000**



**Gambar 5.44 Tampak Kanan Jembatan Pemodelan SAP2000**



**Gambar 5.45 Tampak Bawah Jembatan Pemodelan SAP2000**



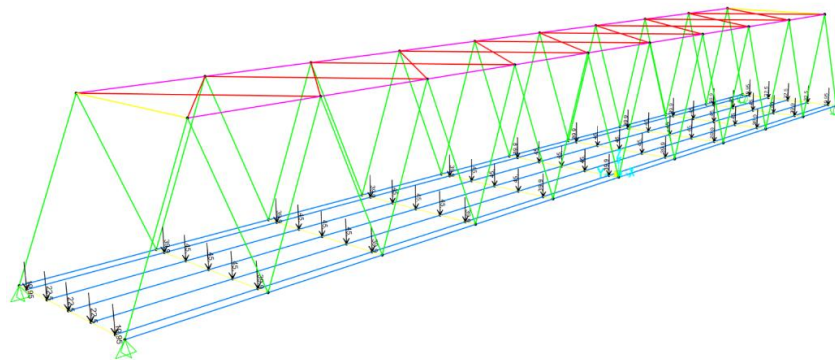
**Gambar 5.46 Tampak Atas Jembatan Pemodelan SAP2000**

b. Input beban

1) Beban mati

Beban mati sendiri dimodelkan sebagai beban titik yang ditempatkan pada sambungan (joint) di gelagar melintang. Pendekatan ini

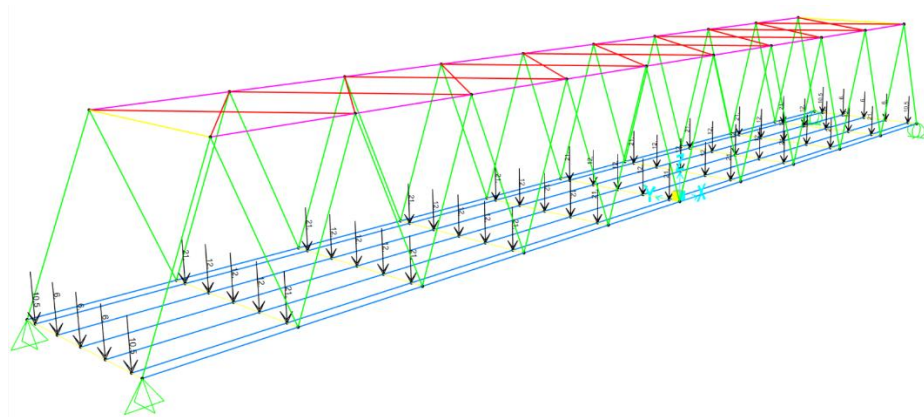
digunakan karena beban dianggap sebagai beban tumpuan akibat sistem perletakan sederhana antara gelagar memanjang dan gelagar melintang. Selain itu, beton dianggap sebagai beban tersendiri, bukan bagian dari struktur komposit. Untuk bagian tepi bentang, beban yang dimasukkan hanya setengah dari beban pada joint di bagian tengah bentang. Input beban mati sendiri pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.46.



**Gambar 5.47 Input Beban Mati Sendiri (MS) pada SAP2000**

## 2) Beban mati tambahan

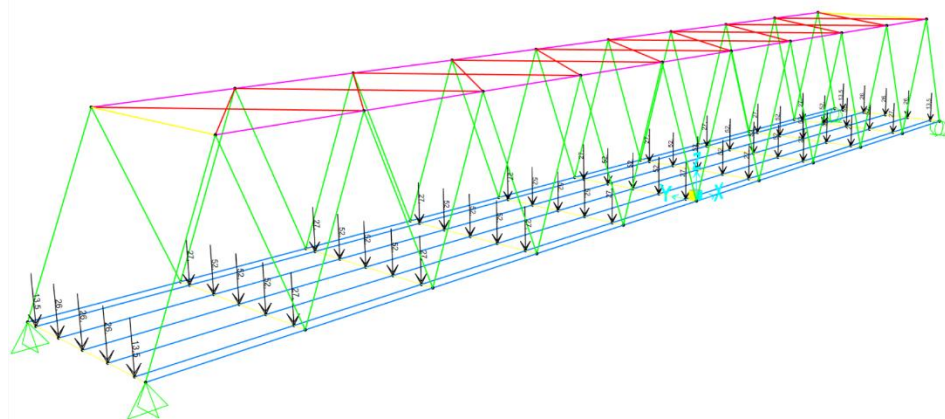
Beban mati tambahan dimodelkan sebagai beban titik yang ditempatkan pada joint di gelagar melintang. Pendekatan ini digunakan karena beban dianggap sebagai beban tumpuan akibat sistem perletakan sederhana antara gelagar memanjang dan gelagar melintang. Pada bagian tepi bentang, beban yang dimasukkan hanya setengah dari beban yang diberikan pada joint di tengah bentang. Input beban mati tambahan pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.47.



**Gambar 5.48 Input Beban Mati Tambahan (MA) pada SAP2000**

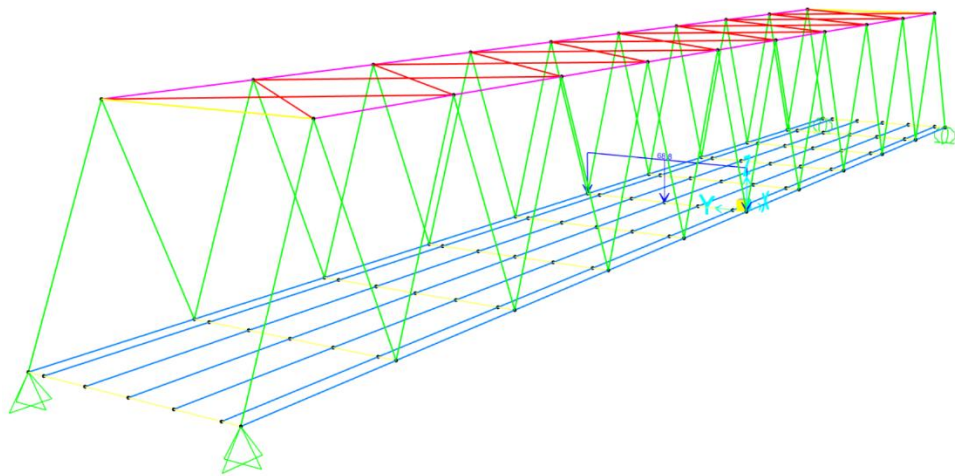
### 3) Beban lajur (TD)

Input beban TD diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu beban akibat beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Untuk BTR, beban dimodelkan sebagai beban titik yang ditempatkan pada joint di gelagar melintang. Pendekatan ini digunakan karena beban dianggap bekerja sebagai beban tumpuan akibat sistem perletakan sederhana antara gelagar memanjang dan gelagar melintang. Pada bagian ujung bentang, beban yang dimasukkan hanya sebesar setengah dari beban yang diberikan pada joint di tengah bentang. Input beban terbagi rata (BTR) pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.48.



**Gambar 5.49 Input Beban Terbagi Rata (BTR) pada SAP2000**

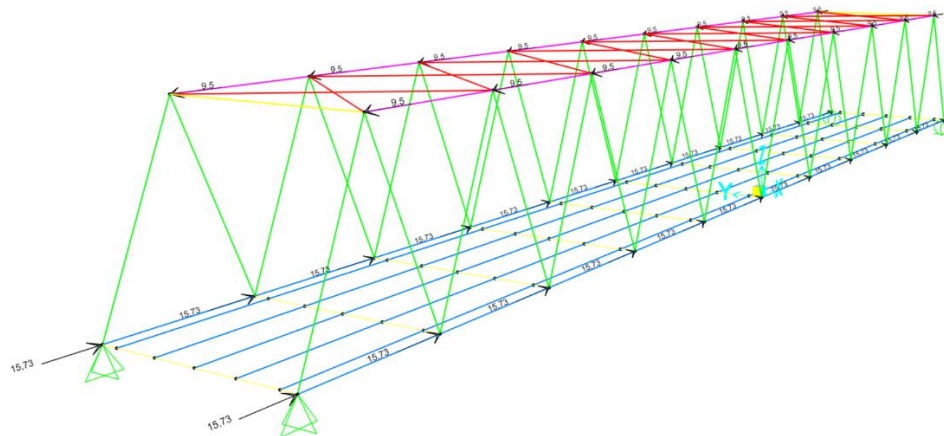
Sementara itu, untuk beban garis terpusat, beban dimodelkan sebagai beban garis yang diterapkan pada gelagar melintang bagian tengah, dengan batas penerapan disesuaikan berdasarkan lebar lajur lalu lintas. Input beban garis terpusat pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.49.



**Gambar 5.50 Input Beban Garis Terpusat (BGT) pada SAP2000**

#### 4) Beban rem (TB)

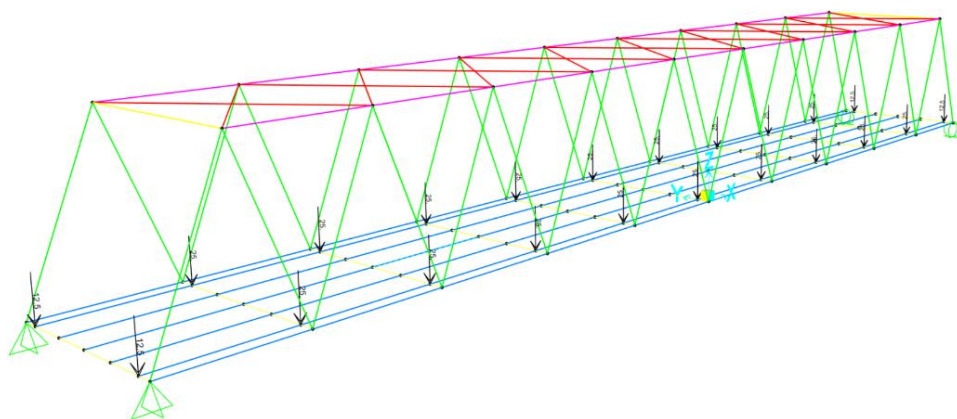
Penerapan beban rem dilakukan pada titik-titik buhul struktur rangka, baik di bagian atas maupun bawah, dengan arah gaya yang berlawanan. Pendekatan ini digunakan karena struktur rangka tidak dirancang untuk menahan momen, sehingga momen yang terjadi dikonversi menjadi gaya longitudinal pada setiap titik buhul. Input beban pejalan kaki pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.51



**Gambar 5.51 Input Beban Rem (TB) pada SAP2000**

#### 5) Beban pejalan kaki (TP)

Beban pejalan kaki dimodelkan sebagai beban titik yang ditempatkan pada joint di gelagar melintang. Pendekatan ini digunakan karena beban dianggap sebagai beban tumpuan akibat sistem perletakan sederhana antara gelagar memanjang dan gelagar melintang. Pada ujung bentang, beban yang dimasukkan hanya setengah dari beban yang diterapkan pada joint di tengah bentang. Input beban pejalan kaki pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.51.

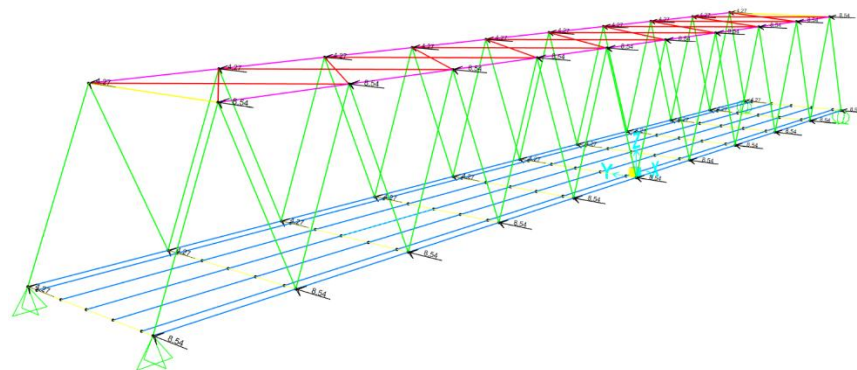


**Gambar 5.52 Input Beban Pejalan Kaki (TP) pada SAP2000**

#### 6) Beban angin (EW)

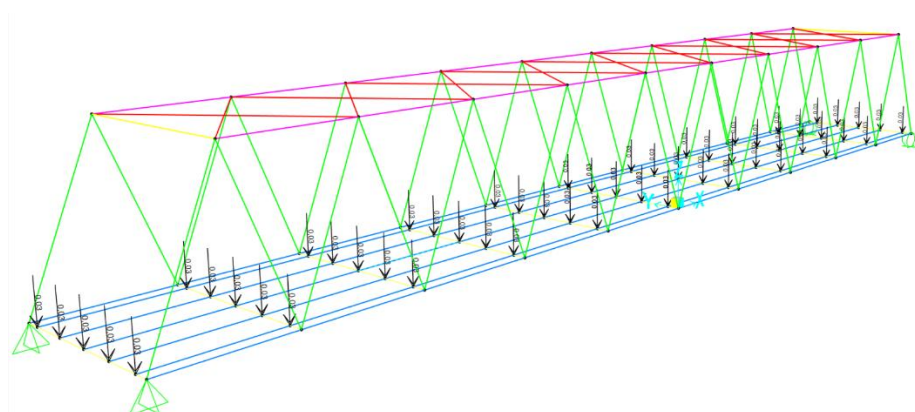
Beban angin dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu beban angin pada struktur dan beban angin yang ditimbulkan oleh kendaraan. Beban

angin struktur diberikan pada joint rangka utama di kedua sisi jembatan. Tekanan angin diarahkan ke dalam jembatan dan bekerja pada rangka sisi kanan, sementara hisapan angin bekerja pada rangka sisi kiri dengan arah gaya menjauhi jembatan. Input beban angin struktur pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.52.



**Gambar 5.53 Input Beban EWs pada SAP2000**

Untuk input beban angin kendaraan dilakukan pada setiap joint di bawah lajur lalu lintas dengan arah gaya ke bawah. Input beban angin akibat kendaraan pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.53.

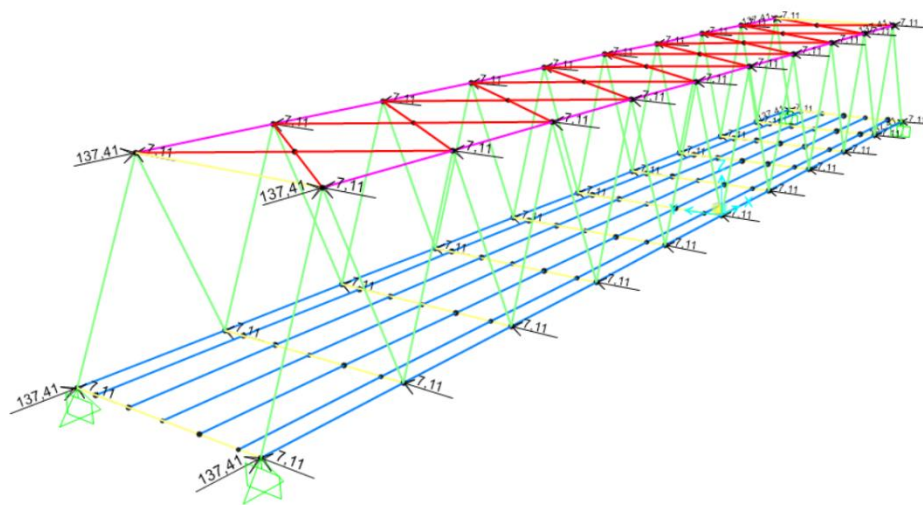


**Gambar 5.54 Input Beban EWI pada SAP2000**

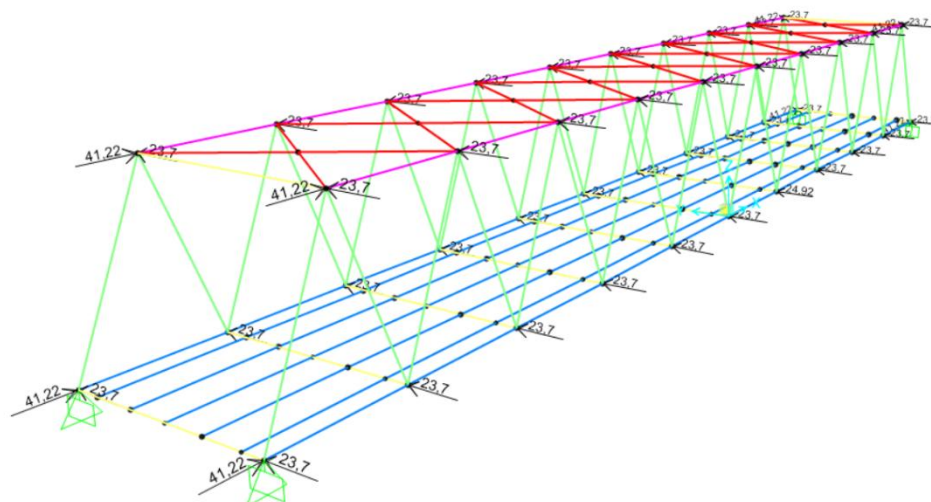
#### 7) Beban gempa (EQ)

Beban gempa dimodelkan dalam dua komponen, yaitu gempa arah X

(EQx) dan gempa arah Y (EQy). Kedua jenis beban ini diterapkan sebagai beban titik pada setiap joint di rangka utama. Untuk beban gempa arah X, diberikan 100% gaya searah sumbu X dan 30% gaya searah sumbu Y. Sebaliknya, beban gempa arah Y memberikan 100% gaya searah sumbu Y dan 30% gaya searah sumbu X. Input beban gempa pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.54 dan Gambar 5.55.



**Gambar 5.55 Input Beban Gempa EQx**



**Gambar 5.56 Input Beban Gempa EQy**

c. Kombinasi pembebanan dan hasil analisis

Analisis struktur yang terjadi harus diberikan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016. Kombinasi beban yang digunakan yaitu sebagaimana berikut ini.

Kuat I :  $1,1MS + 2MA + 1,8TD + 1,8TB + 1,8TP$

Kuat II :  $1,1MS + 2MA + 1,4TD + 1,4TB + 1,4TP$

Kuat III :  $1,1MS + 2MA + 1,4EW_s$

Kuat IV :  $1,1MS + 2MA$

Kuat V :  $1,1MS + 2MA + 0,4 EW_s + 1 EWL$

Ekstrim I EQx :  $1,1MS + 2MA + 0,3TD + 0,3TB + 0,3TP + EQ_x + 0,3EQ_y$

Ekstrim I EQy :  $1,1MS + 2MA + 0,3TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$

Ekstrim II :  $1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,5TB + 0,5TP$

Layan I :  $MS + MA + TD + TB + TP + 0,3EW_s + 1 EWL$

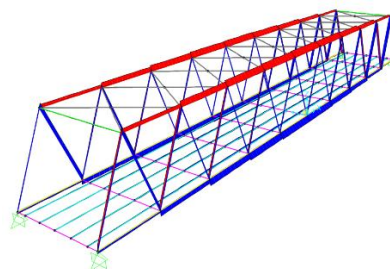
Layan II :  $MS + MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$

Layan III :  $MS + MA + 0,8TD + 0,8TB + 0,8TP$

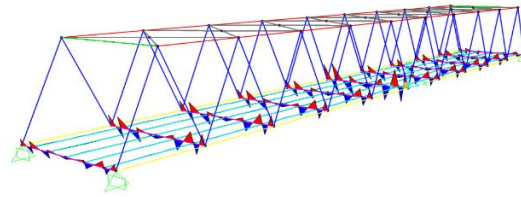
Layan IV :  $MS + MA + 0,7EW_s$

d. Hasil analisis struktur

Setelah dilakukan analisis, kemudian diambil kombinasi pembebanan yang memberikan nilai terbesar sesuai dengan kebutuhannya. Berikut ini merupakan grafik NFD dan BMD pada kombinasi beban Kuat I hasil analisis struktur pada SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 5.56 dan Gambar 5.57.



**Gambar 5.57 Grafik NFD Kombinasi Kuat I pada SAP2000**



**Gambar 5.58 Grafik BMD Kombinasi Kuat I pada SAP2000**

Hasil rekapitulasi perhitungan gaya dari analisis struktur pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, Tabel 5.15, Tabel 5.16, dan Tabel 5.17 berikut ini.

**Tabel 5.13 Rekap Gaya Batang Rangka Atas**

| Kombinasi Beban | P Tekan (kN) | P Tarik (kN) |
|-----------------|--------------|--------------|
| Kuat I          | 6150,735     | 0            |
| Kuat II         | 5430,74      | 0            |
| Kuat III        | 2910,388     | 0            |
| Kuat IV         | 2910,755     | 0            |
| Kuat V          | 2911,462     | 0            |
| Ekstrim I EQx   | 3416,067     | 0            |
| Ekstrim I EQy   | 3413,878     | 0            |
| Ekstrim II      | 3810,75      | 0            |
| Daya Layan I    | 4132,935     | 0            |
| Daya Layan II   | 4672,199     | 0            |
| Daya Layan III  | 3772,204     | 0            |
| Daya Layan IV   | 2332,03      | 0            |

**Tabel 5.14 Rekap Gaya Batang Rangka Bawah**

| Kombinasi Beban | P Tekan (kN) | P Tarik (kN) |
|-----------------|--------------|--------------|
| Kuat I          | 0            | 5092,617     |
| Kuat II         | 0            | 4496,271     |
| Kuat III        | 0            | 2431,422     |
| Kuat IV         | 0            | 2409,061     |
| Kuat V          | 0            | 2416,116     |
| Ekstrim I EQx   | 0            | 3151,839     |
| Ekstrim I EQy   | 0            | 3064,342     |
| Ekstrim II      | 0            | 3154,493     |
| Daya Layan I    | 0            | 3427,346     |
| Daya Layan II   | 0            | 3869,147     |
| Daya Layan III  | 0            | 3123,715     |
| Daya Layan IV   | 0            | 1942,204     |

**Tabel 5.15 Rekap Gaya Batang Rangka Diagonal**

| <b>Kombinasi Beban</b> | <b>P Tekan (kN)</b> | <b>P Tarik (kN)</b> |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kuat I                 | 2870,114            | 2830,091            |
| Kuat II                | 2556,532            | 2520,241            |
| Kuat III               | 1477,657            | 1470,152            |
| Kuat IV                | 1458,994            | 1458,994            |
| Kuat V                 | 1464,719            | 1462,578            |
| Ekstrim I EQx          | 1697,609            | 1737,599            |
| Ekstrim I EQy          | 1723,858            | 1726,719            |
| Ekstrim II             | 1850,972            | 1838,011            |
| Daya Layan I           | 1960,387            | 1932,86             |
| Daya Layan II          | 2191,182            | 2157,483            |
| Daya Layan III         | 1799,204            | 1778,467            |
| Daya Layan IV          | 1181,371            | 1177,619            |

**Tabel 5.16 Rekap Gaya Batang Ikatan Angin Atas Tengah**

| <b>Kombinasi Beban</b> | <b>P Tekan (kN)</b> | <b>P Tarik (kN)</b> |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kuat I                 | 4,96                | 4,96                |
| Kuat II                | 4,378               | 4,378               |
| Kuat III               | 91,942              | 91,942              |
| Kuat IV                | 2,342               | 2,342               |
| Kuat V                 | 27,943              | 27,943              |
| Ekstrim I EQx          | 175,578             | 138,022             |
| Ekstrim I EQy          | 287,578             | 272,422             |
| Ekstrim II             | 3,069               | 3,069               |
| Daya Layan I           | 22,53               | 22,53               |
| Daya Layan II          | 3,766               | 3,766               |
| Daya Layan III         | 3,039               | 3,039               |
| Daya Layan IV          | 46,675              | 46,675              |

**Tabel 5.17 Rekap Gaya Batang Ikatan Angin Atas Ujung**

| <b>Kombinasi Beban</b> | <b>P Tekan (kN)</b> | <b>P Tarik (kN)</b> |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kuat I                 | 0                   | 4,163               |
| Kuat II                | 0                   | 3,675               |
| Kuat III               | 0                   | 42,834              |
| Kuat IV                | 0                   | 1,966               |
| Kuat V                 | 0                   | 10,834              |
| Ekstrim I EQx          | 0                   | 100,068             |
| Ekstrim I EQy          | 0                   | 144,868             |
| Ekstrim II             | 0                   | 2,576               |
| Daya Layan I           | 0                   | 6,805               |
| Daya Layan II          | 0                   | 3,161               |
| Daya Layan III         | 0                   | 2,551               |
| Daya Layan IV          | 0                   | 20,826              |

### 3. Perencanaan Batang Rangka Atas

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang rangka atas sebesar 6150,735 kN dalam kombinasi beban Kuat I. Nilai tersebut nantinya digunakan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang

#### a. Profil penampang

Jenis profil = IWF 500x500x32x32

$h = 500 \text{ mm}$

$b = 500 \text{ mm}$

$t_w = 32 \text{ mm}$

$t_f = 32 \text{ mm}$

$$A_g = (b \times h) - (b - t_w) \times (h - 2t_f)$$

$$= (500 \times 500) - (500 - 32) \times (500 - 2 \times 32)$$

$$= 45952 \text{ mm}^2$$

$F_y = 410 \text{ MPa}$

$F_u = 550 \text{ MPa}$

$E = 200000 \text{ MPa}$

$\mu = 0,25$

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{E}{(2 \times (1 + 0,25))} \\
 &= \frac{200000}{(2 \times (1 + 0,25))} \\
 &= 80000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_x &= \left( \frac{2 \times b \times t f^3 + t w (h - 2 t f)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times t f (h - t f)^2 \right) \\
 &= \left( \frac{2 \times 500 \times 32^3 + 32 (500 - 2 \times 32)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 500 \times 32 (500 - 32)^2 \right) \\
 &= 1976000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_y &= \frac{t f \times b^3}{6} + \frac{(h - 2 t f) t w}{12} \\
 &= \frac{32 \times 500^3}{6} + \frac{(500 - 2 \times 32) 32}{12} \\
 &= 667900000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{1976000000}{45952}} \\
 &= 207,368 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{667900000}{45952}} \\
 &= 120,560 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L = 5000 \text{ mm}$$

b. Perbandingan kelangsingan

1) Kelangsingan pada elemen penampang

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{b}{t} \\
 &= \frac{(0,5 \times 500)}{32} \\
 &= 7,813
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{F_y}} \\
 &= \frac{170}{\sqrt{410}} \\
 &= 8,396
 \end{aligned}$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang kompak

2) Kelangsingan pada komponen struktur tekan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{KL}{r_y} \leq 140 \\ &= \frac{1 \times 5000}{120,560} \leq 140 \\ &= 41,474 \leq 140\end{aligned}$$

$\lambda \leq 140$ , maka aman

c. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{KL}{r_y \times \pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\ &= \frac{1 \times 5000}{120,560 \times \pi} \times \sqrt{\frac{410}{200000}} \\ &= 0,598\end{aligned}$$

Karena  $\lambda_c < 1,5$ , maka kuat tekan nominal akibat dari tekuk lentur dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}P_n &= (0,66)^{\lambda_c^2} \times A_g \times F_y \\ &= (0,66)^{0,598^2} \times 45952 \times 410 \\ &= 16241200,95 \text{ N} \\ &= 16241,201 \text{ kN}\end{aligned}$$

d. Kuat tekan nominal terfaktor

Faktor reduksi kekuatan aksial tekan ( $\phi$ ) = 0,85

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,85 \times 16241,201 \\ &= 13805,021 \text{ kN}\end{aligned}$$

e. Cek kemampuan penampang

$$\begin{aligned}\phi P_n &> P_u \\ 13805,021 \text{ kN} &> 6150,735 \text{ kN, maka aman.}\end{aligned}$$

4. Perencanaan batang rangka bawah

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang rangka bawah sebesar 5092,617 kN dalam kombinasi beban Kuat I. Nilai tersebut nantinya digunakan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang

## a. Profil penampang

Jenis profil = IWF 500x500x32x32

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$t_w = 32 \text{ mm}$$

$$t_f = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_g &= (b \times h) - (b - t_w) \times (h - 2t_f) \\ &= (500 \times 500) - (500 - 32) \times (500 - 2 \times 32) \\ &= 45952 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$F_y = 410 \text{ MPa}$$

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

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

$$\mu = 0,25$$

$$\begin{aligned} G &= \frac{E}{(2 \times (1 + 0,25))} \\ &= \frac{200000}{(2 \times (1 + 0,25))} \\ &= 80000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{2 \times b \times t_f^3 + t_w (h - 2t_f)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times t_f (h - t_f)^2 \right) \\ &= \left( \frac{2 \times 500 \times 32^3 + 32 (500 - 2 \times 32)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 500 \times 32 (500 - 32)^2 \right) \\ &= 1976000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{t_f \times b^3}{6} + \frac{(h - 2t_f)t_w}{12} \\ &= \frac{32 \times 500^3}{6} + \frac{(500 - 2 \times 32)32}{12} \\ &= 667900000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{1976000000}{45952}} \\ &= 207,368 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{667900000}{45952}} \\
 &= 120,560 \text{ mm} \\
 L &= 5000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Kuat tarik nominal berdasarkan keruntuhan pada penampang gross

1) Kuat tarik nominal

$$\begin{aligned}
 P_n &= A_g \times F_y \\
 &= 45952 \times 410 \\
 &= 18840320 \text{ N} \\
 &= 18840,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

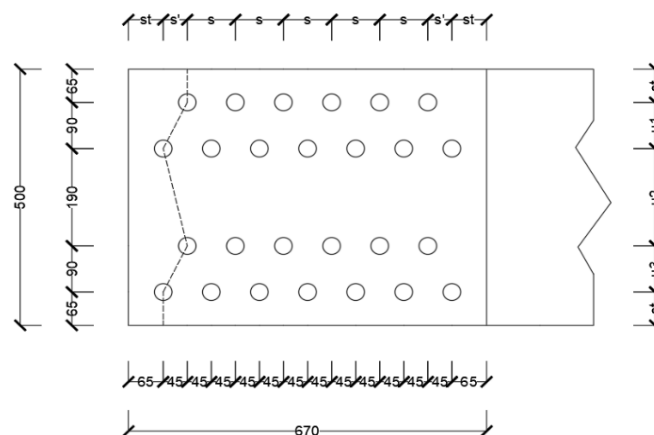
2) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor reduksi kekuatan leleh } (\phi) &= 0,9 \\
 \text{Kuat tarik nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,9 \times 18840,32 \\
 &= 16956,288 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif

1) Luas penampang netto ( $A_n$ )

Desain penampang pada ujung sisi depan dapat dilihat pada Gambar 5.58 sebagai berikut.



**Gambar 5.59 Penampang Ujung Sisi Depan Batang Bawah**

$$A_g = 45952 \text{ mm}^2$$

$$n = 8$$

$$d_h = 33 \text{ mm}$$

$$t = 32 \text{ mm}$$

$$s = 45 \text{ mm}$$

$$u_1 = 90 \text{ mm}$$

$$u_2 = 190 \text{ mm}$$

$$u_3 = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_h \times t) + \sum \frac{s^2 \times t}{4u} \\ &= 45952 - (8 \times 33 \times 32) + 2 \frac{45^2 \times 32}{45 \times 90} + 2 \frac{45^2 \times 32}{45 \times 90} + 2 \frac{45^2 \times 32}{45 \times 90} \\ &= 38394,526 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Luas penampang efektif ( $A_e$ )

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \times U \\ &= 38394,526 \times 0,9 \\ &= 34555,074 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Kuat tarik nominal ( $P_n$ )

$$\begin{aligned} P_n &= A_e \times F_u \\ &= 34555,074 \times 550 \\ &= 19005290,526 \text{ N} \\ &= 19005,291 \text{ kN} \end{aligned}$$

4) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\begin{aligned} \text{Faktor reduksi kekuatan tarik fraktur } (\phi) &= 0,75 \\ \text{Kuat tarik nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,75 \times 19005,291 \\ &= 14253,968 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kuat tarik nominal terfaktor pakai

Dari kedua kondisi dalam menentukan nilai kuat tarik nominal terfaktor digunakan yang terkecil dari luas penampang kondisi fraktur. Sehingga nilai kuat tarik nominal terfaktor pakai adalah sebagai berikut.

$$\phi P_n = 14253,968 \text{ kN}$$

e. Cek keamanan penampang

$$\begin{aligned}\phi P_n &> P_u \\ 14253,968 \text{ kN} &> 5092,617 \text{ kN, maka aman}\end{aligned}$$

5. Perencanaan batang diagonal tekan

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang diagonal tekan sebesar 2870,114 kN dalam kombinasi beban Kuat I. Nilai tersebut nantinya digunakan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang

a. Profil penampang

Jenis profil = IWF 500x500x19x32

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$t_w = 19 \text{ mm}$$

$$t_f = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}A_g &= (b \times h) - (b - t_w) \times (h - 2t_f) \\ &= (500 \times 500) - (500 - 19) \times (500 - 2 \times 32) \\ &= 40284 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$F_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 550 \text{ Mpa}$$

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

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}I_x &= \left( \frac{2 \times b \times t_f^3 + t_w (h - 2t_f)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times t_f (h - t_f)^2 \right) \\ &= \left( \frac{2 \times 500 \times 32^3 + 19 (500 - 2 \times 32)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 500 \times 32 (500 - 32)^2 \right) \\ &= 188620000 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_y &= \frac{t_f \times b^3}{6} + \frac{(h - 2t_f)t_w}{12} \\ &= \frac{32 \times 500^3}{6} + \frac{(500 - 2 \times 32)19}{12} \\ &= 666920000 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{1886200000}{40284}} \\
 &= 216,385 \text{ mm} \\
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{666920000}{40284}} \\
 &= 128,668 \text{ mm} \\
 L &= 6820 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Perbandingan kelangsingan

1) Kelangsingan elemen penampang

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{b}{t_f} \\
 &= \frac{(0,5 \times 500)}{32} \\
 &= 7,813 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{F_y}} \\
 &= \frac{170}{\sqrt{410}} \\
 &= 8,396
 \end{aligned}$$

Nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang kompak

2) Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{KL}{r_y} \leq 140 \\
 &= \frac{1 \times 6820}{128,668} \leq 140 \\
 &= 53,005 \leq 140
 \end{aligned}$$

c. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur

$$\begin{aligned}
 \lambda_c &= \frac{KL}{r_y \times \pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\
 &= \frac{1 \times 6820}{128,668 \times \pi} \times \sqrt{\frac{410}{200000}} \\
 &= 0,764
 \end{aligned}$$

Karena  $\lambda_c < 1,5$ , maka kuat tekan nominal akibat dari tekuk lentur dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 P_n &= (0,66)^{\lambda c^2} \times A_g \times F_y \\
 &= (0,66)^{0,764^2} \times 40284 \times 410 \\
 &= 8754128,358 \text{ N} \\
 &= 8754,128 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Cek keamanan penampang

$$\text{Faktor reduksi kekuatan aksial tekan } (\phi) = 0,85$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,85 \times 8754,128 \\
 &= 7441,009 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Cek keamanan penampang

$$\Phi P_n > P_u$$

$$7441,009 \text{ kN} > 2870,114 \text{ kN, maka aman}$$

6. Perencanaan batang diagonal tarik

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang diagonal tarik 2830,091 kN dalam kombinasi beban Kuat I. Nilai tersebut nantinya diagunkan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang

a. Profil penampang

$$\text{Jenis profil} = \text{IWF } 500 \times 500 \times 19 \times 32$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$t_w = 19 \text{ mm}$$

$$t_f = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= (b \times h) - (b - t_w) \times (h - 2t_f) \\
 &= (500 \times 500) - (500 - 19) \times (500 - 2 \times 32) \\
 &= 40284 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$F_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 550 \text{ Mpa}$$

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

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$I_x = \left( \frac{2 \times b \times t_f^3 + t_w (h - 2t_f)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times t_f (h - t_f)^2 \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \left( \frac{2 \times 500 \times 32^3 + 19(500 - 2 \times 32)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 500 \times 32(500 - 32)^2 \right) \\
&= 1886000000 \text{ mm}^4 \\
I_y &= \frac{t_f \times b^3}{6} + \frac{(h - 2t_f)tw}{12} \\
&= \frac{32 \times 500^3}{6} + \frac{(500 - 2 \times 32)19}{12} \\
&= 667900000 \text{ mm}^4 \\
r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\
&= \sqrt{\frac{1886000000}{40284}} \\
&= 216,374 \text{ mm} \\
r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\
&= \sqrt{\frac{666900000}{40284}} \\
&= 128,666 \text{ mm} \\
L &= 6820 \text{ mm}
\end{aligned}$$

b. Kuat tarik nominal berdasarkan keruntuhan pada penampang gross

1) Kuat tarik nominal

$$\begin{aligned}
P_n &= A_g \times F_y \\
&= 40284 \times 410 \\
&= 16516440 \text{ kN} \\
&= 16516,44 \text{ N}
\end{aligned}$$

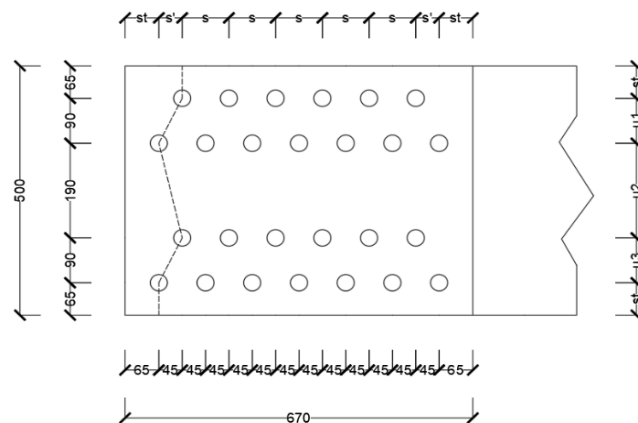
2) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\begin{aligned}
\text{Faktor reduksi kekuatan aksial tekan } (\phi) &= 0,9 \\
\text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,9 \times 16516,44 \\
&= 14864,796 \text{ kN}
\end{aligned}$$

c. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif

1) Luas penampang netto (Ant)

Desain penampang pada ujung sisi depan dapat dilihat pada Gambar 5.59 sebagai berikut.



**Gambar 5.60 Penampang Ujung Sisi Depan Batang Diagonal**

$$A_g = 40284 \text{ mm}^2$$

$$n = 8$$

$$d_h = 33 \text{ mm}$$

$$t = 32 \text{ mm}$$

$$s = 45 \text{ mm}$$

$$u_1 = 90 \text{ mm}$$

$$u_2 = 190 \text{ mm}$$

$$u_3 = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{nt} &= A_g - (n \times d_h \times t) + \sum \frac{s^2 \times t}{4u} \\ &= 40284 - (8 \times 33 \times 32) + 2 \frac{45^2 \times 32}{45 \times 90} + 2 \frac{45^2 \times 32}{45 \times 90} + 2 \frac{45^2 \times 32}{45 \times 90} \\ &= 38394,526 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Luas penampang efektif ( $A_e$ )

Faktor reduksi kekuatan tarik fraktur ( $\phi$ ) = 0,75

$$\begin{aligned} A_e &= A_{nt} \times U \\ &= 38394,526 \times 0,9 \\ &= 16516,440 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Kuat tarik nominal

$$\begin{aligned} P_n &= A_e \times F_u \\ &= 16516,440 \times 550 \end{aligned}$$

$$= 16199630,526 \text{ N}$$

$$= 16199,631 \text{ kN}$$

4) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\text{Faktor reduksi kekuatan tarik fraktur } (\phi) = 0,75$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,75 \times 16199,631 \\ &= 12149,723 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kuat tarik nominal terfaktor pakai

Dari kedua kondisi dalam menentukan nilai kuat tarik nominal terfaktor digunakan yang terkecil dari luas penampang kondisi fraktur. Sehingga nilai kuat tarik nominal terfaktor pakai adalah sebagai berikut.

$$\phi P_n = 12149,723 \text{ kN}$$

e. Cek keamanan penampang

$$\phi P_n > P_u$$

$$12149,723 \text{ kN} > 2830,091 \text{ kN, maka aman}$$

7. Perencanaan Ikatan Angin Tengah Tekan

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang ikatan angin tengah tekan sebesar 287,578 kN dalam kombinasi beban Ekstrim I EQy. Nilai tersebut nantinya diagunkan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang

a. Profil penampang

$$\text{Jenis profil} = \text{IWF } 250 \times 175 \times 8 \times 12$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$b = 175 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_g &= (b \times h) - (b - t_w) \times (h - 2t_f) \\ &= (175 \times 250) - (175 - 8) \times (250 - 2 \times 12) \\ &= 6008 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$F_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 550 \text{ Mpa}$$

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

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{2 \times b \times t f^3 + t w (h - 2 t f)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times t f (h - t f)^2 \right) \\ &= \left( \frac{2 \times 175 \times 12^3 + 8 (250 - 2 \times 12)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 175 \times 12 (250 - 12)^2 \right) \\ &= 67000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{t f \times b^3}{6} + \frac{(h - 2 t f) t w}{12} \\ &= \frac{12 \times 175^3}{6} + \frac{(250 - 2 \times 12) 8}{12} \\ &= 10728393 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{67000000}{6008}} \\ &= 105,602 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{10728393}{6008}} \\ &= 42,257 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L = 4366,509 \text{ mm}$$

b. Perbandingan kelangsingan

1) Kelangsingan elemen penampang

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{b}{t f} \\ &= \frac{(0,5 \times 175)}{12} \\ &= 7,292 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{410}} \\ &= \frac{170}{\sqrt{410}} \\ &= 8,396 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$ , maka penampang kompak

2) Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{KL}{r_y} \leq 140 \\
 &= \frac{(1 \times 4366,509)}{42,257} \leq 140 \\
 &= 103,331 \leq 140
 \end{aligned}$$

c. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur

$$\begin{aligned}
 \lambda_c &= \frac{KL}{r_y \times \pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\
 &= \frac{(1 \times 4366,509)}{42,257 \times \pi} \times \sqrt{\frac{410}{200000}} \\
 &= 1,489
 \end{aligned}$$

Karena  $\lambda_c < 1,5$ , maka kuat tekan nominal akibat dari tekuk lentur dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 P_n &= (0,66)^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y \\
 &= (0,66)^{1,489^2} \times 6008 \times 410 \\
 &= 714555,552 \text{ N} \\
 &= 714,556 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Kuat tekan nominal terfaktor

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor reduksi kekuatan aksial tekan } (\phi) &= 0,85 \\
 \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,85 \times 714,556 \\
 &= 607,372 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Cek keamanan penampang

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 607,372 \text{ kN} \\
 \text{Kuat tekan ultimate } (P_u) &= 287,578 \text{ kN} \\
 \phi P_n &> P_u \\
 607,372 \text{ kN} &> 287,578 \text{ kN, maka aman}
 \end{aligned}$$

## 8. Perencanaan Ikatan Angin Tengah Tarik

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang ikatan angin tengah tarik sebesar 272,422 kN dalam kombinasi beban Ekstrim I EQy. Nilai tersebut nantinya diagunkan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang.

## a. Profil penampang

Jenis profil = IWF 250x175x8x12

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$b = 175 \text{ mm}$$

$$tw = 8 \text{ mm}$$

$$tf = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Ag &= (b \times h) - (b - tw) \times (h - 2tf) \\ &= (175 \times 250) - (175 - 8) \times (250 - 2 \times 12) \\ &= 6008 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Fy = 410 \text{ Mpa}$$

$$Fu = 550 \text{ Mpa}$$

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

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} Ix &= \left( \frac{2 \times b \times tf^3 + tw(h - 2tf)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times tf(h - tf)^2 \right) \\ &= \left( \frac{2 \times 175 \times 12^3 + 8(250 - 2 \times 12)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 175 \times 12(250 - 12)^2 \right) \\ &= 67000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Iy &= \frac{tf \times b^3}{6} + \frac{(h - 2tf)tw}{12} \\ &= \frac{12 \times 175^3}{6} + \frac{(250 - 2 \times 12)8}{12} \\ &= 10728393 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} rx &= \sqrt{\frac{Ix}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{67000000}{6008}} \\ &= 105,602 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ry &= \sqrt{\frac{Iy}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{10728393}{6008}} \\ &= 42,257 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L = 4366,509 \text{ mm}$$

b. Kuat tarik nominal berdasarkan keruntuhan pada penampang gross

1) Kuat tarik nominal

$$\begin{aligned} P_n &= A_g \times F_y \\ &= 6008 \times 410 \\ &= 2463280 \text{ kN} \\ &= 2463,28 \text{ N} \end{aligned}$$

2) Kuat tarik nominal terfaktor

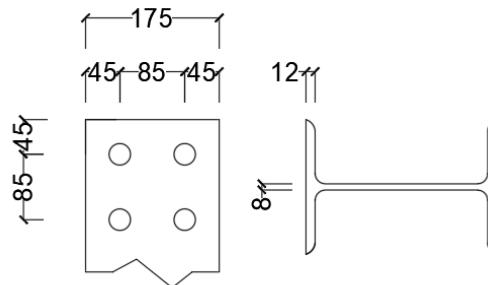
$$\text{Faktor reduksi kekuatan aksial tekan } (\phi) = 0,9$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,9 \times 2463,28 \\ &= 2216,952 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif

1) Luas penampang netto (Ant)

Bentuk sisi depan penampang dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut ini.



**Gambar 5.61 Penampang Ujung Sisi Depan Batang Ikatan Angin Tengah**

$$\begin{aligned} A_g &= 6008 \text{ mm}^2 \\ n &= 4 \\ d_h &= 28 \text{ mm} \\ t &= 12 \text{ mm} \\ \text{Ant} &= A_g - (n \times d_h \times t) \\ &= 6008 - (4 \times 28 \times 16) \\ &= 4216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Luas penampang efektif ( $A_e$ )

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_{nt} \times U \\
 &= 4216 \times 0,9 \\
 &= 3794,40 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

## 3) Kuat tarik nominal

$$\begin{aligned}
 P_n &= A_e \times F_u \\
 &= 3794,40 \times 550 \\
 &= 2086920 \text{ N} \\
 &= 2086,920 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 4) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor reduksi kekuatan aksial tekan } (\phi) &= 0,75 \times P_n \\
 \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 0,75 \times 2086,920 \\
 &= 1565,19 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## d. Kuat tarik nominal terfaktor pakai

Dari kedua kondisi dalam menentukan nilai kuat tarik nominal terfaktor digunakan yang terkecil dari luas penampang kondisi fraktur. Sehingga nilai kuat tarik nominal terfaktor pakai adalah sebagai berikut.

$$\Phi P_n = 1565,19 \text{ kN}$$

## e. Cek keamanan penampang

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) &= 1565,19 \text{ kN} \\
 \text{Kuat tarik ultimate } (P_u) &= 272,422 \text{ kN} \\
 \phi P_n &> P_u \\
 1565,19 \text{ kN} &> 272,422 \text{ kN, maka aman}
 \end{aligned}$$

## 9. Perencanaan ikatan angin ujung tarik

Dari rekapitulasi gaya batang hasil analisis pada SAP2000, didapatkan gaya tekan terbesar pada batang ikatan angin ujung tarik sebesar 144,868 kN dalam kombinasi beban Ekstrim I EQy. Nilai tersebut nantinya digunakan sebagai acuan keamanan perencanaan penampang.

## a. Profil penampang

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis profil} &= \text{IWF } 350 \times 300 \times 12 \times 19 \\
 h &= 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_g &= (b \times h) - (b - t_w) \times (h - 2t_f) \\ &= (500 \times 500) - (500 - 12) \times (500 - 2 \times 19) \\ &= 15144 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$F_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 550 \text{ Mpa}$$

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

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{2 \times b \times t_f^3 + t_w (h - 2t_f)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times b \times t_f (h - t_f)^2 \right) \\ &= \left( \frac{2 \times 300 \times 19^3 + 12 (350 - 2 \times 19)^3}{12} \right) + \left( \frac{1}{2} \times 300 \times 19 (350 - 19)^2 \right) \\ &= 343000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{t_f \times b^3}{6} + \frac{(h - 2t_f)t_w}{12} \\ &= \frac{19 \times 300^3}{6} + \frac{(250 - 2 \times 19)12}{12} \\ &= 85544928 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{343000000}{15144}} \\ &= 216,374 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{85544928}{15144}} \\ &= 128,666 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L = 7160 \text{ mm}$$

b. Kuat tarik nominal berdasarkan keruntuhan pada penampang gross

1) Kuat tarik nominal

$$P_n = A_g \times F_y$$

$$= 15144 \times 410$$

$$= 6209040 \text{ kN}$$

$$= 6209,04 \text{ N}$$

2) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\text{Faktor reduksi kekuatan aksial tekan } (\phi) = 0,9$$

$$\text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) = 0,9 \times 6209,04$$

$$= 5588,136 \text{ kN}$$

c. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif

1) Luas penampang netto ( $A_n$ )

Karena pada bagian sayap ujung batang tidak terdapat lubang untuk sambungan baut, maka luas penampang netto dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$A_n = A_g$$

$$= 15144 \text{ mm}^2$$

2) Luas penampang efektif ( $A_e$ )

Karena seluruh ujung penampang di las maka nilai koefisien reduksi yang digunakan 1.

$$A_e = A_n \times U$$

$$= 15144 \times 1$$

$$= 15144 \text{ mm}^2$$

3) Kuat tarik nominal

$$P_n = A_e \times F_u$$

$$= 15144 \times 1$$

$$= 8329200 \text{ N}$$

$$= 8329,200 \text{ kN}$$

4) Kuat tarik nominal terfaktor

$$\text{Faktor reduksi kekuatan tarik fraktur } (\phi) = 0,75$$

$$\text{Kuat tekan nominal terfaktor } (\phi P_n) = 0,75 \times 8329,200$$

$$= 6246,9 \text{ kN}$$

d. Kuat tarik nominal terfaktor pakai

Dari kedua kondisi dalam menentukan nilai kuat tarik nominal terfaktor

digunakan yang terkecil dari luas penampang gross kondisi tarik leleh. Sehingga nilai kuat tarik nomial terfaktor pakai adalah sebagai berikut.

$$\Phi P_n = 5588,136 \text{ kN}$$

e. Cek keamanan penampang

$$\phi P_n > P_u$$

$$5588,136 \text{ kN} > 144,868 \text{ kN, maka aman}$$

#### 10. Rekapitulasi kapasitas penampang

Berikut merupakan rekapitulasi kapasitas penampang hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 5.18

**Tabel 5.18 Rekapitulasi Kapasitas Penampang**

| Rangka              | Profil               | kondisi  | $\phi P_n$<br>(kNm) | $P_u$<br>(kNm) | $P_u / \phi P_n$ | Hasil |
|---------------------|----------------------|----------|---------------------|----------------|------------------|-------|
| Gelagar Melintang   | IWF<br>800x300x14x26 | Lentur   | 1025,05             | 900,91         | 87,89%           | Aman  |
| Gelagar Memanjang   | IWF<br>300x150x6,5x9 | Komposit | 647,195             | 322,800        | 49,877%          | Aman  |
| Atas                | IWF<br>500x500x32x32 | Tekan    | 13805,021           | 6150,735       | 44,55%           | Aman  |
| Bawah               | IWF<br>500x500x32x32 | Tarik    | 14253,968           | 5092,617       | 35,73%           | Aman  |
| Diagonal            | IWF<br>500x500x19x32 | Tekan    | 7440,938            | 2870,114       | 38,57%           | Aman  |
|                     |                      | Tarik    | 12149,723           | 2830,091       | 23,29%           | Aman  |
| Ikatan Angin Tengah | IWF<br>250x175x8x12  | Tekan    | 607,372             | 287,578        | 47,35%           | Aman  |
|                     |                      | Tarik    | 1588,95             | 272,422        | 17,41%           | Aman  |
| Ikatan Angin Ujung  | IWF<br>350x300x12x19 | Tarik    | 5588,136            | 144,868        | 2,59%            | Aman  |

#### 11. Perencanaan sambungan

Sambungan berfungsi untuk menghubungkan dua atau lebih batang pada struktur rangka baja jembatan. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan baut dengan pelat buhul. Pemilihan jenis sambungan ini didasarkan pada kemudahan pemasangan. Selain itu, penggunaan baut dan pelat buhul memungkinkan jembatan dibongkar dengan lebih mudah jika

diperlukan di kemudian hari. Berikut ini disajikan perencanaan sambungan untuk setiap batang pada rangka jembatan.

a. Sambungan batang rangka atas

Gaya aksial untuk perencanaan sambungan diambil dari nilai kuat tekan rencana pada batang atas sebesar  $\phi P_n = 13805,021$  kN. Berikut ini merupakan perencanaan sambungan pada batang rangka atas.

1) Profil sambungan = IWF 500x500x32x32

Profil batang = 30 mm

Tebal pelat buhul (tp) = BJ 55

$F_y$  = 410 MPa

$F_u$  = 550 MPa

Mutu baut = A490

$F_{nv}$  = 469 MPa

$F_{nt}$  = 720 MPa

Diameter baut (db) = 30 mm

Diameter lubang (dh) = 33 mm

Luas baut ( $A_b$ ) = 706,858 mm<sup>2</sup>

Luas batang baut ( $A_h$ ) = 855,299 mm<sup>2</sup>

2) Kuat geser nominal baut ( $\phi R_{n1}$ )

$$\begin{aligned}\phi R_{n1} &= 0,75 \times F_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 469 \times 706,858 \\ &= 248637,424 \text{ N} \\ &= 248,637 \text{ kN}\end{aligned}$$

3) Konfigurasi baut

a) kebutuhan baut (n)

$$\begin{aligned}n &= \frac{\phi P_n}{\phi R_{n1}} \\ &= \frac{13805,021}{248,637} \\ &= 55,523 \text{ buah} \\ n \text{ pakai} &= 56 \text{ buah}\end{aligned}$$

b) jarak spasi antar baut(s)

$$\begin{aligned}s &= 3 \times db \\ &= 3 \times 30 \\ &= 90 \text{ mm}\end{aligned}$$

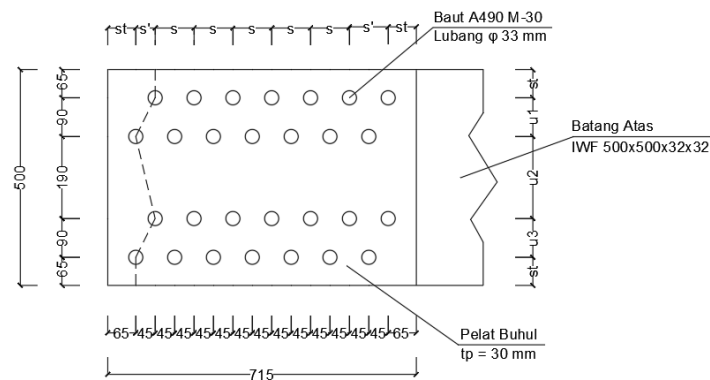
$$s \text{ pakai} = 90 \text{ mm}$$

c) Jarak as baut ke tepi sambungan (st)

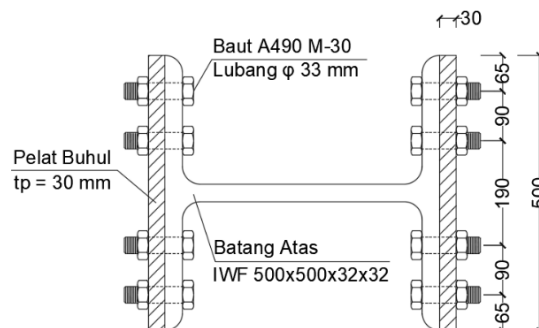
$$\begin{aligned}St &= 1,25 \times db \\ &= 1,25 \times 30 \\ &= 37,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$St \text{ pakai} = 65 \text{ mm}$$

Berikut ini merupakan gambar peletakan baut pada Rangka atas yang dapat dilihat pada Gambar 5.61, Gambar 5.62, dan Gambar 5.63.



**Gambar 5.62 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Atas**



**Gambar 5.63 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Atas**



$$= 90 - 33$$

$$= 57 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_{nt1a} &= 1,5 \times L_{ct1} \times t \times F_u \\ &= 1,5 \times 93,5 \times 30 \times 550 \\ &= 2314125 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{nt1b} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\ &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\ &= 1266300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$R_{nt1} \text{ pakai} = 1266300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_{nt2a} &= 1,5 \times L_{ct2} \times t \times F_u \\ &= 1,5 \times 48,5 \times 30 \times 550 \\ &= 1200375 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{nt2b} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\ &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\ &= 1266300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$R_{nt2} \text{ pakai} = 1200375 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_{ns1} &= 1,5 \times L_{cs} \times t \times F_u \\ &= 1,5 \times 57 \times 30 \times 550 \\ &= 1410750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{ns2} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\ &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\ &= 1266300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$R_{ns} \text{ pakai} = 1266300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n2} &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times R_{nt1}) + (1 \times R_{nt2}) + (11 \times R_{ns}))) \\ &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times 1266300) + (1 \times 1200375) + (11 \times 1266300))) \\ &= 52986825 \text{ N} \\ &= 52986,825 \text{ kN} \end{aligned}$$

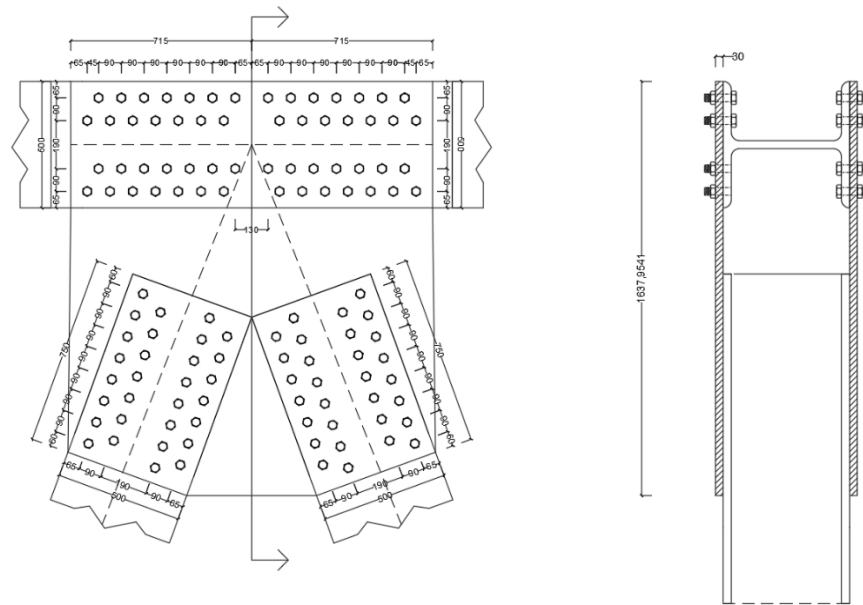
Cek kapasitas kekuatan geser tumpu

$$\phi R_{n2} > P_u$$

$$52986,825 > 6150,735 \text{ kN, maka aman}$$

### 5) Cek kekuatan tarik pelat buhul

Berikut ini merupakan gambar potongan bagian tekan pada pelat buhul sambungan batang rangka atas yang dapat dilihat pada Gambar 5.65



**Gambar 5.66 Pelat Buhul Tekan Sambungan Batang Rangka Atas**

#### a) Profil pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat buhul (tp)} &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi bagian tekan (h)} &= 1636,9541 \text{ mm} \\
 \text{Panjang bahagian tekan (L)} &= 130 \text{ mm} \\
 \text{Luas tampang (Ag)} &= h \times tp \\
 &= 30 \times 1636,9541 \\
 &= 49108,623 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

#### b) Inersia terkecil (I)

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} \times h \times tp^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 1637,9541 \times 30^3 \\
 &= 49138,623 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

c) Radius girasi (r)

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{\frac{I}{Ag}} \\
 &= \sqrt{\frac{3685396,725}{49138,623}} \\
 &= 8,66 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d) Cek keadaan batas

$$\begin{aligned}
 \frac{KL}{r} &\leq 25 \\
 \frac{(1 \times 130)}{8,66} &< 25 \\
 15,011 &< 25
 \end{aligned}$$

Karena  $\frac{KL}{r} < 25$ , maka kekuatan elemen tekan pada pelat buhul dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \phi P_{nt} &= 0,85 \times F_y \times A_g \times \text{jumlah pelat buhul} \\
 &= 0,85 \times 410 \times 49108,623 \times 2 \\
 &= 34249620,231 \text{ N} \\
 &= 34249,620 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e) Cek kapasitas kekuatan tekan pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \phi P_{nt} &> P_u \\
 34249,620 &> 10030,992, \text{ maka aman}
 \end{aligned}$$

b. Sambungan batang rangka bawah

Gaya aksial untuk perencanaan sambungan diambil dari nilai kuat tekan rencana pada batang bawah sebesar  $\phi P_n = 14253,968 \text{ kN}$ . Berikut ini merupakan perencanaan sambungan pada batang rangka bawah.

1) Profil sambungan

$$\begin{aligned}
 \text{Profil batang} &= \text{IWF } 500 \times 500 \times 32 \times 32 \\
 \text{Tebal pelat buhul luar} &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Tebal pelat buhul dalam} &= 20 \text{ mm} \\
 \text{Mutu pelat buhul} &= \text{BJ55} \\
 F_y &= 410 \text{ MPa} \\
 F_u &= 550 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Mutu baut                  | = A490                    |
| $F_{nv}$                   | = 469 MPa                 |
| $F_{nt}$                   | = 780 MPa                 |
| Diameter baut ( $d_b$ )    | = 30 mm                   |
| Diameter lubang ( $d_h$ )  | = 33 mm                   |
| Luas baut ( $A_b$ )        | = 706,858 mm <sup>2</sup> |
| Luas batang baut ( $A_h$ ) | = 855,299 mm <sup>2</sup> |

2) Kuat geser nominal baut ( $\phi R_{n1}$ )

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n1} &= 0,75 \times F_{nv} \times A_b \\
 &= 0,75 \times 469 \times 706,858 \\
 &= 248637 \text{ N} \\
 &= 248,637 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3) Konfigurasi baut

a) Kebutuhan baut ( $n$ )

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\phi P_n}{\phi R_{n1}} \\
 &= \frac{14253,968}{248,637} \\
 &= 57,328 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$n \text{ pakai} = 60 \text{ buah}$$

b) Jarak spasi antar baut ( $s$ )

$$\begin{aligned}
 s &= 3 \times d_b \\
 &= 3 \times 30 \\
 &= 90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 90 \text{ mm}$$

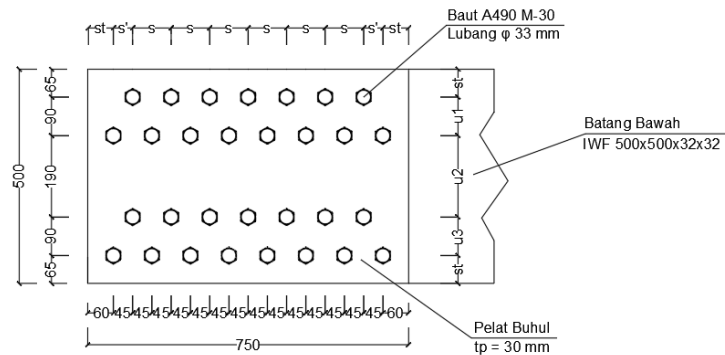
c) Jarak as baut ke tepi sambungan ( $st$ )

$$\begin{aligned}
 st &= 1,25 \times d_b \\
 &= 1,25 \times 30 \\
 &= 37,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

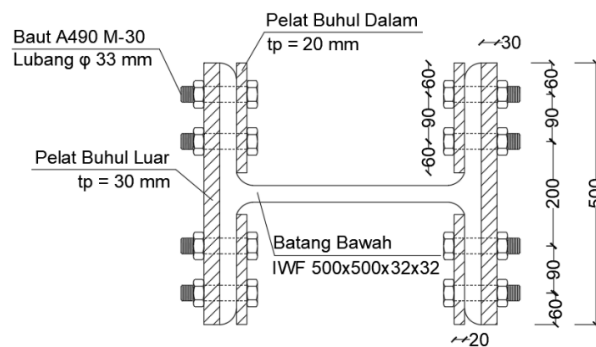
$$st \text{ pakai} = 65 \text{ mm}$$

Berikut ini merupakan gambar peletakan baut pada rangka bawah yang dapat dilihat pada Gambar 5.67, Gambar 5.6, dan Gambar

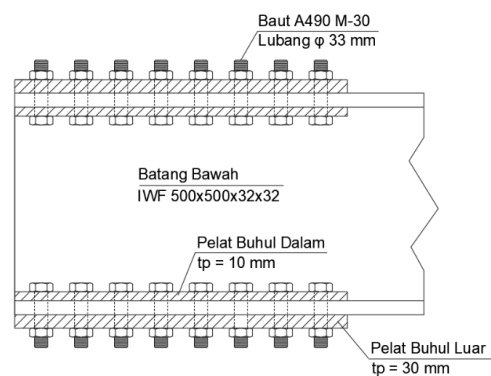
5.69 berikut.



**Gambar 5.67 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Bawah**

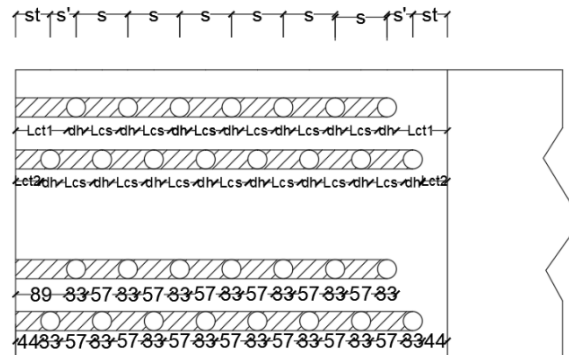


**Gambar 5.68 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Bawah**



**Gambar 5.69 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Bawah**

## 4) Cek kekuatan geser tumpu (Rn2)



**Gambar 5.70 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu Sambungan Batang Bawah**

Tebal pelat sayap profil = 32 mm

Tebal pelat buhul = 30 mm

Tebal pelat pakai = 30 mm

$$\begin{aligned} Lct1 &= st - 0,5 \times dh + 0,5 \times s \\ &= 65 - 0,5 \times 33 + 0,5 \times 90 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lct2 &= st - 0,5 \times dh \\ &= 65 - 0,5 \times 33 \\ &= 48,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lcs &= s - dh \\ &= 90 - 33 \\ &= 57 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rnt1a &= 1,5 \times Lct1 \times t \times Fu \\ &= 1,5 \times 93,5 \times 30 \times 550 \\ &= 2314125 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rnt1b &= 3 \times db \times t \times Fnv \\ &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\ &= 1266300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Rnt1 \text{ pakai} = 1266300 \text{ N}$$

$$Rnt2a = 1,5 \times Lct2 \times t \times Fu$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 \times 48,5 \times 30 \times 550 \\
 &= 1200375 \text{ N} \\
 R_{nt2b} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\
 &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\
 &= 1266300 \text{ N} \\
 R_{nt2} \text{ pakai} &= 1200375 \text{ N} \\
 R_{ns1} &= 1,5 \times L_{cs} \times t \times F_u \\
 &= 1,5 \times 57 \times 30 \times 550 \\
 &= 1410750 \text{ N} \\
 R_{ns2} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\
 &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\
 &= 1266300 \text{ N} \\
 R_{ns} \text{ pakai} &= 1266300 \text{ N} \\
 \phi R_{n2} &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times R_{nt1}) + (1 \times R_{nt2}) + (11 \times R_{ns}))) \\
 &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times 1266300) + (1 \times 1200375) + (11 \times 1266300))) \\
 &= 49187925 \text{ N} \\
 &= 49187,925 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas kekuatan pada geser tumpu

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n2} &> P_u \\
 49187,925 &> 5092,617 \text{ kN, maka aman}
 \end{aligned}$$

##### 5) Cek kekuatan tarik pelat buhul

###### a) Profil pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat buhul luar (tp1)} &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Tebal pelat buhul dalam (tp2)} &= 20 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi bagian tarik pelat luar (h1)} &= 500 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi bagian tarik pelat dalam (h2)} &= 210 \text{ mm} \\
 \text{Jumlah pelat buhul luar (n1)} &= 2 \text{ buah} \\
 \text{Jumlah pelat buhul dalam (n2)} &= 4 \text{ buah} \\
 \text{Luas tampang gross luas (Ag1)} &= h1 \times tp1 \times n1 \\
 &= 500 \times 30 \times 2 \\
 &= 30000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tampang gross dalam (Ag2)} &= h2 \times tp2 \times n2 \\
 &= 210 \times 20 \times 4 \\
 &= 16800 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

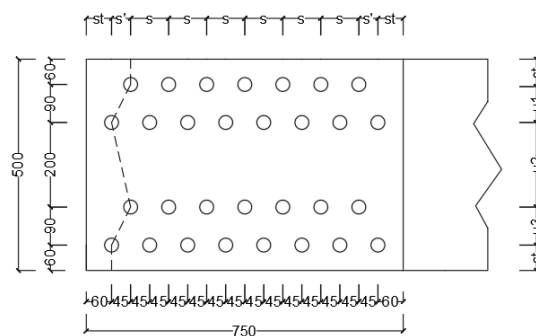
$$\begin{aligned}
 \text{Luas tampang gross total (Ag)} &= Ag1 + Ag2 \\
 &= 30000 + 16800 \\
 &= 46800 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b) Kekuatan tarik leleh pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \phi R_n \text{ tarik 1} &= 0,9 \times Ag \times F_y \\
 &= 0,9 \times 46800 \times 410 \\
 &= 17269200 \text{ N} \\
 &= 17269,200 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c) Kekuatan tarik fraktur pelat buhul

(1) Pelat buhul luar



**Gambar 5.71 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur Pelat Buhul Luar Batang Bawah**

$$s1 = 45 \text{ mm}$$

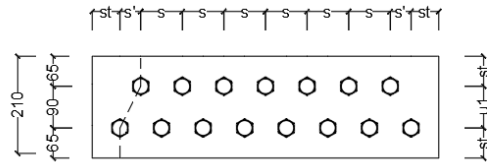
$$u1 = 90 \text{ mm}$$

$$u2 = 200 \text{ mm}$$

$$u3 = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Ant1 &= Ag1 - n.d.t + \sum \frac{s1^2 t}{4u} \\
 &= 3000 - (8 \times 33 \times 30) + 2 \frac{45^2 \times 30}{4 \times 90} + 2 \frac{45^2 \times 30}{4 \times 200} + 2 \frac{45^2 \times 30}{4 \times 90} \\
 &= 22906,875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

## (2) Pelat buhul dalam



**Gambar 5.72 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur pada Pelat Buhul Dalam Batang Bawah**

$$s1 = 45 \text{ mm}$$

$$u4 = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Ant2} &= A_{g2} - n.d.tp + \sum \frac{s1^2 t}{4u} \\ &= 16800 - (8 \times 33 \times 20) + 2 \frac{45^2 \times 20}{4 \times 90} \\ &= 11970 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= \text{Ant1} + \text{Ant2} \\ &= 22906,875 + 11970 \\ &= 34876,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ tarik 2} &= 0,75 \times A_e \times F_u \\ &= 0,75 \times 34876,875 \times 550 \\ &= 14386710,938 \text{ N} \\ &= 14386,71094 \text{ kN} \end{aligned}$$

d) Kekuatan tarik pelat buhul pakai

$$\phi R_n \text{ tarik 1} = 17269,200 \text{ kN}$$

$$\phi R_n \text{ tarik 2} = 14386,71094 \text{ kN}$$

Dari kekuatan tarik pelat buhul yang telah didapat diambil nilai kuat tarik terkecil, sehingga nilai kuat tarik yang digunakan adalah  $\phi R_n$  tarik 2 atau kuat tarik fraktur pada pelat buhul dalam batang bawah.

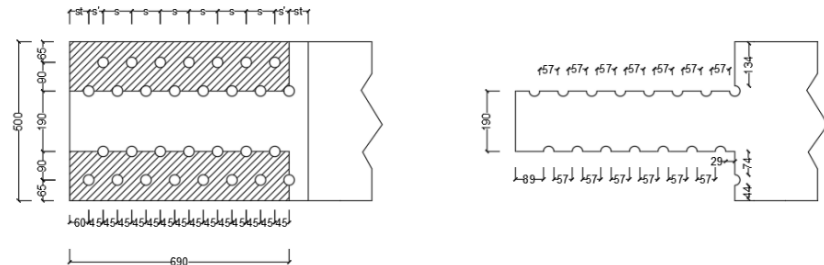
e) Cek kapasitas kekuatan tarik pelat buhul

$$\phi R_n 3 > P_u$$

$$14386,71094 \text{ kN} > P_u, \text{ maka aman}$$

## 6) Cek kekuatan geser blok

Kuat geser pada blok pada rangka bawah dapat dilihat pada Gambar 5.73 berikut.



**Gambar 5.73 Pola Keruntuhan Geser Blok Batang Rangka Bawah**

Tebal pelat sayap profil = 32 mm

$F_y = 410 \text{ mm}$

$F_u = 550 \text{ mm}$

$U_{bs} = 0,5$

$A_{nv} = (43,5 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 88,5 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 28,5) \times 32$   
 $= 28848 \text{ mm}^2$

$A_{gv} = 690 \times 2 \times 32$   
 $= 44160 \text{ mm}^2$

$A_{nt} = (133,5 + 73,5 + 41,341) \times 32$   
 $= 7946,912 \text{ mm}^2$

$R_{nv} = 2 \times [(0,6 \times F_u \times A_{nv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt})]$   
 $= 2 \times [(0,6 \times 550 \times 28848) + (0,5 \times 550 \times 7946,912)]$   
 $= 23410481,6 \text{ N}$   
 $= 23410,4816 \text{ kN}$

$R_{ny} = 2 \times [(0,6 \times F_y \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt})]$   
 $= 2 \times [(0,6 \times 410 \times 44160) + (0,5 \times 550 \times 7946,912)]$   
 $= 26097521,6 \text{ N}$

$$= 26097,5216 \text{ Kn}$$

Karena  $R_{nv} < R_{ny}$ , maka nilai kuat geser blok kondisi yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}\phi R_{n4} &= 0,75 \times R_{nv} \\ &= 0,75 \times 23410,4816 \\ &= 17557,8612 \text{ kN}\end{aligned}$$

Cek kapasitas kekuatan geser balok

$$\begin{aligned}\phi R_{n4} &> P_u \\ 17557,8612 \text{ kN} &> 5092,617, \text{ maka aman}\end{aligned}$$

c. Sambungan batang rangka diagonal

Gaya aksial untuk perencanaan sambungan diambil dari nilai kuat tekan rencana pada diagonal sebesar  $\phi P_n = 7440,938 \text{ kN}$ . Berikut ini merupakan perencanaan sambungan pada batang rangka diagonal.

1) Profil sambungan

$$\begin{aligned}\text{Profil batang} &= \text{IWF } 500 \times 500 \times 19 \times 32 \\ \text{Tebal pelat buhul} &= 30 \text{ mm} \\ \text{Mutu pelat buhul} &= \text{BJ } 55 \\ F_y &= 410 \text{ MPa} \\ F_u &= 550 \text{ MPa} \\ \text{Mutu baut} &= \text{A490} \\ F_{nv} &= 469 \text{ MPa} \\ F_{nt} &= 780 \text{ MPa} \\ \text{Diameter baut (db)} &= 30 \text{ mm} \\ \text{Diameter lubang (dh)} &= 33 \text{ mm} \\ \text{Luas baut (Ab)} &= 760,858 \text{ mm}^2 \\ \text{Luas batang baut (Ah)} &= 855,299 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

2) Kuat geser nominal baut ( $\phi R_{n1}$ )

$$\begin{aligned}\phi R_{n1} &= 0,75 \times F_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 469 \times 760,858 \\ &= 248637 \text{ N} \\ &= 248,637 \text{ kN}\end{aligned}$$

### 3) Konfigurasi baut

#### a) Kebutuhan baut (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\phi P n}{\phi R n 1} \\
 &= \frac{14253,968}{248,637} \\
 &= 57,328 \\
 &= 60 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

#### b) Jarak spasi antar baut (s)

$$\begin{aligned}
 s &= 3 \times db \\
 &= 3 \times 30 \\
 &= 90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

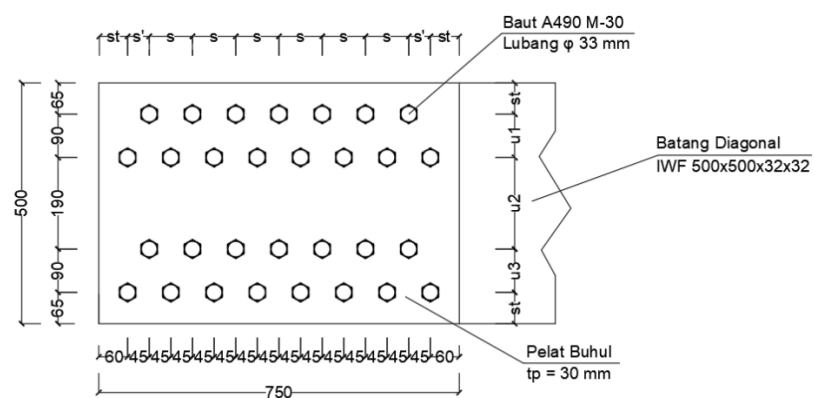
$$s \text{ pakai} = 90 \text{ mm}$$

#### c) Jarak as baut ke tepi sambungan (st)

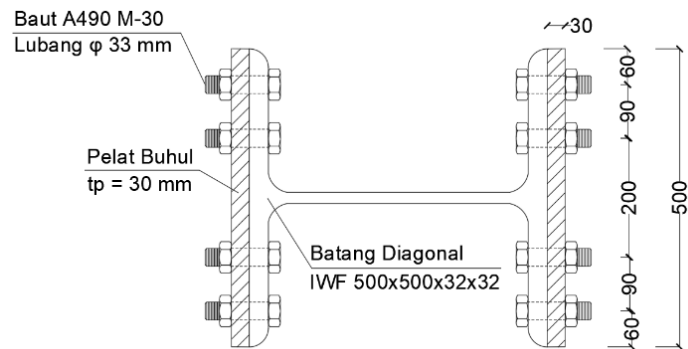
$$\begin{aligned}
 st &= 1,25 \times db \\
 &= 1,25 \times 30 \\
 &= 37,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$st \text{ pakai} = 60 \text{ mm}$$

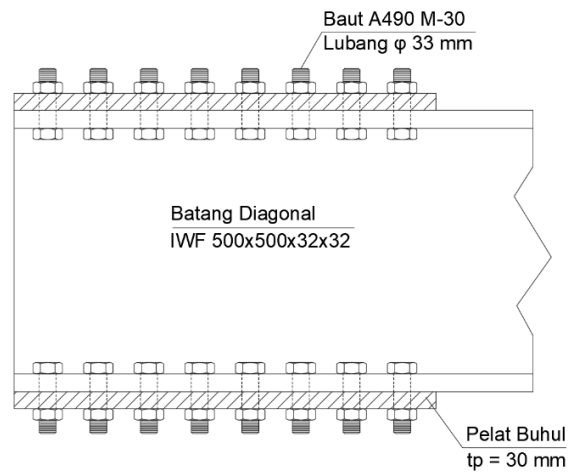
Berikut ini merupakan gambar peletakan baut pada rangka diagonal yang dapat dilihat pada Gambar 5.73, Gambar 5.74, dan Gambar 5.75.



**Gambar 5.74 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal**

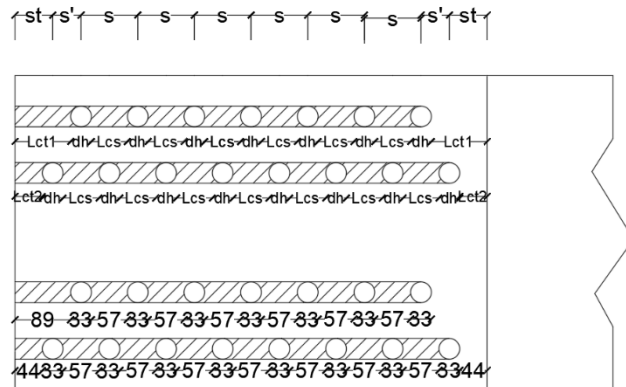


**Gambar 5.75 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal**



**Gambar 5.76 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal**

- 4) Cek kekuatan geser tumpu ( $R_{n2}$ )



**Gambar 5.77 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu pada Sambungan Batang Bawah**

Tebal pelat sayap profil = 32 mm

Tebal pelat buhul = 30 mm

Tebal pelat pakai = 30 mm

$$\begin{aligned} Lct1 &= st - 0,5 \times dh + 0,5 \times s \\ &= 60 - 0,5 \times 33 + 0,5 \times 90 \\ &= 88,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lct2 &= st - 0,5 \times dh \\ &= 60 - 0,5 \times 33 \\ &= 43,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lcs &= s - dh \\ &= 90 - 33 \\ &= 57 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rnt1a &= 1,5 \times Lct1 \times t \times Fu \\ &= 1,5 \times 88,5 \times 30 \times 550 \\ &= 2190375 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rnt1b &= 3 \times db \times t \times Fnv \\ &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\ &= 1266300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Rnt1 \text{ pakai} = 1266300 \text{ N}$$

$$Rnt2a = 1,5 \times Lct2 \times t \times Fu$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 \times 43,5 \times 30 \times 550 \\
 &= 1076625 \text{ N} \\
 R_{nt2b} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\
 &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\
 &= 1266300 \text{ N} \\
 R_{nt2} \text{ pakai} &= 1266300 \text{ N} \\
 R_{ns1} &= 1,5 \times L_{cs} \times t \times F_u \\
 &= 1,5 \times 57 \times 30 \times 550 \\
 &= 1410750 \text{ N} \\
 R_{ns2} &= 3 \times d_b \times t \times F_{nv} \\
 &= 3 \times 30 \times 30 \times 469 \\
 &= 1266300 \text{ N} \\
 R_{ns} \text{ pakai} &= 1266300 \text{ N} \\
 \phi R_{n2} &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times R_{nt1}) + (1 \times R_{nt2}) + (11 \times R_{ns}))) \\
 &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times 1266300) + (1 \times 1266300) + (11 \times 1266300))) \\
 &= 49385700 \text{ N} \\
 &= 49385,7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas kekuatan geser tumpu

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n2} &> P_u \\
 49385,7 \text{ kN} &> 2870,114 \text{ kN, maka aman}
 \end{aligned}$$

##### 5) Cek kekuatan tarik pelat buhul

###### a) Profil pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat buhul (tp)} &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi bagian tarik pelat luar (h)} &= 500 \text{ mm} \\
 \text{Jumlah pelat buhul luar (n)} &= 2 \text{ buah} \\
 \text{Luas penampang gross luar (Ag)} &= h_1 \times t_p \times n \\
 &= 500 \times 30 \times 2 \\
 &= 30000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

###### b) Kekuatan tarik leleh pelat buhul

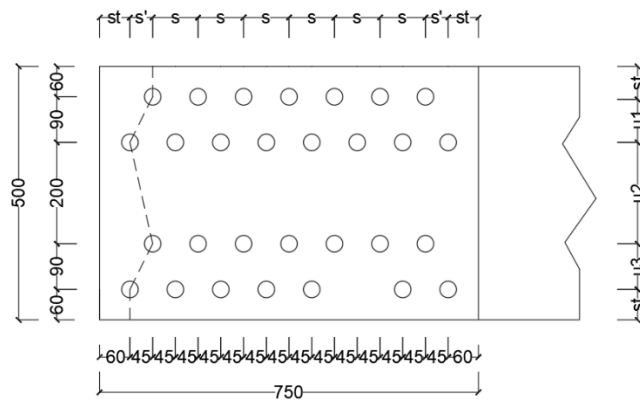
$$\begin{aligned}
 \phi R_n \text{ tarik 1} &= 0,9 \times A_g \times F_y \\
 &= 0,9 \times 30000 \times 410
 \end{aligned}$$

$$= 11070000 \text{ N}$$

$$= 11070 \text{ kN}$$

c) Kekuatan tarik fraktur pelat buhul

Pola keruntuhan akibat tarik fraktur pelat buhul batang diagonal dapat dilihat pada Gambar 5.77 berikut ini.



**Gambar 5.78 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur pada Pelat Buhul Luar Batang Bawah**

$$s1 = 45 \text{ mm}$$

$$u1 = 90 \text{ mm}$$

$$u2 = 200 \text{ mm}$$

$$u3 = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{nt} &= A_g + n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s_1^2 t}{4u} \\ &= 3000 - (8 \times 33 \times 30) + 2 \frac{45^2 \times 30}{4 \times 90} + 2 \frac{45^2 \times 30}{4 \times 200} + 2 \frac{45^2 \times 30}{4 \times 90} \\ &= 22906,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_{nt} \\ &= 22906,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ tarik 2} &= 0,75 \times A_e \times F_u \\ &= 0,75 \times 22906,875 \times 550 \\ &= 9449085,938 \text{ N} \\ &= 9449,086 \text{ kN} \end{aligned}$$

d) Kekuatan tarik pelat buhul pakai

$$\phi R_n \text{ tarik 1} = 11070 \text{ kN}$$

$$\phi R_n \text{ tarik 2} = 9449,086 \text{ kN}$$

Dari kekuatan tarik pelat buhul yang telah didapat diambil nilai kuat tarik terkecil, sehingga nilai kuat tarik yang digunakan adalah  $\phi R_n$  tarik 2 atau kuat tarik fraktur pada pelat buhul dalam batang bawah.

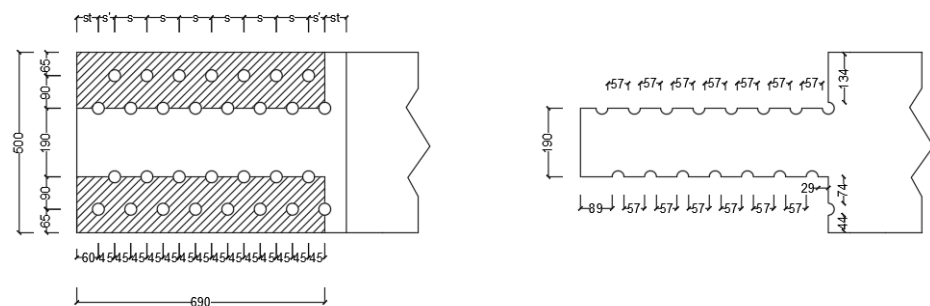
e) Cek kapasitas kekuatan tarik pelat buhul

$$\phi R_n 3 > P_u$$

$$9449,086 \text{ kN} > 2870,114 \text{ kN, maka aman}$$

6) Cek kapasitas kekuatan geser blok

Pola keruntuhan kapasitas kekuatan geser blok rangka diagonal ditunjukkan pada Gambar 5.78.



**Gambar 5.79 Pola Keruntuhan Geser Blok Batang Rangka Diagonal**

Tebal pelat sayap profil = 32 mm

$F_y = 410 \text{ MPa}$

$F_u = 550 \text{ MPa}$

$U_{bs} = 0,5$

$$A_{nv} = (43,5 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 88,5 + 57 + 57 + 57 + 57 + 57 + 28,5) \times 32$$

$$= 28848 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = 690 \times 2 \times 32$$

$$\begin{aligned}
 &= 44160 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ant} &= (133,5 + 73,5 + 41,341) \times 32 \\
 &= 7946,912 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rnv} &= 2 \times [(0,6 \times F_u \times A_{nv}) + (U_{bs} \times F_u \times \text{Ant})] \\
 &= 2 \times [(0,6 \times 550 \times 28848) + (0,5 \times 550 \times 7946,912)] \\
 &= 23410481,6 \text{ N} \\
 &= 23410,4816 \text{ kN} \\
 \text{Rny} &= 2 \times [(0,6 \times F_y \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times \text{Ant})] \\
 &= 2 \times [(0,6 \times 410 \times 44160) + (0,5 \times 550 \times 7946,912)] \\
 &= 26097521,6 \text{ N} \\
 &= 26097,5216 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena  $R_{nv} < R_{ny}$ , maka nilai kuat geser blok kondisi yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 23410,4816 \\
 &= 17557,8612 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas kekuatan geser

$$\begin{aligned}
 \Phi R_n &> P_u \\
 17557,8612 \text{ kN} &> 2870,114 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Sambungan batang ikatan angin tengah

Gaya aksial untuk perencanaan sambungan diambil dari nilai kuat tekan rencana pada rangka ikatan angin tengah sebesar  $\phi P_n = 438,703 \text{ kN}$ . Berikut ini merupakan perencanaan sambungan pada batang rangka diagonal.

1) Profil sambungan

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis profil} &= \text{IWF } 250 \times 175 \times 8 \times 12 \\
 \text{Tebal pelat buhul} &= 10 \text{ mm} \\
 f_y &= \text{BJ55} \\
 f_u &= 410 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu baut} &= \text{A325}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{nv} &= 372 \text{ MPa} \\
 F_{nt} &= 620 \text{ MPa} \\
 \text{Diameter baut (db)} &= 25 \text{ Mpa} \\
 \text{Diameter lubang (dh)} &= 28 \text{ Mpa} \\
 \text{Luas baut (Ab)} &= 490,874 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas batang baut (Ah)} &= 615,752 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2) Kuat geser nominal baut

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n1} &= 0,75 \times F_{nv} \times A_b \\
 &= 0,75 \times 372 \times 490,874 \\
 &= 136953,805 \text{ N} \\
 &= 136,954 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3) Konfigurasi baut

a) Kebutuhan baut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{1588,95}{136,954} \\
 &= 11,429 \text{ buah} \\
 &= 12 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

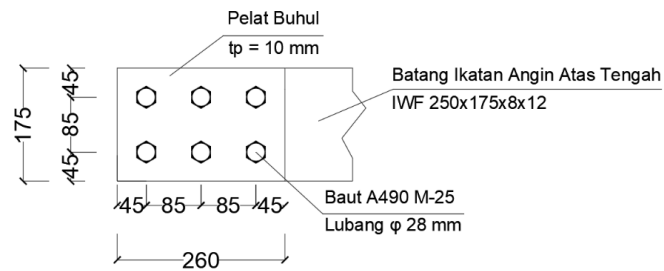
b) Jarak spasi antar baut

$$\begin{aligned}
 s &= 3 \times db \\
 &= 3 \times 25 \\
 &= 75 \text{ mm} \\
 s_{\text{pakai}} &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

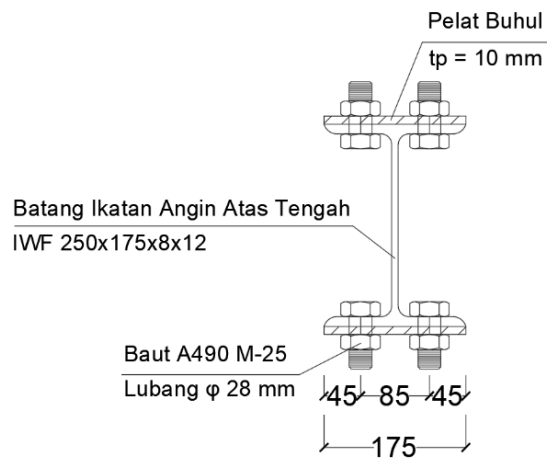
c) Jarak as baut ke tepi sambungan

$$\begin{aligned}
 st &= 1,25 \times db \\
 &= 1,25 \times 25 \\
 &= 31,25 \text{ mm} \\
 st_{\text{pakai}} &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

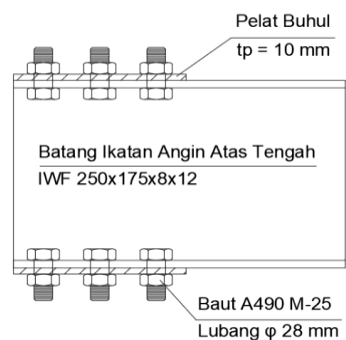
Berikut ini merupakan gambar peletakan baut pada rangka ikatan angin atas tengah yang dapat dilihat pada Gambar 5.79, Gambar 5.80, dan Gambar 5.81.



**Gambar 5.80 Konfigurasi Sambungan Baut Batang Ikatan Angin Tengah**

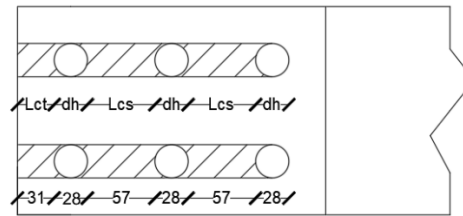


**Gambar 5.81 Tampak Melintang Konfigurasi Sambungan Baut Batang Ikatan Angin Tengah**



**Gambar 5.82 Tampak Atas Konfigurasi Sambungan Baut Batang Rangka Diagonal**

4) Cek kekuatan geser tumpu ( $R_{n2}$ )



**Gambar 5.83 Pola Keruntuhan Kuat Tumpu pada Sambungan Ikatan Angin Tengah**

|                          |                                                                                                         |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tebal pelat sayap profil | = 12 mm                                                                                                 |
| Tebal pelat buhul        | = 10 mm                                                                                                 |
| Tebal pelat pakai        | = 10 mm                                                                                                 |
| Lct                      | $= st - 0,5 \times dh$<br>$= 45 - 0,5 \times 28$<br>$= 31 \text{ mm}$                                   |
| Lcs                      | $= s - dh$<br>$= 85 - 28$<br>$= 57 \text{ mm}$                                                          |
| Rnt1a                    | $= 1,5 \times Lct \times t \times Fu$<br>$= 1,5 \times 31 \times 10 \times 550$<br>$= 255750 \text{ N}$ |
| Rnt1b                    | $= 3 \times db \times t \times Fnv$<br>$= 3 \times 28 \times 10 \times 372$<br>$= 279000 \text{ N}$     |
| Rnt pakai                | = 255750 N                                                                                              |
| Rns1a                    | $= 1,5 \times Lcs \times t \times Fu$<br>$= 1,5 \times 57 \times 10 \times 550$<br>$= 470250 \text{ N}$ |
| Rns1b                    | $= 3 \times db \times t \times Fnv$<br>$= 3 \times 28 \times 10 \times 372$<br>$= 279000 \text{ N}$     |

$$\begin{aligned}
 R_{ns} \text{ pakai} &= 279000 \text{ N} \\
 \phi R_{n2} &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times R_{nt}) + (11 \times R_{ns}))) \\
 &= 4 \times (0,75 \times ((1 \times 255750) + (2 \times 279000))) \\
 &= 2441250 \text{ N} \\
 &= 2441,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas kekuatan geser tumpu

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &> P_u \\
 2441,25 \text{ kN} &> 287,578 \text{ kN, maka aman}
 \end{aligned}$$

5) Cek kekuatan tarik pelat buhul

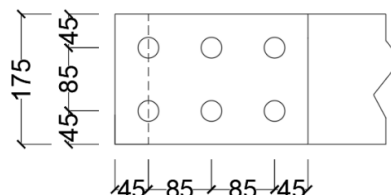
a) Profil pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat buhul (tp)} &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi bagian tarin (h)} &= 175 \text{ mm} \\
 \text{Jumlah pelat} &= 2 \text{ buah} \\
 \text{Luas tampang gross (Ag)} &= h \times tp \times 2 \\
 &= 175 \times 10 \times 2 \\
 &= 3500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b) Kekuatan tarik leleh pelat buhul

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n1} &= 0,9 \times A_g \times F_y \\
 &= 0,9 \times 3500 \times 410 \\
 &= 1291500 \text{ N} \\
 &= 1291,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c) Kekuatan tarik leleh pelat buhul



**Gambar 5.84 Pola Keruntuhan Kuat Tarik Fraktur pada Pelat Buhul Batang Ikatan Angin Tengah**

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_g - n \times d \times t \\
 &= 3500 - (4 \times 28 \times 10) \\
 &= 2380 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= A_{nt} \\
 &= 2380 \text{ mm}^2 \\
 \phi R_{n2} &= 0,75 \times A_{nt} \times F_u \\
 &= 0,75 \times 2380 \times 550 \\
 &= 981750 \text{ N} \\
 &= 981,75 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d) Kekuatan tarik pelat buhul pakai

$$\phi R_{n1} = 1291,5 \text{ kN}$$

$$\phi R_{n2} = 981,75 \text{ kN}$$

Dari kedua kondisi tersebut dipakai nilai kuat tarik terkecil sehingga kekuatan tarik pelat buhul yang digunakan adalah  $\phi R_{n2}$ .

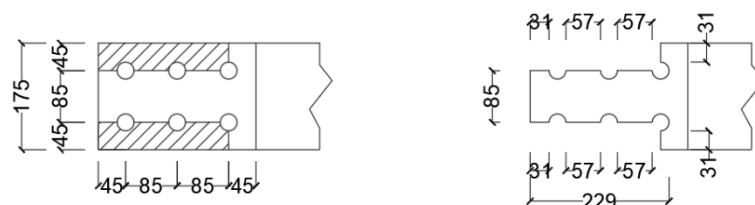
e) Cek kapasitas kekuatan tarik pelt buhul pakai

$$\phi R_n > P_u$$

$$981,75 \text{ kN} > 287,578 \text{ kN}, \text{ maka aman}$$

6) Cek kekuatan geser blok

Kuat geser pada blok pada rangka ikatan angin tengah dapat dilihat pada Gambar 5.84.



**Gambar 5.85 Kuat Geser Blok Batang Ikatan Angin Tengah**

Tebal pelat sayap profil = 12 mm

Tebal pelat buhul = 10 mm

$$\begin{aligned}
\text{Tebal pelat pakai} &= 10 \text{ mm} \\
F_u &= 410 \text{ MPa} \\
U_{bs} &= 0,5 \\
A_{nv} &= (31 + 57 + 57 + 31 + 57 + 57) \times 10 \\
&= 2900 \text{ mm}^2 \\
A_{gv} &= 229 \times 2 \times 10 \\
&= 4580 \text{ mm}^2 \\
A_{nt} &= (27,5 + 27,5) \times 10 \\
&= 550 \text{ mm}^2 \\
R_{nv} &= 2 \times [(0,6 \times F_u \times A_{nv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt})] \\
&= 2 \times [(0,6 \times 550 \times 2900) + (0,5 \times 550 \times 550)] \\
&= 2216500 \text{ N} \\
&= 2216,5 \text{ kN} \\
R_{ny} &= 2 \times [(0,6 \times F_y \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt})] \\
&= 2 \times [(0,6 \times 410 \times 4580) + (0,5 \times 550 \times 550)] \\
&= 2555860 \text{ N} \\
&= 2555,86 \text{ kN} \\
\phi R_n &= 0,75 \times R_{nv} \\
&= 0,75 \times 2216,5 \\
&= 1662,375 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Karena  $R_{nv} > R_{ny}$ , maka nilai kuat geser blok digunakan adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
\phi R_n &= 0,75 \times R_{nv} \\
&= 0,75 \times 2216,5 \\
&= 1662,375 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Cek kapasitas kekuatan geser balok

$$\begin{aligned}
\phi R_n &> P_u \\
1662,375 \text{ kN} &> 287,578 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- e. Rekapitulasi kekuatan dan jumlah sambungan baut

Berikut ini merupakan rekapitulasi kekuatan sambungan pada batang yang ditunjukkan pada Tabel 5.20.

**Tabel 5.19 Rekapitulasi Kekuatan Sambungan pada Setiap Jenis Batang**

| Jenis Batang                      | No | Jenis Kuat Sambungan   | $\phi R_n$ (kN) | $P_u$ (kN) | $P_u/\phi R_n$ | Keterangan |
|-----------------------------------|----|------------------------|-----------------|------------|----------------|------------|
| <b>Batang Atas</b>                | 1  | Kuat geser baut        | 13805,021       | 6150,735   | 45%            | Aman       |
|                                   | 2  | Kuat geser tumpu pelat | 52986,825       | 6150,735   | 12%            | Aman       |
|                                   | 3  | Kuat tekan pelat       | 32657,322       | 6150,735   | 18%            | Aman       |
| <b>Batang Bawah</b>               | 1  | Kuat geser baut        | 14253,9679      | 5092,617   | 36%            | Aman       |
|                                   | 2  | Kuat geser tumpu pelat | 49187,9250      | 5092,617   | 10%            | Aman       |
|                                   | 3  | Kuat tarik pelat       | 14386,7109      | 5092,617   | 35%            | Aman       |
|                                   | 4  | Kuat blok geser        | 17557,8612      | 5092,617   | 29%            | Aman       |
| <b>Batang Diagonal</b>            | 1  | Kuat geser baut        | 7440,938        | 2870,114   | 39%            | Aman       |
|                                   | 2  | Kuat geser tumpu pelat | 49385,700       | 2870,114   | 6%             | Aman       |
|                                   | 3  | Kuat tarik pelat       | 9449,086        | 2870,114   | 30%            | Aman       |
|                                   | 4  | Kuat blok geser        | 17557,861       | 2870,114   | 16%            | Aman       |
| <b>Batang Ikatan Angin Tengah</b> | 1  | Kuat geser baut        | 5588,136        | 287,578    | 5%             | Aman       |
|                                   | 2  | Kuat geser tumpu pelat | 2877,750        | 287,578    | 12%            | Aman       |
|                                   | 3  | Kuat tarik pelat       | 981,750         | 287,578    | 29%            | Aman       |
|                                   | 4  | Kuat blok geser        | 1662,375        | 287,578    | 17%            | Aman       |

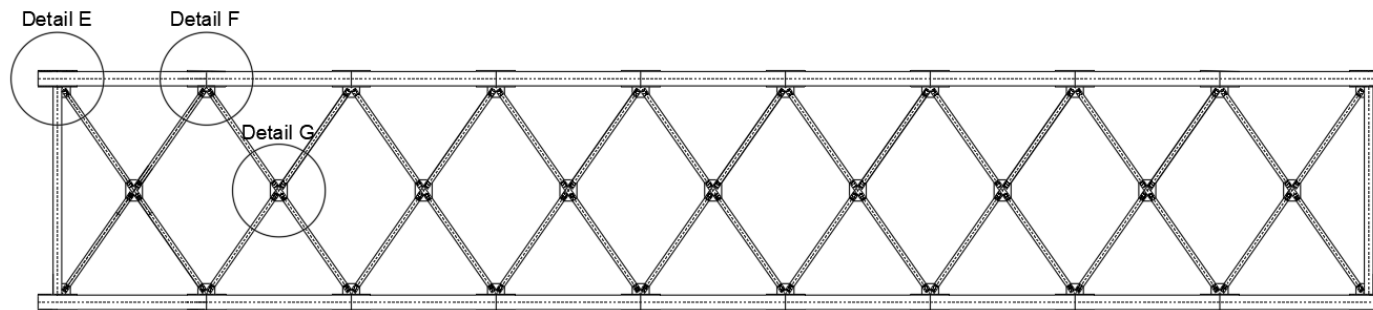
Berikut ini merupakan rekapitulasi sambungan baut yang ditunjukkan pada Tabel 5.21.

**Tabel 5.20 Rekapitulasi Jumlah Sambungan Baut**

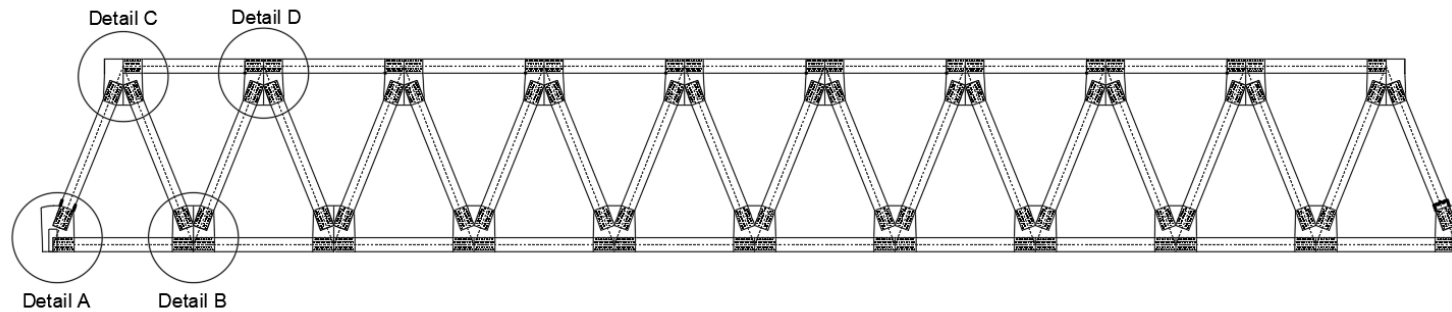
| Batang                               | Jumlah Baut | Konfigurasi  |
|--------------------------------------|-------------|--------------|
| Rangka Atas IWF 500x500x32x32        | 56          | Baut Seling  |
| Rangka Bawah IWF 500x500x32x32       | 60          | Baut Seling  |
| Rangka Diagonal IWF 500x500x19x32    | 60          | Baut Seling  |
| Ikatan Angin Tengah IWF 250x175x8x12 | 12          | Baut Sejajar |

f. Detail gambar sambungan baut

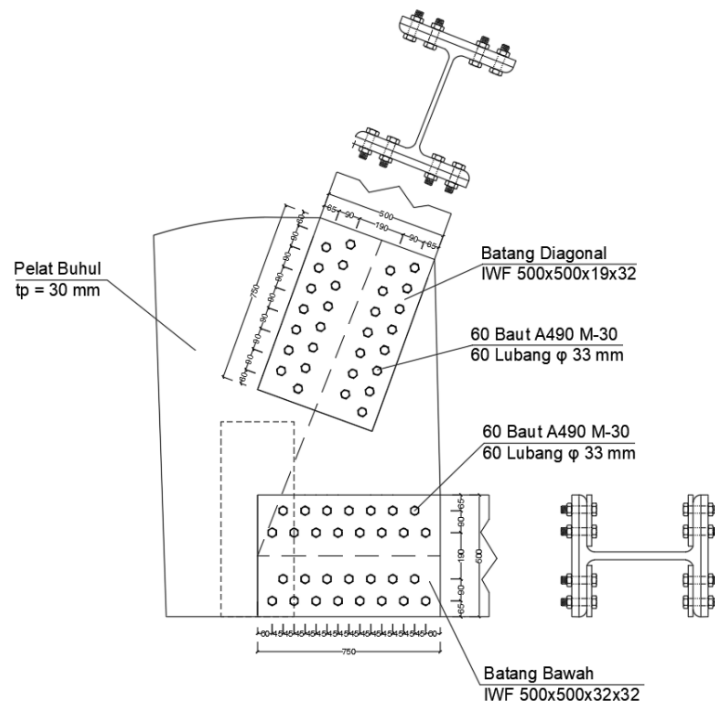
Berikut ini merupakan detail gambar sambungan baut yang ditunjukkan pada Gambar



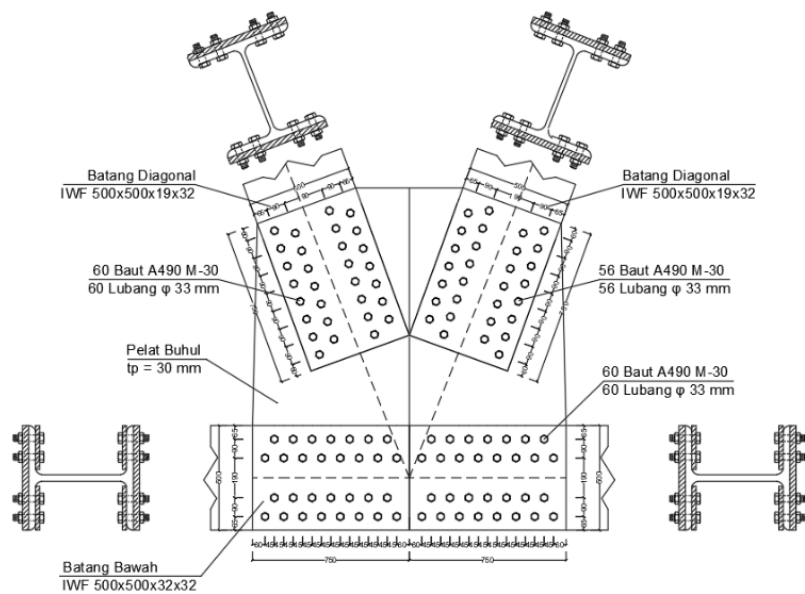
**Gambar 5.86 Tampak Atas Rangka Jembatan**



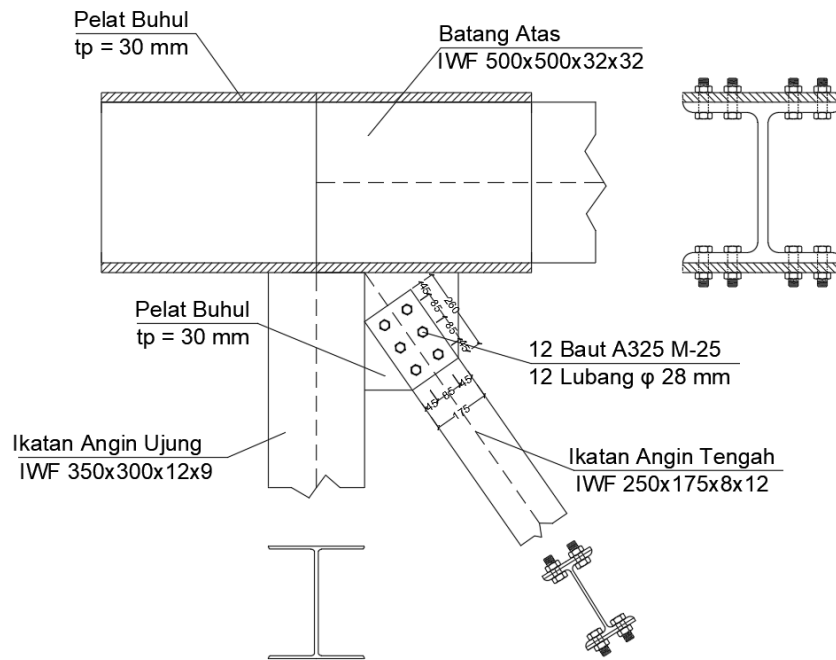
**Gambar 5.87 Tampak Samping Rangka Jembatan**



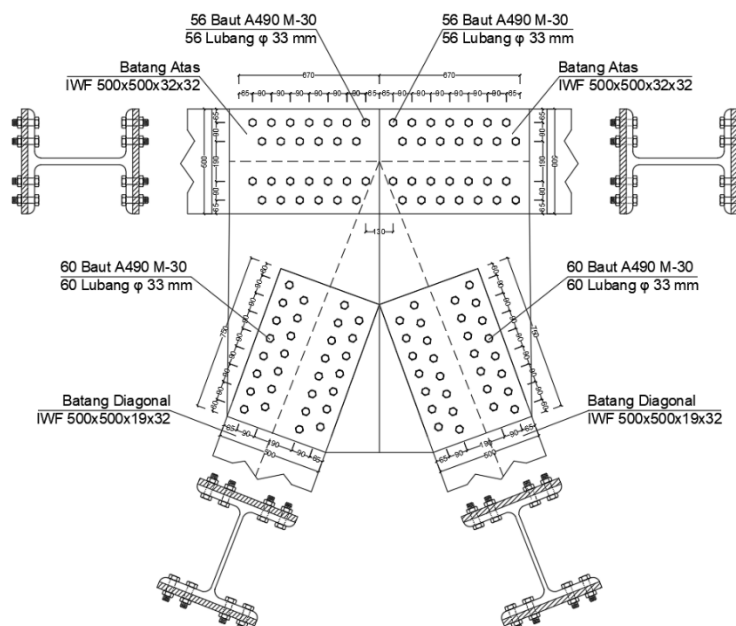
**Gambar 5.88 Detail Sambungan A**



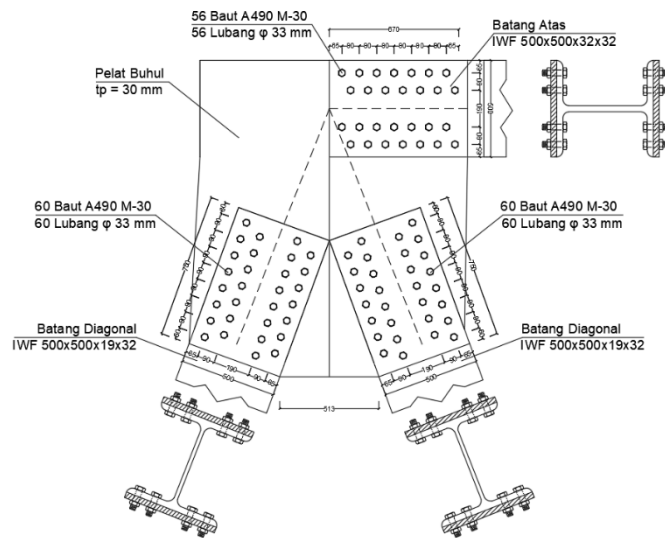
**Gambar 5.89 Detail Sambungan B**



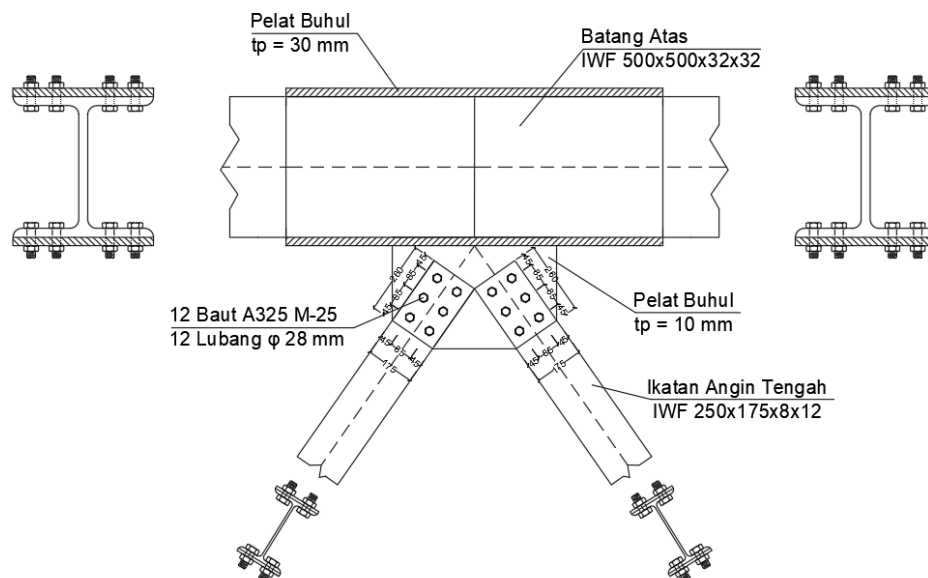
Gambar 5.90 Detail Sambungan C



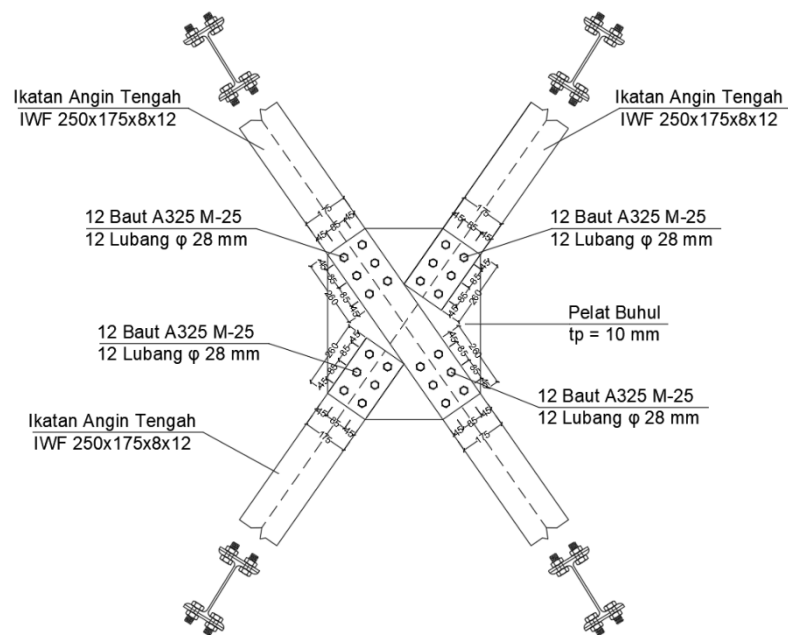
Gambar 5.91 Detail Sambungan D



**Gambar 5.92 Detail Sambungan E**



**Gambar 5.93 Detail Sambungan F**

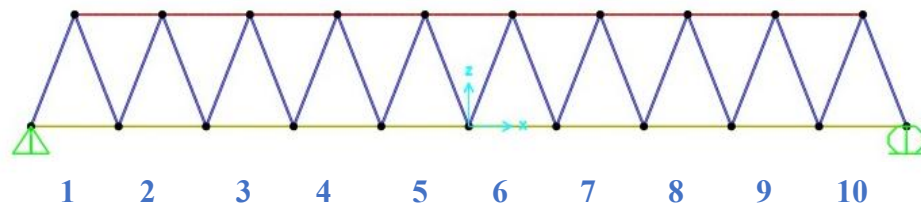


**Gambar 5.94 Detail Sambungan G**

12. Anti lendutan (*camber*)

Pada jembatan, lendutan harus dibatasi agar pengguna merasa aman dan nyaman saat melintas. Berdasarkan RSNI T -03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. Nilai lendutan maksimum yang diperbolehkan adalah  $L/800$ . Besaran lendutan ini diperoleh dari hasil analisis struktur menggunakan kombinasi Beban Layar I. Berikut merupakan lendutan maksimum yang diperkenankan.

$$\begin{aligned}
 \delta_{izin} &= \frac{L}{800} \\
 &= \frac{50}{800} \\
 &= 0,0625
 \end{aligned}$$



**Gambar 5.95 Lendutan Jembatan**

Apabila terdapat kondisi yang menyebabkan lendutan melebihi dari lendutan izin, maka jembatan perlu diberikan *camber*. Berdasarkan Panduan Perencanaan Teknis Jembatan Bina Marga (2021), *camber* jembatan harus didesain 150% dari lendutan pada kombinasi Beban Layan I, dengan arah berlawanan terhadap lendutan tersebut. Dari hasil permodelan pada SAP2000, didapatkan lendutan pada struktur rangka sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5.64 dan rekapitulasi dari *camber* yang dapat dilihat pada Tabel 5.22.berikut berikut ini.

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Lendutan dan *Camber***

| Titik | Lendutan | Lendutan izin |
|-------|----------|---------------|
|       | (m)      | (m)           |
| 1     | 0        | 0,0625        |
| 2     | -0,01388 | 0,0625        |
| 3     | -0,02595 | 0,0625        |
| 4     | -0,03531 | 0,0625        |
| 5     | -0,04132 | 0,0625        |
| 6     | -0,04354 | 0,0625        |
| 7     | -0,04130 | 0,0625        |
| 8     | -0,03527 | 0,0625        |
| 9     | -0,02591 | 0,0625        |
| 10    | -0,01385 | 0,0625        |
| 11    | 0        | 0,0625        |



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan perencanaan struktur atas Jembatan Butuh Sragen yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pelat jembatan yang telah didesain didapatkan hasil sebagai berikut:
  - a. Tebal pelat lantai jembatan dengan ketebalan 250 mm, dengan momen positif dan negatif digunakan tulangan pokok D16-100 dan tulangan bagi D16-150.
2. Struktur atas yang telah didesain didapatkan hasil sebagai berikut:
  - a. Rangka utama pada batang atas menggunakan profil baja IWF 500x500x32x32.
  - b. Rangka utama pada batang bawah menggunakan profil baja IWF 500x500x32x32.
  - c. Rangka utama pada batang diagonal menggunakan profil baja IWF 500x500x19x32.
  - d. Batang ikatan angin atas tengah menggunakan profil baja IWF 250x175x8x12.
  - e. Batang ikatan angin atas ujung menggunakan profil baja IWF 350x300x12x9.
  - f. Gelagar memanjang menggunakan profil baja IWF 300x150x6,5x9 yang dipasang komposit dengan pelat lantai menggunakan *shear connector* diameter 16 mm sebanyak 32 buah sepanjang satu buah gelagar.
  - g. Gelagar melintang menggunakan profil IWF 700x300x14x25.
3. Desain pada sambungan struktur atas jembatan didapatkan hasil sebagai berikut:
  - a. Sambungan antar komponen ada batang atas, batang bawah, dan batang diagonal menggunakan sambungan baut dengan mutu A490 sedangkan pada

batang ikatan angin menggunakan baut dengan mutu A325 yang disambungkan dengan pelat buhul. Diameter baut, jumlah baut, tebal pelat buhul, dan konfigurasi yang digunakan tiap komponennya adalah sebagai berikut:

- 1) Batang atas : diameter baut M30, jumlah baut 56 buah, tebal pelat buhul luar 30 mm dan konfigurasi baut seling.
- 2) Batang bawah : diameter baut M30, jumlah baut 60 buah, tebal pelat buhul luar 30 mm dan tebal pelat buhul dalam 20 mm.  
konfigurasi baut seling.
- 3) Batang diagonal : diameter baut M30, jumlah baut 60 buah, tebal pelat buhul luar 30 mm dan tebal pelat buhul dalam 20 mm.  
konfigurasi baut seling.
- 4) Ikatan angin : diameter baut M25, jumlah baut 12 buah, tebal pelat buhul dalam 15 mm dan tebal pelat buhul luar 8 mm  
konfigurasi baut pelat sejajar.

## 6.2 Saran

Pada penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan sehingga terdapat beberapa saran yang disampaikan oleh penulis sebagai acuan dalam penelitian yang akan datang serta melengkapi kekurangan yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis dengan profil baja lain sehingga hasil analisis lebih efisien.
2. Perlu dilakukan analisis hingga struktur bawah jembatan.
3. Perlu memasukkan perhitungan gempa dengan mempertimbangkan lokasi sesar.

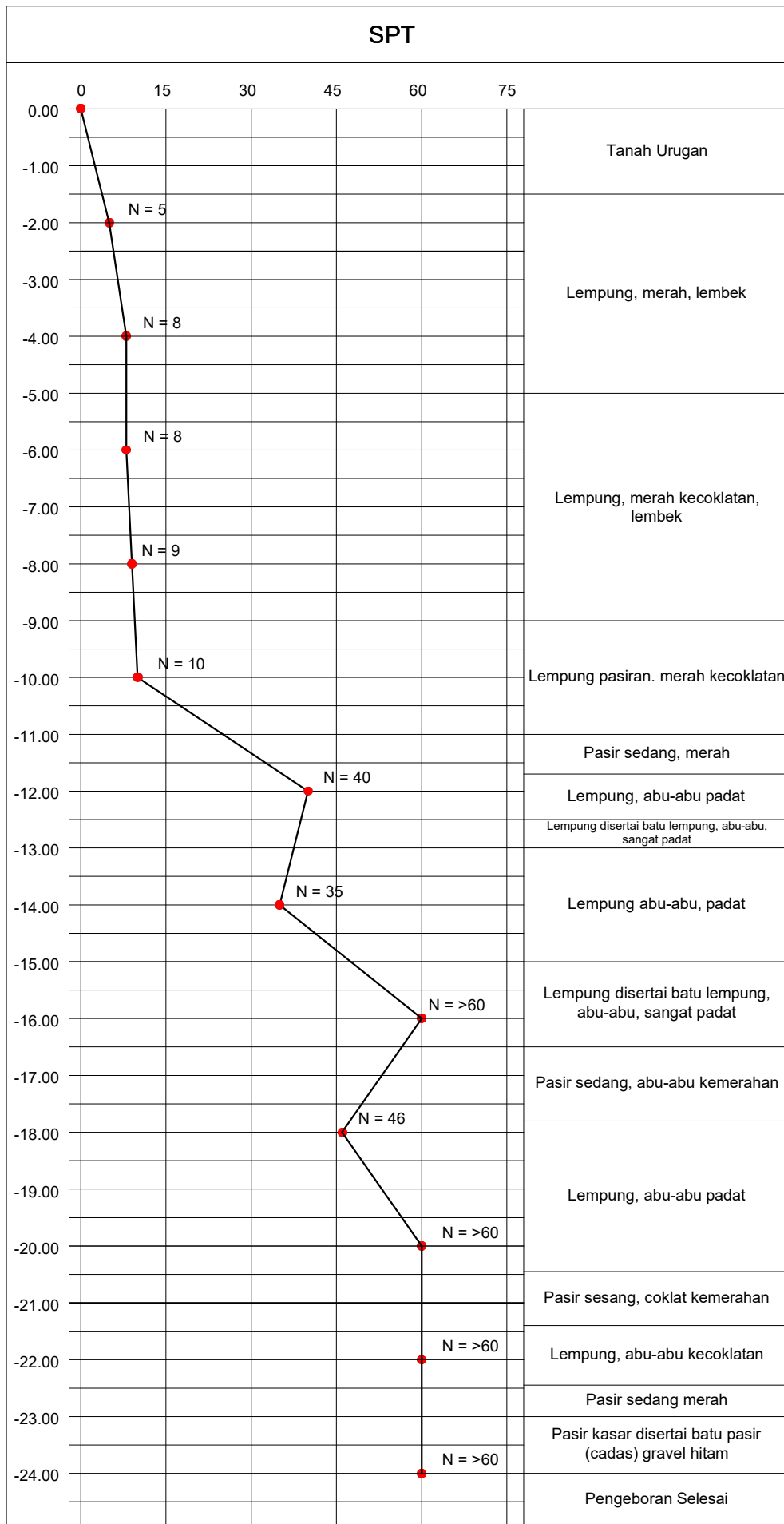
## DAFTAR PUSTAKA

- Fakhri Pratama Nurfauzi. 2022. *Perancangan Jembatan Rangka Baja Tipe Warren Bentang 80 M* (Studi Kasus: Jembatan Gembryan). Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Kementerian PUPR. 2021. *Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan*. Kementerian PUPR. Jakarta.
- Luwes Purwo Resmi. 2002. *Kontrol Struktur Jembatan Rangka Baja Terpasang Terhadap Pembebanan AASHTO 1994*. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Yogyakarta: S1 Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- Rancangan Standarisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Pembebanan Baja Untuk Jembatan (RSNI T -02-2005)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Rancangan Standarisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (RSNI T -03-2005)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Rancangan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton Jembatan (RSNI T -12-2004)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2015. *Spesifikasi Untuk Pembangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Swastika,T.W., dan Erlina Yanuarini. 2019. *Struktur Baja I*. UNJ Press. Depok.
- Williams. A. 2016. *Steel Structures Design for Lateral and Vertical Forces, 2nd Edition*. McGraw Hill. New York.

# LAMPIRAN

# BM 1=+95.406

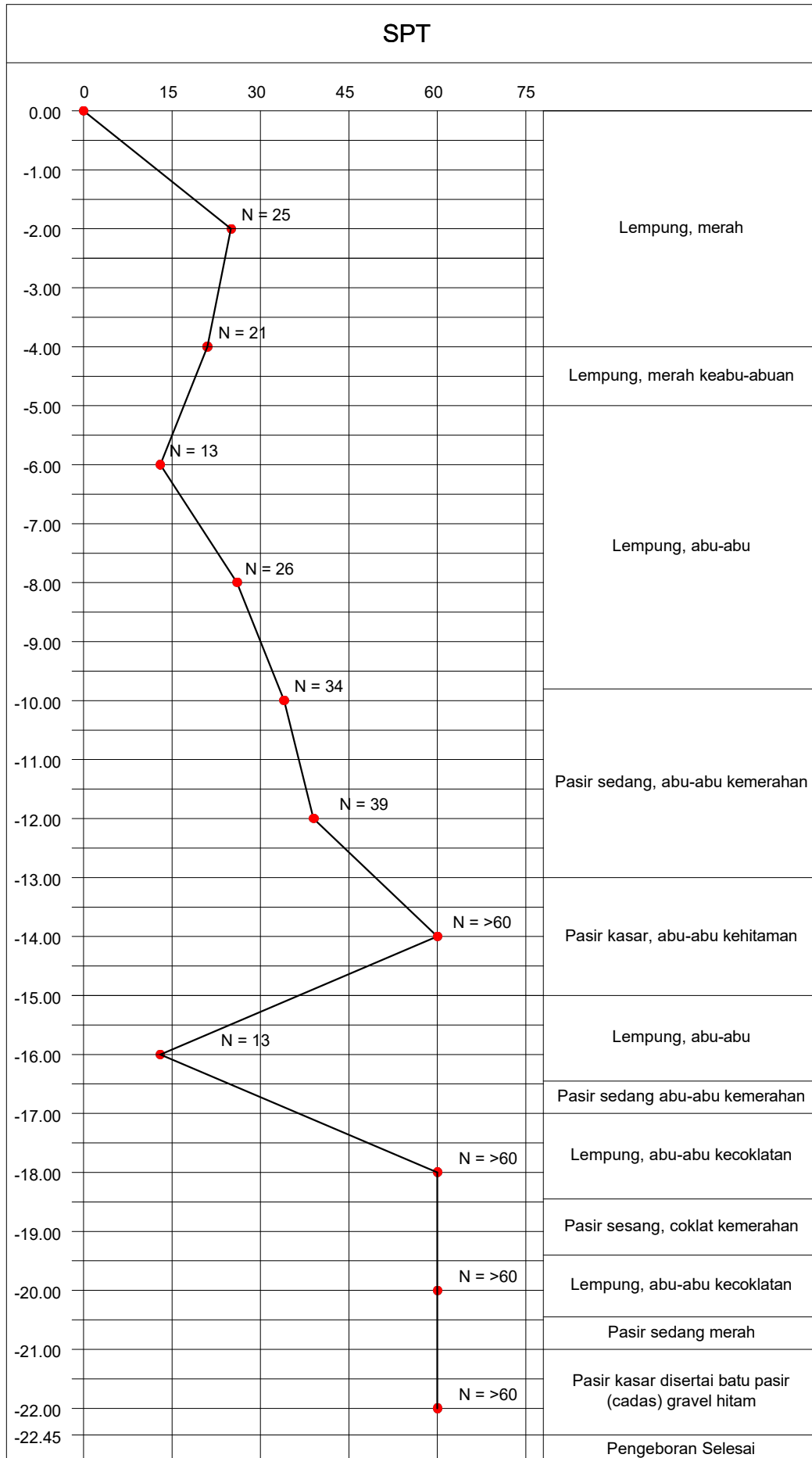
BOR MESIN 01 (MASARAN)



End Boring 24.00 M

# BM 5=+93.914

BOR MESIN 05 (PLUPUH)



End Boring 22.45 M

|             |   |
|-------------|---|
| +94.142     | Z |
| 9175527.708 | Y |
| 489277.086  | X |

BM.02



|             |   |
|-------------|---|
| BM.01       | X |
| 489254.834  | Y |
| 9175504.484 | Z |

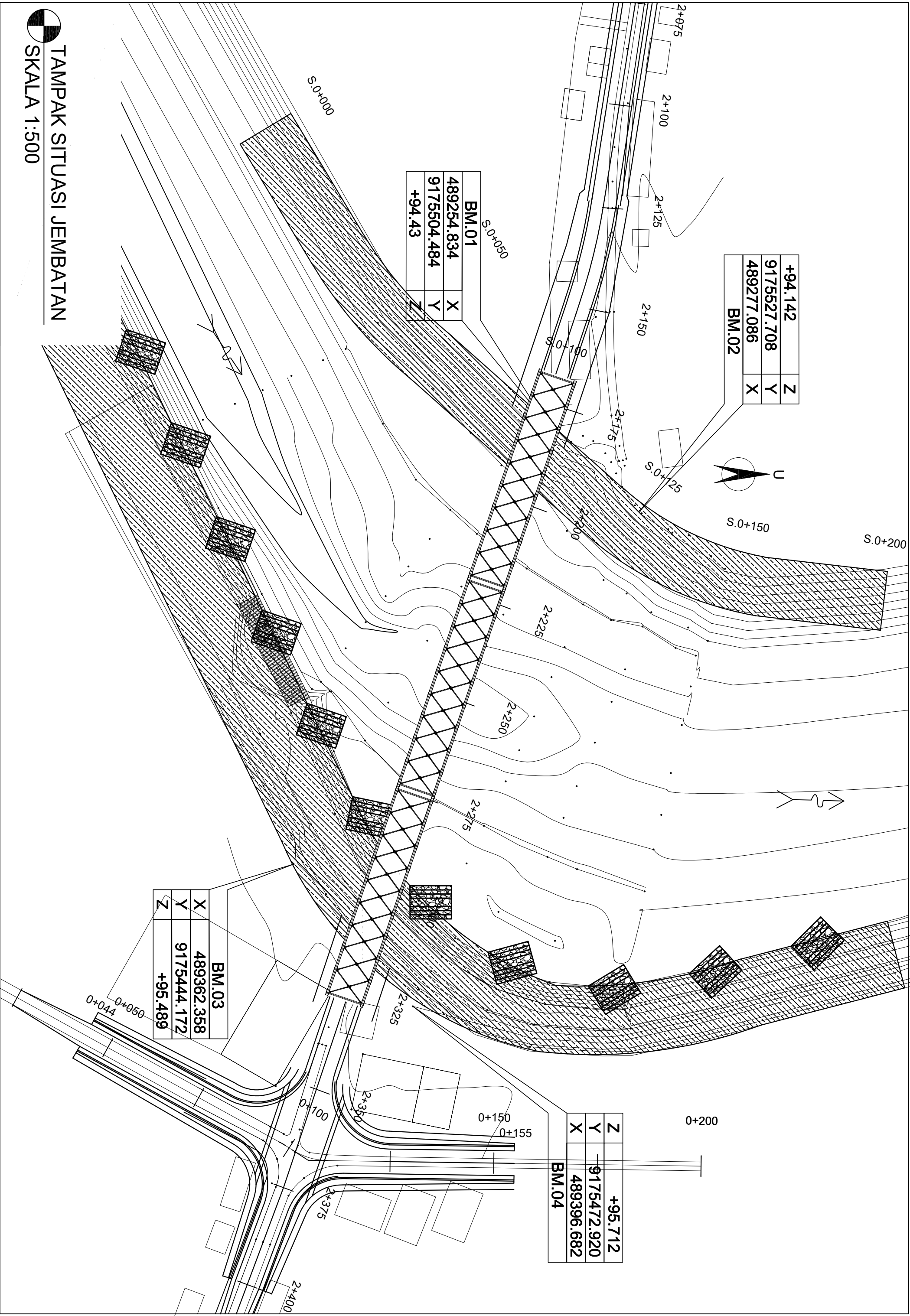
+94.43

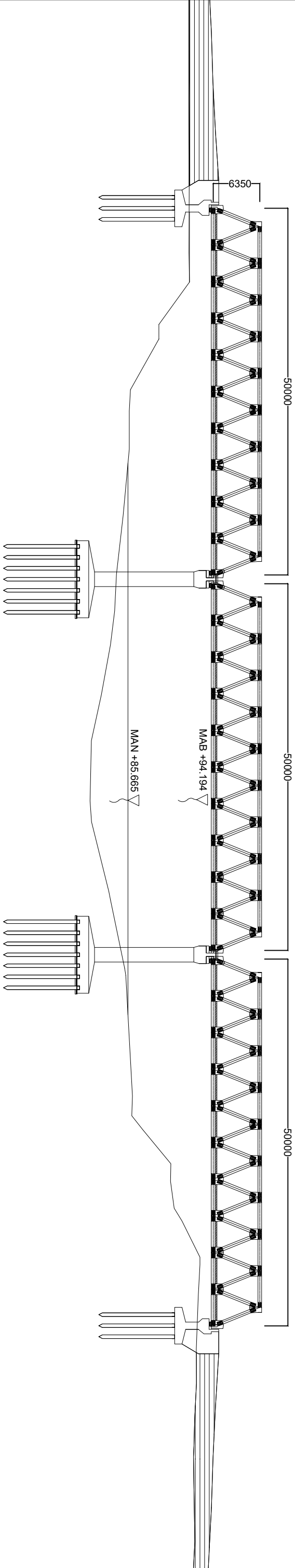
|             |   |
|-------------|---|
| BM.03       | X |
| 489362.358  | Y |
| 9175444.172 | Z |

+95.489

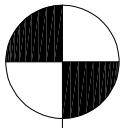
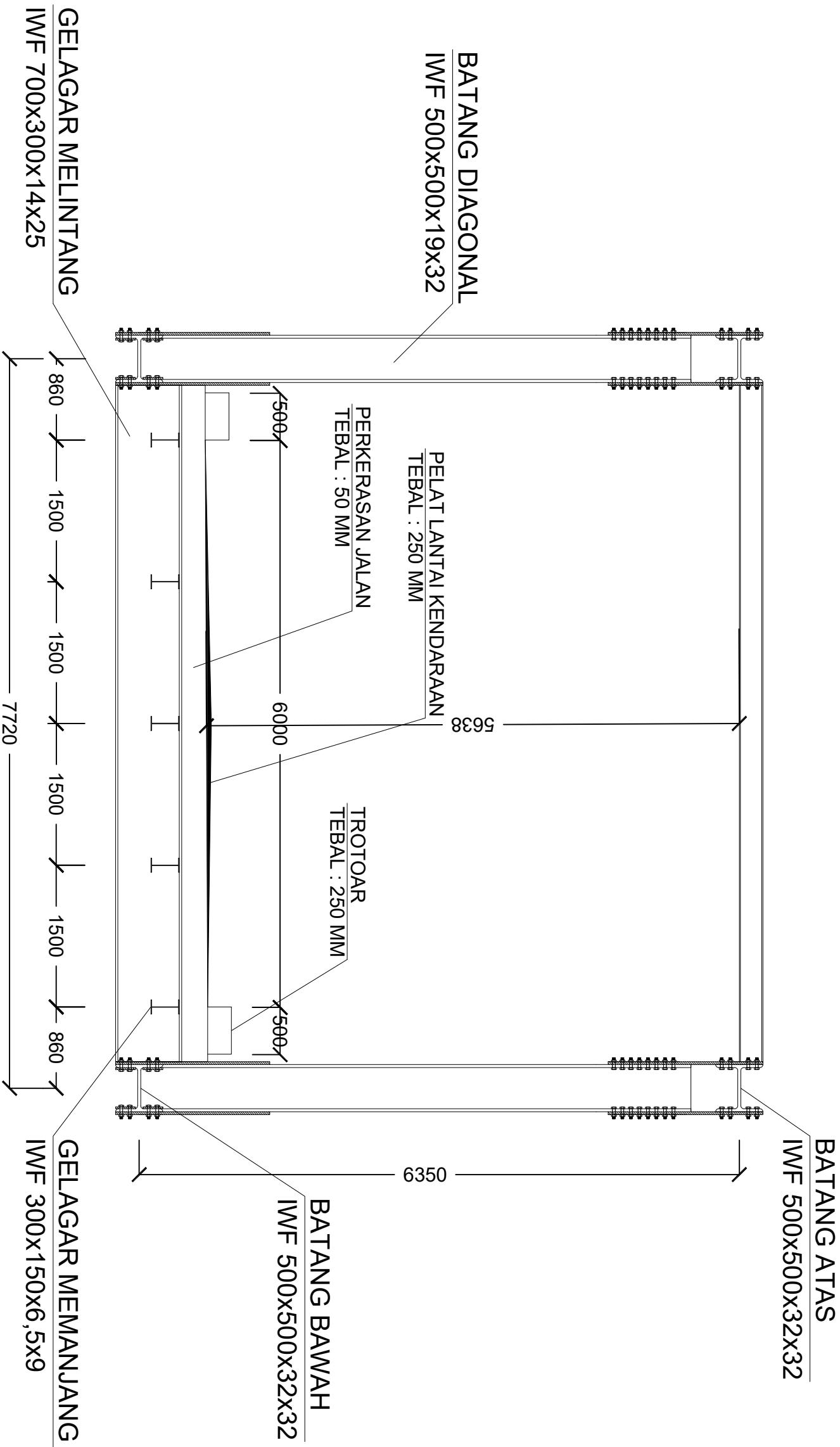
|             |   |
|-------------|---|
| +95.712     | Z |
| 9175472.920 | Y |
| 489396.682  | X |

BM.04

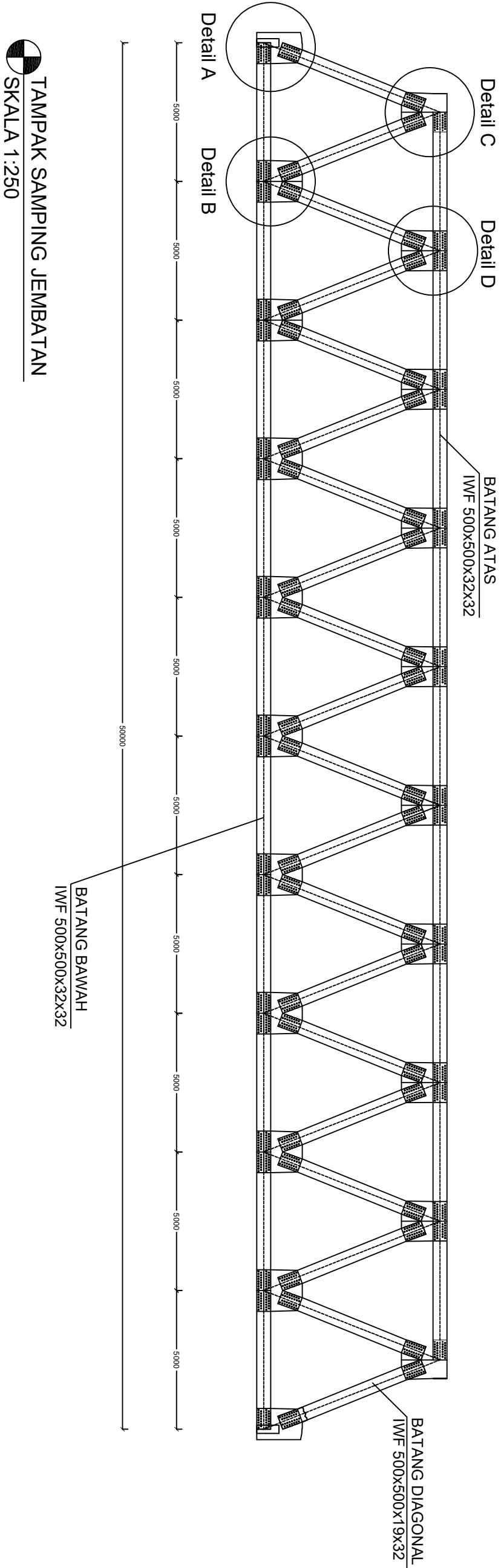
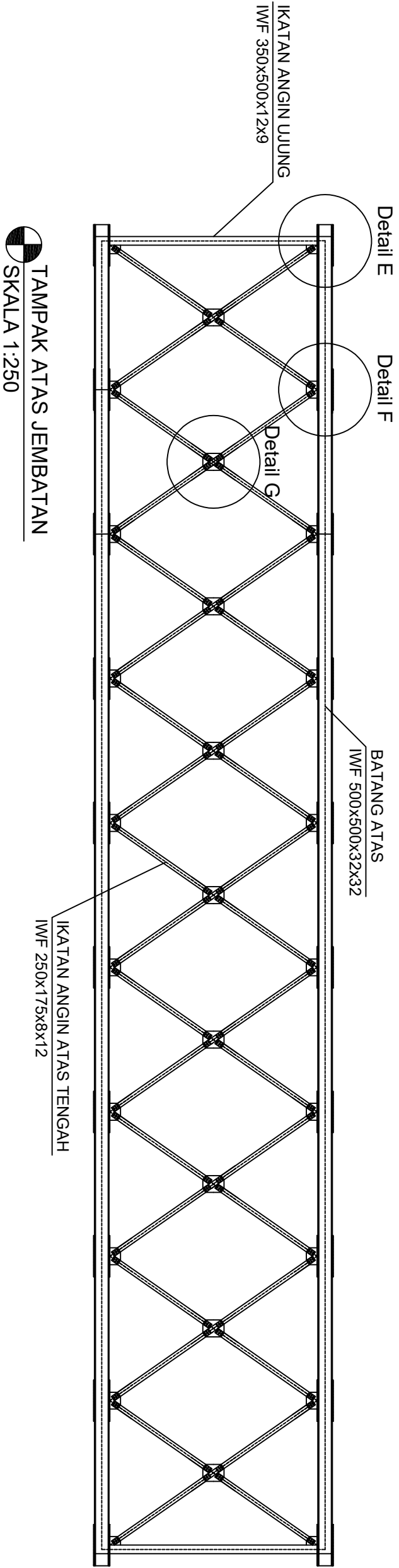


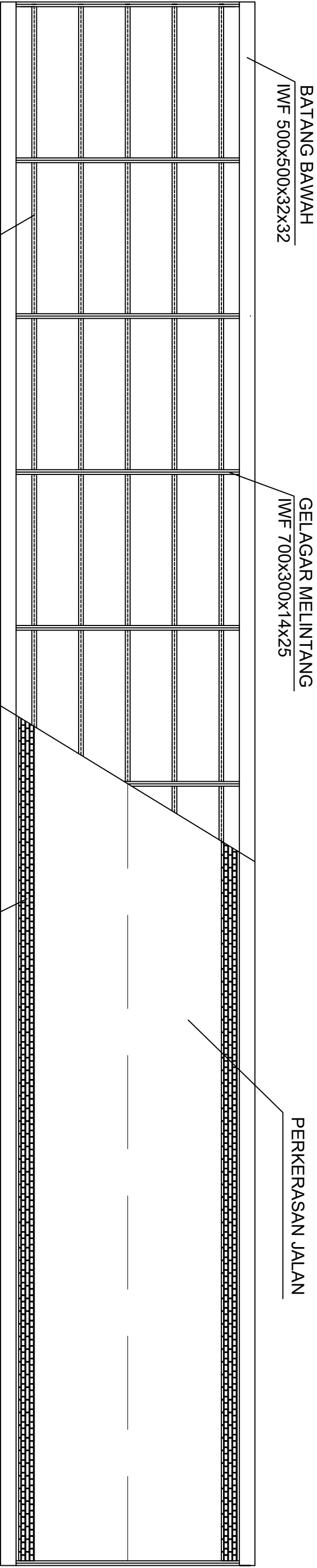


TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN  
SKALA 1:50

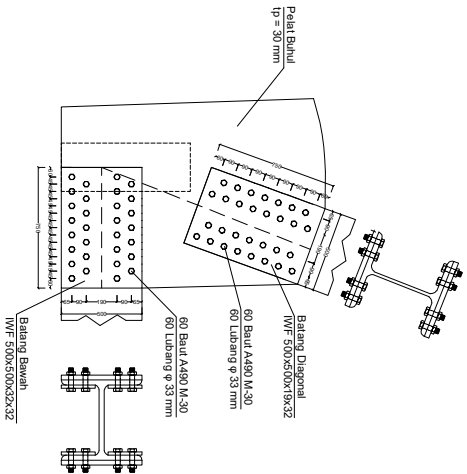


**TAMPAK MELINTANG JEMBATAN**  
**SKALA 1:50**

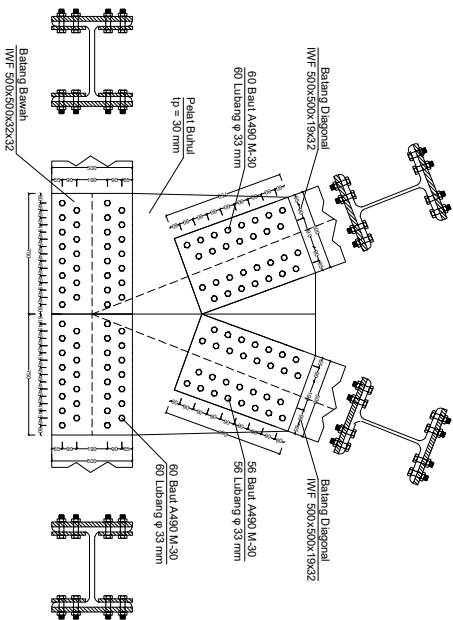




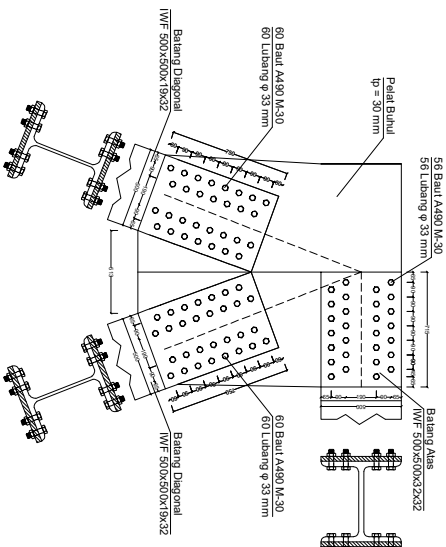
 TAMPAK ATAS LANTAI JEMBATAN  
SKALA 1:50



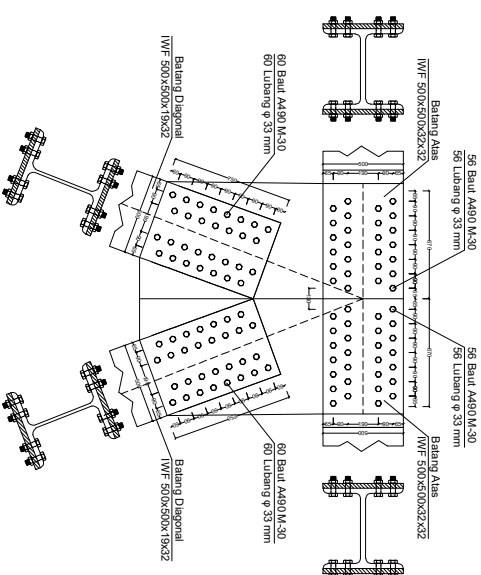
DETAIL SAMBUNGAN A  
SKALA 1:50



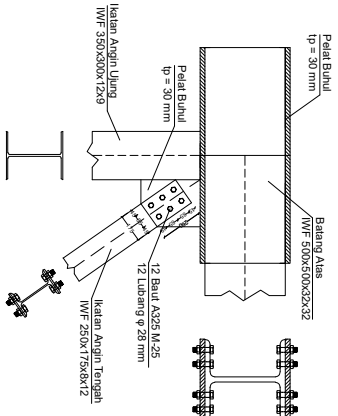
DETAIL SAMBUNGAN B  
SKALA 1:50



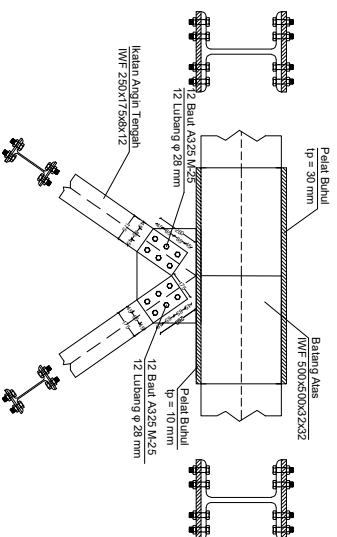
DETAIL SAMBUNGAN C  
SKALA 1:50



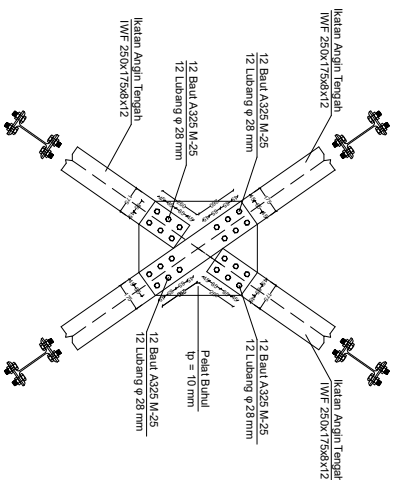
DETAIL SAMBUNGAN D  
SKALA 1:50



DETAIL SAMBUNGAN E  
SKALA 1:50



DETAIL SAMBUNGAN F  
SKALA 1:50



DETAIL SAMBUNGAN G  
SKALA 1:50