



TESIS (RC 142501)

MEKANISME KERUNTUHAN PADA JEMBATAN RANGKA BAJA

**HERI ISTIONO
3114 202 009**

**DOSEN PEMBIMBING
ENDAH WAHYUNI ST., M.Sc., Ph.D.
DATA IRANATA ST., MT., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESES (RC 142501)

FAILURE MECHANISM FROM STEEL TRUSS BRIDGE

**HERI ISTIONO
3114 202 009**

**SUPERVISOR
ENDAH WAHYUNI ST., M.Sc., Ph.D.
DATA IRANATA ST., MT., Ph.D**

**POST GRADUATE
STRUCTURE ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Heri Istiono
NRP. 3114202009

Tanggal Ujian : 21 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:



1. Endah Wahyuni, ST, MSc, Ph.D (Pembimbing I)
NIP. 19700201 199512 2 001



2. Data Iranata, ST, MT, Ph.D (Pembimbing II)
NIP. 19800430 200501 1 001



3. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, Ms (Penguji)
NIP. 19550325 198003 1 004



4. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)
NIP. 19730128 199802 1 002

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. Dr. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D

NIP. 19601202 198701 1 001

MEKANISME KERUNTUHAN PADA JEMBATAN RANGKA BAJA

Nama Mahasiswa : Heri Istiono
NRP : 3114202009
Dosen Pembimbing : 1. Endah Wahyuni ST, M.Sc, Ph.D
2. Data Iranata ST, MT, Ph.D

ABSTRAK

Keruntuhan jembatan rangka baja sering terjadi, baik di Indonesia maupun dinegara lain. Akibat dari runtuhnya jembatan ini selain adanya korban jiwa juga kerugian dari aspek finansial. Keruntuhan ini disebabkan karena berbagai faktor salah satunya karena penurunan kekuatan struktur jembatan. Untuk meminimalisir keruntuhan ini diperlukan pemeliharaan jembatan dan untuk memudahkan pemeliharaan salah satunya harus diketahui mekanisme keruntuhan jembatan yang ada.

Penyebab keruntuhan jembatan rangka baja antara lain karena kegagalan plat penyambung akibat korosi seperti pada kasus jembatan I-35W di sungai Mississippi, Mineapollis, kegagalan struktur jembatan akibat gempa bumi seperti pada kasus jembatan Showa di Niigata Jepang, dan kegagalan struktur akibat kesalahan desain seperti pada kasus jembatan gantung Kartanegara dan pada kasus jembatan Chauras di India.

Pada analisa keruntuhan ini, akan dimodelkan enam macam jembatan rangka baja, tiga macam jembatan menerus dengan letak perletakan yang berbeda dan tiga jembatan bentang tunggal. Dimana jembatan yang dimodelkan adalah jembatan rangka baja tipe warren. Analisa keruntuhan jembatan rangka baja ini, memanfaatkan pushover analysis untuk menganalisa perilaku struktur jembatan. Analisa ini dilakukan dengan memberikan suatu pola beban vertikal statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan vertikal dari suatu titik acuan.

Hasil studi menunjukkan bahwa pada jembatan rangka menerus kegagalan terjadi di batang diagonal portal akhir pada 2 perletakan tengah. pada semua model jembatan rangka bentang tunggal kegagalan terjadi pada batang atas tengah bentang. Tingkat kinerja strutur menunjukkan semua model jembatan dalam kondisi IO berdasarkan target displacement FEMA 356 dan daktilitas aktual yang terjadi pada semua model jembatan sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008.

Kata kunci : *pushover analysis, jembatan rangka baja, mekanisme keruntuhan, daktilitas*

FAILURE MECHANISM OF STEEL TRUSS BRIDGE

Student name : Heri Istiono
ID number : 3114202009
Supervisor : 1. Endah Wahyuni, ST, M.Sc, Ph.D
2. Data Iranata ST, MT, Ph.D

ABSTRACT

Steel truss bridge collapse often occurs, both in Indonesia and in other countries. As a result of the collapse of the bridge is in addition to the casualties also losses from the financial aspects. This collapse caused due to various factors, one of them because of a decrease in the strength of the bridge structure. To minimize required maintenance of the bridge's collapse and to facilitate the maintenance of one of them must be known failure mechanisms existing bridges.

The cause of collapse steel truss bridge are fails of gusset plat connection because corrosion as an I-35W bridge case on mississippi river, Mineapolis, failure of bridge structure because earth quake as a Showa bridge case on Niigata Japan, and failure structure because design error as a Kartanegara bridge case, and Chauras Bridge case on India.

In the analysis of this collapse, will be modeled six kinds of steel truss bridge, three kinds of continous steel truss bridge with diferent place of support and three kinds of single truss bridge. Where the bridge is modeled is a steel truss bridge warren's type. Analysis of the collapse of the steel truss bridge's, utilizing a pushover analysis to analyze the behavior of the bridge structure. Pushover analysis done with give vertical static load pattern at the structure, next gradually increase by a factor until one vertical displacement target of the reference point is reached.

The study shows that at continous steel truss bridge failures occurred in diagonal chord of end portal at supports center. at all models singe span failure occurred on the chord on mid span. The performance level of structure shows all models of bridges in the state are IO, this case based on the target displacement FEMA 356 and the actual ductility occurs in all models of bridges is compliant with SNI 2833-2008.

Keywords : pushover analysis, steel truss bridge, failure mechanism, ductility

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji bagi Allah yang Maha Pengasih dan Penyayang karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “MEKANISME KERUNTUHAN PADA JEMBATAN RANGKA BAJA”.

Disadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak akan berhasil tanpa adanya keterlibatan orang-orang atau pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Endah Wahyuni ST, M.Sc, Ph.D dan Bapak Data Iranata ST, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu memberikan arahan dalam menyusun tesis ini .
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA dan Bapak Prof. Ir. Indrasurya B.M M.Sc, Ph.D selaku dosen-dosen mata kuliah metodologi penelitian yang telah dengan sepenuh hati memberikan ilmu menulis ilmiah sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.
3. Bapak Budi Suswanto ST, MT, Ph.D selaku dosen wali.
4. Seluruh dosen pasca sarjana Teknik Sipil, ITS yang telah mencurahkan ilmunya kepada penulis selama menempuh studi.
5. Teman-teman seperjuangan S2 teknik struktur ITS.
6. Teman-teman pemberdaya di keluarga besar KORKOT 14 surabaya.
7. Kepada orang tua saya yang terus memberikan dukungan sampai selesainya proposal penelitian ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan proposal tesis ini masih banyak kekurangan, sehingga saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga usulan penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Mei 2016

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Tujuan | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah | 5 |
| 1.5 Manfaat | 5 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Umum | 7 |
| 2.2 Kapasitas Struktur..... | 7 |
| 2.3 Daktilitas..... | 8 |
| 2.4 Tinjauan Terhadap Penelitian terdahulu | 9 |
| 2.4.1 Abolhassan Astaneh Asl (2008) | 9 |
| 2.4.2 Akihiro Manda dan Shunichi Nakamura (2010)..... | 12 |
| 2.4.2.1 Hasil analisis manda dan nakamura (2010)..... | 13 |
| 2.4.2.2 Evaluasi Daktilitas | 18 |
| 2.4.3 Harshad Subhashrao Birajdar dkk (2014)..... | 19 |
| BAB 3 METODOLOGI..... | 21 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 3.1 | Metodologi Penyelesaian | 21 |
| 3.1.1 | Studi literatur..... | 21 |
| 3.1.2 | Pengumpulan data | 21 |
| 3.1.3 | Pemodelan Struktur | 21 |
| 3.1.4 | Analisa Struktur..... | 23 |
| 3.1.5 | Evaluasi kinerja dan perilaku keruntuhan struktur..... | 23 |
| 3.1.6 | Perbandingan perilaku dan kinerja struktur | 23 |
| 3.1.7 | Penyusunan hasil studi kedalam kesimpulan | 23 |
| 3.2 | Pemodelan Struktur | 25 |
| 3.3 | Peraturan..... | 26 |
| 3.4 | Pembebanan | 26 |
| 3.4.1 | Beban pada pelat lantai kendaraan | 28 |
| 3.4.2 | Beban pada balok memanjang..... | 28 |
| 3.4.3 | Beban pada balok melintang | 29 |
| 3.4.4 | Beban pada struktur rangka utama | 31 |
| 3.5 | Kontrol Kapasitas Struktur..... | 32 |
| 3.6 | Pushover Analysis | 34 |
| 3.6.1 | Daktilitas | 36 |
| 3.6.2 | Evaluasi Kinerja Struktur | 36 |
| 3.6.3 | Titik Acu | 37 |
| 3.6.4 | <i>Hinge Properties</i> | 38 |
| 3.6.5 | Metode Perpindahan (FEMA 356)..... | 39 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 41 |
| 4.1 | Umum..... | 41 |
| 4.2 | Analisa Linier | 41 |
| 4.2.1 | Pembebanan | 42 |

| | | |
|--|--|----|
| 4.2.2 | Analisa Struktur | 44 |
| 4.3 | Analisa Statis Nonlinier (<i>Pushover Analysis</i>)..... | 46 |
| 4.3.1 | Langkah-Langkah Pushover Analisis dengan Menggunakan SAP 2000. | 47 |
| 4.3.2 | Target Displacement | 52 |
| 4.3.3 | Tingkat Kinerja Struktur | 55 |
| 4.3.3.1 | Jembatan model A1 | 55 |
| 4.3.3.2 | Jembatan model A2 | 56 |
| 4.3.3.3 | Jembatan model A3 | 57 |
| 4.3.3.4 | Jembatan model B1..... | 59 |
| 4.3.3.5 | Jembatan model B2..... | 60 |
| 4.3.3.6 | Jembatan Model B3 | 61 |
| 4.3.4 | Nilai Daktilitas | 62 |
| 4.3.4.1 | Daktilitas semua jembatan model A | 62 |
| 4.3.4.2 | Daktilitas semua jembatan model B | 63 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 65 |
| 5.1 | Kesimpulan | 65 |
| 5.2 | Saran | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 67 |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | | 69 |
| LAMPIRAN 1. PERENCANAAN PELAT LANTAI KENDARAAN..... | | 69 |
| LAMPIRAN 2. PERENCANAAN BALOK MEMANJANG | | 75 |
| LAMPIRAN 3. PERENCANAAN BALOK MELINTANG..... | | 81 |
| LAMPIRAN 4. PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL A1 | | 85 |

| | |
|--|-----|
| LAMPIRAN 5. PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL A2 | 93 |
| LAMPIRAN 6. PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL A3 | 101 |
| LAMPIRAN 7. PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL B1 | 109 |
| LAMPIRAN 8. PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL B2 | 115 |
| LAMPIRAN 9. PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL B3 | 121 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Keruntuhan Jembatan di Probolinggo | 3 |
| Gambar 1.2 Keruntuhan Jembatan I-35W | 3 |
| Gambar 2.1 Grafik hubungan base force dengan perpindahan | 8 |
| Gambar 2.2 Struktur Jembatan I-35W | 9 |
| Gambar 2.3 Detail Plat Buhul Jembatan I-35W | 10 |
| Gambar 2.4 Korosi Pada Roller Bearing dan Plat Buhul | 11 |
| Gambar 2.5 Prediksi keruntuhan jembatan I-35W dengan program SAP 2000.. | 11 |
| Gambar 2.6 Model Jembatan A dan B | 12 |
| Gambar 2.7 Potongan Melintang..... | 12 |
| Gambar 2.8 Skema Pembebanan Jembatan | 13 |
| Gambar 2.9 Proses Keruntuhan dan Deformasi Akhir Model Jembatan A..... | 14 |
| Gambar 2.10 Hubungan Tegangan – Regangan (tekan)..... | 15 |
| Gambar 2.11 Hubungan amplifikasi beban – perpindahan | 15 |
| Gambar 2.12 Proses Keruntuhan Model Jembatan B (Case 2 dan 4)..... | 16 |
| Gambar 2.13 Proses Keruntuhan Model Jembatan B (case 1 dan 3), | 17 |
| Gambar 2.14 Hubungan Tegangan – Regangan (tekan)..... | 18 |
| Gambar 2.15 Diagram Tegangan Pada Saat Jembatan Runtuh | 20 |
| Gambar 2.16 Kerusakan Plat Buhul pada titik U13 dan U14..... | 20 |
| Gambar 3.1 Jembatan Model A1 | 22 |
| Gambar 3.2 Jembatan Model A2 | 22 |
| Gambar 3.3 Jembatan Model A3 | 22 |
| Gambar 3.4 Jembatan Model B1 | 22 |
| Gambar 3.5 Jembatan Model B2 | 22 |
| Gambar 3.6 Jembatan Model B3 | 22 |
| Gambar 3.7 Diagram Alir Metodologi | 24 |
| Gambar 3.8 Potongan Memanjang dan Melintang Jembatan..... | 25 |
| Gambar 3.9 Susunan dan Beban As Roda Kendaraan Semi-trailer | 27 |
| Gambar 3.10 Faktor Beban Dinamis untuk beban garis untuk pembebanan lajur | 28 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.11 Skema beban mati balok melintang | 29 |
| Gambar 3.12 Skema beban UDL dan KEL jembatan menerus untuk momen lentur maksimum di bentang S1 | 30 |
| Gambar 3.13 Skema beban UDL dan KEL jembatan menerus untuk momen lentur maksimum di bentang S2 | 30 |
| Gambar 3.14 Skema beban UDL dan KEL jembatan menerus untuk momen lentur maksimum di bentang S3 | 30 |
| Gambar 3.15 Skema beban UDL dan KEL jembatan bentang tunggal untuk momen lentur maksimum | 31 |
| Gambar 3.16 Detail Skema pembebanan KEL dan UDL | 31 |
| Gambar 3.17 Skema pembebanan rangka utama (<i>truss</i>)..... | 32 |
| Gambar 3.18 Diagram Alir <i>Pushover Analysis</i> | 35 |
| Gambar 3.19 Grafik Hubungan Gaya vs <i>displacement</i> | 36 |
| Gambar 3.20 Titik Acu | 38 |
| Gambar 4.1 Potongan memanjang Jembatan..... | 41 |
| Gambar 4.2 Potongan melintang Jembatan | 41 |
| Gambar 4.3 Model Struktur Jembatan 3 Dimensi | 44 |
| Gambar 4.4 Pemodelan Jembatan Model A1..... | 48 |
| Gambar 4.5 Pemodelan Jembatan Model A2..... | 48 |
| Gambar 4.6 Pemodelan Jembatan Model A3..... | 48 |
| Gambar 4.7 Pemodelan Jembatan Model B1 | 48 |
| Gambar 4.8 Pemodelan Jembatan Model B2..... | 49 |
| Gambar 4.9 Pemodelan Jembatan Model B3..... | 49 |
| Gambar 4.10 Pembebanan Struktur pada Analisa <i>Pushover</i> | 50 |
| Gambar 4.11 Lokasi Rencana Sendi Plastis Pada Jembatan Model 1 | 50 |
| Gambar 4.12 Lokasi Titik Acu Jembatan Model A1 | 51 |
| Gambar 4.13 Lokasi Titik Acu Jembatan Model A2..... | 51 |
| Gambar 4.14 Lokasi Titik Acu Jembatan Model A3 | 51 |
| Gambar 4.15 Lokasi Titik Acu Jembatan Model B1 | 51 |
| Gambar 4.16 Lokasi Titik Acu Jembatan Model B2 | 52 |
| Gambar 4.17 Lokasi Titik Acu Jembatan Model B3 | 52 |
| Gambar 4.18a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A1 Step 1 | 56 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.18b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A1 Step 3 | 56 |
| Gambar 4.18c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A1 Step 12 | 56 |
| Gambar 4.19a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A2 Step 1 | 57 |
| Gambar 4.19b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A2 Step 3 | 57 |
| Gambar 4.19c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A2 Step 12 | 57 |
| Gambar 4.20a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A3 Step 1 | 58 |
| Gambar 4.20b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A3 Step 3 | 59 |
| Gambar 4.20c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A3 Step 8 | 59 |
| Gambar 4.21a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B1 Step 1 | 60 |
| Gambar 4.21b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B1 Step 2 | 60 |
| Gambar 4.21c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B1 Step 3 | 60 |
| Gambar 4.22a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B2 Step 1 | 61 |
| Gambar 4.22b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B2 Step 2 | 61 |
| Gambar 4.22c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B2 Step 3 | 61 |
| Gambar 4.23a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B3 Step 1 | 62 |
| Gambar 4.23b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B3 Step 2 | 62 |
| Gambar 4.23c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B3 Step 3 | 62 |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Daktilitas jembatan..... | 9 |
| Tabel 2.2 Evaluasi Daktilitas Model A | 18 |
| Tabel 2.3 Evaluasi Daktilitas Model B..... | 19 |
| Tabel 2.4 Jumlah Batang yang Leleh | 19 |
| Tabel 3.1 Faktor beban untuk berat sendiri | 26 |
| Tabel 3.2 Berat isi untuk beban mati..... | 26 |
| Tabel 3.3 Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuk-nya sendi plastis dalam program SAP 2000 | 37 |
| Tabel 3.4 Prosedur pemodelan parameter dan kriteria untuk <i>nonlinier</i> untuk komponen baja struktural | 38 |
| Tabel 4.1 Hasil Analisa Rangka Utama | 45 |
| Tabel 4.2 Nilai Faktor Modifikasi C_0 | 53 |
| Tabel 4.3 Nilai Faktor Modifikasi C_2 | 53 |
| Tabel 4.4 <i>Target Displacement</i> Masing-Masing Model Jembatan..... | 54 |
| Tabel 4.5 Kinerja Struktur Jembatan model A1 | 55 |
| Tabel 4.6 Kinerja Struktur Jembatan model A2 | 56 |
| Tabel 4.7 Kinerja Struktur Jembatan model A3 | 58 |
| Tabel 4.8 Kinerja Struktur Jembatan model B1 | 59 |
| Tabel 4.9 Kinerja Struktur Jembatan model B2 | 60 |
| Tabel 4.10 Kinerja Struktur Jembatan model B3 | 61 |
| Tabel 4.11 Nilai Daktilitas dari Semua Model Jembatan A..... | 63 |
| Tabel 4.12 Nilai Daktilitas dari Semua Model Jembatan B | 64 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur merupakan faktor utama yang menunjang keberhasilan pembangunan suatu daerah, salah satunya adalah infrastruktur transportasi. Infrastruktur transportasi bisa menunjang berjalannya perdagangan dan industri, dimana dua hal tersebut menjadi inti dalam pembangunan dibidang ekonomi. Banyak daerah-daerah di Indonesia yang wilayahnya dipisahkan oleh sungai, sehingga banyak infrastruktur jembatan yang dibangun untuk menghubungkan jalan-jalan yang ada di daerah tersebut. Dengan terhubungnya jalan-jalan yang ada di daerah tersebut maka kelangsungan perekonomian yang ada diwilayah itu dapat berjalan dengan baik (Imansyah dkk, 2013).

Saat ini tidak kurang 88 ribu buah jembatan atau ekuialen dengan panjang kurang lebih 1000 km yang telah dibangun dan diinventarisasi walaupun sebagian kecil merupakan peninggalan masa penjajahan. Dari jumlah tersebut tidak kurang dari 29 ribu buah jembatan berada di ruas jalan nasional dan provinsi atau ekuialen dengan panjang kurang lebih 482 km dan sisanya berada di ruas jalan kabupaten, dan tersebar di seluruh kepulauan Indonesia yang berjumlah sekitar 17.000 pulau (Bina Marga, Kementrian Pekerjaan Umum RI 2009).

Jembatan rangka baja yang merupakan salah satu jenis bangunan atas jembatan adalah bagian penting dari jembatan, maka pemanfaatan rangka baja jembatan harus seefektif dan seefesien mungkin, mulai dari tahap perencanaan, fabrikasi dan pelaksanaan hingga rehabilitasi, sehingga dana yang telah dialokasikan dapat dimanfaatkan secara maksimal. Jenis-jenis jembatan rangka baja yang ada di Indonesia antara lain : Callender Hamilton (RBU), rangka baja Belanda (RBD, RBB), rangka baja Australia (RBA), rangka baja Austria (RBR), rangka baja Bukaka (RBK), rangka baja KBI (RBC), rangka baja Spanyol (RBE), dll (Bina Marga, Kementrian Pekerjaan Umum RI 2009).

Jembatan Rangka yang dipergunakan di Indonesia umumnya menggunakan tipe rangka Warren dimana jumlah rangka baja tersebut dibandingkan dengan jumlah jembatan pada ruas jalan nasional adalah sebagai berikut :

1. Rangka baja Callender Hamilton (CH) dari Inggris (kode BMS : RBU) berjumlah sekitar 0,87%.
2. Rangka baja Hollandia Klos (Belanda Baru) dari Belanda (kode BMS : RBB) berjumlah sekitar 1,07%.
3. Rangka baja Transfield dari Australia (kode BMS : RBA) berjumlah sekitar 3,32 %.
4. Rangka baja Waagner Biro dari Austria (kode BMS : RBR) berjumlah sekitar 0,50 % .
5. Rangka baja Bukaka dari Indonesia (kode BMS : RBK) berjumlah sekitar 0,25 %.
6. Rangka baja Karunia Berca Indonesia (KBI) (kode BMS : RBC).
7. Rangka baja Centunion dari Spanyol (kode BMS : RBE).
8. dan rangka baja lainnya baik yang ada setelah rangka baja Spanyol atau sebelum rangka baja Callender Hamilton (Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum RI 2009).

Penggunaan jembatan rangka dimulai dari zaman sebelum tahun 1945 sampai saat ini sehingga banyak yang telah melebihi umur rencananya dan belum diganti karena keterbatasan dana yang ada. Perkembangan teknologi angkutan dan penambahan beban yang tidak terkendali serta kurangnya pemeliharaan menyebabkan banyak jembatan rangka baja yang rusak, rusak parah hingga runtuh (Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum RI 2009).

Kasus terbaru keruntuhan jembatan baja di Indonesia adalah terjadi di Probolinggo Jawa Timur. Pada tanggal 3 Maret 2015 jembatan dengan panjang 15 meter dan lebar 5 meter yang menjadi penghubung lima desa di kecamatan Gending runtuh. Penyebab keruntuhan jembatan ini diduga karena usia konstruksi yang sudah tua sehingga tidak mampu menahan beban truk bermuatan pasir yang melintas di atasnya (Radar Bromo, 2015). Keruntuhan jembatan di Probolinggo seperti yang terlihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Keruntuhan Jembatan di Probolinggo

(Sumber : Radar bromo, 2015)

Tidak hanya di Indonesia keruntuhan jembatan baja juga terjadi di Amerika Serikat. Jembatan I-35W di sungai mississippi, kota Minneapolis Amerika Serikat pada tanggal 1 agustus 2007 sangat mengejutkan. Penyebab keruntuhan tiba-tiba dari jembatan ini adalah karena sambungan di salah satu plat buhul pada sambungan rangka utama dengan dek jembatan mengalami kegagalan. Korosi pada plat buhul dan adanya peningkatan beban jembatan akibat adanya alat berat sebesar 263 ton yang sedang melakukan pemeliharaan adalah penyebab Keruntuhnya (Asl, 2008; Manda dan Nakamura, 2010). Keruntuhan jembatan I-35W seperti yang terlihat pada Gambar 1.2



Gambar 1.2 Keruntuhan Jembatan I-35W

(Sumber : Asl, 2008)

Manda dan Nakamura (2010) mengatakan bahwa faktor yang mempengaruhi keruntuhan jembatan adalah elastisitas, deformasi akhir dan beban runtuh. Namun

sangat sulit untuk menemukan beban runtuh dan mekanisme keruntuhan karena geometri struktur yang sangat rumit.

Pada tesis ini akan membahas bagaimana mekanisme keruntuhan pada jembatan rangka baja tipe warren dimana jenis ini paling banyak digunakan sebagai konstruksi jembatan rangka baja di Indonesia, dimana analisa dan pemodelan struktur menggunakan program bantu SAP 2000.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana preliminary desain, pembebanan dan analisa struktur dengan perbedaan posisi perletakan pada masing-masing model jembatan.
2. Bagaimana merencanakan elemen struktur jembatan berupa ikatan angin, balok memanjang, balok melintang dan rangka sesuai RSNI T-03-2005.
3. Bagaimana pengaruh perbedaan panjang bentang pada jembatan bentang tunggal terhadap mekanisme runtuh dari struktur berdasarkan hasil analisa *pushover*.
4. Bagaimana pengaruh perbedaan posisi perletakan pada masing-masing model jembatan terhadap mekanisme runtuh dari struktur berdasarkan hasil analisa *pushover*.
5. Bagaimana pengaruh perbedaan panjang bentang pada jembatan bentang tunggal terhadap daktilitas hasil analisa *pushover*.
6. Bagaimana pengaruh perbedaan posisi perletakan masing-masing model jembatan terhadap daktilitas hasil analisa *pushover*.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah

1. Merencanakan preliminary desain, pembebanan dan analisa struktur dengan perbedaan perletakan pada masing-masing model jembatan.
2. Merencanakan elemen struktur jembatan berupa ikatan angin, balok memanjang, balok melintang dan rangka sesuai RSNI T-03-2005.

3. Mendapatkan perbandingan mekanisme runtuh dari struktur semua model jembatan berdasarkan hasil analisa *pushover* untuk model jembatan bentang tunggal.
4. Mendapatkan perbandingan mekanisme runtuh dari struktur berdasarkan hasil analisa *pushover* untuk masing-masing model jembatan ditinjau dari perbedaan posisi perletakan.
5. Mendapatkan daktilitas dari struktur berdasarkan hasil analisa *pushover* untuk masing-masing model jembatan ditinjau dari perbedaan panjang bentang jembatan pada jembatan bentang tunggal.
6. Mendapatkan daktilitas dari struktur berdasarkan hasil analisa *pushover* untuk masing-masing model jembatan ditinjau dari perbedaan posisi perletakan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Struktur jembatan yang di analisa adalah jembatan rangka baja tipe warren dengan panjang 120 meter yang dimodelkan menjadi 6 macam yaitu tipe A sebagai jembatan menerus dan tipe B sebagai jembatan bentang tunggal. Dimana tipe A dimodelkan menjadi tiga macam dengan perbedaan bentang terpanjangnya pada masing-masing model, sedangkan tipe B dimodelkan dengan panjang bentang 60 m, 50 m dan 40 m.
2. Analisa linier dan non linier struktur menggunakan program SAP 2000.
3. Tidak meninjau sambungan dan elemen bangunan bawah (pondasi).
4. Analisa non linier hanya membahas struktur rangka jembatan.
5. Tidak membahas masalah metode dan biaya konstruksi.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memberikan informasi dan referensi mekanisme keruntuhan pada jembatan rangka baja tipe warren sehingga akan memudahkan pada saat pemeliharaan jembatan tersebut.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

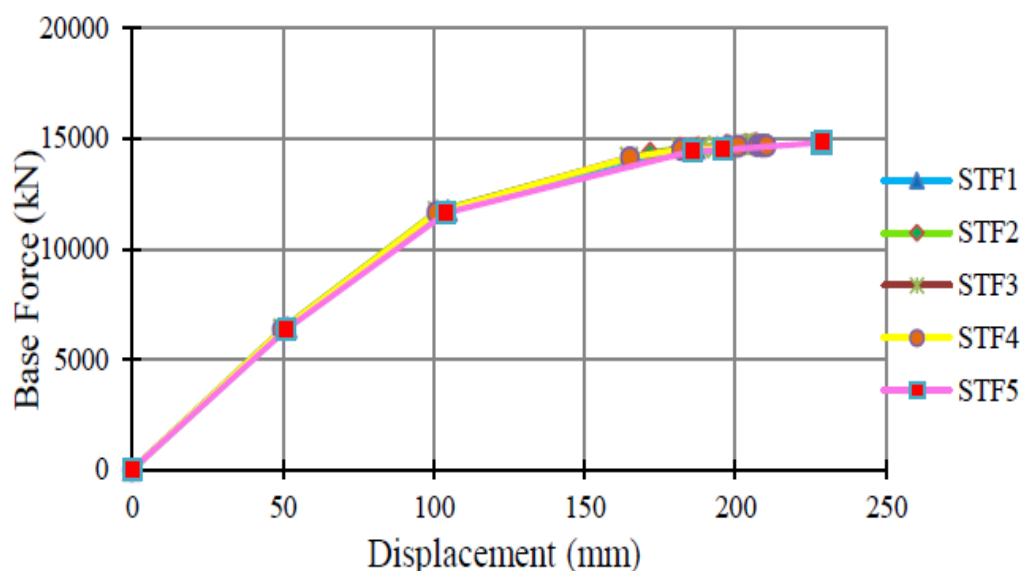
Banyaknya jembatan yang berumur puluhan tahun, diperlukan pemeriksaan dan pemeliharaan terhadap strukturnya. Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya keruntuhan jembatan karena kekuatan struktur yang menurun (Manda dan Nakamura, 2010). Penyebab keruntuhan jembatan rangka baja antara lain karena kegagalan plat penyambung akibat korosi seperti pada kasus jembatan I-35W di sungai Mississippi, Mineapollis (Asl, 2008), kegagalan struktur jembatan akibat gempa bumi seperti pada kasus jembatan Showa di Niigata Jepang (Bhattacharya, dkk, 2014), dan kegagalan struktur akibat kesalahan desain seperti pada kasus jembatan gantung Kartanegara (Mangkoesoebroto, 2012) dan pada kasus jembatan Chauras di India (Birajdar, dkk, 2014).

Struktur jembatan akan bereaksi terhadap beban jembatan dengan cara berdeformasi elastis jika tegangan yang dihasilkan masih dibawah tegangan kritis. Namun dengan adanya lubang, alur dan koneksi las pada sambungan akan menyebabkan tegangan lokal meningkat. Hal inilah yang menyebabkan tekuk lokal pada elemen jembatan rangka baja (Li dkk, 2001). Beban jembatan yang berulang ulang seperti kendaraan merupakan faktor utama penyebab fatik pada struktur jembatan. Meskipun beban yang diterima jembatan masih dibawah kapasitas struktur jembatan, retak akibat tegangan pada elemen struktur yang terus terakumulasi dan akan merambat ke bagian elemen terlemah. Inilah yang menyebabkan jembatan Silver di Ohio runtuh meskipun tidak ada beban yang diluar kapasitas struktur (Guo dan Chen, 2011).

2.2 Kapasitas Struktur

Menurut Somad (2012), kapasitas merupakan representasi dari kemampuan struktur untuk menahan gaya yang terjadi. Kapasitas suatu struktur tergantung dari kekuatan dan kemampuan untuk berdeformasi dari masing – masing elemen struktur yang ada. Untuk menentukan kapasitas yang melampaui batas – batas

elastisitasnya dibutuhkan analisa non linier. Analisa non linier statis digunakan untuk memperoleh perilaku struktur setelah leleh, dimana dalam analisis ini beban yang digunakan meningkat secara bertahap sampai mencapai target perpindahan (*displacement*) tertentu atau sampai struktur mengalami keruntuhan. Hasil dari analisis ini adalah kurva hubungan antara perpindahan (*displacement*) dengan *base force* strukturnya (Wahyuni dan Tethool, 2015). Berikut pada Gambar 2.1 merupakan kurva kapasitas dari penelitian Wahyuni dan Tethool (2015). Dari kurva tersebut dapat diketahui kapasitas dan perpindahan (*displacement*) pada masing-masing model struktur .



Gambar 2.1 Grafik hubungan base force dengan perpindahan
(Sumber : Wahyuni dan Tethool, 2015)

2.3 Daktilitas

Daktilitas merupakan perbandingan perpindahan (*displacement*) pada titik leleh pertama dengan perpindahan (*displacement*) pada titik leleh tertinggi (Wahyuni dan Tethool, 2015). Miyachi dkk (2012), menganalisa daktilitas jembatan dengan membuat perbandingan rasio bentang jembatan yang berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa proses keruntuhan dan deformasi bergantung pada rasio bentang dan distribusi beban hidup. Daktilitas jembatan dievaluasi dengan empat

kasus pembebanan. Adapun daktilitas hasil penelitian tersebut seperti Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Daktilitas jembatan

| Model A | k_y | k_u | $\mu = k_u/k_y$ |
|---------|-------|-------|-----------------|
| Case-1 | 3.3 | 4.69 | 1.42 |
| Case-2 | 3.45 | 4.66 | 1.35 |
| Case-3 | 4.4 | 4.7 | 1.07 |
| Case-4 | 8.47 | 11.64 | 1.37 |

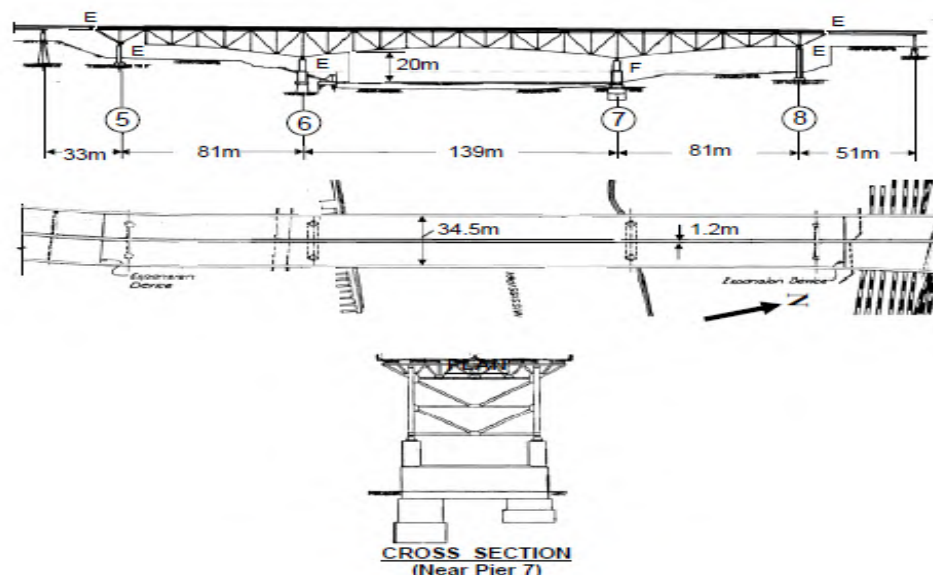
(Sumber : Miyachi dkk, 2012)

2.4 Tinjauan Terhadap Penelitian terdahulu

2.4.1 Abolhassan Astaneh Asl (2008)

“Progressive Collapse Of Steel Truss Bridges, The Case Of I-35w Collapse”

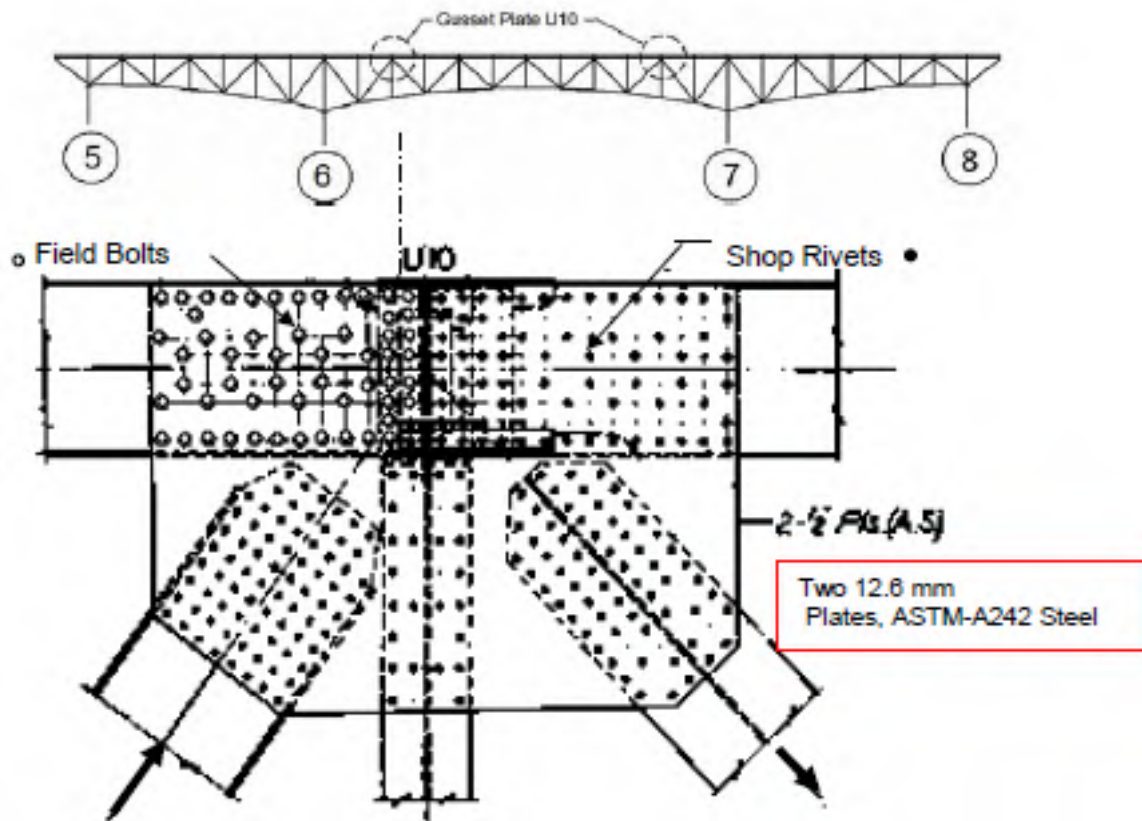
Asl (2008) meneliti runtuhnya jembatan I-35W pada tanggal 1 agustus 2007. Jembatan ini terdiri dari tiga bentang dengan panjang 81 m, 139 m dan 81 m. Pada saat dibangun pada tahun 1967 tebal dek jembatan ini 16,5 cm kemudian di perbaiki dengan menambah lapisan jalan 5 cm sehingga tebal dek menjadi 22 cm. Material baja yang digunakan sebagai rangka jembatan setara dengan ASTM A242.



Gambar 2.2 Struktur Jembatan I-35W

(Sumber : Asl, 2008)

Minnesota of Transportation (2007) pada saat melakukan inspeksi, menemukan ketebalan dari plat buhul hanya 0,5 inchi (26 mm) dan banyak dijumpai retak pada daerah momen negatif dimana diafragma dari pengaku girder yang tidak menyatu dengan sambungan las sayap atas profilnya, selain itu juga dijumpai retak pada plat girder. Hasil penelitian Asl (2008), keruntuhan jembatan ini akibat kegagalan plat buhul U10, dimana penyebabnya adalah selain plat tipis juga dikarenakan plat sudah mengalami korosi. Selain itu Jembatan I-35W didesain dan dibangun pada tahun 1960an dimana pada saat itu pengetahuan tentang perilaku fatik dari sambungan baja jembatan sangat terbatas. berikut letak plat buhul U10 dan detailnya seperti pada Gambar 2.3, adapun salah satu contoh kerusakan pada plat buhul adalah seperti Gambar 2.4:



Gambar 2.3 Detail Plat Buhul Jembatan I-35W

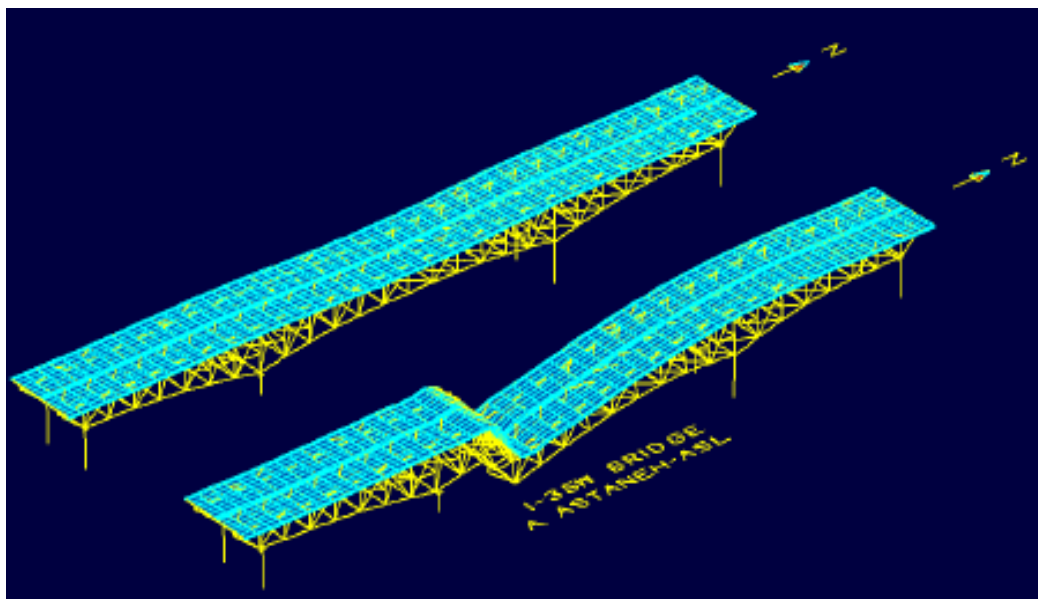
(Sumber : Asl, 2008)



Gambar 2.4 Korosi Pada Roller Bearing dan Plat Buhul

(Sumber : Asl, 2008)

Penelitian Asl (2008), menitik beratkan pada masalah penyebab keruntuhan jembatan secara tiba-tiba dan alur keruntuhan setelah elemen terlemah mengalami kerusakan sampai jembatan runtuh. Dimana analisisnya dengan memodelkan jembatan dengan program bantu SAP. Penyebab keruntuhan yang masuk akal berdasarkan hasil analisisnya adalah adanya tambahan beban yang besar pada jembatan akibat adanya alat berat di atas jembatan yang sedang melakukan pemeliharaan, padahal plat buhul pada saat itu sudah mengalami fatik. Berikut Gambar 2.5 adalah prediksi keruntuhan jembatan I-35 W yang dilakukan oleh Asl (2008).



Gambar 2.5 Prediksi keruntuhan jembatan I-35W dengan program SAP 2000

(Sumber : Asl, 2008)

2.4.2 Akihiro Manda dan Shunichi Nakamura (2010)

“Progressive Collapse Analysis Of Steel Truss Bridges”

Manda dan Nakamura (2010) melakukan penelitian dengan memodelkan 2 struktur jembatan dengan 4 perilaku pembebanan yang berbeda-beda. Dimana jembatan A memiliki bentang utama yang memiliki panjang 115 m, bentang lainnya 57,5 m. Jembatan B memiliki bentang utama yang memiliki panjang 92 m, bentang lainnya 69 m. Kedua jembatan memiliki tinggi yang sama 10 m dan juga memiliki panjang total sama yaitu 230 m. Berikut Gambar 2.6 adalah geometri masing-masing jembatan dan Gambar 2.8 merupakan skema pembebanan penelitian yang dilakukan oleh Manda dan Nakamura (2010):

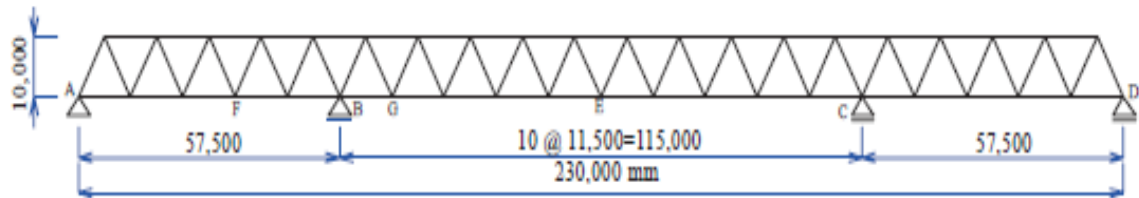


Fig.1 Side View Model Bridge-A (1:2:1)

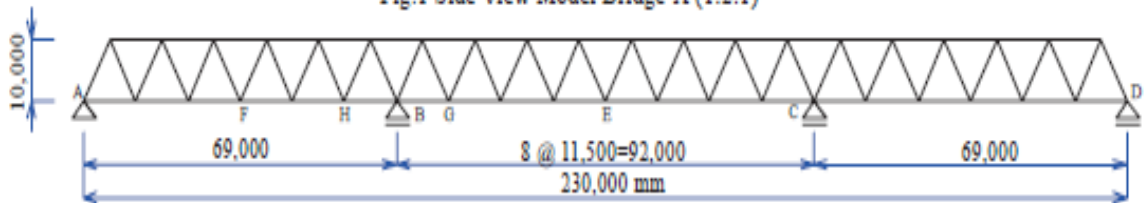
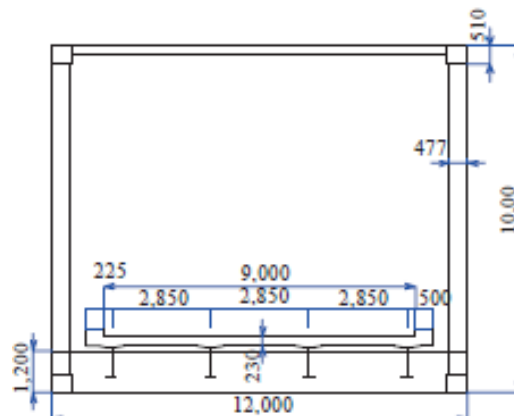


Fig.2 Side View Model Bridge-B (1:1.3:1)

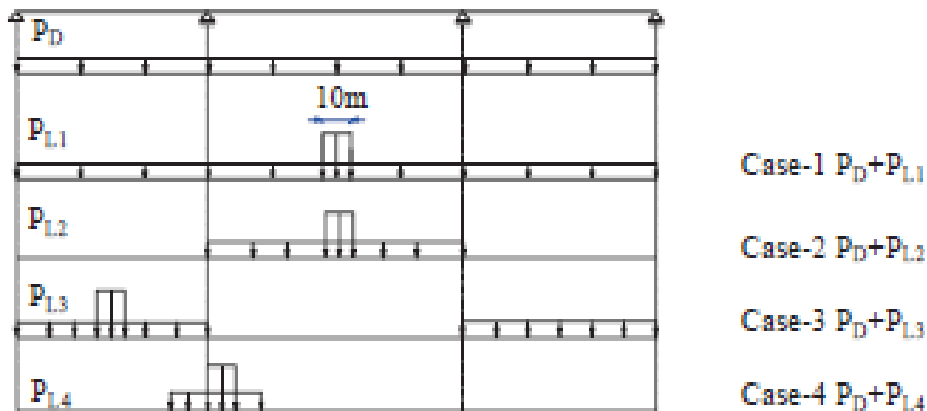
Gambar 2.6 Model Jembatan A dan B

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)



Gambar 2.7 Potongan Melintang

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)



Gambar 2.8 Skema Pembebanan Jembatan

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)

2.4.2.1 Hasil analisis manda dan nakamura (2010)

1. Jembatan A

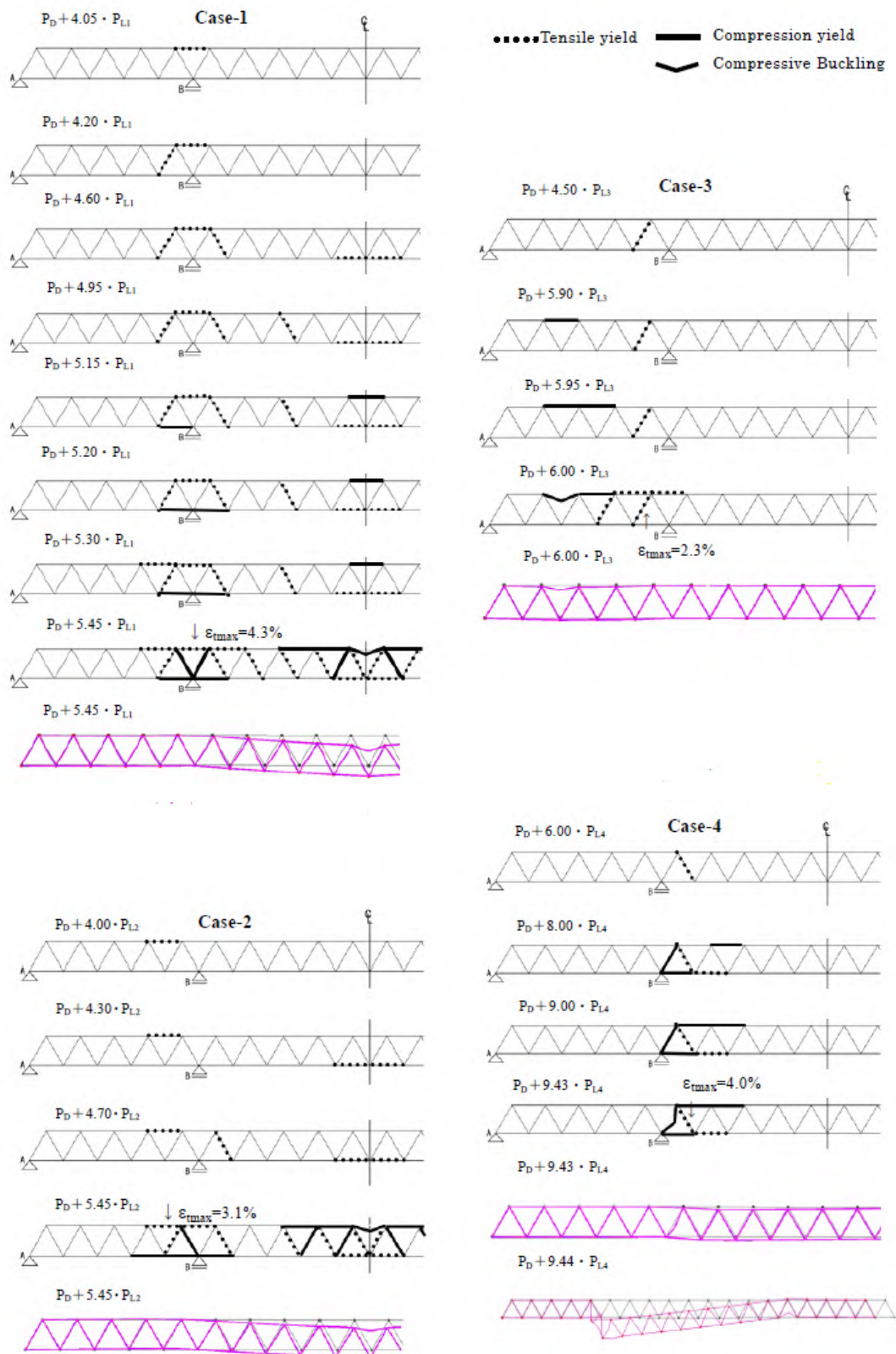
Pada kasus pembebanan yang pertama, ketika koefisien amplifikasi beban (k) mencapai 5.45, batang atas pada tengah bentang menekuk. Regangan maksimum dari batang tarik adalah 4.3% pada batang atas dekat titik B.

Pada kasus pembebanan yang kedua, ketika koefisien amplifikasi beban (k) mencapai 5.45, batang atas tiba-tiba menekuk pada tengah bentang. Regangan maksimum dari batang tarik adalah 3.1% pada bentang atas dekat titik B.

Pada kasus pembebanan yang ketiga, ketika koefisien amplifikasi beban (k) mencapai 5.90, batang tekan mulai leleh. Dengan menambah sedikit beban k 0.1, batang atas mengalami tekuk. Maksimum regangan dari batang tarik adalah 2.3% pada batang diagonal dekat titik B.

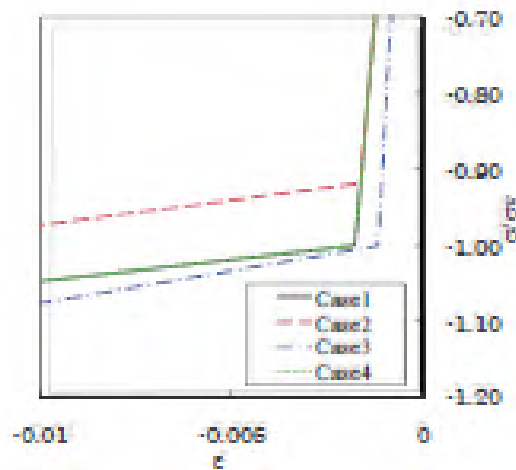
Pada kasus pembebanan yang keempat, ketika koefisien amplifikasi beban mencapai 9.43, batang diagonal dekat titik B melengkung. Namun displasmen tidak meluas ketika batang diagonal melengkung. Dan ketika koefisien amplifikasi beban (k) mencapai 9.44 dengan tambahan sedikit beban setelah menekuk, batang utama runtuh. Maksimum regangan dari batang tarik adalah 4.0% pada batang diagonal dekat titik B.

Adapun ilustrasi dari proses keruntuhan dan deformasi akhir struktur jembatan model A seperti Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Proses Keruntuhan dan Deformasi Akhir Model Jembatan A
 (Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)

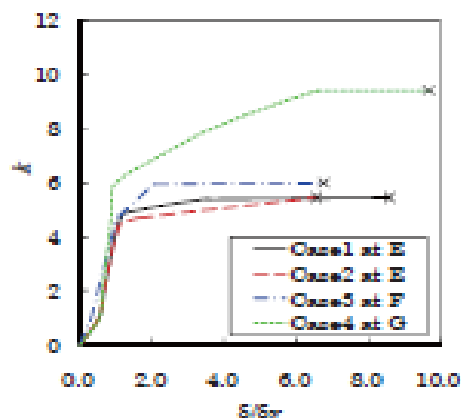
Manda dan Nakamura (2010) menyajikan keruntuhan jembatan dengan grafik hubungan tegangan – regangan. Dimana pada kasus pebebanan yang pertama jembatan runtuh pada $\sigma/\sigma_y = -1.03$, $\sigma/\sigma_y = -1.00$ pada kasus pembebanan ketiga dan $\sigma/\sigma_y = -1.02$ pada kasus pembebanan keempat. Hasil ini menunjukkan bahwa jembatan runtuh karena tekuk plastis. Pada kasus pembebanan kedua jembatan runtuh pada $\sigma/\sigma_y = -0.92$, dimana jembatan runtuh karena tekuk elastis.



Gambar 2.10 Hubungan Tegangan – Regangan (tekan)

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)

Selain itu Manda dan Nakamura (2010) juga menyajikan perilaku struktur setelah mengalami tekuk. Dimana perilaku struktur ini disajikan dengan grafik hubungan beban dan perpindahan. Gambar 2.11 berikut adalah grafik hubungan beban dan perpindahan:



Gambar 2.11 Hubungan amplifikasi beban – perpindahan

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)

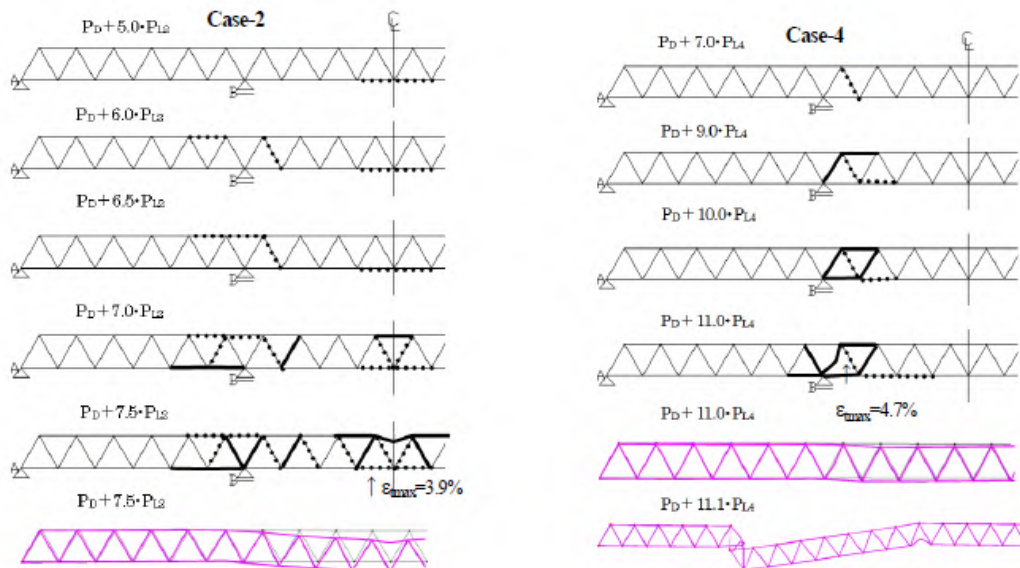
2. Jembatan B

Pada kasus pembebanan yang pertama, ketika koefisien amplifikasi beban (k) mencapai 7.15 batang diagonal dekat titik B mengalami tekuk. Regangan maksimum pada batang tarik sebesar 4.0 % pada batang diagonal dekat titik B.

Pada kasus pembebanan yang kedua, ketika koefisien k mencapai 7.5 tengah bentang pada batang atas mengalami tekuk. Regangan maksimum pada batang tarik adalah 3.9 % pada tengah bentang batang bawah.

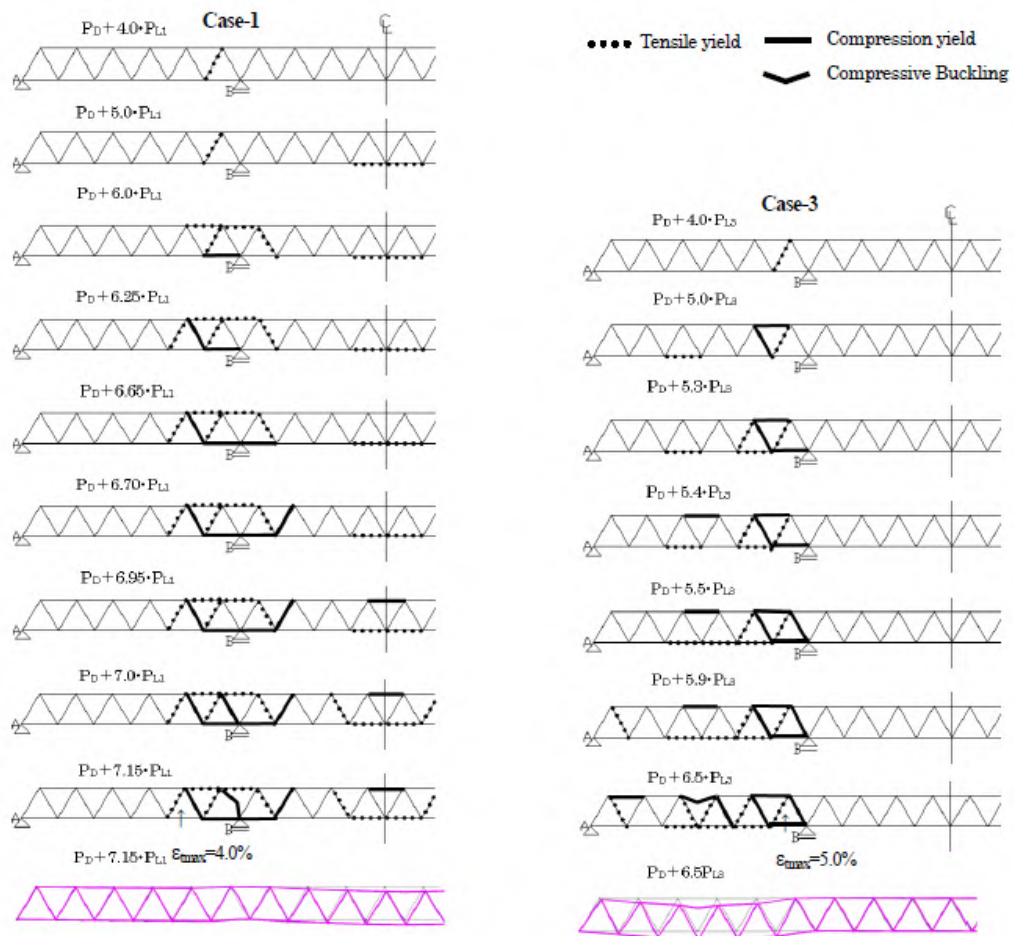
Pada kasus pembebanan yang ketiga, ketika koefisien amplifikasi beban mencapai 6.5, regangan pada batang atas meningkat tajam dan mengalami tekuk. Pada kasus ini, regangan maksimum pada batang tarik diagonal dekat titik B adalah 5.0%.

Pada kasus pembebanan yang keempat, ketika koefisien amplifikasi beban mencapai 11.0 batang diagonal didekat titik B melengkung. Setelah batang diagonal dekat titik B mengalami tekuk, dan koefisien k ditambah 0.1 pada tengah bentang maka deformasi yang terjadi menyerupai keruntuhan pada jembatan I-35W di kota Minnesota, Amerika Serikat. Regangan maksimum pada batang tarik diagonal dekat titik B adalah 4.7 %. Adapun ilustrasi dari proses keruntuhan dan deformasi akhir struktur jembatan model A seperti Gambar 2.12 dan 2.13 berikut:



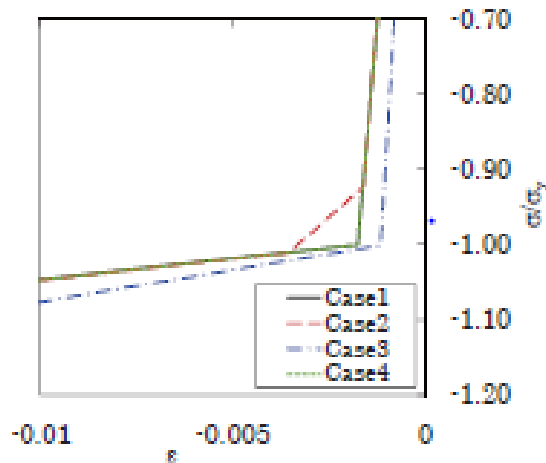
Gambar 2.12 Proses Keruntuhan Model Jembatan B (Case 2 dan 4)

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)



Gambar 2.13 Proses Keruntuhan Model Jembatan B (case 1 dan 3),
 (Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)

Manda dan Nakamura (2010) menyajikan keruntuhan jembatan model B dengan grafik hubungan tegangan – regangan. Dimana pada kasus pebebanan yang pertama jembatan runtuh pada $\sigma/\sigma_y = -1.01$, $\sigma/\sigma_y = -1.05$ pada kasus pembebanan kedua, $\sigma/\sigma_y = -1.00$ pada kasus pembebanan ketiga dan $\sigma/\sigma_y = -1.00$ pada kasus pembebanan keempat. Hasil ini menunjukkan bahwa jembatan runtuh karena tekuk plastis. Berikut Gambar 2.15 menunjukkan kurva hubungan antara tegangan dan regangan.



Gambar 2.14 Hubungan Tegangan – Regangan (tekan)

(Sumber : Manda dan Nakamura, 2010)

2.4.2.2 Evaluasi Daktilitas

Manda dan Nakamura (2010) melakukan evaluasi daktilitas untuk masing-masing model jembatan dengan empat macam kombinasi pembebanan. Koefisien amplifikasi beban hidup adalah dinyatakan sebagai k_y ketika elemen mengalami leleh pertama. Koefisien amplifikasi beban hidup dinyatakan k_u ketika tekuk terjadi. Daktilitas μ didefinisikan sebagai bagian dari k_y dan k_u . Adapun hasil evaluasi daktilitasnya seperti Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.2 Evaluasi Daktilitas Model A

| Model A | k_y | k_u | $\mu = k_y/k_u$ |
|---------|-------|-------|-----------------|
| Case-1 | 4,05 | 5,45 | 1,35 |
| Case-2 | 4,00 | 5,45 | 1,36 |
| Case-3 | 4,50 | 6,00 | 1,33 |
| Case-4 | 6,00 | 9,43 | 1,57 |

Sumber : Manda dan Nakamura, 2010

Pada kasus pembebanan yang pertama leleh pertama terjadi pada batang tarik dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang atas dekat titik B. Pada kasus pembebanan yang kedua leleh pertama terjadi pada batang atas dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang yang sama. Pada kasus pembebanan yang ketiga leleh pertama terjadi pada batang diagonal dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang yang sama. Pada kasus pembebanan yang keempat leleh pertama terjadi pada batang diagonal dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang yang sama.

Tabel 2.3 Evaluasi Daktilitas Model B

| Model A | k_y | k_u | $\mu = k_y/k_u$ |
|---------|-------|-------|-----------------|
| Case-1 | 4,00 | 7,15 | 1,79 |
| Case-2 | 5,00 | 7,50 | 1,50 |
| Case-3 | 4,50 | 6,50 | 1,63 |
| Case-4 | 6,00 | 11,0 | 1,57 |

Sumber : Manda dan Nakamura, 2010

Pada kasus pembebanan yang pertama leleh pertama terjadi pada batang diagonal dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang yang sama. Pada kasus pembebanan yang kedua leleh pertama terjadi pada batang atas dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang atas. Pada kasus pembebanan yang ketiga leleh pertama terjadi pada batang diagonal dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang atas. Pada kasus pembebanan yang keempat leleh pertama terjadi pada batang diagonal dekat titik B sedangkan tekuk terjadi pada batang diagonal yang dekat dengan titik B.

Selain melakukan evaluasi terhadap daktilitas Manda dan Nakamura (2010) juga mengamati jumlah batang yang leleh pada setiap kasus pembebanan. Berikut Tabel 2.4 jumlah batang yang leleh disetiap kasus pembebanan.

Tabel 2.4 Jumlah Batang yang Leleh

| Bridge Name / Load Case No | Case-1 | Case-2 | Case-3 | Case-4 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Model A | 18 | 17 | 6 | 6 |
| Model B | 13 | 16 | 14 | 9 |

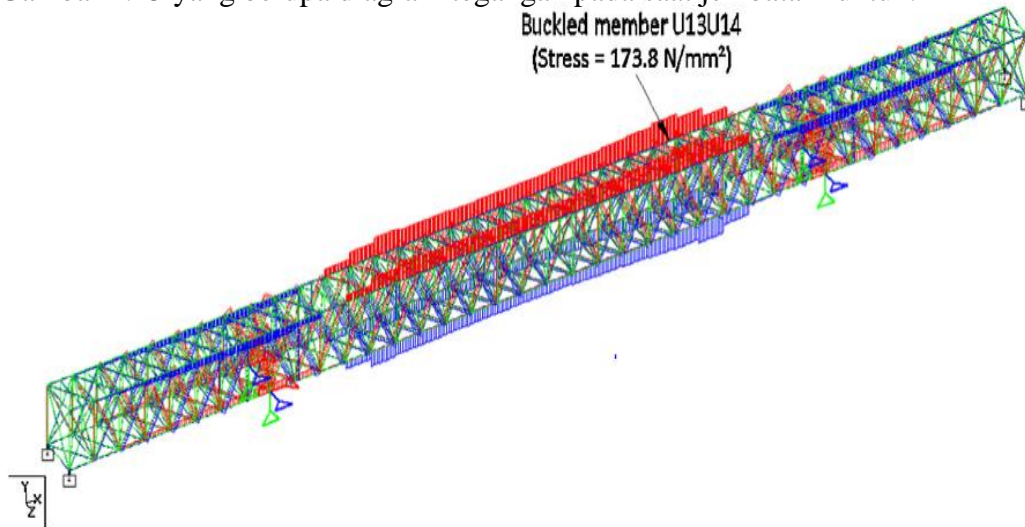
Sumber : Manda dan Nakamura, 2010

2.4.3 Harshad Subhashrao Birajdar dkk (2014)

“Failure of Chauras Bridge”

Birajdar dkk (2014) meneliti runtuhnya jembatan Chauras di Uttarakhand India. Jembatan dengan panjang 190 m (40 m + 110 m + 40 m) ini runtuh pada saat pengecoran dek jembatan. Birajdar dkk dalam analisisnya melakukan pendekatan terhadap berat rangka baja, berat dek jembatan dan berat bekisting. Dari pendekatan

tersebut diperoleh tegangan dari rangka jembatan tersebut pada saat runtuh. Berikut Gambar 2.15 yang berupa diagram tegangan pada saat jembatan runtuh.



Gambar 2.15 Diagram Tegangan Pada Saat Jembatan Runtuh

(Sumber : Birajdar dkk, 2014)

Birajdar dkk (2014) menjelaskan bahwa gelagar jembatan yang dirancang untuk kondisi batas layan saja, tegangan maksimum yang di ijinan adalah $0,6 f_y$ baik batang tarik maupun tekan. Namun pada kondisi ini harus diperiksa keadaan batas kekuatan, untuk batang tekan maka harus diambil 1,5 kali dari $2,25 (D_L + L_L)$. Dan untuk batang tarik dan plat buhul kombinasi pembebanan yang diambil harus yang normal $1,5 (D_L + L_L)$.

Berdasarkan analisis Birajdar dkk (2014) bahwa keruntuhan jembatan ini disebabkan karena tegangan yang terjadi pada salah satu sambungan batang tekan melebihi dari tegangan yang di ijinan. Berikut Gambar 2.16 tentang kerusakan plat buhul pada join U13 dan U14 jembatan Chauras.



Gambar 2.16 Kerusakan Plat Buhul pada titik U13 dan U14

(Sumber : Birajdar dkk, 2014)

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Metodologi Penyelesaian

3.1.1 Studi literatur

- Mempelajari literatur yang berhubungan dengan jembatan rangka baja.
- Mempelajari penelitian yang sudah dilakukan tentang keruntuhan jembatan.
- Mempelajari peraturan-peraturan yang berlaku (SNI T-02-2005 dan SNI T-03-2005).

3.1.2 Pengumpulan data

Data yang diperlukan dalam tesis ini adalah struktur jembatan rangka baja tipe warren. Adapun detail jembatannya adalah sebagai berikut:

- Lebar jembatan : 7 m + 2 x 1 m
- Jarak antar gelagar melintang : 5 m
- Jarak antar gelagar memanjang : 1,75 m
- Tinggi jembatan : 6 m

3.1.3 Pemodelan Struktur

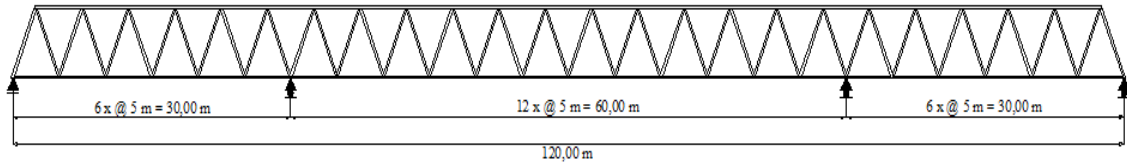
- Tahap awal pemodelan

Sebelum melakukan pemodelan dan analisa struktur, harus dilakukan *preliminary design* untuk mendapatkan perkiraan profil dari masing-masing elemen struktur jembatan. Adapun perkiraan profil dari masing-masing elemen adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat lantai kendaraan : 20 cm
- Profil gelagar melintang : WF 800.300.16.30
- Profil gelagar memanjang : WF 400.200.9.14
- Profil rangka utama : WF 400.400.16.24
- Profil horizontal atas : WF 200.150.6.9
- Profil ikatan angin diagonal atas : 2L 100.100.13
- Profil ikatan angin bawah : 2L 100.100.13

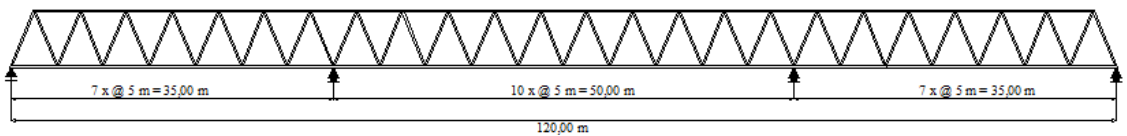
Dalam tesis ini jembatan akan dimodelkan menjadi enam macam, dimana dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe A sebagai jembatan menerus dan tipe B sebagai jembatan bentang tunggal. Adapun detailnya adalah sebagai berikut:

1. Model A1



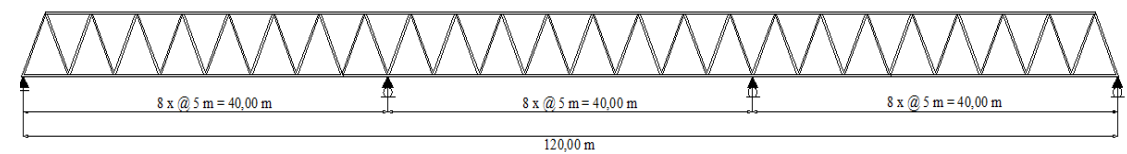
Gambar 3.1 Jembatan Model A1

2. Model A2



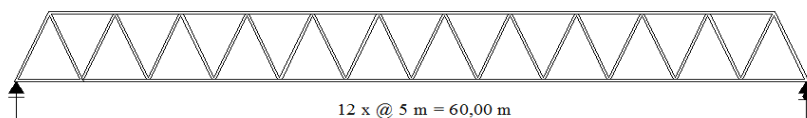
Gambar 3.2 Jembatan Model A2

3. Model A3



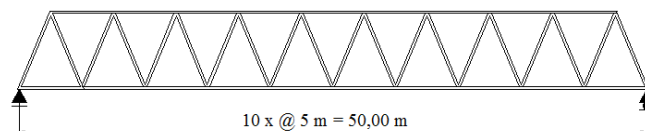
Gambar 3.3 Jembatan Model A3

4. Model B1



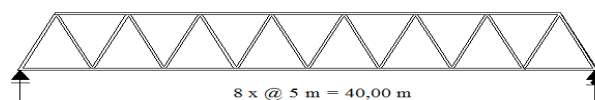
Gambar 3.4 Jembatan Model A4

5. Model B2



Gambar 3.5 Jembatan Model B1

6. Model B3



Gambar 3.6 Jembatan Model B2

- Input material dan dimensi rangka jembatan.
- Penentuan pembebanan yang diterima struktur jembatan rangka baja.

3.1.4 Analisa Struktur

a. Analisa linier

Analisa linier dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000 sesuai dengan poin 3.1.2 apabila memenuhi maka akan dilanjutkan keanalisa nonlinier, jika tidak memenuhi maka ukuran profil dari struktur harus dikoreksi.

b. Analisa nonlinier

Analisa nonlinier struktur dilakukan untuk mengetahui kinerja dan perilaku keruntuhan jembatan. Adapun analisa ini menggunakan *pushover analysis* pada program SAP 2000 yang menghasilkan perpindahan (*displacement*), gaya geser, daktilitas jembatan dan kurva kapasitas jembatan.

3.1.5 Evaluasi kinerja dan perilaku keruntuhan struktur

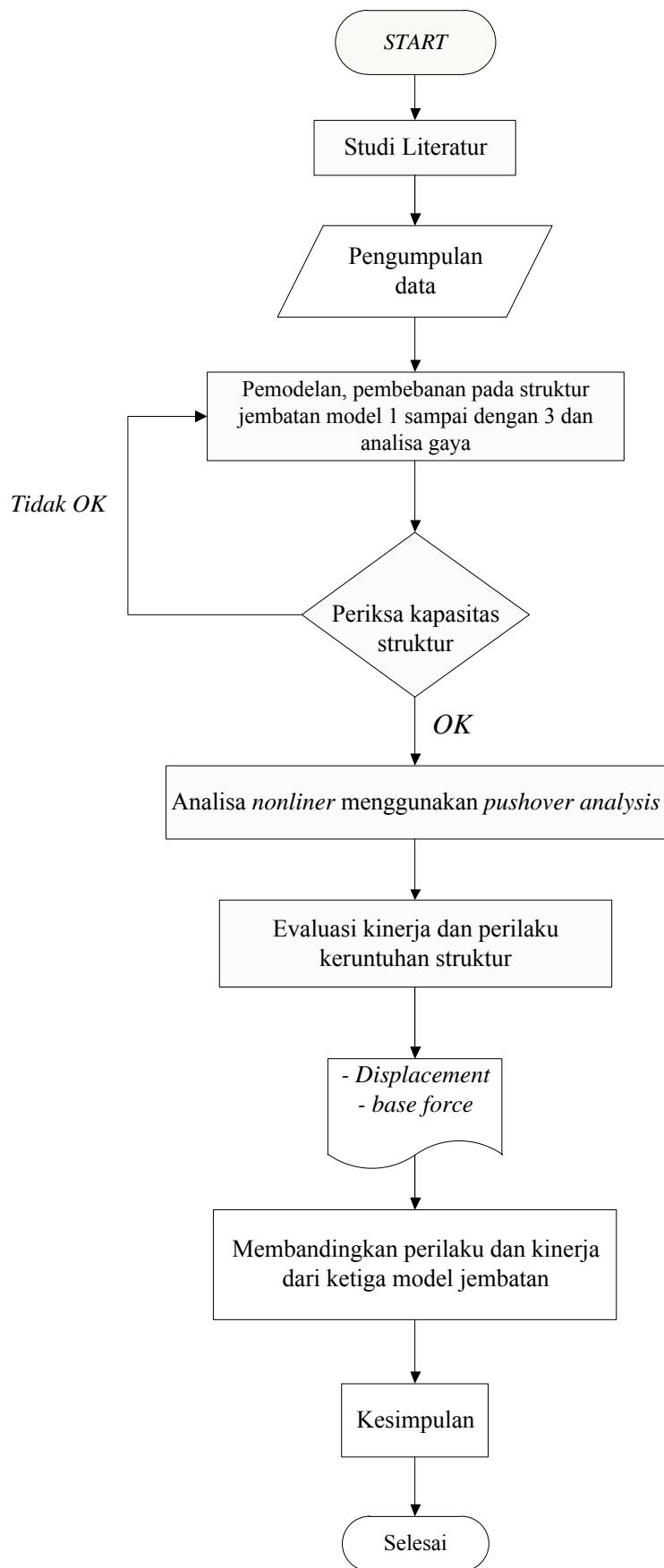
Evaluasi kinerja struktur hasil analisa *pushover* yang telah dilakukan, dapat dilihat level kerusakan elemen struktur yang terjadi akibat deformasi yang diterima oleh bangunan. Adapun level kerusakan dapat dilihat pada Tabel 3.3. Perilaku keruntuhan struktur bisa dianalisa dari hasil kurva kapasitas, yaitu kurva hubungan antara *displacement* dan *base force*.

3.1.6 Perbandingan perilaku dan kinerja struktur

Setelah mengetahui kinerja dan perilaku dari ketiga model jembatan, maka hasilnya dibandingkan untuk ditarik kesimpulan.

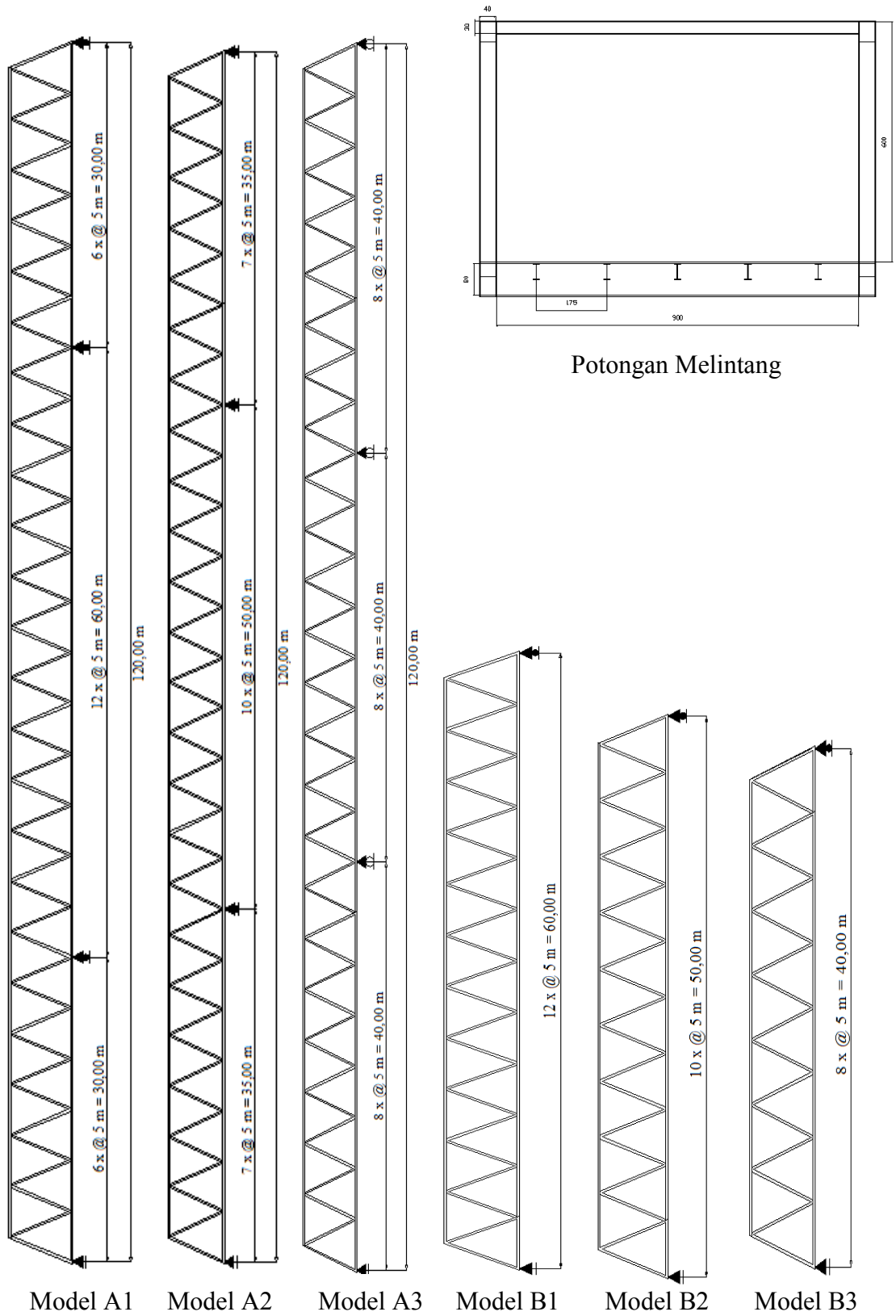
3.1.7 Penyusunan hasil studi kedalam kesimpulan

Metodologi studi di atas dapat digambarkan dalam bagan alir (*flowchart*) seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram Alir Metodologi

3.2 Pemodelan Struktur



Gambar 3.8 Potongan Memanjang dan Melintang Jembatan

3.3 Peraturan

Peraturann yang digunakan dalam perencanaan ini adalah

- a. RSNI T-03-2005 tentang perencanaan struktur baja untuk jembatan.
- b. RSNI T-02-2005 tentang standar pembebanan untuk jembatan.

3.4 Pembebanan

Dalam perencanaan struktur jembatan ini, beban – beban yang dipikul adalah

1. Beban mati

Menurut RSNI T – 02 – 2005 pasal 5.1, beban mati jembatan terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non-struktural. Masing – masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegrasi pada waktu menerapkan faktor beban dan yang berkurang. Adapun faktor beban untuk berat sendiri seperti Tabel berikut ini:

Tabel 3.1 Faktor beban untuk berat sendiri

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | | | |
|--------------|----------------------|-----|------------|------------|
| | $K_{S,MS}$ | | $K_{U,MS}$ | |
| | | | Biasa | Terkurangi |
| Tetap | Baja, aluminium | 1,0 | 1,1 | 0,9 |
| | Beton pracetak | 1,0 | 1,2 | 0,85 |
| | Beton dicor ditempat | 1,0 | 1,3 | 0,75 |
| | Kayu | 1,0 | 1,4 | 0,7 |

Sumber : RSNI T 02 2005

Berat jenis untuk beberapa material bangunan menurut RSNI T – 02 – 2005 pasal 5.2 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Berat isi untuk beban mati

| No | Bahan | Berat kN/m^3 | Kerapatan Massa kg/m^3 |
|----|-------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | Aspal | 22 | 2240 |
| 2 | Beton | 23,5 | 2400 |
| 3 | Baja | 77 | 7850 |
| 4 | Kayu | 7,8 | 800 |
| 5 | Air | 10 | 1000 |

Sumber : RSNI T 02 2005

2. Beban hidup

- Beban UDL

Berdasarkan RSNI T – 02 – 2 – 2005 pasal 6.3.1.2, beban terbagi rata (q) adalah $9 \times (0,5 + \frac{15}{l})$ kN/m² (untuk panjang jembatan diatas 30 m). Sehingga beban hidup meratanya adalah

$$Q_{UDL} = q_{UDL} \times l \tag{3.1}$$

Dimana :

Q_{UDL} = beban hidup merata (kN/m)

q_{UDL} = beban terbagi rata (kN/m²)

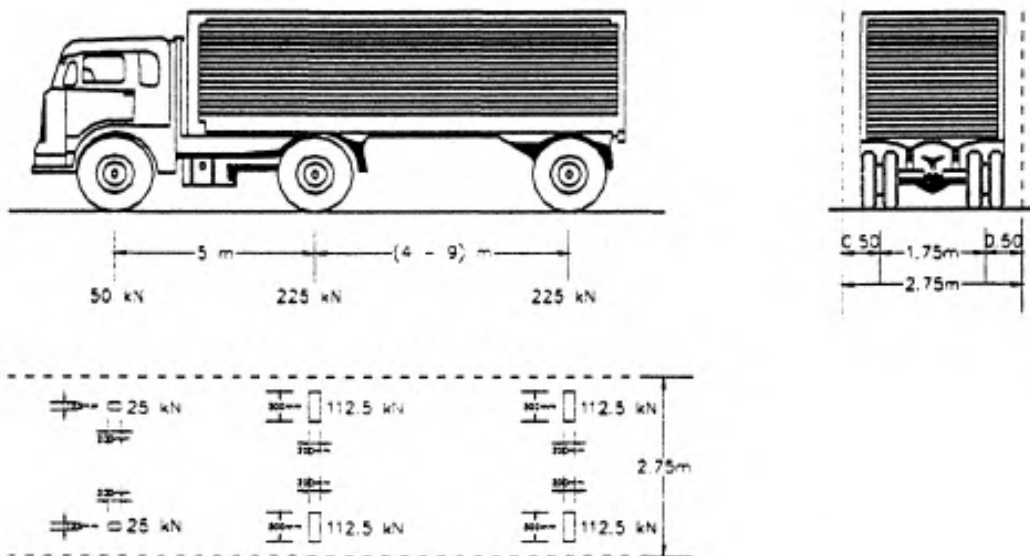
l = lebar jembatan (m)

- Beban KEL

Berdasarkan RSNI T – 02 – 2 – 2005 pasal 6.3.1.3, beban garis (p) memiliki nilai 49 kN/m. Dimana beban ini dalam penempatannya harus tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan.

- Beban “T”

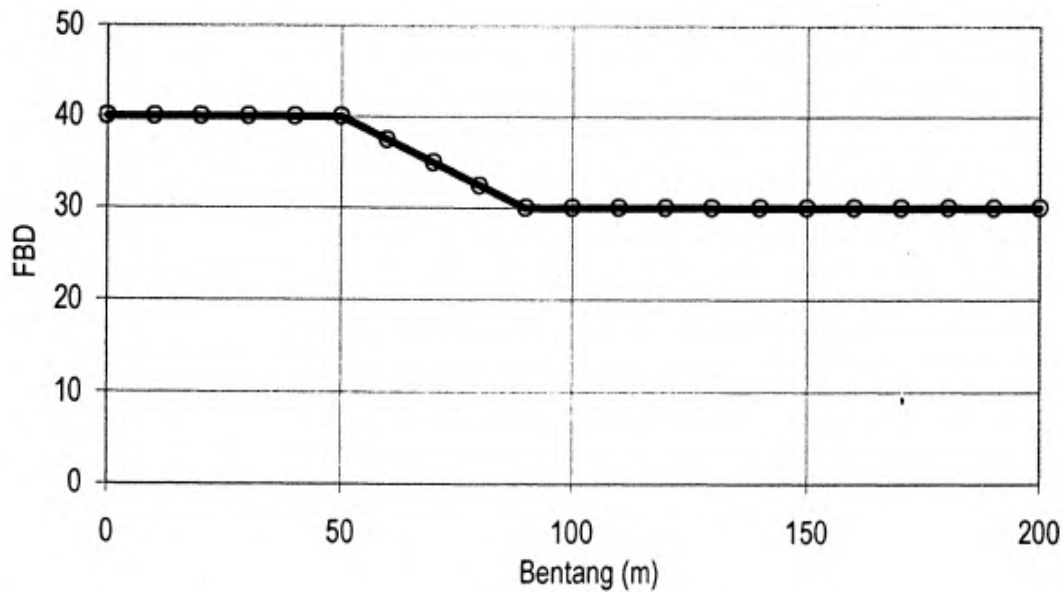
Berdasarkan RSNI T – 02 – 2005 pasal 6.4.1, berat as roda yaitu 112,5 kN. Gambar 3.7 berikut adalah susunan dan beban as roda kendaraan semi-trailer.



Gambar 3.9 Susunan dan Beban As Roda Kendaraan Semi-trailer

(Sumber : RSNI T – 02 – 2 – 2005)

RSNI T – 02 – 2005 pasal 6.6.4, menjelaskan bahwa nilai DLA (faktor beban dinamis) untuk beban “T” diambil 30%. Gambar 3.9 berikut adalah hubungan DLA dengan bentang jembatan.



Gambar 3.10 Faktor Beban Dinamis untuk beban garis untuk pembebanan lajur

(Sumber : RSNI T – 02 – 2 – 2005)

Sehingga beban truk “T” menjadi:

$$P_{\text{Truk}} = P \times (1 + \text{DLA}) \times \text{live load}$$

3.4.1 Beban pada pelat lantai kendaraan

- Beban tetap meliputi :
 - Berat sendiri pelat.
 - Beban mati tambahan berupa beban aspal.
 - Beban trotoar berupa beban kerb, beton rabat, tiang sandaran dan pipa railing.
- Beban lalu lintas adalah beban truk “T”.
- Beban hidup adalah baban pejalan kaki.

3.4.2 Beban pada balok memanjang

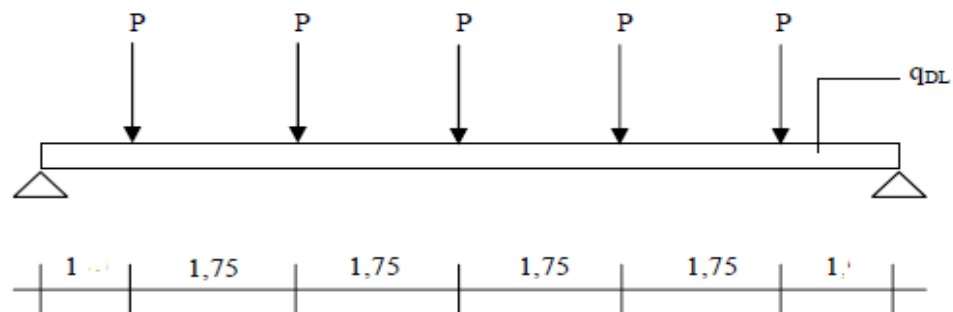
- Beban tetap meliputi :
 - Berat sendiri profil.
 - Beban pelat lantai kendaraan.

- Beban mati tambahan berupa beban aspal.
- Beban lalu lintas, meliputi :
 - Beban lajur UDL (beban merata).
 - Beban KEL (beban garis).
- Beban hidup berupa beban pejalan kaki.

3.4.3 Beban pada balok melintang

- Beban tetap meliputi :
 - Berat sendiri profil.
 - Berat profil balok memanjang.
 - Beban pelat lantai kendaraan.
 - Beban mati tambahan berupa beban aspal.
 - Beban trotoar berupa beban kerb, beton rabat, tiang sandaran dan pipa railing.

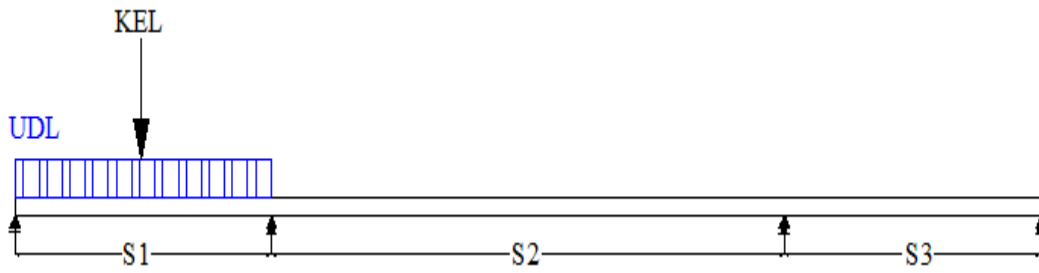
Dalam proses pembebanannya, balok melintang selain memikul berat sendiri, juga mendapat distribusi beban dari balok memanjang. berikut Gambar 3.15 adalah skema beban mati pada balok melintang:



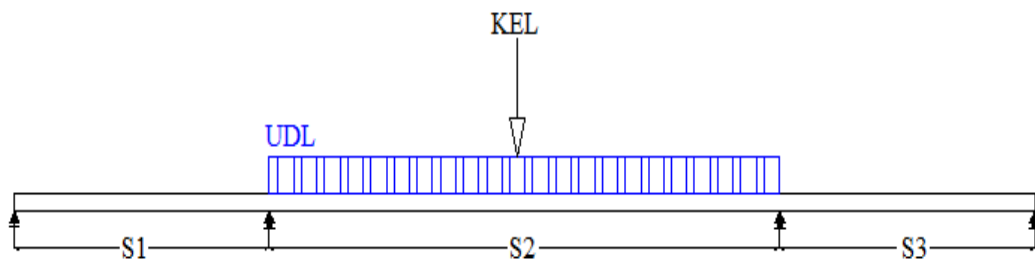
Gambar 3.11 Skema beban mati balok melintang

- Beban lalu lintas, meliputi :
 - Beban lajur UDL (beban merata).
 - Beban KEL (beban garis).
 - Beban truk "T".

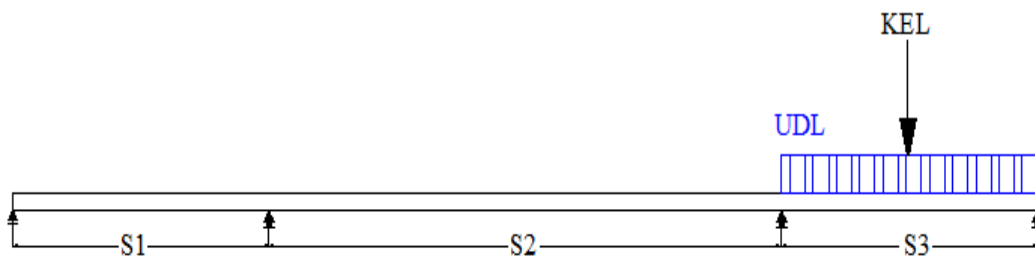
Berikut adalah skema pembebanan untuk KEL dan UDL:



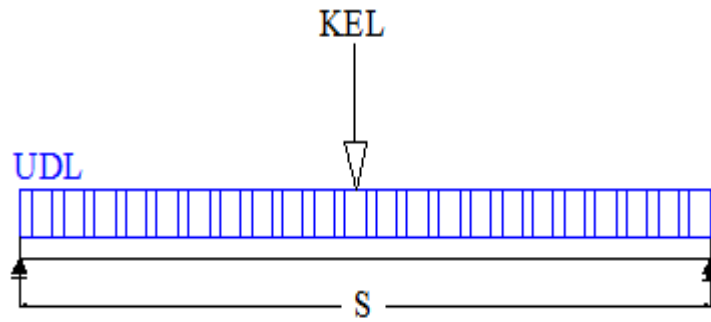
Gambar 3.12 Skema beban UDL dan KEL jembatan menerus untuk momen lentur maksimum di bentang S1



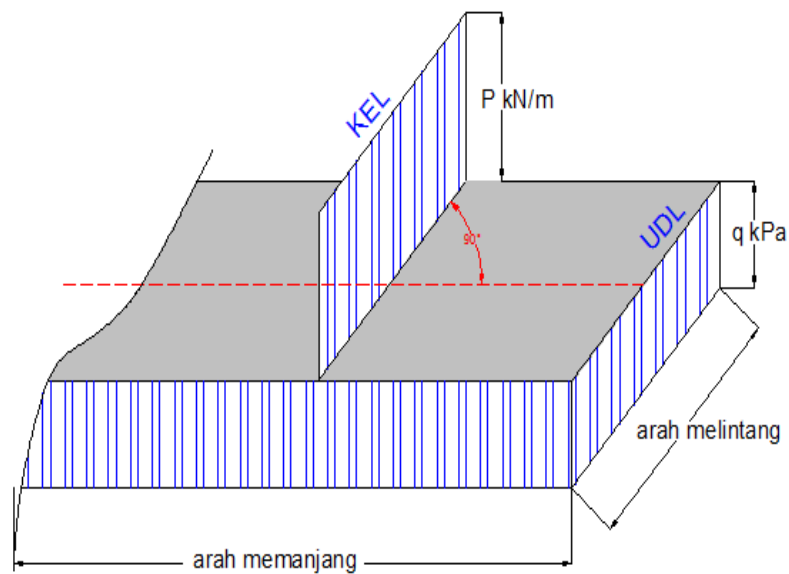
Gambar 3. 13 Skema beban UDL dan KEL jembatan menerus untuk momen lentur maksimum di bentang S2



Gambar 3. 14 Skema beban UDL dan KEL jembatan menerus untuk momen lentur maksimum di bentang S3



Gambar 3.15 Skema beban UDL dan KEL jembatan bentang tunggal untuk momen lentur maksimum.



Gambar 3.16 Detail Skema pembebanan KEL dan UDL

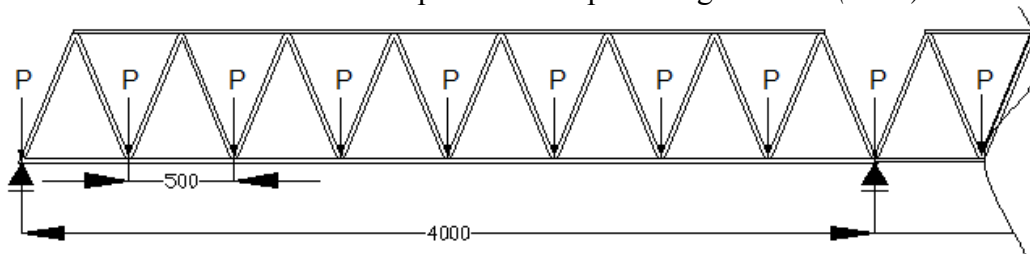
3.4.4 Beban pada struktur rangka utama

- Beban tetap meliputi :
 - Berat sendiri profil-profil rangka utama.
 - Beban pelat lantai kendaraan.
 - Beban aspal.
 - Berat sendiri profil memanjang.

Semua beban di atas dijumlah dan dijadikan beban-beban terpusat “P” yang membebani rangka utama.

- Beban hidup meliputi :
 - Beban lajur UDL (beban merata)
 - Beban KEL (beban garis)
 - Beban trotoar.
- Beban lateral meliputi :
 - Beban angin.

Dalam proses pembebanannya, rangka utama (*truss*), selain memikul berat sendiri, juga mendapat distribusi beban dari balok melintang (P). berikut Gambar 3.17 adalah skema pembebanan pada rangka utama (*truss*):



Gambar 3.17 Skema pembebanan rangka utama (*truss*)

3.5 Kontrol Kapasitas Struktur

Dalam analisa linier, kontrol kapasitas dilakukan untuk memastikan bahwa profil-profil yang dipakai dalam perencanaan jembatan mampu menahan beban yang ada. Adapun kontrol yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Batang tekan

a. Kontrol kelangsingan (RSNI T-03-2005 pasal 6.1b)

- Kelangsingan penampang

$$\lambda = \frac{b}{t}, \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \text{ (kompak)}, \lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \text{ (tidak kompak)} \quad (3.2)$$

- Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{L_k}{r} < 140 \quad (3.3)$$

dimana :

- λ : kelangsingan
- λ_p : batas maksimum untuk penampang kompak
- λ_r : batas maksimum untuk penampang tak kompak
- b : lebar pelat sayap (mm)
- t : tebal pelat sayap (mm)
- f_y : tegangan leleh (Mpa)
- f_r : tegangan sisa (Mpa)
- L_k : Panjang tekuk (mm)

b. Kontrol tekan rencana (RSNI T-03-2005 pasal 6.1a)

$$N_u \leq \phi_n N_n$$

(3.4)

$$N_n = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega}$$

dimana :

N_u : gaya aksial tekan terfaktor (N)

ϕ_n : 0,85 (faktor reduksi)

N_n : kuat tekan nominal struktur (N)

A_g : luas bruto profil (mm²)

ω : faktor tekuk

2. Batang Tarik

Kontrol tarik rencana (RSNI T-03-2005 pasal 5.1)

$$N_u \leq \phi_n N_n$$

(3.5)

Kuat tarik nominal leleh :

$$N_n = A_g \cdot f_y \tag{3.6}$$

Kuat tarik fraktur :

$$N_n = A_e \cdot f_u \tag{3.7}$$

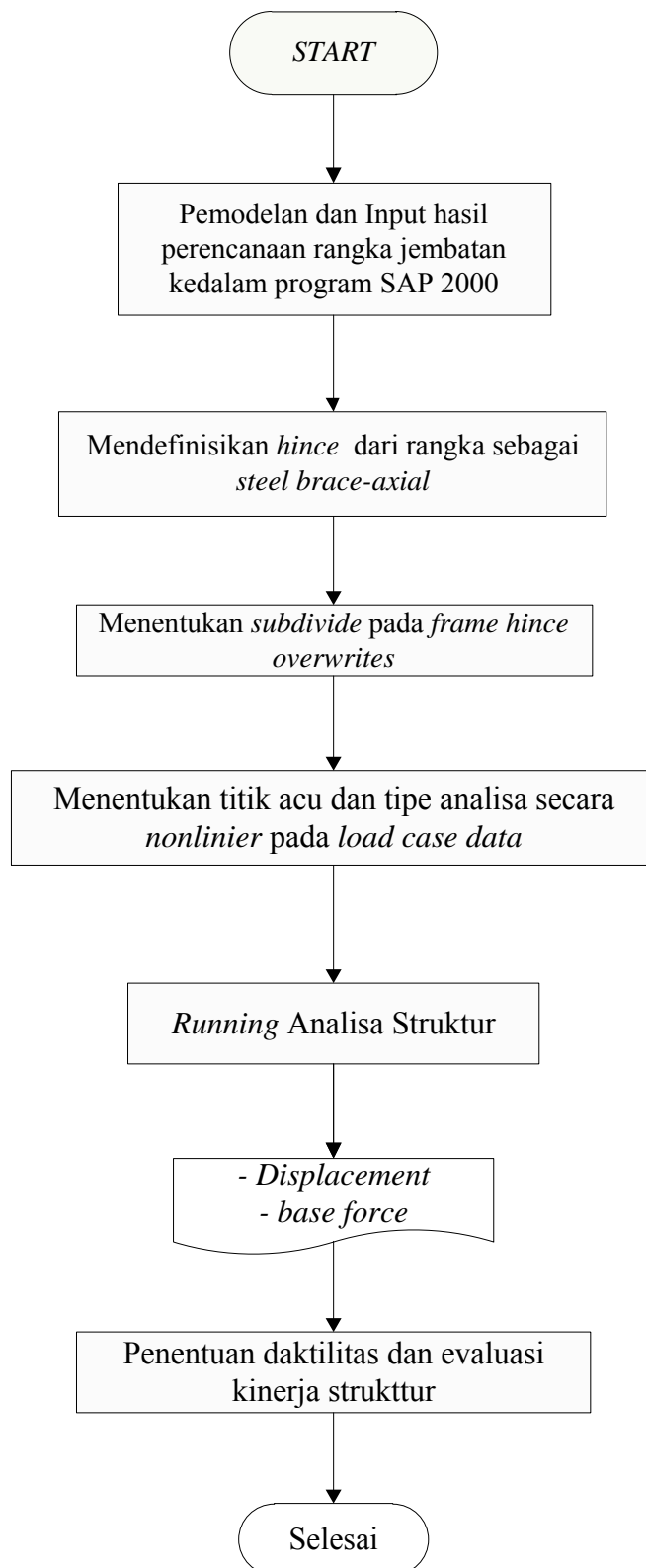
dimana :

N_u : gaya aksial tekan terfaktor (N)

| | |
|----------|--|
| ϕ_n | : 0,9 (faktor reduksi kuat tarik leleh) |
| ϕ_n | : 0,75 (faktor reduksi kuat tarik fraktur) |
| N_n | : kuat tekan nominal struktur (N) |
| A_g | : luas bruto profil (mm ²) |
| A_e | : luas bersih profil (mm ²) |
| f_y | : tegangan leleh (Mpa) |
| f_u | : tegangan tarik putus (Mpa) |

3.6 Pushover Analysis

Analisa nonlinier dalam penelitian ini, menggunakan program bantu SAP 2000 dengan metode *pushover analysis*. Analisa *pushover* pada jembatan dilakukan dengan memberikan suatu pola beban vertikal statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan vertikal dari suatu titik acuan. Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Berikut Gambar 3.19 adalah tahapan analisa *nonlinier* dengan *pushover analysis*:



Gambar 3.18 Diagram Alir *Pushover Analysis*

3.6.1 Daktilitas

Daktilitas struktur didapatkan dengan membandingkan *displacement* pada titik *ultimate* dibandingkan dengan *displacement* pada titik awal leleh. Adapun persamaanya adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (3.8)$$

dimana :

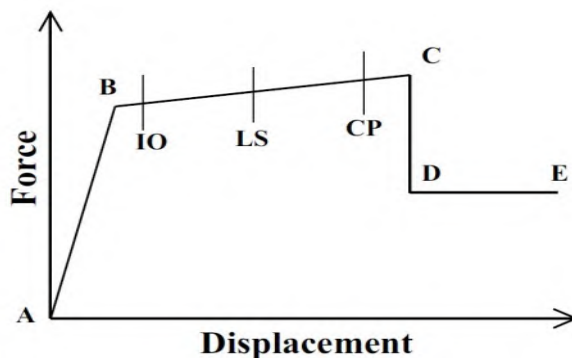
μ_{Δ} : daktilitas

δ_u : *displacement* pada titik *ultimate*

δ_y : *displacement* pada titik awal leleh

3.6.2 Evaluasi Kinerja Struktur

Dari hasil analisa *pushover* yang telah dilakukan, dapat dilihat level kerusakan elemen struktur yang terjadi akibat deformasi yang diterima oleh bangunan. Sehingga dapat dilakukan evaluasi dan pengelompokan terhadap kategori kerusakan dan tingkat kinerja struktur gedung yang terjadi tiap perubahan nilai *displacement*-nya. Berikut adalah Gambar 3.18 tentang grafik hubungan gaya dan *displacement*:



Gambar 3.19 Grafik Hubungan Gaya vs *displacement*

(Sumber : Computer and Structures inc, 2008)

Adapun penjelasan dari masing-masing kategori kerusakan yang terjadi tiap perubahan nilai *displacement*-nya adalah terdapat dalam Tabel 3.3 berikut:

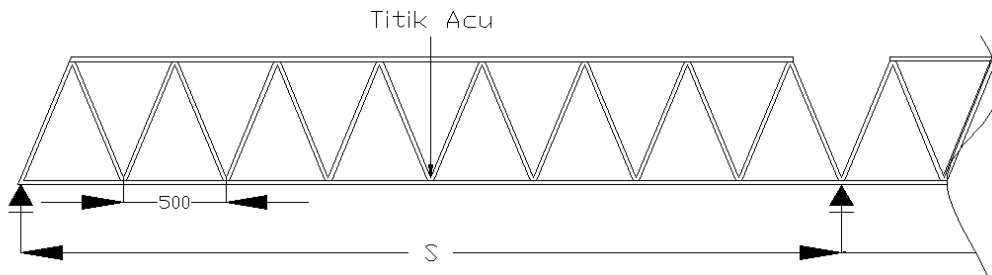
Tabel 3.3 Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuk- nya sendi plastis dalam program SAP 2000

| Keterangan | Simbol | Penjelasan |
|------------|--------|---|
| B | ● | Menunjukkan batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural. |
| IO | ● | Tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi. |
| LS | ● | Terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang . kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan |
| CP | ● | Terjadi kerusakan parah pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh. |
| C | ● | Batas maksimum struktur dalam menahan gaya gempa. |
| D | ● | Struktur tidak mampu menahan gaya gempa tetapi masih mampu menahan gaya gravitasi. |
| E | ● | Struktur sudah hancur (<i>collapse</i>) |

Sumber : Wahyuni dan Tethool, 2015

3.6.3 Titik Acu

Dalam penelitian ini titik acu pada analisa *pushover* direncanakan pada tengah bentang jembatan. Gambar 3.19 berikut adalah detail dari posisi titik acu:



Gambar 3. 20 Titik Acu

3.6.4 Hinge Properties

Hinge properties dimasukkan pada ujung profil *truss* yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Dimana dalam analisa *pushover*, *Hinge properties* dari *truss* dimodelkan *automatic hince properties* sebagai *steel brace-axial*, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial. Menurut Computer and structures, inc, (2008) penggunaan *automatic hince properties* harus berdasarkan FEMA 356. Berikut adalah Tabel 3.4 tentang prosedur pemodelan parameter dan kriteria untuk *nonlinier* untuk komponen baja struktural, FEMA 356:

Tabel 3.4 Prosedur pemodelan parameter dan kriteria untuk *nonlinier* untuk komponen baja struktural

| Component/Action | Modeling Parameters | | | Acceptance Criteria | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------|---------------|
| | Plastic Deformation | | Residual Strength Ratio c | IO | Plastic Deformation | | | |
| | a | b | | | Primary | | Secondary | |
| | | | | LS | CP | LS | CP | |
| Brace in Compression | | | | | | | | |
| W or I shape | 0.5 Δ_c | 8 Δ_c | 0.2 | 0.25 Δ_c | 5 Δ_c | 7 Δ_c | 7 Δ_c | 8 Δ_c |
| Brace in Tension | | | | | | | | |
| | 11 Δ_T | 14 Δ_T | 0.8 | 0.25 Δ_T | 7 Δ_T | 9 Δ_T | 11 Δ_T | 13 Δ_T |

Sumber : FEMA 356, 2000

Dimana :

Δ_c : deformasi aksial diharapkan pada beban tekuk

Δ_T : deformasi aksial diharapkan pada leleh tarik

3.6.5 Metode Perpindahan (FEMA 356)

FEMA 356 memberikan ketentuan yang terperinci terhadap performa struktur dan juga *acceptance criteria*. *Acceptance criteria* adalah pembahasan pada level komponen atau elemen struktur dimana perilakunya ditentukan oleh deformasi (*deformation controlled*) atau gaya (*force controlled*). *deformation controlled* memberikan gambaran perilaku komponen struktur yang daktail, sebaliknya *force controlled* memberikan gambaran perilaku komponen yang *brittle* atau getas.

FEMA 356 merupakan metoda utama untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut “target perpindahan”, δ_T .

Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif, T_e , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linier dari sistem SDOF ekuivalen. Jika diplot-kan pada spektrum respons elastis akan menunjukkan percepatan gerakan tanah pada saat gempa yaitu akselerasi puncak (S_a) versus waktu getar. Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol δ_T , ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{4\pi} \right)^2 g \quad (3.8)$$

Dimana :

- T_e : Waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis.
- C_0 : Koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (*first mode participation factor*) atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.
- C_1 : Modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.
 $C_1 = 1.0 \rightarrow$ untuk $T_e \geq T_s$

$$C_1 = \frac{\left[1 + (R-1) \frac{T_s}{T_e} \right]}{R} \rightarrow \text{untuk } T_e < T_s \quad (3.9)$$

T_s : Waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum.

R : Rasio “kuat elastik perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} \cdot C_m \quad (3.10)$$

S_a : Akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

S_a : $C_D \times S_0$

C_D : Faktor modifikasi nilai redaman terhadap standar 5% sesuai konstanta redaman moda h_i .

S_0 : Akselerasi wilayah gempa dari respon spektra (g)

V_y : Gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushover menjadi bilinear.

W : Total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m : Faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

C_2 : Koefisien untuk hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C_3 : Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negatif.

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (3.11)$$

α : Rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya- lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear (lihat waktu getar efektif).

g : percepatan gravitasi 9.81 m/det².

BAB 4

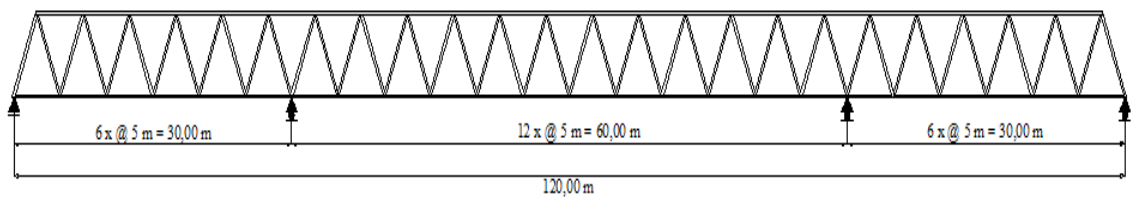
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

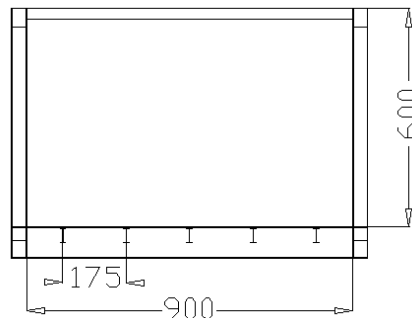
Bab ini dibahas analisa linier dan nonlinier pada struktur jembatan rangka baja. Pada analisa linier dilakukan pada semua model dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1. Profil hasil analisa linier akan digunakan pada semua model jembatan pada saat analisa nonlinier. Analisa nonlinier dilakukan dengan menggunakan program bantu *Pushover analysis SAP 2000*. Hasil analisa nonlinier berupa kurva kapasitas dan tingkat kinerja struktur. Dari kurva kapasitas akan diperoleh daktilitas yang akan dibandingkan antara model yang satu dan model lainnya. Dari tingkat kinerja struktur akan diperoleh pola keruntuhan yang akan dibahas dan dibandingkan antara model yang satu dengan model lainnya,

4.2 Analisa Linier

Dalam analisa linier akan dibahas pembebanan dan analisa struktur pada jembatan rangka baja. Dimana dalam analisa ini struktur jembatan menggunakan rangka baja dengan, lebar jembatan 7+2 m dan tinggi jembatan 6 m. Berikut detail salah satu model jembatan pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1 Potongan memanjang Jembatan



Gambar 4.2 Potongan melintang Jembatan

Pada gambar di atas arah memanjang mengikuti arah lateral sumbu X global (sumbu model), sedangkan arah memendek jembatan mengikuti arah lateral sumbu Y (sumbu model). Dalam perencanaan ini hanya dilakukan pada struktur atas jembatan yang meliputi pelat lantai kendaraan, gelagar memanjang, gelagar melintang, rangka utama, ikatan angin dan tanpa menghitung perencanaan sambungannya.

4.2.1 Pembebanan

Struktur diperhitungkan menerima beban-beban sebagai berikut:

1. Beban mati

Beban mati jembatan terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non-struktural. Berikut adalah beban mati dari jembatan :

- Beban sendiri pelat = $D \times \gamma_{bt}$
 $= 0,25 \times 2,4 = 0,6 \text{ T/m}^2$
- Beban aspal = $T_{asp} \times \gamma_{asp}$
 $= 0,07 \times 2,2 = 0,154 \text{ T/m}^2$

2. Beban hidup

- UDL

Beban UDL untuk panjang jembatan lebih dari 30 meter adalah

$$\begin{aligned} q_{UDL} &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{l}\right) \\ &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{120}\right) \\ &= 5,63 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- KEL

Beban garis (p) = 49 kN/m

- Beban truk "T"

$$\begin{aligned} T &= P \times (1 + DLA) \times \text{live load} \\ &= 112,5 \times (1+0,3) \times 1,8 \\ &= 263 \text{ kN} = 26,3 \text{ T} \end{aligned}$$

- trotoar

$$Q = 0,25 \times 2400 = 600 \text{ Kg/m}^2$$

3. Beban angin

a. Beban angin kendaraan

$$W = 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \\ = 0,0012 \times 1,2 \times 30^2 \times L = 1,296L$$

- Beban pada batang tarik, tekan dan diagonal rangka utama

Profil yang digunakan adalah WF 400.400

$$W_{y1} = 1,296 \times 0,4 = 0,518 \text{ kN/m}$$

- Beban pada portal tepi

Balok melintang dengan profil WF 800.300

$$W_{x1} = 1,296 \times 0,8 = 1,037 \text{ kN/m}$$

Rangka utama diagonal dengan profil WF 400.400

$$W_{x1} = 1,296 \times 0,4 = 0,518 \text{ kN/m}$$

Profil bagian atas portal dengan profil WF 200.150

$$W_{x1} = 1,296 \times 0,2 = 0,259 \text{ kN/m}$$

b. Beban angin struktur

$$W = 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \\ = 0,0006 \times 1,2 \times 30^2 \times L = 0,648L$$

- Beban pada batang tarik, tekan dan diagonal rangka utama

Profil yang digunakan adalah WF 400.400

$$W_{y2} = 0,648 \times 0,4 = 0,259 \text{ kN/m}$$

- Beban pada portal tepi

Balok melintang dengan profil WF 800.300

$$W_{x2} = 0,648 \times 0,8 = 0,518 \text{ kN/m}$$

Rangka utama diagonal dengan profil WF 400.400

$$W_{x2} = 0,648 \times 0,4 = 0,259 \text{ kN/m}$$

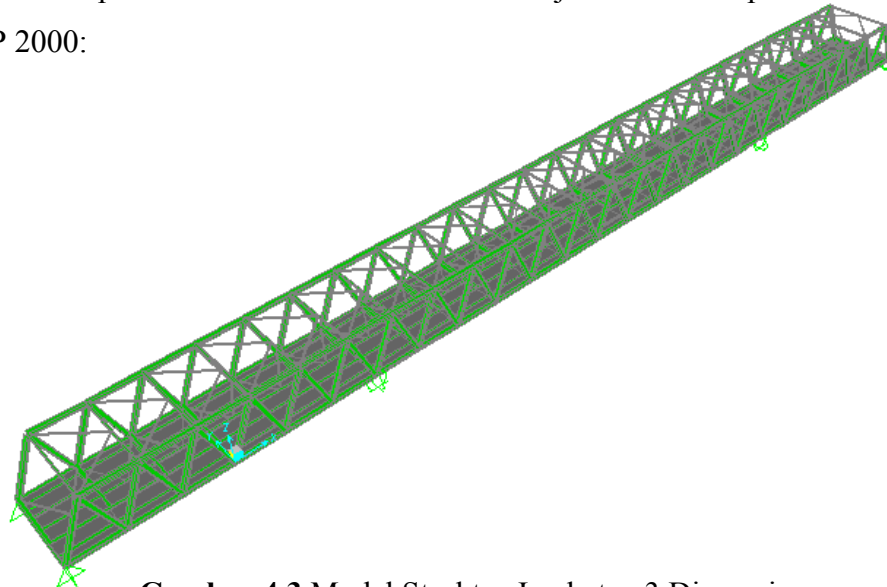
Profil bagian atas portal dengan profil WF 200.150

$$W_{x1} = 0,648 \times 0,2 = 0,13 \text{ kN/m}$$

Setelah diidentifikasi beban-beban yang terjadi pada jembatan maka berikutnya akan dilakukan analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 2000.

4.2.2 Analisa Struktur

Pemodelan struktur jembatan dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Berikut tampak 3 dimensi dari salah satu model jembatan hasil pemodelan dengan SAP 2000:



Gambar 4.3 Model Struktur Jembatan 3 Dimensi

Adapun hasil perencanaannya adalah sebagai berikut:

- Pelat lantai jembatan
Tebal pelat 25 cm dengan tulangan utama dipasang D16-100 arah X dan tulangan susut $\text{Ø}12$ -100.
- Gelagar memanjang WF 400.300.9.14
 $\phi M_n = 48,18 \text{ Tm} \geq M_u = 33,78 \text{ Tm}$
 $f^o = 0,491 \text{ cm} \leq f_{ijin} = 0,625 \text{ cm}$
- Gelagar melintang WF 800.300.16.30
 $\phi M_n = 242,39 \text{ Tm} \geq M_u = 213,37 \text{ Tm}$
 $f^o = 0,71 \text{ cm} \leq f_{ijin} = 1,125 \text{ cm}$
- Rangka utama
Berikut adalah hasil analisa rangka utama:

Tabel 4.1 Hasil Analisa Rangka Utama

| Model | Profil | | Batang | ϕP_n (ton) | P_u (ton) | $\phi P_n >$ P_u |
|--------------|-----------------|------------------|---------------|--|--------------------------------|---|
| A1 | portal akhir | WF 400.400.18.28 | tekan | 551,07 | 274,13 | OK |
| | batang atas | WF 400.400.18.28 | tekan | 734,30 | 344,78 | OK |
| | | | tarik | 1016,91 | 338,81 | OK |
| | batang bawah | WF 400.400.18.28 | tekan | 734,30 | 236,35 | OK |
| | | | tarik | 1016,91 | 257,27 | OK |
| | batang diagonal | WF 400.400.15.15 | tekan | 339,35 | 226,27 | OK |
| tarik | | | 614,49 | 272,95 | OK | |
| A2 | portal akhir | WF 400.400.16.24 | tekan | 473,27 | 227,10 | OK |
| | batang atas | WF 400.400.16.24 | tekan | 526,29 | 243,46 | OK |
| | | | tarik | 877,49 | 236,70 | OK |
| | batang bawah | WF 400.400.16.24 | tekan | 526,29 | 165,20 | OK |
| | | | tarik | 877,49 | 181,10 | OK |
| | batang diagonal | WF 400.400.15.15 | tekan | 339,35 | 178,85 | OK |
| tarik | | | 614,49 | 225,84 | OK | |
| A3 | portal akhir | WF 400.400.13.21 | tekan | 446,66 | 179,27 | OK |
| | batang atas | WF 400.400.13.21 | tekan | 460,58 | 136,71 | OK |
| | | | tarik | 752,87 | 176,24 | OK |
| | batang bawah | WF 400.400.13.21 | tekan | 460,58 | 114,50 | OK |
| | | | tarik | 752,87 | 100,91 | OK |
| | batang diagonal | WF 400.300.10.16 | tekan | 214,19 | 130,72 | OK |
| tarik | | | 468,18 | 178,20 | OK | |
| B1 | portal akhir | WF 400.400.18.28 | tekan | 551,07 | 401,04 | OK |
| | batang atas | WF 400.400.18.28 | tekan | 734,30 | 700,82 | OK |
| | batang bawah | WF 400.400.18.28 | tarik | 1016,91 | 731,65 | OK |
| | batang diagonal | WF 400.400.15.15 | tekan | 339,35 | 317,99 | OK |
| | | | tarik | 614,49 | 399,37 | OK |
| B2 | portal akhir | WF 400.400.16.24 | tekan | 473,27 | 334,98 | OK |
| | batang atas | WF 400.400.16.24 | tekan | 526,29 | 495,00 | OK |
| | batang bawah | WF 400.400.16.24 | tarik | 877,49 | 519,08 | OK |

| Model | Profil | | Batang | ϕP_n (ton) | P_u (ton) | $\phi P_n >$ P_u |
|-------|-----------------|------------------|--------|---------------------|----------------|-----------------------|
| | batang diagonal | WF 400.400.15.15 | tekan | 339,35 | 265,09 | OK |
| | | | tarik | 614,49 | 333,20 | OK |
| B3 | portal akhir | WF 400.400.13.21 | tekan | 446,66 | 224,36 | OK |
| | batang atas | WF 400.400.13.21 | tekan | 460,58 | 380,06 | OK |
| | batang bawah | WF 400.400.13.21 | tarik | 752,87 | 314,32 | OK |
| | batang diagonal | WF 400.300.10.16 | tekan | 214,19 | 197,30 | OK |
| tarik | | | 468,18 | 265,67 | OK | |

Setelah didapatkan profil struktur berikutnya akan dilakukan analisa nonlinier pada semua model jembatan. Dimana model jembatannya ada 6 model yang berbeda.

4.3 Analisa Statis Nonlinier (*Pushover Analysis*)

Analisa *Pushover* adalah analisa statis nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan dianggap sebagai beban statis pada masing-masing pusat massa yang nilai bebannya ditingkatkan berangsur-angsur sampai melampaui leleh pertama didalam struktur, kemudian struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk *pasca elastic* yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian mana saja yang memerlukan perhatian khusus untuk stabilitasnya. Dalam penelitian ini analisa *pushover* yang dilakukan dengan menggunakan model 2 dimensi, hal ini dilakukan karena sulit menentukan beban runtuh dan mekanisme keruntuhan rangka utama jembatan jika menggunakan model 3 dimensi. Berikut adalah uraian tentang *pushover analysis* :

1. Analisa elastis struktur dengan memasukkan semua elemen jembatan yang berkaitan dengan berat, kekuatan struktur dan direncanakan memenuhi persyaratan dari RSNI-T-03-2005 (Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan).

2. Analisis beban dorong dilakukan dengan cara, yang pertama struktur diberi beban gravitasi (beban mati). Analisis tahap pertama ini belum memperhitungkan kondisi non linier. Selanjutnya analisis dilakukan dengan memberikan pola beban vertikal yang diberikan secara monotonik bertahap pada titik kontrol yang ditinjau.
3. Intensitas pembebanan vertikal ditingkatkan sampai komponen struktur yang paling lemah berdeformasi. Hal ini akan menyebabkan kekakuannya berubah secara signifikan (terjadi leleh penampang). Untuk mendapatkan perilaku komponen struktur yang mengalami leleh maka perlu dilakukan modifikasi. Adapun modifikasi yang dilakukan adalah:
 - a. Menempatkan sendi plastis pada elemen lentur yang mencapai kekuatan lenturnya, hal tersebut akan diberikan pada ujung portal akhir.
 - b. Menempatkan sendi plastis pada elemen axial yang mencapai kekuatan axialnya, hal tersebut akan diberikan pada tengah semua elemen rangka utama jembatan kecuali portal akhir.
4. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik kontrol yang ditinjau.
5. Perpindahan titik kontrol versus gaya geser dasar untuk setiap tahapan beban di plotkan untuk menggambar respon perilaku nonlinier struktur yaitu kurva *pushover*.
6. Kurva *pushover* selanjutnya digunakan untuk menentukan daktilitas struktur. Selanjutnya akan dibahas langkah-langkah dalam analisa nonlinier dengan menggunakan *pushover analysis SAP 2000* .

4.3.1 Langkah-Langkah Pushover Analisis dengan Menggunakan SAP 2000.

Dalam program bantu SAP 2000 untuk analisa *pushover* yang perlu diperhatikan *hinge properties*. *Hinge properties* adalah bagian dari komponen struktur yang berperilaku nonlinier atau terjadi sendi plastis. Dimana model sendi plastis ini mengikuti hubungan nonlinier *load deformation*.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk analisa *pushover* di SAP 2000 adalah

1. Pembuatan basic model, dengan menggunakan *frame*. Rangka utama struktur jembatan dimodelkan *frame*.

Berikut adalah gambar pemodelan struktur rangka jembatan masing-masing model :

- a. Model A1

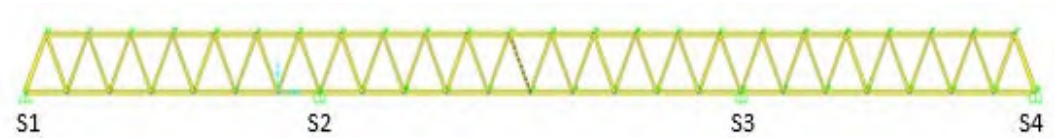
Jembatan model A1 merupakan jembatan menerus yang dibagi menjadi 3 bentang dengan bentang paling panjang 60 m.



Gambar 4.4 Pemodelan Jembatan Model A1

- b. Model A2

Jembatan model A2 merupakan jembatan menerus yang dibagi menjadi 3 bentang dengan panjang bentang masing-masing 50 m.



Gambar 4.5 Pemodelan Jembatan Model A2

- c. Model A3

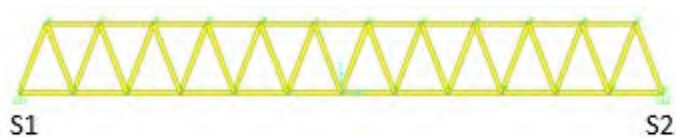
Jembatan model A3 merupakan jembatan menerus yang dibagi menjadi 3 bentang dengan panjang bentang masing-masing 40 m.



Gambar 4.6 Pemodelan Jembatan Model A3

- d. Model B1

Jembatan model B1 merupakan jembatan bentang tunggal dengan panjang 60 m.



Gambar 4.7 Pemodelan Jembatan Model B1

e. Model B2

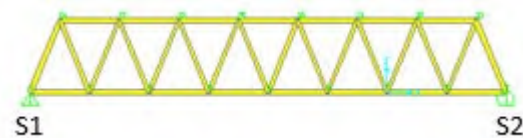
Jembatan model B2 merupakan jembatan bentang tunggal dengan panjang 50 m.



Gambar 4.8 Pemodelan Jembatan Model B2

f. Model B3

Jembatan model B3 merupakan jembatan bentang tunggal dengan panjang 40 m.



Gambar 4.9 Pemodelan Jembatan Model B3

2. Pembebanan.

Beban yang didefinisikan untuk analisa *pushover* adalah beban mati yang berasal dari berat sendiri dari seluruh komponen struktur jembatan, dimana beban tersebut akan dijadikan beban titik pada struktur rangka utama jembatan. Hal ini dikarenakan analisa *pushover* struktur jembatan dilakukan dengan analisa dua dimensi. Adapun pembebanannya adalah sebagai berikut:

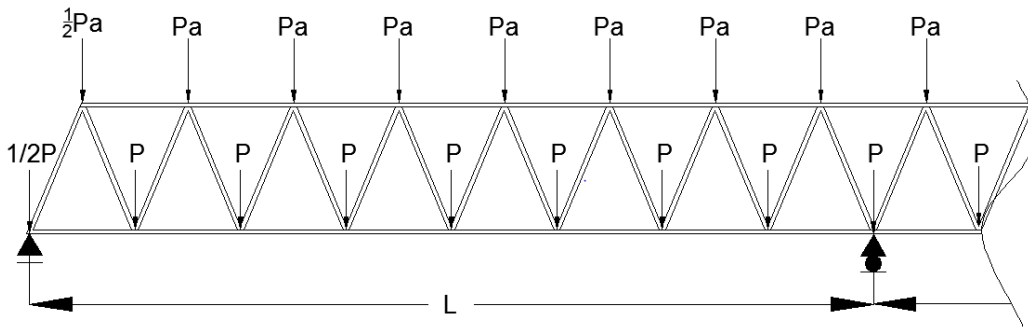
- a. Beban titik yang berasal berasal dari balok melintang

$$P = 10,04 \text{ T/m} \times 4,5 \text{ m} = 45,18 \text{ T}$$

- b. Beban titik yang berasal berasal dari ikatan angin atas

$$P_a = 30,6 \text{ kg/m} \times 4,5 \text{ m} + 38,2 \text{ kg/m} \times (6,7 \text{ m} + 3,35 \text{ m}) = 538,8 \text{ kg}$$

Berikut adalah gambar pembebanan struktur rangka utama pada analisa *pushover* pada salah satu model :



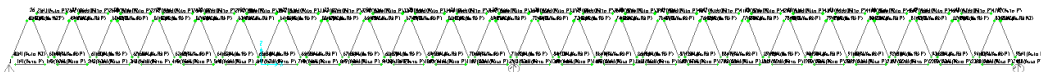
Gambar 4.10 Pembebanan Struktur pada Analisa *Pushover*

3. Pendefinisian beban *pushover*.

Beban *pushover* didefinisikan sebagai beban nonlinier pada *load case* SAP 2000.

4. Pendefinisian *hinge properties*.

Hinge properties pada elemen rangka utama didefinisikan sebagai elemen axial (dalam *frame hinge assignment* didefinisikan sebagai *Auto P*), kecuali pada portal akhir. Pada portal akhir didefinisikan sebagai elemen lentur (dalam *frame hinge assignment* didefinisikan sebagai *Auto M2*). Setelah proses input data *hinges properties* rangka utama, langkah selanjutnya adalah menentukan letak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Pada portal akhir, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih rangka utama sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih rangka utama. Pada rangka selain portal akhir sendi plastis, berada pada tengah bentang dengan mendefinisikan 0,5 pada *hinges properties*. Berikut gambar 4.11 tentang lokasi sendi plastis untuk salah satu model jembatan:



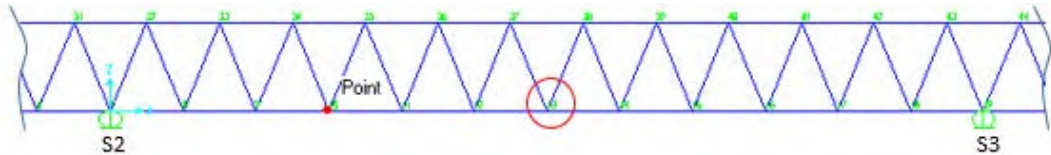
Gambar 4.11 Lokasi Rencana Sendi Plastis Pada Jembatan Model 1

5. Pendefinisian analisa *pushover*.

Dalam analisa *pushover* yang perlu diperhatikan adalah beban dan titik acu. Beban selain tipe analisanya didefinisikan sebagai nonlinier, juga arah beban didefinisikan ke arah Z atau vertikal hal ini dikarenakan analisa dilakukan pada jembatan. Pada jembatan deformasi arah Z lebih dominan

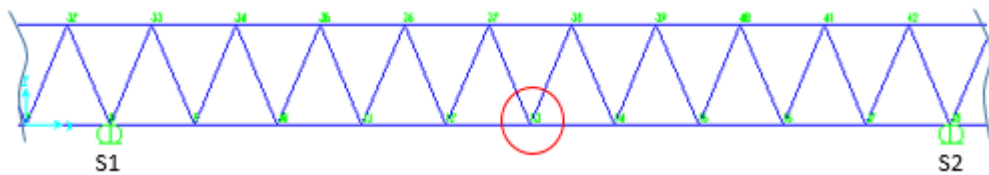
dibandingkan arah lainnya. Selanjutnya sebagai titik acu dalam analisa ini berada pada tengah bentang setiap model jembatan, dimana pada posisi tersebut akan menimbulkan *displacement* terbesar dibandingkan di titik yang lainnya. Berikut adalah posisi titik acu pada masing-masing model jembatan dalam analisa *pushover*:

- a. Jembatan model A1, titik acu berada pada tengah bentang.



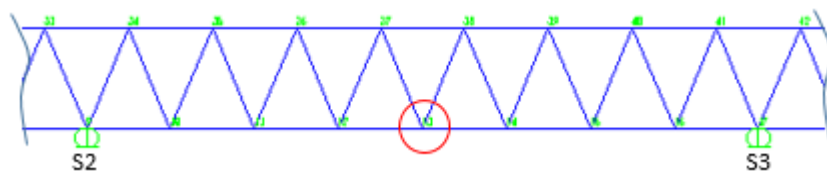
Gambar 4.12 Lokasi Titik Acu Jembatan Model A1

- b. Jembatan model A2, titik acu berada pada tengah-tengah bentang kedua.



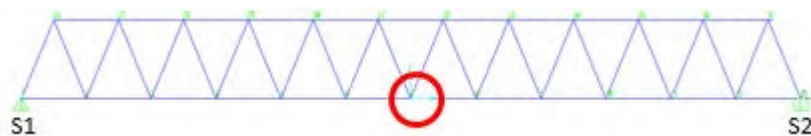
Gambar 4.13 Lokasi Titik Acu Jembatan Model A2

- c. Jembatan model A3, titik acu berada pada tengah-tengah bentang kedua.



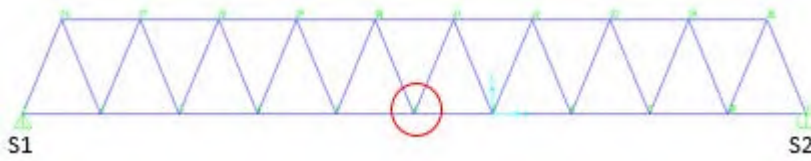
Gambar 4.14 Lokasi Titik Acu Jembatan Model A3

- d. Jembatan model B1, titik acu berada pada tengah bentang.



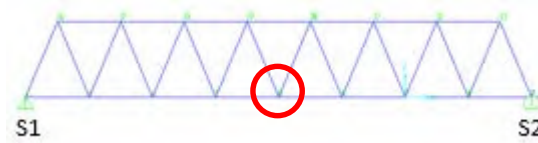
Gambar 4.15 Lokasi Titik Acu Jembatan Model B1

- e. Jembatan model B2, titik acu berada pada tengah bentang.



Gambar 4.16 Lokasi Titik Acu Jembatan Model B2

- f. Jembatan model B3, titik acu berada pada tengah bentang.



Gambar 4.17 Lokasi Titik Acu Jembatan Model B3

6. *Running* analisa *pushover*.

Setelah melakukan *running* analisa *pushover* dengan SAP 2000, akan didapatkan dua hal penting yaitu *capacity curve* dan mekanisme pembentukan sendi plastis sampai batas keruntuhan (yang telah didefinisikan sebagai point A, B, IO, LS, CP, C, D dan E dalam hubungan nonlinier *load deformation*).

4.3.2 Target Displacement

Target displacement dalam analisa statis non linier harus ditetapkan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena dalam prosedur analisis non linier ini beban akan ditingkatkan secara monotonik sampai pada batas tertentu sesuai dengan target perpindahan yang telah ditetapkan dalam *target displacement* tersebut. *Target displacement* merupakan perpindahan maksimum yang terjadi saat struktur mengalami gempa rencana. Berikut adalah *target displacement* menurut FEMA 356 pasal 3.3.3.2 halaman 3-21:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{4\pi} \right)^2 g$$

Berikut adalah parameter yang terdapat pada penentuan *target displacement* sesuai dengan FEMA 356:

C_0 = faktor modifikasi yang menghubungkan nilai *spectral displacement* dan *roof displacement*. Nilai C_0 dapat dilihat pada tabel 3-2 FEMA 356. Berikut tabel nilai faktor modifikasi C_0 :

Tabel 4.2 Nilai Faktor Modifikasi C_0

| Nilai Faktor C_0 | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Jumlah Lantai | Bangunan Geser | | Bangunan Lain |
| | Pola Beban Segitiga | Pola Beban Seragam | Pola Bebab Lain |
| 1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 2 | 1,2 | 1,15 | 1,2 |
| 3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 |
| 5 | 1,3 | 1,2 | 1,4 |
| 10+ | 1,3 | 1,2 | 1,5 |

1. Untuk nilai diantaranya digunakan interpolasi linier
 2. Jenis bangunan yang untuk semua tingkat, semakin bertambah tinggi bangunan drift antar tingkatnya berkurang.

Sumber : FEMA 356

C_1 = Faktor modifikasi untuk korelasi target simpangan inelastik maksimum terhadap simpangan hasil *respons linier analysis*. $C_1 = 1.0 \rightarrow$ untuk $T_e \geq T_s$

C_2 = Koefisien untuk hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356. Berikut tabel nilai faktor modifikasi C_2 :

Tabel 4.3 Nilai Faktor Modifikasi C_2

| Nilai Faktor C_0 | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Tingkat Kinerja Struktur | $T \leq 0,1$ detik ⁽³⁾ | | $T \geq T_s$ detik ⁽³⁾ | |
| | Frame Type 1 ¹ | Frame Type 2 ² | Frame Type 1 ¹ | Frame Type 2 ² |
| Immediate Occupancy | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Live Savety | 1,3 | 1,0 | 1,1 | 1,0 |
| Collapse Prevention | 1,5 | 1,0 | 1,2 | 1,0 |

1. Struktur bangunan yang mampu menahan lebih dari 30% gaya geser lantai di semua tingkat, yang merupakan kombinasi dari komponen, elemen atau frame dari: *ordinary momen resisting frame, CBF, frame dengan partially-restrained connections, tension only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical, piers dan sprendel of reinforced concrete* atau *masonry*
 Semua bangunan yang tidak disebutkan pada frame tipe 1.
 2. Untuk nilai T yang terdapat diantaranya, maka digunakan interpolasi linier.
 3.

Sumber : FEMA 356

C_3 = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta.

Untuk struktur dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$.

S_a = Akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau. Berdasarkan RSNI-T02-2005 S_a didapatkan dari persamaan :

$$\begin{aligned} S_a &= C_D \times S_0 \\ &= 0,92 \times 1,2 \\ &= 1,104 \end{aligned}$$

T_e = periode alami efektif, didapatkan dari analisa *pushover* SAP 2000.

Berikut adalah perhitungan nilai *target displacement* pada semua model jembatan :

target displacement jembatan model A1 :

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,104 \times \frac{0,1791^2}{4\pi^2} \times 9,8 \\ &= 0,1031 \text{ m} = 10,31 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama *target displacement* untuk model lainnya pada tabel berikut ini:

Tabel 4.4 *Target Displacement* Masing-Masing Model Jembatan

| Model | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | S_a | T_e (detik) | δ_T (cm) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-----------------|
| A1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,104 | 0,1791 | 10,31 |
| A2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,104 | 0,1284 | 7,34 |
| A3 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,104 | 0,0818 | 2,72 |
| B1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,104 | 0,2527 | 20,19 |
| B2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,104 | 0,1828 | 11,03 |
| B3 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,104 | 0,1258 | 6,96 |

Setelah didapatkan *target displacement* berikutnya akan diketahui tingkat kinerja struktur dengan mengacu pada besarnya *displacement* tiap step dari analisa *pushover* pada setiap model jembatan.

4.3.3 Tingkat Kinerja Struktur

4.3.3.1 Jembatan model A1

Target displacement, jembatan model A1 menurut FEMA 356 adalah 10,31 cm. Sedangkan *displacement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut :

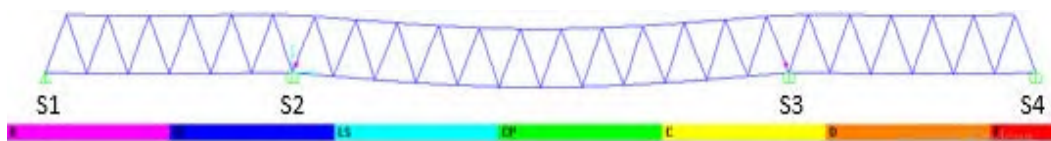
Tabel 4.5 Kinerja Struktur Jembatan model A1

| Step | Displacement (cm) | Base Force (T) | A - B | B - IO | IO-LS | LS - CP | CP - C | C - D | D - E | >E | Total |
|----------|-------------------|----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 0 | 9,8391 | 0,00 | 101 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 1 | 14,7952 | 601,30 | 99 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 2 | 15,2580 | 653,87 | 97 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 3 | 15,3465 | 653,92 | 97 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 4 | 16,5699 | 3218,40 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 5 | 15,3565 | 655,14 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 6 | 15,5992 | 684,58 | 95 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 7 | 16,5699 | 3218,40 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 8 | 15,4738 | 669,37 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 9 | 15,5076 | 669,41 | 95 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 10 | 15,8751 | 669,01 | 95 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 11 | 19,2531 | 667,19 | 95 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 101 |
| 12 | 19,2531 | 667,19 | 95 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 101 |

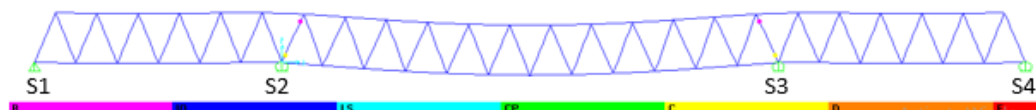
Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 4.5 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan.

Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4.18a saat *target displacement* terlampaui, leleh pertama kali terjadi pada bagian bawah portal akhir S2 dan S3. Pada step 3 seperti pada gambar 4.18b, saat *collapse* terjadi pada bagian bawah portal akhir S2 dan S3, bagian atas portal akhir S2 dan S3 juga terjadi sendi plastis. Pada step 12 seperti pada gambar 4.18c, bagian atas portal akhir S2 dan S3 hancur dan batang diagonal tarik dekat perletakan S2 dan S3 terjadi sendi plastis. Dengan membagi jembatan menjadi 3

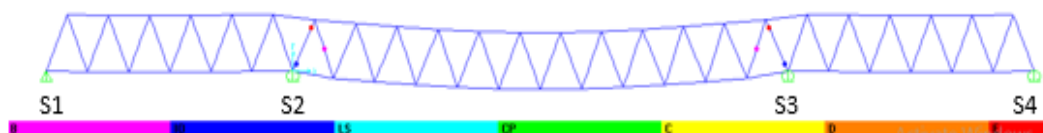
bentang dengan bentang paling panjang 60 m, maka sendi plastis terjadi pada portal akhir dan batang tarik dekat perletakan S2 dan S3.



Gambar 4.18a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A1 Step 1



Gambar 4.18b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A1 Step 3



Gambar 4.18c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A1 Step 12

4.3.3.2 Jembatan model A2

Taget displasement, jembatan model A2 menurut FEMA 356 adalah 7,34 cm.

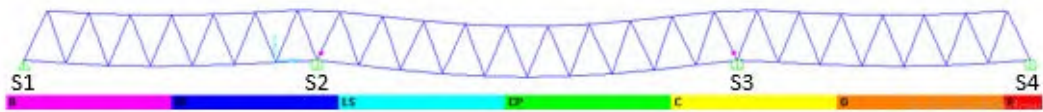
Sedangkan *displasement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Kinerja Struktur Jembatan model A2

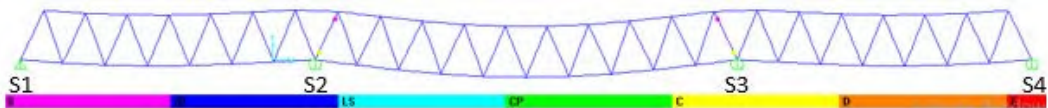
| Step | Displacement (cm) | Base Force (T) | A - B | B - IO | IO - LS | LS - CP | CP - C | C - D | D - E | >E | Total |
|------|-------------------|----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 0 | 5,4285 | 0,00 | 101 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 1 | 9,9230 | 980,03 | 99 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 2 | 10,2625 | 1047,25 | 97 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 3 | 10,3468 | 1047,31 | 97 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 4 | 11,3234 | 3677,93 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 5 | 10,3568 | 1049,49 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 6 | 10,5087 | 1082,62 | 95 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 8 | 10,4284 | 1065,11 | 95 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 |
| 9 | 10,4640 | 1065,15 | 95 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 10 | 10,8326 | 1064,68 | 95 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 101 |
| 11 | 14,2100 | 1062,41 | 95 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 101 |
| 12 | 14,7616 | 1171,57 | 95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 101 |

Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 4.6 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan.

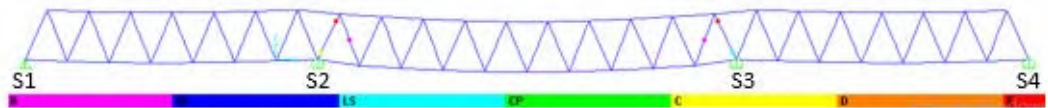
Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4.19a saat *target displacement* terlampaui, leleh pertama kali terjadi pada bagian bawah portal akhir S2 dan S3. Pada step 3 seperti pada gambar 4.19b, saat *collapse* terjadi pada bagian bawah portal akhir S2 dan S3, bagian atas portal akhir S2 dan S3 juga terjadi sendi plastis. Pada step 12 seperti pada gambar 4.19c, bagian atas portal akhir S2 dan S3 hancur dan batang diagonal tarik dekat perletakan S2 dan S3 terjadi sendi plastis. Dengan membagi jembatan menjadi 3 bentang dengan bentang paling panjang 50 m, maka sendi plastis terjadi pada portal akhir dan batang tarik dekat perletakan S2 dan S3.



Gambar 4.19a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model 2 Step 1



Gambar 4.19b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model 2 Step 3



Gambar 4.19c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model 2 Step 12

4.3.3.3 Jembatan model A3

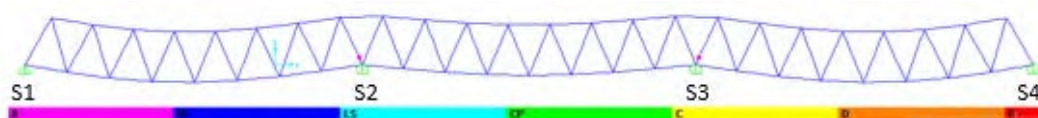
Taget displacement, jembatan model A3 menurut FEMA 356 adalah 2,72 cm. Sedangkan *displacement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Kinerja Struktur Jembatan model A3

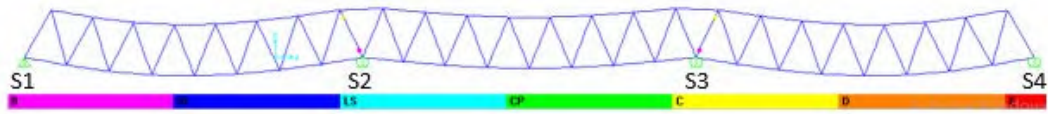
| Step | Displacement (cm) | Base Force (T) | A - B | B - IO | IO - LS | LS - CP | CP - C | C - D | D - E | >E | Total |
|----------|-------------------|----------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 0 | 2,6656 | 0,00 | 102 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| 1 | 3,1622 | 217,91 | 100 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| 2 | 3,2298 | 245,81 | 98 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| 3 | 3,2443 | 246,56 | 98 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 102 |
| 4 | 3,6064 | 2760,09 | 96 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| 5 | 3,2453 | 247,00 | 96 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| 6 | 3,2603 | 247,70 | 96 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| 7 | 3,3447 | 284,72 | 96 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 102 |
| 8 | 8,4773 | 488,70 | 94 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 102 |

Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 4.7 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan.

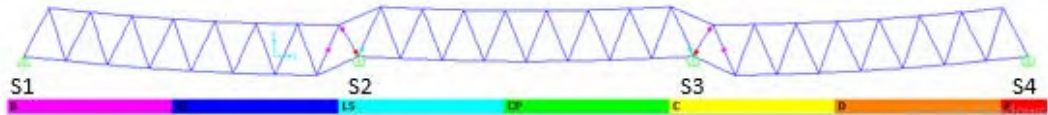
Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4.20a saat *target displacement* terlampaui, leleh pertama kali terjadi pada bagian bawah portal akhir S2 dan S3. Pada step 3 seperti pada gambar 4.20b, saat *collapse* terjadi pada bagian atas portal akhir S2 dan S3, bagian bawah portal akhir S2 dan S3 juga terjadi sendi plastis. Pada step 8 seperti pada gambar 4.20c, bagian bawah portal akhir S2 dan S3 hancur dan batang diagonal tarik dekat perletakan S2 dan S3 terjadi sendi plastis. Dengan membagi jembatan menjadi 3 bentang dengan bentang paling panjang 40 m, maka sendi plastis terjadi pada portal akhir dan batang tarik dekat perletakan S2 dan S3.



Gambar 4.20a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A3 Step 1



Gambar 4.20b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A3 Step 3



Gambar 4.20c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model A3 Step 8

4.3.3.4 Jembatan model B1

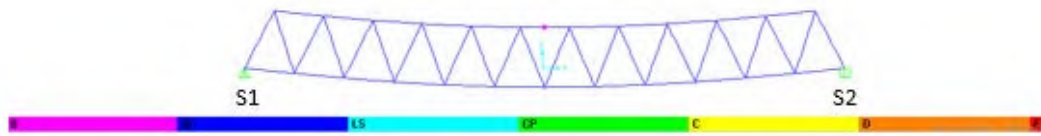
Target displacement, jembatan model B1 menurut FEMA 356 adalah 20,19 cm. Sedangkan *displacement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8 Kinerja Struktur Jembatan model B1

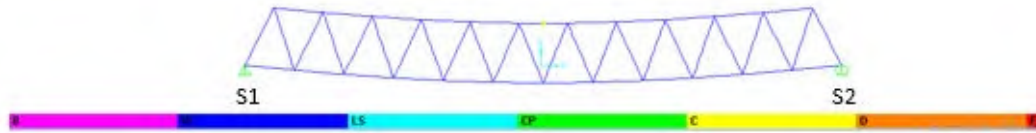
| Step | Displacement (cm) | BaseForce (T) | A - B | B - IO | IO - LS | LS - CP | CP - C | C - D | D - E | >E | Total |
|------|-------------------|---------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 0 | 19,55 | 0,00 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 |
| 1 | 23,91 | 133,11 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 |
| 2 | 25,25 | 144,07 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 49 |
| 3 | 25,26 | 598,06 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 49 |

Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 4.8 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur struktur dan struktur bisa segera digunakan.

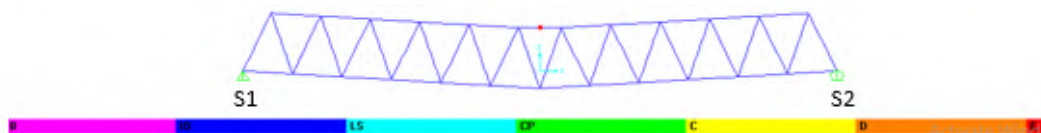
Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4.21a, leleh pertama kali terjadi pada elemen rangka atas di tengah bentang. Pada step 2 seperti pada gambar 4.21b, elemen rangka atas di tengah bentang *collapse*. Pada step 3 seperti gambar 4.21c, pada elemen rangka atas di tengah bentang hancur. Pada jembatan bentang tunggal dengan panjang bentang 60 m, maka sendi plastis terjadi pada rangka atas di tengah bentang.



Gambar 4.21a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B1 Step 1



Gambar 4.21b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B1 Step 2



Gambar 4.21c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B1 Step 3

4.3.3.5 Jembatan model B2

Target displacement, jembatan model B2 menurut FEMA 356 adalah 11,03 cm. Sedangkan *displacement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut :

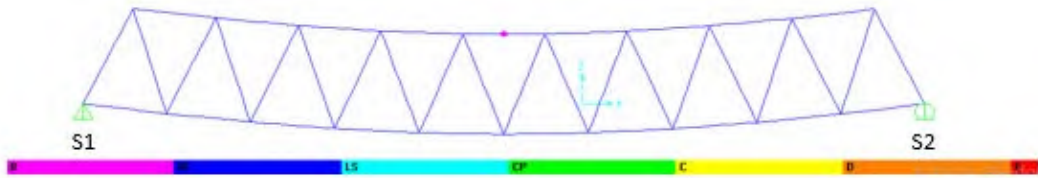
Tabel 4.9 Kinerja Struktur Jembatan model B2

| Step | Displacement (cm) | Base Force (T) | A - B | B - IO | IO - LS | LS - CP | CP - C | C - D | D - E | >E | Total |
|------|-------------------|----------------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|----|-------|
| 0 | 10,244 | 0,00 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 |
| 1 | 18,063 | 374,70 | 40 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 |
| 2 | 19,150 | 387,71 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 41 |
| 3 | 22,530 | 492,42 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 41 |

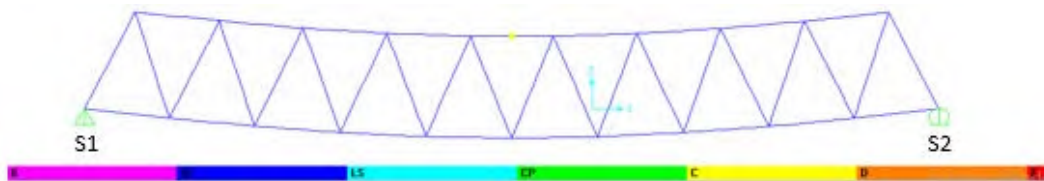
Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 4.9 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan.

Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4.22a, leleh pertama kali terjadi pada elemen rangka atas di tengah

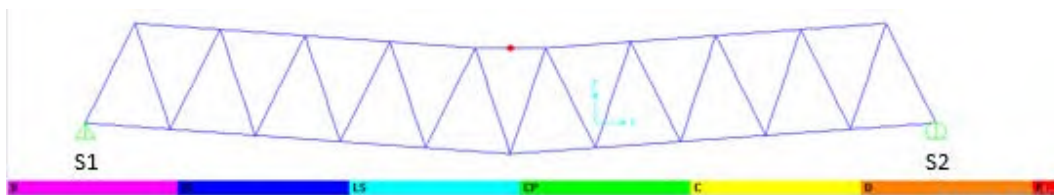
bentang. Pada step 2 seperti pada gambar 4.22b, elemen rangka atas di tengah bentang *collapse*. Pada step 3 seperti gambar 4.22c, pada elemen rangka atas di tengah bentang hancur. Pada jembatan bentang tunggal dengan panjang bentang 50 m, maka sendi plastis terjadi pada rangka atas di tengah bentang.



Gambar 4.22a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B2 Step 1



Gambar 4.22b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B2 Step 2



Gambar 4.22c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B2 Step 3

4.3.3.6 Jembatan Model B3

Target displacement, jembatan model B3 menurut FEMA 356 adalah 6,96 cm. Sedangkan *displacement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut :

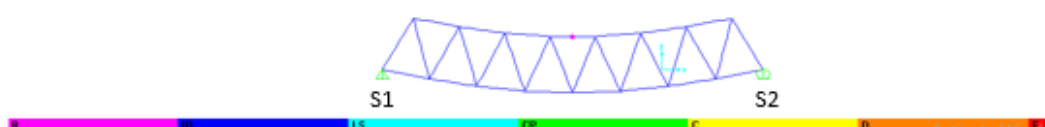
Tabel 4.20 Kinerja Struktur Jembatan model B3

| Step | Displacement (cm) | Base Force (T) | A - B | B - IO | IO - LS | LS - CP | CP - C | C - D | D - E | >E | Total |
|------|-------------------|----------------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|----|-------|
| 0 | 6,81 | 0,00 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 |
| 1 | 12,39 | 315,22 | 32 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 |
| 2 | 13,23 | 325,75 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 33 |
| 3 | 20,11 | 386,42 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 33 |

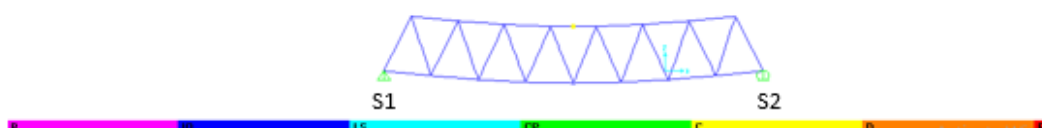
Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 4.10 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level

kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan.

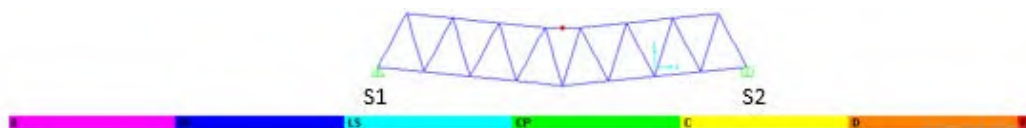
Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4.23a, leleh pertama kali terjadi pada elemen rangka atas di tengah bentang. Pada step 2 seperti pada gambar 4.23b, elemen rangka atas di tengah bentang *collapse*. Pada step 3 seperti gambar 4.23c, pada elemen rangka atas di tengah bentang hancur. Pada jembatan bentang tunggal dengan panjang bentang 40 m, maka sendi plastis terjadi pada rangka atas di tengah bentang.



Gambar 4.23a Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B3 Step 1



Gambar 4.23b Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B3 Step 2



Gambar 4.23c Pola Keruntuhan Pada Jembatan Model B3 Step 3

4.3.4 Nilai Daktilitas

dari kurva kapasitas akan didapatkan nilai daktilitas dari masing-masing model jembatan. Dimana daktilitas didapatkan dari persamaan :

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

μ = daktilitas

δ_u = *displacement* diambang keruntuhan struktur

δ_y = *displacement* pada saat leleh pertama

4.3.4.1 Daktilitas semua jembatan model A

Berikut adalah nilai daktilitas dari semua model jembatan A, dimana model A merupakan jembatan menerus dengan letak perletakan yang berbeda-beda.

Tabel 4.31 Nilai Daktilitas dari Semua Model A

| Model | Base Force (T) | | Leleh pertama | ambang keruntuhan | daktilitas |
|-------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------|
| | Leleh pertama | ambang keruntuhan | δ_y (cm) | δ_m (cm) | μ |
| A1 | 601,30 | 653,92 | 14,80 | 15,35 | 1,04 |
| A2 | 980,03 | 1047,31 | 9,92 | 10,35 | 1,05 |
| A3 | 217,91 | 246,56 | 3,16 | 3,24 | 1,07 |

Tabel 4.11 menunjukkan nilai antara model A1, A2 dan A3. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat perbandingan *base force* dan *displacement* baik pada saat pertama leleh maupun pada saat diambang keruntuhan. Dari *displacement* tersebut akan didapatkan daktilitas. Pengaruh bentang terpanjang tiap-tiap model dapat dilihat pada besarnya *displacement* yang terjadi. Pada Jembatan A3 *displacement* yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan model A1 dan A2. Dari perbandingan tersebut daktilitas tidak ada selisih yang signifikan diantara ketiga model tersebut, hal ini dikarenakan pada setiap model menggunakan profil optimumnya sehingga tidak bisa diambil perbandingan nilai daktilitas secara linier setiap penambahan panjang bentang dari model tersebut.

Daktilitas aktual (μ_{Δ}) yang terjadi dari ketiga model tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008 ($1,0 \leq \mu_{\Delta} \leq \mu_m$).

4.3.4.2 Daktilitas semua jembatan model B

Berikut adalah perbandingan nilai daktilitas dari semua model jembatan B, dimana model B merupakan jembatan bentang tunggal:

Tabel 4.42 Nilai Daktilitas dari Semua Model Jembatan B

| Model | Base Force (T) | | Leleh pertama | ambang keruntuhan | daktilitas |
|-------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------|
| | Leleh pertama | ambang keruntuhan | δ_y (cm) | δ_m (cm) | μ |
| B1 | 133,11 | 144,07 | 23,91 | 25,25 | 1,06 |
| B2 | 374,70 | 387,71 | 18,06 | 19,15 | 1,07 |
| B3 | 315,22 | 325,75 | 12,39 | 13,23 | 1,09 |

Tabel 4.12 menunjukkan perbandingan antara model B1, B2 dan B3. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat perbandingan *base force* dan *displacement* baik pada

saat pertama leleh maupun pada saat diambang keruntuhan. Dari *displacement* tersebut akan didapatkan daktilitas. Pengaruh panjang bentang tiap-tiap model dapat dilihat pada besarnya *displacement* yang terjadi. Pada Jembatan B3 *displacement* yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan model B1 dan B2. Dari perbandingan tersebut daktilitas tidak ada selisih yang signifikan diantara ketiga model tersebut, hal ini dikarenakan pada setiap model menggunakan profil optimumnya sehingga tidak bisa diambil perbandingan nilai daktilitas secara linier setiap penambahan panjang bentang dari model tersebut.

Daktilitas aktual (μ_{Δ}) yang terjadi dari ketiga model tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008 ($1,0 \leq \mu_{\Delta} \leq \mu_m$).

LAMPIRAN 1. PERENCANAAN PELAT LANTAI KENDARAAN

1 Perencanaan Pelat lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan, dimana ketebalannya diatur dalam SNI T 12-2004 pasal 5.5.2 Hal 38, yang harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$200 \leq D \geq 100 + 40 L$$

Dimana :

D adalah ketebalan pelat kendaraan (mm)

L adalah jarak antar balok memanjang (mm)

$$200 \leq D \geq 100 + 40 L$$

$$200 \leq D \geq 100 + 40 \cdot 5$$

$$200 \leq D \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{Maka digunakan } D = 250 \text{ mm}$$

2 Pembebanan Pada Pelat Lantai Kendaraan

2.1 Berat jenis bahan

Berat jenis bahan diatur dalam RSNI T-02-2005 (Pasal 5.2 Hal.11 Tabel 3)

yaitu sebagai berikut :

$$\text{Massa jenis aspal } (\gamma_{asp}) = 2,2 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Massa jenis beton } (\gamma_{btn}) = 2,4 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Massa jenis air } (\gamma_{air}) = 1,0 \text{ T/m}^3$$

2.2 Faktor beban

Faktor beban (*Load Factor*) diatur dalam RSNI T-02-2005, Hal.08

, yaitu sebagai berikut :

$$\text{Beton/ BS} = 1,3$$

$$\text{Aspal / BST} = 1,4$$

$$\text{Beban Hidup} = 1,8$$

2.3 Perhitungan Pembebanan

2.3.1 Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{A. Beban sendiri pelat} &= D \times S \times \gamma_{btn} \\ &= 0,25 \times 1,75 \times 2,4 \\ &= 1,05 \text{ T/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B. Beban aspal} &= T_{asp} \times S \times \gamma_{asp} \\ &= 0,07 \times 1,75 \times 2,2 \\ &= 0,27 \text{ T/m} \end{aligned}$$

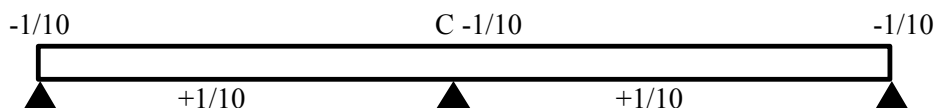
$$\begin{aligned} \text{Beban mati total (qD)} &= [qD_{asp} \times LF] + [qD_{plt} \times LF] \\ &= [0,27 \times 1,4] + [1,05 \times 1,3] \\ &= 1,74 \text{ T/m} \end{aligned}$$

2.3.2 Beban Roda

Menurut RSNI T-02-2005 pasal 6.4.1 Halaman 19 disebutkan dalam gambar berat as roda yaitu sebesar $P = 112,5 \text{ kN}$. RSNI T-02-2005 gambar 8 Halaman 22 menerangkan bahwa nilai DLA (faktor beban dinamis) untuk pembebanan truk "T" diambil = 30% .

$$\begin{aligned}
\text{Beban Roda (P}_{\text{RODA}}) &= P \times (1 + \text{DLA}) \times \text{LF} \\
&= 112,5 \times (1,0 + 0,3) \times 1,8 \\
&= 112,5 \times 1,3 \times 1,8 \\
&= 263 \text{ kN} \\
&= 26,3 \text{ T}
\end{aligned}$$

3 Perhitungan Momen Pada Pelat lantai Kendaraan



3.1 Momen Akibat Beban Mati

Karena dianggap Komposit maka $S = bI$

$$S = 1,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen beban mati (MqD)} &= 1/10 \times qD + bl^2 \\
&= 1/10 \times 1,74 + 1,75^2 \\
&= 0,53 \text{ Tm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen beban kendaraan (MqT)} &= 0,8 \times \left(\frac{S+0,6}{10} \right) \times P \\
&= 0,8 \times \left(\frac{1,75 + 0,6}{10} \right) \times 26,33 \\
&= 4,95 \text{ Tm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen maksimum} &= 0,53 \text{ Tm} + 4,95 \text{ Tm} \\
&= 5,48 \text{ Tm}
\end{aligned}$$

4 Penulangan Pelat lantai Kendaraan

Direncanakan pelat lantai kendaraan :

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

$$\text{Lebar pelat lantai (S=b1)} = 1750 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut pelat lantai (d')} = 40 \text{ mm (SNI T-12-2004 pasal 4.6.3)}$$

$$\text{Diameter tul. Lentur (C)} = 16 \text{ (A = 201,06 mm}^2\text{)}$$

$$\text{tul. Susut (Ø)} = 12 \text{ (A = 113,10 mm}^2\text{)}$$

$$\text{Fak Red Kek (K}_{\text{CR}}) : \text{Lentur} = 0,75 \rightarrow \text{Berdasarkan BDC Tabel 6.1 hal 6-17}$$

$$\text{Geser} = 0,6$$

$$\begin{aligned}
\text{Tebal efektif pelat lantai (d)} &= Ts - d' - \frac{C}{2} \\
&= 250 - 40 - \frac{16}{2} \\
&= 202,0 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Mutu beton

$$f_c = 35 \text{ Mpa} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 360 \text{ Mpa} = 3600 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu baja

$$f_u = 500 \text{ Mpa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 290 \text{ Mpa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

- Rasio tulangan berdasarkan BDM, sec.5 Hal 5-10

$$\begin{aligned} \text{Rasio Tulangan } (\rho \text{ min}) \quad \rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{290} \\ &= 0,004828 \end{aligned}$$

- Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 10.4.3

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 1,4 - \frac{d'}{2000} \geq 1,1 \\ &= 1,4 - \frac{40}{2000} \geq 1,1 \\ &= 1,38 \geq 1,1 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai $\beta_1 = 1,38$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c}{f_y} \times \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 1,38 \times 35}{290} \times \left[\frac{600}{600 + 290} \right] \\ &= 0,141569 \times 0,7 \\ &= 0,09544 \end{aligned}$$

- Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 12.3.3

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,10 \\ &= 0,07158 \\ K_{CR}^R \times f_y &= 0,75 \times 290 \\ &= 218 \\ M^* &= \frac{Mu}{K_{CR}} \\ &= \frac{54826794}{0,75} \\ &= 73102392 \\ \frac{M^*}{bd^2} &= \frac{73102391,67}{1750 \times 40804} \\ &= 1,0237 \\ \frac{f_y^2}{f_c} &= \frac{84100}{35} \\ &= 2402,86 \\ \rho \text{ perlu} &= \frac{K_{CR} \times f_y - \sqrt{[K_{CR} \times f_y]^2 - 2,4 \times K_{CR} \left(\frac{M^*}{bd^2} \right) \left(\frac{f_y^2}{f_c} \right)}}{1,2 \times K_{CR} \times \left(\frac{f_y^2}{f_c} \right)} \\ &= \frac{0,75 \times 290 - \sqrt{[0,75 \times 290]^2 - 2,4 \times 0,8 [1,02] [2403]}}{1,2 \times 0,75 \times [2402,86]} \\ &= \frac{218 - \sqrt{[47306,25]} - 1,8 \times [1,02] \times [2403]}{2162,57143} \\ &= \frac{218 - 198}{2162,57} = 0,008863 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,00483 < 0,00886 < 0,07157981 \quad \text{OK} \rightarrow \text{Nilai } \rho \text{ pakai} = 0,00886$$

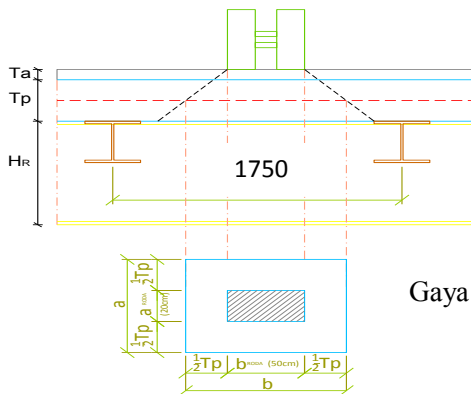
$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,00886 \times 1750 \times 202 \\ &= 3133,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{pasang}} &= \frac{b \times D_{\text{tul.lentur}}}{\text{As perlu}} \\ &= \frac{1750 \times 201,1}{3133,02} \\ &= 112,31 \text{ mm}^2 \rightarrow \begin{cases} \text{dipasang D 16} - 100 \\ \text{[As = 3519]} \text{ Arah X} \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,00483 \times 1750 \times 202 \\ &= 1706,55 \text{ mm}^2 \rightarrow \begin{cases} \text{dipasang } \varnothing 12 - 100 \\ \text{[AS = 1979]} \text{ Arah Y} \end{cases} \end{aligned}$$

5 Kontrol Geser Pons

Akibat tekanan roda truk sebesar $P_{\text{truk}} = 112,5 \text{ kN}$. Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.4.1 Hal 22 .



Diketahui :

$$\begin{aligned} a_{\text{roda}} &= 200 \text{ mm} \\ b_{\text{roda}} &= 500 \text{ mm} \\ K_{TT}^U \text{ (BT)} &= 1,8 \\ \text{DLA} &= 0,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser (V)} &= P_{\text{roda}} \times \left[1 + \text{DLA} \right] \times \text{LF} \\ &= 11,25 \times \left[1 + 0,3 \right] \times 1,8 \\ &= 26,3 \text{ T} \end{aligned}$$

Gambar Lintasan Kritis

$$\begin{aligned} a &= a_{\text{roda}} + T_a + 0,5 \times T_p \\ &= 200 + 120 + 0,5 \times 250 \\ &= 445 \text{ mm} \\ b &= b_{\text{roda}} + T_a + 0,5 \times T_p \\ &= 500 + 120 + 0,5 \times 250 \\ &= 745 \text{ mm} \\ bw &= 2 \times a + 2 \times b \\ &= 2 \times 445 + 2 \times 745 \\ &= 2380 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kemampuan geser nominal beton V_c

$$V_c = 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times bw \times d$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,6 \times \frac{1}{6} \times 5,92 \times 2380 \times 202 \\
 &= 284421,452 \text{ N} \\
 &= 28,44 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Kontrol geser pons yang terjadi

$$\begin{array}{rcl}
 V & < & V_c \\
 26,325 & < & 28,44 \rightarrow \text{OK} \blacktriangleright \text{AMAN}
 \end{array}$$

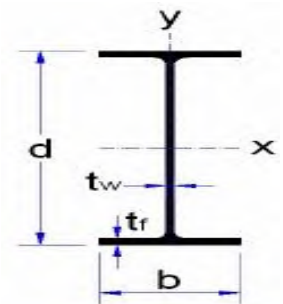
LAMPIRAN 2. PERENCANAAN BALOK MEMANJANG

1 Perencanaan Balok Memanjang

Direncanakan balok memanjang dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

Balok memanjang dengan data WF : 400 x 300 x 9 x 14

| | | | | | |
|----------------|---|--------------------------------------|----------------|---|-----------------------|
| W | = | 94,3 kg/m | I _x | = | 33700 cm ⁴ |
| d | = | 386 mm | I _y | = | 6240 cm ⁴ |
| b | = | 300 mm | S _x | = | 1740 cm ³ |
| t _w | = | 9 mm | S _y | = | 418 cm ³ |
| t _f | = | 14 mm | i _x | = | 16,70 cm |
| A _g | = | 120,1 cm ² | i _y | = | 7,21 cm |
| r | = | 22,0 mm | Z _x | = | 1846 cm ³ |
| h | = | 386 - 2(t _f + r) = 328 mm | | | |



Mutu beton

| | | | | |
|----------------|---|---------|---|-------------------------|
| f _c | = | 35 Mpa | = | 350 kg/cm ² |
| f _y | = | 420 Mpa | = | 4200 kg/cm ² |

Mutu baja

Baja BJ-42

| | | | | |
|----------------|---|---------|---|-------------------------|
| f _u | = | 500 Mpa | = | 5000 kg/cm ² |
| f _y | = | 290 Mpa | = | 2900 kg/cm ² |

2.2 Perhitungan Pembebanan Pada Balok Memanjang

2.1 Berat jenis bahan

Berat jenis bahan diatur dalam RSNI T-02-2005 (Pasal 5.2 Hal.11 Tabel 3) yaitu sebagai berikut :

| | | |
|---------------------------------------|---|-----------------------|
| Massa jenis aspal (γ _{asp}) | = | 2,2 T/m ³ |
| Massa jenis beton (γ _{btn}) | = | 2,4 T/m ³ |
| Massa jenis kayu (γ _{kayu}) | = | 0,80 T/m ³ |

2.2.1 Faktor beban

Faktor beban (*Load Factor*) diatur dalam RSNI T-02-2005, Hal.08

, yaitu sebagai berikut :

| | | |
|-------------|---|-----|
| Beton/ BS | = | 1,3 |
| Baja | = | 1,1 |
| Aspal / BST | = | 1,4 |
| Beban hidup | = | 1,8 |

2.3 Perhitungan Pembebanan

A. Beban Mati

| | | | | | | | | |
|---------------------|---|------------------|---|------|---|------------------|---|-----|
| ● Berat pelat beton | = | D | x | S | x | γ _{btn} | x | LF |
| | = | 0,25 | x | 1,75 | x | 2,4 | x | 1,3 |
| | = | 1,365 T/m | | | | | | |
| ● Berat aspal | = | T _{asp} | x | S | x | γ _{asp} | x | LF |
| | = | 0,05 | x | 1,75 | x | 2,2 | x | 1,4 |
| | = | 0,27 T/m | | | | | | |

- Berat sendiri profil

$$\begin{aligned}
 &= W_{\text{prof}} \times \text{LF} \\
 &= 0,094 \times 1,1 \\
 &= 0,10 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

- Berat trotoar

$$\begin{aligned}
 &= D \times S \times \gamma_{\text{btn}} \times \text{LF} \\
 &= 0,25 \times 1 \times 2,4 \times 1,3 \\
 &= 0,25 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

- Beban mati total (q_D)

$$\begin{aligned}
 &= q_{D_{\text{plt}}} + q_{D_{\text{asp}}} + W_{\text{prof}} + W_{\text{trotoar}} \\
 &= 1,365 + 0,27 + 0,10 + 0,3 \\
 &= 1,99 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban mati (M_{qD})

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{10} \times q_D \times b_1^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 1,99 \times 3,1 \\
 &= 0,609 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

B. Beban Hidup

• BEBAN UDL

Pembebanan UDL berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1.2 Halaman 15

$$L = 60 \text{ m}$$

$$S = b_1 = 1,75 \text{ m}$$

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1.2 Halaman 15, yaitu :

A. Beban hidup merata (q_{UDL})

$$\begin{aligned}
 L > 30 \text{ m} ; \quad q &= 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{60} \right) \\
 &= 6,75 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{UDL} &= q_{UDL} \times b_1 \times \text{LF} \\
 &= 6,75 \times 1,75 \times 1,8 \\
 &= 21,26 \text{ kN/m} \\
 &= 2,126 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

• BEBAN KEL

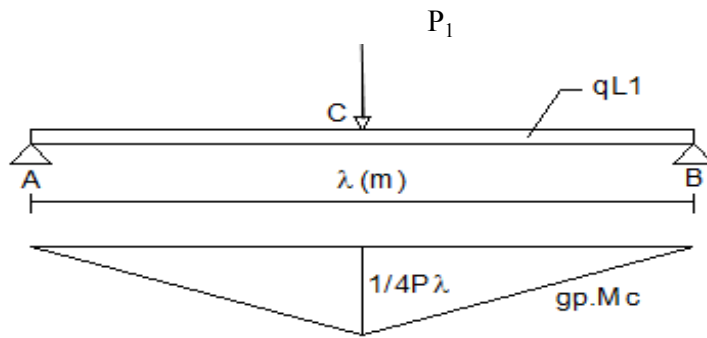
Pembebanan ini berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1.3 Halaman 16, yaitu :

$$q_{\text{KEL}} = 49 \text{ kN/m}$$

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.6.3 Gambar 8 Halaman 21, yaitu :

$$\text{DLA untuk KEL} = 30 \%$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= q_{\text{KEL}} \times 1 + \text{DLA} \times b_1 \times \text{LF} \\
 &= 49 \times 1 + 0,3 \times 1,8 \times 1,8 \\
 &= 200,7 \text{ kN} \\
 &= 20,07 \text{ T}
 \end{aligned}$$

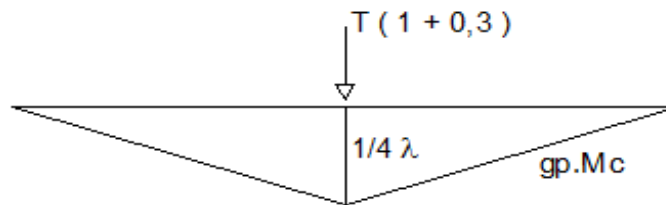


Gambar Pembebanan Akibat Beban KEL

$$\begin{aligned}
 \lambda &= 5,00 \text{ m} \\
 M_{L1} &= \frac{1}{8} \times Q_{UDL} \times \lambda^2 + \frac{1}{4} \times P_{KEL} \times \lambda \\
 &= 0,13 \times 2,13 \times 25 + 0,25 \times 20,066 \times 5,00 \\
 &= 31,7 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

• Beban Truk

Menurut RSNI T-02-2005 Pasal 6.4.1 Gambar 7 Hal.19 disebutkan dalam gambar berat as roda yaitu sebesar P : 112,5 kN. Pada RSNI T-02-2005 pasal 6.6.4 Gambar 8 Halaman 21 menerangkan bahwa nilai DLA (faktor beban dinamis) untuk pembebanan truk "T" diambil : 30 %.



Gambar Pembebanan Akibat Beban Truk

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P \times (1 + DLA) \times LF \\
 &= 112,5 \times (1,0 + 0,3) \times 1,8 \\
 &= 112,5 \times 1,3 \times 1,8 \\
 &= 263 \text{ kN} \\
 &= 26,3 \text{ T} \\
 M_{L2} &= \frac{1}{4} \times P_2 \times \lambda \\
 &= 0,25 \times 26,33 \times 5,00 \\
 &= 32,9 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Maka momen total yang terjadi yang diakibatkan oleh beban mati dan beban hidup, ialah :

$$\begin{aligned}
 M_{L1} &= MD + ML \\
 &= 0,61 + 31,7 \\
 &= 32,3 \text{ Tm} \\
 M_{L2} &= MD + ML \\
 &= 0,61 + 32,9 \\
 &= 33,5 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Karena $M_{L1} > M_{L2}$, maka dipakai momen akibat beban truk yaitu 34 Tm

3 Kontrol Terhadap Profil Baja

3.1 Kontrol Penampang Profil

Berdasarkan RSNi T-03-2005 Tabel 4 Hal.16 dan 17

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2.t_f} = \frac{300}{28} = 10,71$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 31,57$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak}$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{328}{9} = 36,44$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 311,97$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak}$$

Berdasarkan RSNi T-03-2005 Pasal 7.2.3 Hal.31

Karena Penampang Kompak, maka $M_n = M_p$

3.2 Kontrol Tegangan Lentur (Tekuk Lateral)

$$L = 1,75 \text{ cm}$$

$$L_p = 333,245 \text{ cm (tabel LRFD)}$$

Berdasarkan RSNi T-03-2005 Pasal 7.3.5 Hal.34

$$L \leq L_p$$

$$1,75 \leq 333,245 \rightarrow \text{Bentang Pendek}$$

$$M_n = M_p \text{ adalah Bentang Pendek}$$

$$M_p = Z_x \times f_y$$

$$= 1846000 \times 290$$

$$= 535340000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_p = 53,53 \text{ Tm}$$

Maka,

$$\phi M_n \geq M_u \rightarrow \text{Berdasarkan LRFD Hal.85}$$

$$0,9 \times 53,53 \geq 33,52$$

$$48,18 \geq 33,52 \rightarrow \text{OK}$$

3.3 Kontrol Lendutan (Balok)

$$\lambda = 5,00 \text{ m}$$

Lendutan ijin :

$$f_{\text{ijin}} = \frac{\lambda}{800} = \frac{500}{800} = 0,625 \text{ cm (RSNi T-03-2005 Pasal 4.7.2)}$$

Lendutan akibat KEL + UDL :

$$\begin{aligned}
 f^\circ &= \frac{5}{384} \frac{Q_L}{E} \frac{\lambda^4}{I_x} + \frac{1}{48} \frac{P_L}{E} \frac{L^3}{I_x} \\
 &= \frac{5}{384} \frac{21,26}{2100000} \frac{5,00^4}{0,000337} + \frac{1}{48} \frac{200,7}{2100000} \frac{5,00^3}{0,000337} \\
 &= \frac{33222,66}{271756,80} + \frac{12540,94}{33969,60} \\
 &= 0,12225 + 0,36918 \\
 &= 0,491 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

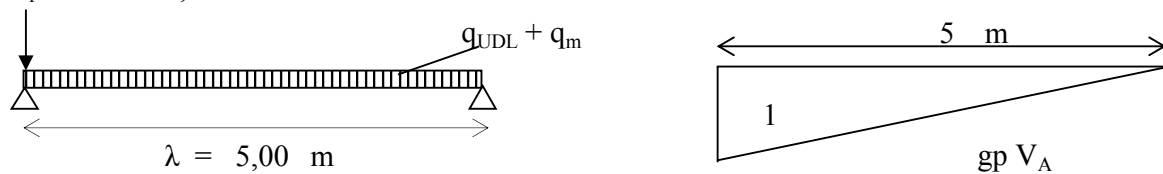
$$\begin{aligned}
 f_{\text{ijin}} &\geq f^\circ \\
 0,625 &\geq 0,491 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

3.4 Kontrol Tegangan Geser

Gaya geser maksimum terjadi pada saat beban hidup berada dekat perletakan

1. Akibat beban mati + UDL + KEL

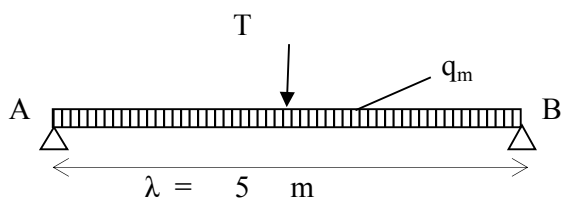
$$P_1 = 20,1 \text{ T}$$



Gambar Garis Pengaruh Akibat Beban mati + KEL + UDL

$$\begin{aligned}
 V_A &= P_1 + 1/2 q_{UDL} \lambda + 1/2 q_{MU} \lambda \\
 &= 20,1 + 0,5 \cdot 2,126 \cdot 5 + 0,5 \cdot 19,882 \cdot 5 \\
 &= 100,3 \text{ kN} \\
 &= 10,03 \text{ T}
 \end{aligned}$$

2. Akibat beban mati + beban truk T



Gambar Beban mati + T

$$\begin{aligned}
 V_A &= T + 1/2 q_{MU} \lambda \\
 &= 26,33 + 0,5 \cdot 19,88 \cdot 5 \\
 &= 101,8 \text{ kN} \\
 &= 10,18 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Jadi, V_A yang digunakan adalah $V_{AT} = 10,18 \text{ T}$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &\geq V_{AT} && \rightarrow A_w = d \cdot t_w \\
 0,7 f_y A_w &\geq 10,18 \\
 0,7 \cdot 0,029 \cdot 3474 &\geq 10,18 \\
 70,5222 &\geq 10,18 && \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

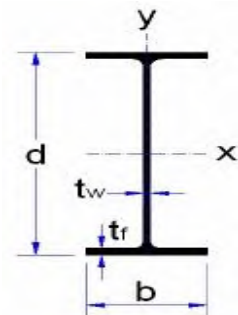
LAMPIRAN 3. PERENCANAAN BALOK MELINTANG

1 Perencanaan Balok Melintang

Direncanakan balok melintang dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

Balok melintang dengan data WF : 800 x 300 x 16 x 30

| | | | | | | | |
|----------------|---|-------------------------------|-----------------|----------------|----|--------|-----------------|
| W | = | 241 | kg/m | I _x | = | 339000 | cm ⁴ |
| d | = | 808 | mm | I _y | = | 13800 | cm ⁴ |
| b | = | 302 | mm | S _x | = | 8400 | cm ³ |
| t _w | = | 16 | mm | S _y | = | 915 | cm ³ |
| t _f | = | 30 | mm | i _x | = | 33,30 | cm |
| A _g | = | 307,6 | cm ² | i _y | = | 6,70 | cm |
| r | = | 28 | mm | Z _x | = | 9287 | cm ³ |
| h | = | 808,0 - 2(t _f + r) | = | 722 | mm | | |



Mutu beton

| | | | | | | |
|----------------|---|-----|-----|---|------|--------------------|
| f _c | = | 35 | Mpa | = | 350 | kg/cm ² |
| f _y | = | 420 | Mpa | = | 4200 | kg/cm ² |

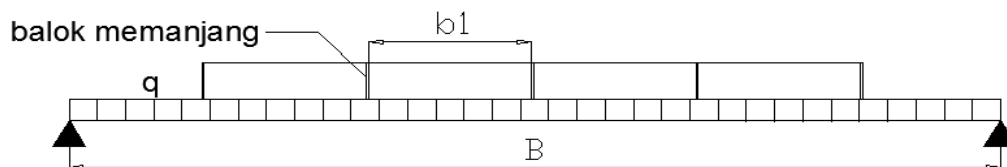
Mutu baja

Baja BJ-42

| | | | | | | |
|----------------|---|-----|-----|---|------|--------------------|
| f _u | = | 500 | Mpa | = | 5000 | kg/cm ² |
| f _y | = | 290 | Mpa | = | 2900 | kg/cm ² |

2 Perhitungan Pembebanan Pada Balok Melintang

A. Beban Mati



Gambar Pembebanan Gelagar Melintang

| | | | | | | |
|---|---|-------------------|-----|-----------------|---|----------------|
| • Berat gelagar memanjang | = | W _{prof} | x | LF | | |
| | = | 0,0943 | x | 1,1 | | |
| | = | 0,10 | T/m | | | |
| • Berat dari melintang | = | q _D | x | n | | |
| | = | 1,99 | x | 5 | | |
| | = | 9,9412 | T/m | | | |
| Beban mati total (q _D) | = | W _{gp} | + | W _{gm} | | |
| | = | 0,10 | + | 9,94 | | |
| | = | 10,04 | T/m | | | |
| Momen akibat beban mati (M _q) | = | 1/10 | x | q _D | x | B ² |
| | = | 1/10 | x | 10 | x | 81 |
| | = | 67,803 | Tm | | | |

B. Beban Hidup

• BEBAN UDL

Pembebanan UDL berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1.2 Halaman 15

$$L = 60 \text{ m}$$

$$B = 5 \text{ m}$$

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1.2 Halaman 15, yaitu :

A. Beban hidup merata (q_{UDL})

$$L > 30 \text{ m} ; \quad q = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) = \left(9 \cdot 0,5 + \frac{15}{60} \right)$$

$$= 6,75 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{UDL} = q_{UDL} \times B \times LF$$

$$= 6,75 \times 5 \times 1,8$$

$$= 60,75 \text{ kN/m}$$

$$= 6,075 \text{ T/m}$$

• BEBAN KEL

Pembebanan ini berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1.3 Halaman 16, yaitu :

$$q_{KEL} = 49 \text{ kN/m}$$

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 6.6.3 Gambar 8 Halaman 21, yaitu :

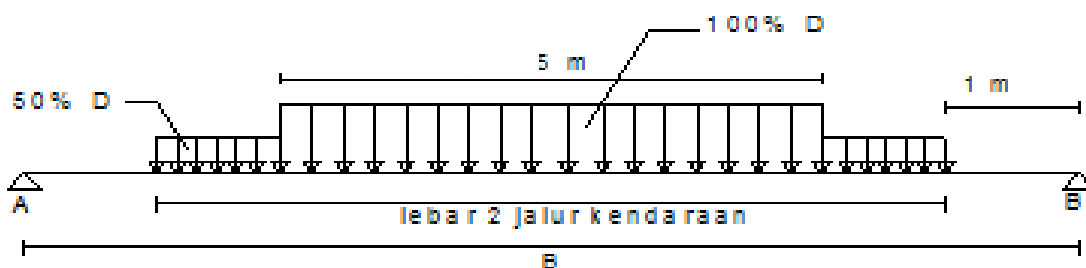
$$DLA \text{ untuk KEL} = 30 \%$$

$$P_1 = q_{KEL} \times (1 + DLA) \times LF$$

$$= 49 \times (1 + 0,3) \times 2$$

$$= 114,66 \text{ kN/m}$$

$$= 11,47 \text{ T/m}$$



Gambar Pembebanan Akibat Beban KEL

$$\text{Beban "D"} = \text{Beban UDL} + \text{Beban KEL}$$

$$= 6,08 + 11,47$$

$$= 17,54 \text{ T/m}$$

$$q_1 = 100\% \times 17,54 = 17,5 \text{ T/m}$$

$$q_2 = 50\% \times 17,54 = 8,77 \text{ T/m}$$

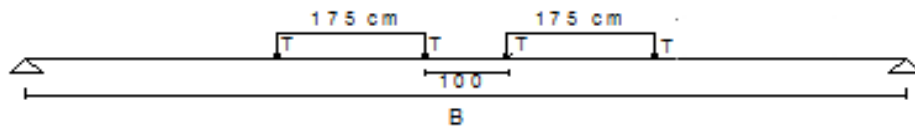
$$\Sigma M_b = 0$$

$$V_a = \frac{(17,5 \times 5 \times 4,5) + (8,8 \times 1,75 \times 6,75) + (8,8 \times 1,5 \times 1,75)}{9}$$

$$V_a = 48,18 \text{ T}$$

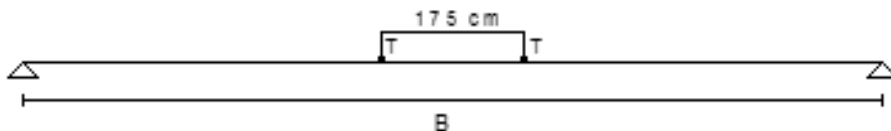
$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= \left\{ q_2 \times 1,5 \times 3 \right\} + \left\{ q_1 \times 2,5 \times 2 \right\} \\
 &= \left\{ 8,771 \times 1,5 \times 3 \right\} + \left\{ 17,5 \times 2,5 \times 2 \right\} \\
 &= 116,21 \quad \text{Tm}
 \end{aligned}$$

• Beban Truk "T"



Gambar Pembebanan Akibat Beban Truk (kondisi 1)

$$\begin{aligned}
 T &= \left[1 + 0,3 \right] \times 112 \times 2 = 291 \text{ kN} = 29,1 \text{ T} \\
 \Sigma R_a &= 0,5 \times \left[4 \times P \right] \\
 &= 0,5 \times \left[4 \times 112 \right] \\
 &= 224 \text{ kN} = 22,4 \text{ T} \\
 \Sigma M_{T1} &= R_a \times 4,5 - T \times L_2 \\
 &= 22,4 \times 4,5 - 29,1 \times 0,5 \\
 &= 86,2 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$



Gambar Pembebanan Akibat Beban Truk (kondisi 2)

$$\begin{aligned}
 \Sigma R_a &= 0,5 \times \left[2 \times P \right] \\
 &= 0,5 \times \left[2 \times 112 \right] \\
 &= 112 \text{ kN} = 11,2 \text{ T} \\
 \Sigma M_{T2} &= R_a \times 4,5 - T \times L_2 \\
 &= 11,2 \times 4,5 - 11,2 \times 1,75 \\
 &= 30,8 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Dipakai Momen beban truk kondisi 1 $86,2 \text{ Tm}$

dari kondisi diatas, maka dipilih kondisi yang memberikan M_{\max} terbesar yaitu KEL + UDL = $116,21 \text{ Tm}$

Maka momen total yang terjadi yang diakibatkan oleh beban mati dan beban hidup, ialah :

$$\begin{aligned}
 M_L &= MD + ML \\
 &= 67,8 + 116,2 \\
 &= 184,01 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

3 Kontrol Terhadap Profil Baja

3.1 Kontrol Penampang Profil

Berdasarkan RSNI T-03-2005 Tabel 4 Hal.16 dan 17

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2.tf} = \frac{307,6}{60} = 5,13$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 31,6$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak}$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{722}{16} = 45,1$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 311,97$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak}$$

Berdasarkan RSNI T-03-2005 Pasal 7.2.3 Hal.31

Karena Penampang Kompak, maka $M_n = M_p$

3.2 Kontrol Tegangan Lentur (Tekuk Lateral)

$$L_b = 1,75 \text{ cm}$$

$$L_p = 295,345 \text{ cm (tabel LRFD)}$$

Berdasarkan RSNI T-03-2005 Pasal 7.3.5 Hal.34

$$L_b \leq L_p$$

$$1,75 \leq 295,345 \rightarrow \text{Bentang Pendek}$$

$$M_n = M_p \text{ adalah Bentang Pendek}$$

$$M_p = Z_x \times f_y$$

$$= 9287000 \times 290$$

$$= 2693230000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_p = 269,32 \text{ Tm}$$

Maka,

$$\phi M_n \geq M_u \rightarrow \text{Berdasarkan LRFD Hal.85}$$

$$0,9 \times 269,32 \geq 184,01$$

$$242,39 \geq 184,01 \rightarrow \text{OK}$$

3.3 Kontrol Lendutan (Balok)

$$\lambda = 9,00 \text{ m}$$

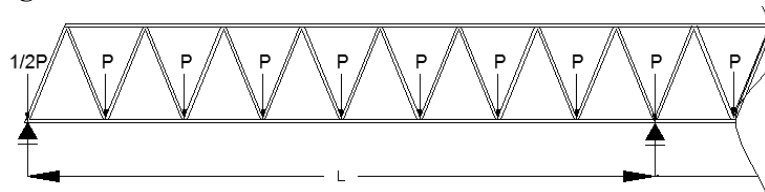
Lendutan ijin :

$$f_{\text{ijin}} = \frac{\lambda}{800} = \frac{900}{800} = 1,125 \text{ cm (RSNI T-03-2005 Pasal 4.7.2)}$$

Dari analisa SAP 2000 didapatkan lendutan sebesar = 0,71 cm < 1,125 cm **OK**

LAMPIRAN.4 PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL A1

Perencanaan rangka utama



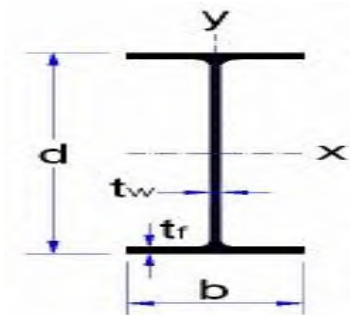
Gambar skema pembebanan rangka utama

a. Portal akhir

Direncanakan rangka utama diagonal tepi dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang atas dengan data WF : 400 x 400 x 18 x 28

| | | | | | |
|----------------|---|-----------------------|----------------|---|------------|
| W | = | 232,0 kg/m | I _x | = | 92800 kg/m |
| d | = | 414 mm | I _y | = | 31000 mm |
| b | = | 405 mm | S _x | = | 4480 mm |
| t _w | = | 18 mm | S _y | = | 1530 mm |
| t _f | = | 28 mm | i _x | = | 17,7 mm |
| A _g | = | 295,4 cm ² | i _y | = | 10,2 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 274,13 T (frame 24)

$L_k = \sqrt{(2,5^2 + 6^2)} = 6,5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{17,7} = 36,723 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{10,2} = 63,725 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} 63,725 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,77$

0,25 < $\lambda_c = 0,77$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,77} = 1,32$

Kuat nominal

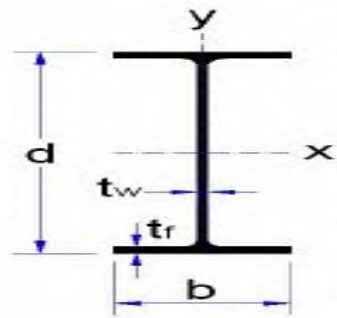
$P_n = A_g \frac{fy}{\omega} = 295,4 \frac{2900}{1,32} = 648319,9848 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 648319,9848 = 551071,99 \text{ kg} > P_u = 274130 \text{ kg} \quad \text{OK}$

b. Batang atas

Direncanakan batang atas rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 18 | x | 28 |
| W | = | 232,0 | kg/m | I _x | = | 92800 | kg/m |
| d | = | 414 | mm | I _y | = | 31000 | mm |
| b | = | 405 | mm | S _x | = | 4480 | mm |
| t _w | = | 18 | mm | S _y | = | 1530 | mm |
| t _f | = | 28 | mm | i _x | = | 17,7 | mm |
| A _g | = | 295,4 | cm ² | i _y | = | 10,2 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 344,78 T (frame 460)
 L_k = 5 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,7} = 28,249$ cm

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,2} = 49,020$ cm

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,020 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,59$

0,25 < λ_c = 0,59 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,59} = 1,19$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 295,4 \frac{2900}{1,19} = 863880,1796$ kg

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 863880,1796 = 734298,15$ kg > P_u = 344780 kg **OK**

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 338,81 T (frame 37)

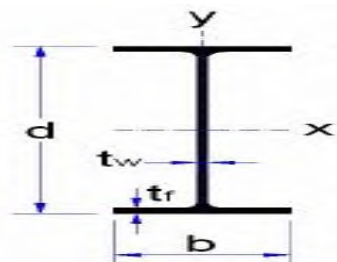
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 295,4] \cdot 0,9 = 225,98$ cm²
 = 0,9 · 5000 · 225,98 = 1016914,5 kg > P_u = 338810 kg **OK**

c. Batang bawah

Direncanakan batang bawah rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 18 | x | 28 |
| W | = | 232,0 | kg/m | I _x | = | 92800 | kg/m |
| d | = | 414 | mm | I _y | = | 31000 | mm |
| b | = | 405 | mm | S _x | = | 4480 | mm |
| t _w | = | 18 | mm | S _y | = | 1530 | mm |
| t _f | = | 28 | mm | i _x | = | 17,7 | mm |
| A _g | = | 295,4 | cm ² | i _y | = | 10,2 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 236,35 \text{ T (frame 6)}$$

$$L_k = 5 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,7} = 28,249 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,2} = 49,020 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,020 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,59$$

$$0,25 < \lambda_c = 0,59 < 1,2 \quad \text{bersifat tekuk inelastis, maka :}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,59} = 1,19$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 295,4 \frac{2900}{1,19} = 863880,1796 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 863880,1796 = 734298,15 \text{ kg} > P_u = 236350 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 257,27 \text{ T (frame 234)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\varphi P_n = \varphi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 295,4] \cdot 0,9 = 225,98 \text{ cm}^2$$

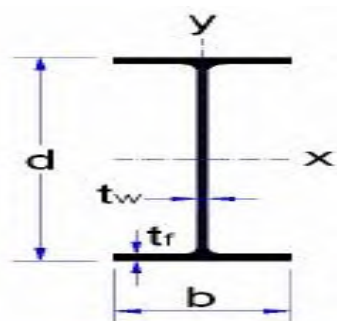
$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 225,98 = 1016914,5 \text{ kg} > P_u = 257270 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

d Batang diagonal tekan

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 15 x 15

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 140,0 kg/m | I _x = 49000 kg/m |
| d = 388 mm | I _y = 16300 mm |
| b = 402 mm | S _x = 2520 mm |
| t _w = 15 mm | S _y = 809 mm |
| t _r = 15 mm | i _x = 16,6 mm |
| A _g = 178,5 cm ² | i _y = 9,54 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 226,27 \text{ T (frame 26)}$$

$$L_k = 7 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{16,6} = 39,157 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{9,5} = 68,134 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 68,134 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,83$$

$$0,25 < \lambda_c = 0,83 < 1,2 \quad \text{bersifat tekuk inelastis, maka :}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,83} = 1,30$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 178,5 \frac{2900}{1,30} = 399240,4742 \text{ kg}$$

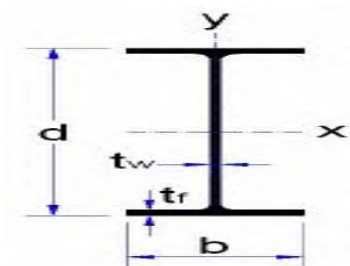
$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 399240,4742 = 339354,40 \text{ kg} > P_u = 226270 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

e Batang diagonal tarik

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 15 x 15

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 140,0 kg/m | I _x = 49000 kg/m |
| d = 388 mm | I _y = 16300 mm |
| b = 402 mm | S _x = 2520 mm |
| t _w = 15 mm | S _y = 809 mm |
| t _f = 15 mm | i _x = 16,6 mm |
| A _g = 178,5 cm ² | i _y = 9,54 mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 272,95 \text{ T (frame 25)}$$

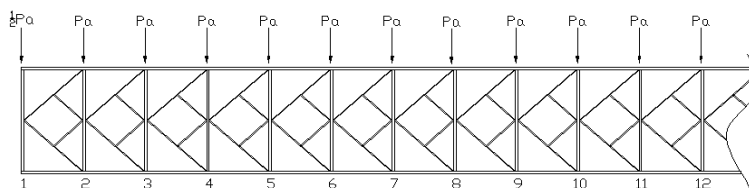
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 178,5] \cdot 0,9 = 136,55 \text{ cm}^2$$

$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 136,55 = 614486,25 \text{ kg} > P_u = 272950 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Perencanaan Ikatan Angin

1 Ikatan Angin Atas



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin Atas

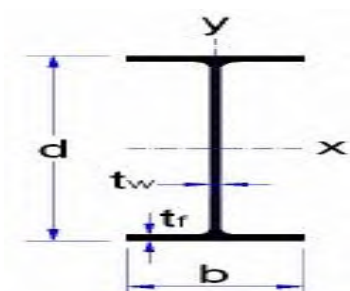
Ikatan angin atas dipasang mulai dari titik 1 sampai titik 25. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang Horizontal

Direncanakan ikatan angin horizontal dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang horizontal dengan data WF : 200 x 150 x 6 x 9

| | |
|--|---------------------------------------|
| W = 30,6 kg/m | I _x = 2690,0 kg/m |
| d = 200 mm | I _y = 507 mm |
| b = 150 mm | S _x = 277 mm |
| t _w = 6 mm | S _y = 67,6 mm |
| t _f = 9 mm | i _x = 8,3 mm |
| A _g = 39,01 cm ² | i _y = 3,61 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 2,73 \text{ T (frame 126)}$

$L_k = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{450}{8,3} = 54,217 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{450}{3,6} = 124,654 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 124,654 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,51$

$\lambda_c = 1,5 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 2,86$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 39,01 \frac{2900}{2,86} = 39604,5 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 39604,50644 = 33663,8 \text{ kg} > P_u = 2730 \text{ kg} \quad \text{OK}$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 0,51 \text{ T (frame 222)}$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

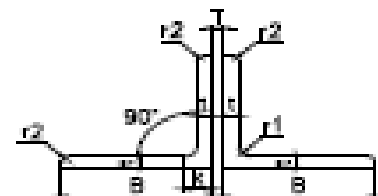
$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 39,01] \cdot 0,9 = 29,84 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 29,84 = 134292 \text{ kg} > P_u = 510 \text{ kg} \quad \text{OK}$

b. Batang diagonal

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

batang diagonal dengan data 2L :

| | | | | | |
|----------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



• Batang diagonal tekan

Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 1,51 \text{ T (frame 223)}$

$L_k = \sqrt{(4,5^2 + 5^2)} = 6,73 \text{ m} \quad L_k = \frac{6,73}{2} = 3,4 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{673}{3,0} = 223,482 \text{ cm}$

$$\text{arah } y \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{673}{4,5} = 148,495 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 223,482 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,71$$

$\lambda_c = 2,7 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 9,18$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{9,18} = 15357,1 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 15357,0798 = 13053,5 \text{ kg} > P_u = 1510 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

• Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

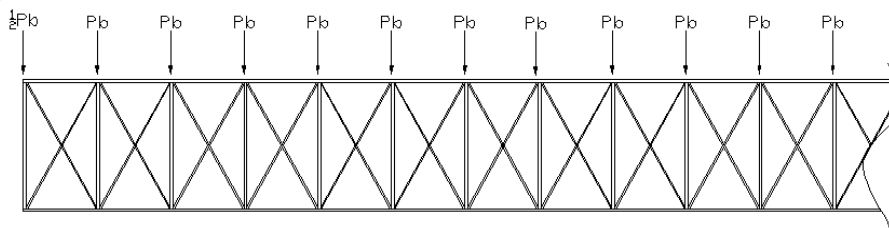
Gaya yang terjadi :

$$P = 1,52 \text{ T (frame 75)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} > P_u = 1520 \text{ kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

2 Ikatan angin bawah



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin bawah

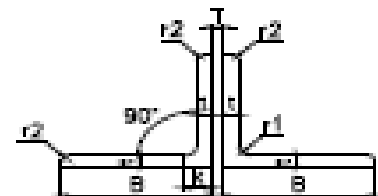
Ikatan angin bawah dipasang mulai dari titik awal sampai akhir. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang diagonal tekan

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

batang diagonal dengan data 2L :

| | | | | | |
|----------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 8,97 \text{ T (frame 373)}$$

$$L = \sqrt{(9^2 + 5^2)} = \frac{10,2956}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gggg \quad \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{515}{3,0} = 171,024 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gggg \quad \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{515}{4,5} = 113,638 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 171,024 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,07$$

$\lambda_c = 2,1 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 5,38$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{5,38} = 26222,9 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 26222,93815 = 22289,5 \text{ kg} > P_u = 8970 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

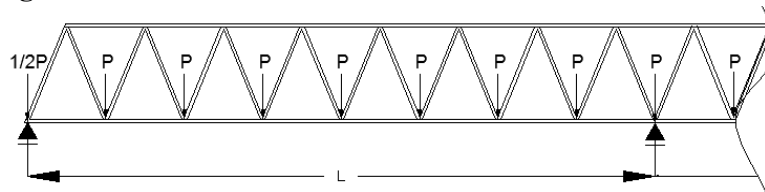
$$P = 9,05 \text{ T (frame 196)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \varphi P_n &= \varphi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} > P_u = 9050 \text{ kg} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

LAMPIRAN.5 PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL A2

Perencanaan rangka utama



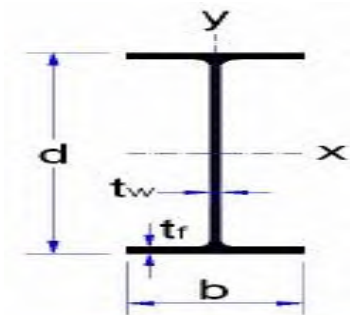
Gambar skema pembebanan rangka utama

a. Portal akhir

Direncanakan rangka utama diagonal tepi dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang atas dengan data WF : 400 x 400 x 16 x 24

| | | | | | |
|----------------|---|-----------------------|----------------|---|------------|
| W | = | 200,0 kg/m | I _x | = | 78000 kg/m |
| d | = | 406 mm | I _y | = | 26200 mm |
| b | = | 403 mm | S _x | = | 3840 mm |
| t _w | = | 16 mm | S _y | = | 1300 mm |
| t _f | = | 24 mm | i _x | = | 17,5 mm |
| A _g | = | 254,9 cm ² | i _y | = | 10,1 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 227,1 \text{ T (frame 26)}$$

$$L_k = \sqrt{(2,5^2 + 6^2)} = 6,5 \text{ m}$$

$$\text{arah x} \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{17,5} = 37,143 \text{ cm}$$

$$\text{arah y} \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{10,1} = 64,356 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 64,356 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,78$$

0,25 < $\lambda_c = 0,78$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,78} = 1,33$$

Kuat nominal

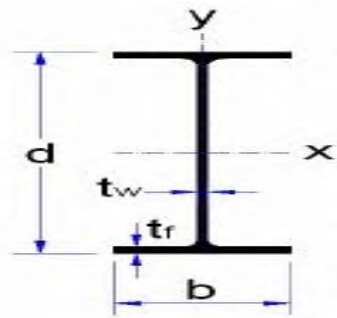
$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 254,9 \frac{2900}{1,33} = 556783,8243 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 556783,8243 = 473266,25 \text{ kg} > P_u = 227100 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

b. Batang atas

Direncanakan batang atas rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 16 | x | 24 |
| W | = | 200,0 | kg/m | I _x | = | 78000 | kg/m |
| d | = | 406 | mm | I _y | = | 26200 | mm |
| b | = | 403 | mm | S _x | = | 3840 | mm |
| t _w | = | 16 | mm | S _y | = | 1300 | mm |
| t _f | = | 24 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 254,9 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 243,46 T (frame 459)
 L_k = 5 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,5} = 28,571 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,1} = 49,505 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,505 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,60$

0,25 < λ_c = 0,60 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,60} = 1,19$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 254,9 \frac{2900}{1,19} = 619161,7368 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 619161,7368 = 526287,48 \text{ kg} > P_u = 243460 \text{ kg} \quad \text{OK}$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 236,70 T (frame 31)

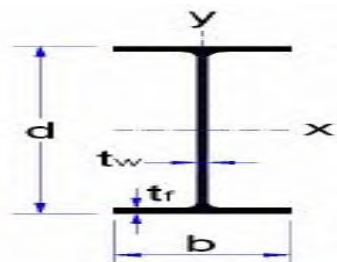
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 254,9] \cdot 0,9 = 195,00 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 195,00 = 877493,25 \text{ kg} > P_u = 236700 \text{ kg} \quad \text{OK}$

c. Batang bawah

Direncanakan batang bawah rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 16 | x | 24 |
| W | = | 200,0 | kg/m | I _x | = | 78000 | kg/m |
| d | = | 406 | mm | I _y | = | 26200 | mm |
| b | = | 403 | mm | S _x | = | 3840 | mm |
| t _w | = | 16 | mm | S _y | = | 1300 | mm |
| t _f | = | 24 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 254,9 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 165,2 \text{ T (frame 28)}$

$L_k = 5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,5} = 28,571 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,1} = 49,505 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,505 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,60$

$0,25 < \lambda_c = 0,60 < 1,2$ bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,60} = 1,19$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 254,9 \frac{2900}{1,19} = 619161,7368 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 619161,7368 = 526287,48 \text{ kg} > P_u = 165200 \text{ kg} \quad \text{OK}$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 181,1 \text{ T (frame 234)}$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

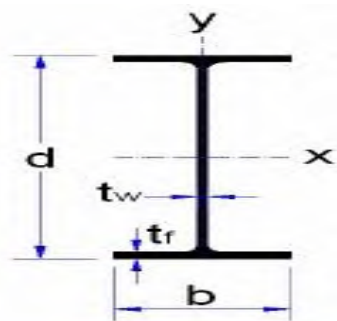
$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 254,9] \cdot 0,9 = 195,00 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 195,00 = 877493,25 \text{ kg} > P_u = 181100 \text{ kg} \quad \text{OK}$

d Batang diagonal tekan

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 15 x 15

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 140,0 kg/m | I _x = 49000 kg/m |
| d = 388 mm | I _y = 16300 mm |
| b = 402 mm | S _x = 2520 mm |
| t _w = 15 mm | S _y = 809 mm |
| t _r = 15 mm | i _x = 16,6 mm |
| A _g = 178,5 cm ² | i _y = 9,54 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 178,85 \text{ T (frame 198)}$

$L_k = 7 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{16,6} = 39,157 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{9,5} = 68,134 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 68,134 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,83$$

$$0,25 < \lambda_c = 0,83 < 1,2 \quad \text{bersifat tekuk inelastis, maka :}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,83} = 1,30$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 178,5 \frac{2900}{1,30} = 399240,4742 \text{ kg}$$

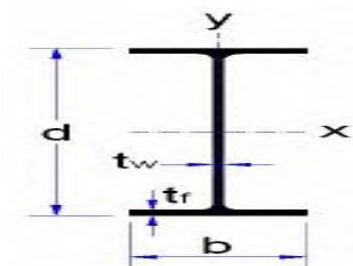
$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 399240,4742 = 339354,40 \text{ kg} > P_u = 178850 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

e Batang diagonal tarik

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 15 x 15

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 140,0 kg/m | I _x = 49000 kg/m |
| d = 388 mm | I _y = 16300 mm |
| b = 402 mm | S _x = 2520 mm |
| t _w = 15 mm | S _y = 809 mm |
| t _f = 15 mm | i _x = 16,6 mm |
| A _g = 178,5 cm ² | i _y = 9,54 mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 225,84 \text{ T (frame 27)}$$

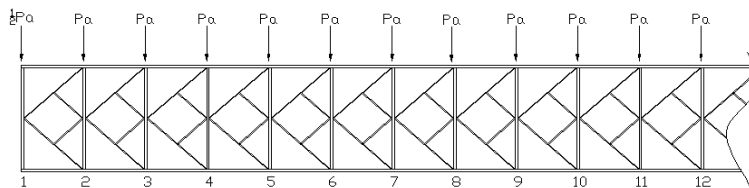
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 178,5] \cdot 0,9 = 136,55 \text{ cm}^2$$

$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 136,55 = 614486,25 \text{ kg} > P_u = 225840 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Perencanaan Ikatan Angin

1 Ikatan Angin Atas



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin Atas

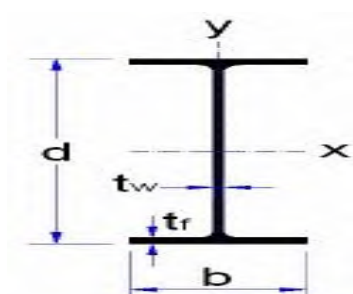
Ikatan angin atas dipasang mulai dari titik 1 sampai titik 25. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang Horizontal

Direncanakan ikatan angin horizontal dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang horizontal dengan data WF : 200 x 150 x 6 x 9

| | |
|--|---------------------------------------|
| W = 30,6 kg/m | I _x = 2690,0 kg/m |
| d = 200 mm | I _y = 507 mm |
| b = 150 mm | S _x = 277 mm |
| t _w = 6 mm | S _y = 67,6 mm |
| t _f = 9 mm | i _x = 8,3 mm |
| A _g = 39,01 cm ² | i _y = 3,61 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 2,86 \text{ T (frame 321)}$

$L_k = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{450}{8,3} = 54,217 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{450}{3,6} = 124,654 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 124,654 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,51$

$\lambda_c = 1,5 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 2,86$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 39,01 \frac{2900}{2,86} = 39604,5 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 39604,50644 = 33663,8 \text{ kg} > P_u = 2860 \text{ kg} \quad \text{OK}$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 0,67 \text{ T (frame 222)}$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

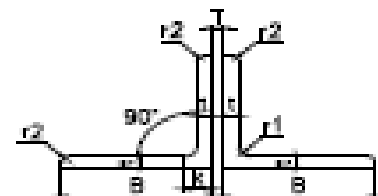
$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 39,01] \cdot 0,9 = 29,84 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 29,84 = 134292 \text{ kg} > P_u = 670 \text{ kg} \quad \text{OK}$

b. Batang diagonal

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

batang diagonal dengan data 2L :

| | | | | | |
|----------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



• Batang diagonal tekan

Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$P = 2,03 \text{ T (frame 75)}$

$L_k = \sqrt{4,5^2 + 5^2} = 6,73 \text{ m} \quad L_k = \frac{6,73}{2} = 3,4 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{673}{3,0} = 223,482 \text{ cm}$

$$\text{arah } y \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{673}{4,5} = 148,495 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 223,482 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,71$$

$\lambda_c = 2,7 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 9,18$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{9,18} = 15357,1 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 15357,0798 = 13053,5 \text{ kg} > P_u = 2030 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

• Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

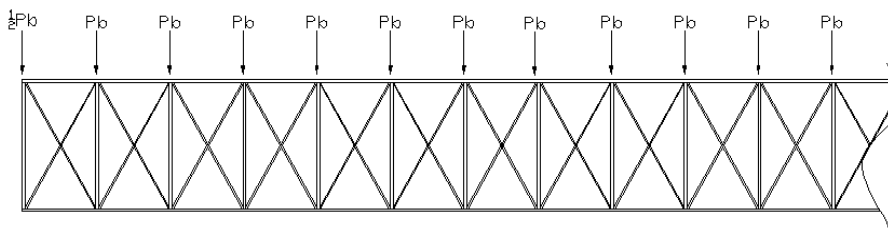
Gaya yang terjadi :

$$P = 2,03 \text{ T (frame 75)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} > P_u = 2030 \text{ kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

2 Ikatan angin bawah



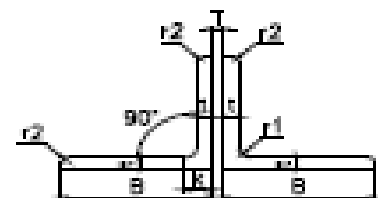
Gambar skema pembebanan Ikatan Angin bawah

Ikatan angin bawah dipasang mulai dari titik awal sampai akhir. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang diagonal tekan

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|--------|-----------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 | | |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = | 440,0 | kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = | 998,75 | mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = | 62,32 | mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = | 95,57 | mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = | 3,01 | mm |
| | | | | i _y | = | 4,53 | cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 14,13 \text{ T (frame 381)}$$

$$L = \sqrt{(9^2 + 5^2)} = \frac{10,2956}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gggg \quad \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{515}{3,0} = 171,024 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gggg \quad \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{515}{4,5} = 113,638 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 171,024 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,07$$

$\lambda_c = 2,1 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 5,38$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{5,38} = 26222,9 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 26222,93815 = 22289,5 \text{ kg} > P_u = 14130 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

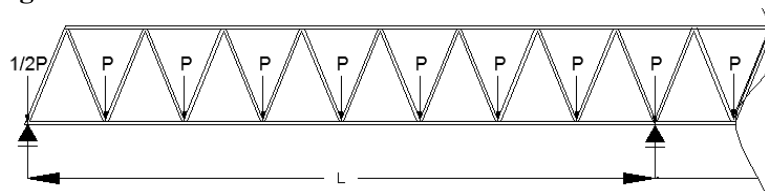
$$P = 13,34 \text{ T (frame 196)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \varphi P_n &= \varphi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} > P_u = 13340 \text{ kg} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

LAMPIRAN.6 PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL A3

Perencanaan rangka utama



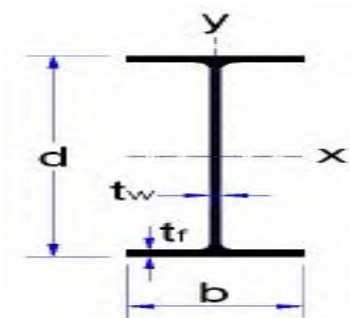
Gambar skema pembebanan rangka utama

a. Portal akhir

Direncanakan rangka utama diagonal tepi dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 13 x 21

| | | | | | |
|----------------|---|-----------------------|----------------|---|------------|
| W | = | 172,0 kg/m | I _x | = | 66600 kg/m |
| d | = | 400 mm | I _y | = | 22400 mm |
| b | = | 400 mm | S _x | = | 3330 mm |
| t _w | = | 13 mm | S _y | = | 1120 mm |
| t _f | = | 21 mm | i _x | = | 17,5 mm |
| A _g | = | 218,7 cm ² | i _y | = | 10,1 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 179,27 \text{ T (frame 210)}$$

$$L_k = \sqrt{(2,5^2 + 6^2)} = 6,5 \text{ m}$$

$$\text{arah x} \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{17,5} = 37,143 \text{ cm}$$

$$\text{arah y} \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{10,1} = 64,356 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 64,356 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,78$$

0,25 < λ_c = 0,78 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,78} = 1,33$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 218,7 \frac{2900}{1,33} = 525482,4818 \text{ kg}$$

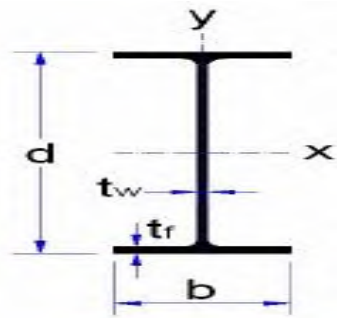
$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 525482,4818 = 446660,11 \text{ kg} > P_u = 179270 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

b. Batang atas

Direncanakan batang atas rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 13 x 21

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 172,0 kg/m | I _x = 66600 kg/m |
| d = 400 mm | I _y = 22400 mm |
| b = 400 mm | S _x = 3330 mm |
| t _w = 13 mm | S _y = 1120 mm |
| t _f = 21 mm | i _x = 17,5 mm |
| A _g = 218,7 cm ² | i _y = 10,1 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 136,71 T (frame 459)

L_k = 5 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,5} = 28,571 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,1} = 49,505 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,505 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,60$

0,25 < λ_c = 0,60 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,60} = 1,19$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 218,7 \frac{2900}{1,19} = 541855,1796 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 541855,1796 = 460576,90 \text{ kg} > P_u = 136710 \text{ kg} \quad \text{OK}$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 176,24 T (frame 200)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

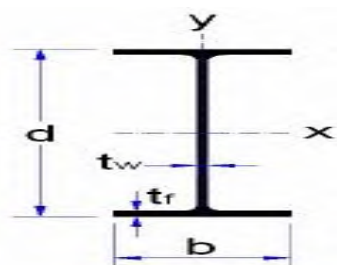
$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 218,7] \cdot 0,9 = 167,31 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 167,31 = 752874,75 \text{ kg} > P_u = 176240 \text{ kg} \quad \text{OK}$

c. Batang bawah

Direncanakan batang bawah rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 13 x 21

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 172,0 kg/m | I _x = 66600 kg/m |
| d = 400 mm | I _y = 22400 mm |
| b = 400 mm | S _x = 3330 mm |
| t _w = 13 mm | S _y = 1120 mm |
| t _f = 21 mm | i _x = 17,5 mm |
| A _g = 218,7 cm ² | i _y = 10,1 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 114,5 \text{ T (frame 30)}$$

$$L_k = 5 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,5} = 28,571 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,1} = 49,505 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,505 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,60$$

$$0,25 < \lambda_c = 0,60 < 1,2 \quad \text{bersifat tekuk inelastis, maka :}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,60} = 1,19$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 218,7 \frac{2900}{1,19} = 541855,1796 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 541855,1796 = 460576,90 \text{ kg} > P_u = 114500 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 100,91 \text{ T (frame 234)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\varphi P_n = \varphi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 218,7] \cdot 0,9 = 167,31 \text{ cm}^2$$

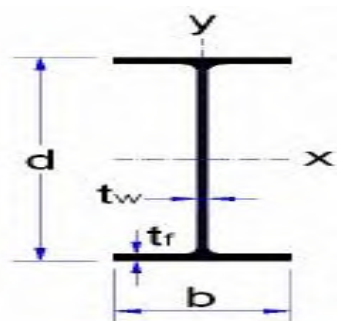
$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 167,31 = 752874,75 \text{ kg} > P_u = 100910 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

d Batang diagonal tekan

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 300 x 10 x 16

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| W = 107,0 kg/m | I _x = 38700 kg/m |
| d = 390 mm | I _y = 7210 mm |
| b = 300 mm | S _x = 1980 mm |
| t _w = 10 mm | S _y = 481 mm |
| t _r = 16 mm | i _x = 16,9 mm |
| A _g = 136 cm ² | i _y = 7,28 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 130,72 \text{ T (frame 201)}$$

$$L_k = 7 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{16,9} = 38,462 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{7,3} = 89,286 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 89,286 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,08$$

$$0,25 < \lambda_c = 1,08 < 1,2 \quad \text{bersifat tekuk inelastis, maka :}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 1,08} = 1,57$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 136,0 \frac{2900}{1,57} = 251990,5545 \text{ kg}$$

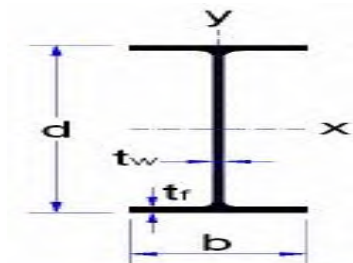
$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 251990,5545 = 214191,97 \text{ kg} > P_u = 130720 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

e Batang diagonal tarik

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 300 x 10 x 16

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| W = 107,0 kg/m | I _x = 38700 kg/m |
| d = 390 mm | I _y = 7210 mm |
| b = 300 mm | S _x = 1980 mm |
| t _w = 10 mm | S _y = 481 mm |
| t _f = 16 mm | i _x = 16,9 mm |
| A _g = 136 cm ² | i _y = 7,28 mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 178,2 \text{ T (frame 199)}$$

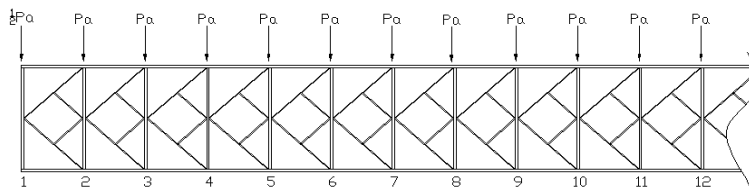
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 136] \cdot 0,9 = 104,04 \text{ cm}^2$$

$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 104,04 = 468180 \text{ kg} > P_u = 178200 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Perencanaan Ikatan Angin

1 Ikatan Angin Atas



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin Atas

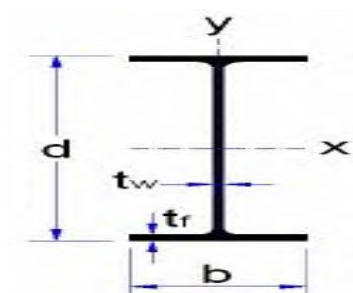
Ikatan angin atas dipasang mulai dari titik 1 sampai titik 25. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang Horizontal

Direncanakan ikatan angin horizontal dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang horizontal dengan data WF : 200 x 150 x 6 x 9

| | |
|--|---------------------------------------|
| W = 30,6 kg/m | I _x = 2690,0 kg/m |
| d = 200 mm | I _y = 507 mm |
| b = 150 mm | S _x = 277 mm |
| t _w = 6 mm | S _y = 67,6 mm |
| t _f = 9 mm | i _x = 8,3 mm |
| A _g = 39,01 cm ² | i _y = 3,61 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 6,14 \text{ T (frame 74)}$$

$$L_k = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{450}{8,3} = 54,217 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{450}{3,6} = 124,654 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 124,654 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,51$$

$$\lambda_c = 1,5 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 2,86$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 39,01 \frac{2900}{2,86} = 39604,5 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 39604,50644 = 33663,8 \text{ kg} > P_u = 6140 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 0,42 \text{ T (frame 321)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\varphi P_n = \varphi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 39,01] \cdot 0,9 = 29,84 \text{ cm}^2$$

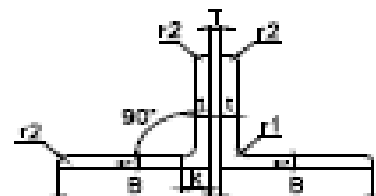
$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 29,84 = 134292 \text{ kg} > P_u = 420 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

b. Batang diagonal

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

batang diagonal dengan data 2L :

| | | | | | |
|----------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



• Batang diagonal tekan

Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 0,99 \text{ T (frame 362)}$$

$$L_k = \sqrt{4,5^2 + 5^2} = 6,73 \text{ m} \quad L_k = \frac{6,73}{2} = 3,4 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{673}{3,0} = 223,482 \text{ cm}$$

$$\text{arah } y \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{673}{4,5} = 148,495 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 223,482 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,71$$

$\lambda_c = 2,7 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 9,18$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{9,18} = 15357,1 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 15357,0798 = 13053,5 \text{ kg} > P_u = 990 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

• Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

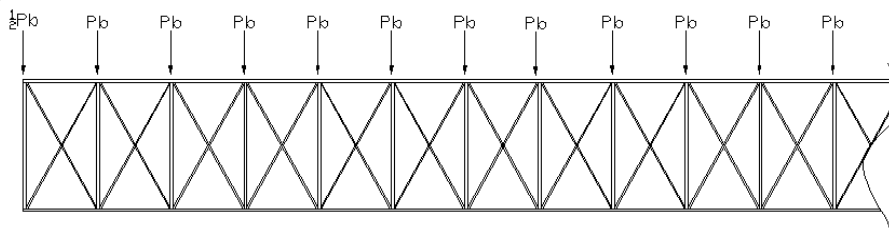
Gaya yang terjadi :

$$P = 0,94 \text{ T (frame 75)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} > P_u = 940 \text{ kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

2 Ikatan angin bawah



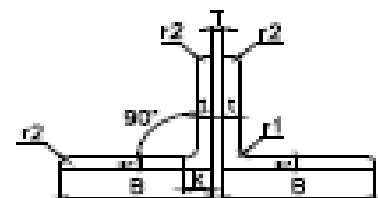
Gambar skema pembebanan Ikatan Angin bawah

Ikatan angin bawah dipasang mulai dari titik awal sampai akhir. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang diagonal tekan

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 14,11 \text{ T (frame 381)}$$

$$L = \sqrt{(9^2 + 5^2)} = \frac{10,2956}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{515}{3,0} = 171,024 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{515}{4,5} = 113,638 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 171,024 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,07$$

$$\lambda_c = 2,1 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 5,38$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{5,38} = 26222,9 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 26222,93815 = 22289,5 \text{ kg} > P_u = 14110 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

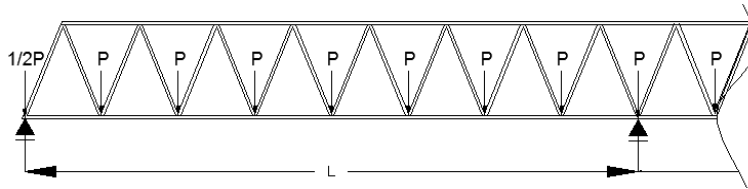
$$P = 11,26 \text{ T (frame 196)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \varphi P_n &= \varphi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} > P_u = 11260 \text{ kg} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

LAMPIRAN.7 PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL B1

Perencanaan rangka utama

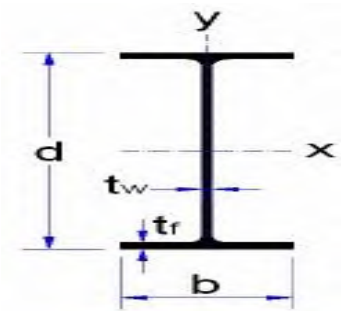


Gambar skema pembebanan rangka utama

a. Portal akhir

Direncanakan rangka utama diagonal tepi dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 18 | x | 28 |
| W | = | 232,0 | kg/m | I _x | = | 92800 | kg/m |
| d | = | 414 | mm | I _y | = | 31000 | mm |
| b | = | 405 | mm | S _x | = | 4480 | mm |
| t _w | = | 18 | mm | S _y | = | 1530 | mm |
| t _f | = | 28 | mm | i _x | = | 17,7 | mm |
| A _g | = | 295,4 | cm ² | i _y | = | 10,2 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 401,04 T (frame 58)

$L_k = \sqrt{(2,5^2 + 6^2)} = 6,5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{17,7} = 36,723 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{10,2} = 63,725 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 63,725 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,77$

0,25 < $\lambda_c = 0,77$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,77} = 1,32$

Kuat nominal

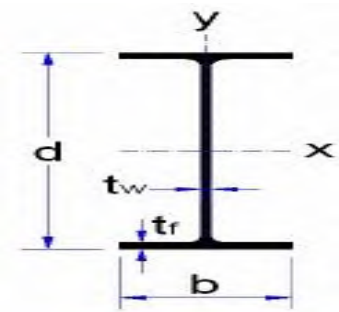
$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 295,4 \frac{2900}{1,32} = 648319,9848 \text{ kg}$

$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 648319,9848 = 551071,99 \text{ kg} > P_u = 401040 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$

b. Batang atas

Direncanakan batang atas rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 18 | x | 28 |
| W | = | 232,0 | kg/m | I _x | = | 92800 | kg/m |
| d | = | 414 | mm | I _y | = | 31000 | mm |
| b | = | 405 | mm | S _x | = | 4480 | mm |
| t _w | = | 18 | mm | S _y | = | 1530 | mm |
| t _f | = | 28 | mm | i _x | = | 17,7 | mm |
| A _g | = | 295,4 | cm ² | i _y | = | 10,2 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 700,82 T (frame 27)

L_k = 5 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,7} = 28,249$ cm

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,2} = 49,020$ cm

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,020 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,59$

0,25 < λ_c = 0,59 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,59} = 1,19$

Kuat nominal

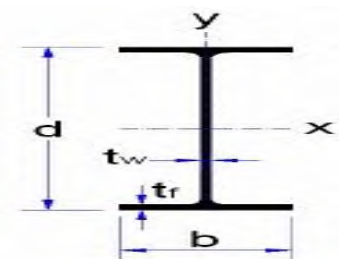
$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 295,4 \frac{2900}{1,19} = 863880,1796$ kg

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 863880,1796 = 734298,15$ kg > P_u = 700820 kg **OK**

c. Batang bawah

Direncanakan batang bawah rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang atas dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 18 | x | 28 |
| W | = | 232,0 | kg/m | I _x | = | 92800 | kg/m |
| d | = | 414 | mm | I _y | = | 31000 | mm |
| b | = | 405 | mm | S _x | = | 4480 | mm |
| t _w | = | 18 | mm | S _y | = | 1530 | mm |
| t _f | = | 28 | mm | i _x | = | 17,7 | mm |
| A _g | = | 295,4 | cm ² | i _y | = | 10,2 | mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 731,65 T (frame 52)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

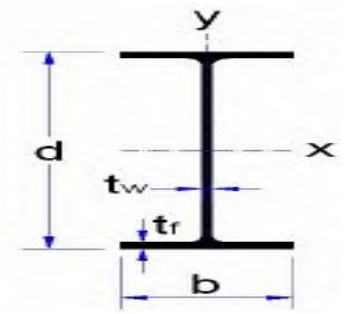
$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 295,4] \cdot 0,9 = 225,98$ cm²
 = 0,9 · 5000 · 225,98 = 1016914,5 kg > P_u = 731650 kg **OK**

d Batang diagonal tekan

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 15 x 15

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 140,0 kg/m | I _x = 49000 kg/m |
| d = 388 mm | I _y = 16300 mm |
| b = 402 mm | S _x = 2520 mm |
| t _w = 15 mm | S _y = 809 mm |
| t _f = 15 mm | i _x = 16,6 mm |
| A _g = 178,5 cm ² | i _y = 9,54 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 317,99 T (frame 13)

L_k = 7 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{16,6} = 39,157 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{9,5} = 68,134 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 68,134 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,83$

0,25 < λ_c = 0,83 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,83} = 1,37$

Kuat nominal

$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 178,5 \frac{2900}{1,37} = 378790,3794 \text{ kg}$

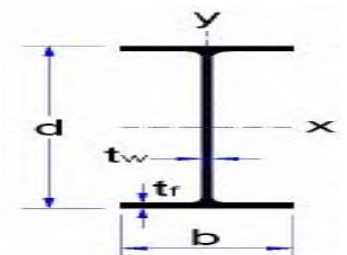
$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 378790,3794 = 321971,82 \text{ kg} > P_u = 317990 \text{ kg} \quad \text{OK}$

e Batang diagonal tarik

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 15 x 15

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 140,0 kg/m | I _x = 49000 kg/m |
| d = 388 mm | I _y = 16300 mm |
| b = 402 mm | S _x = 2520 mm |
| t _w = 15 mm | S _y = 809 mm |
| t _f = 15 mm | i _x = 16,6 mm |
| A _g = 178,5 cm ² | i _y = 9,54 mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

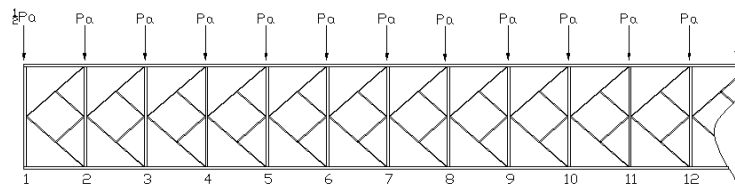
P = 399,37 T (frame 64)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 178,5] \cdot 0,9 = 136,55 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 136,55 = 614486,25 \text{ kg} > P_u = 399370 \text{ kg} \quad \text{OK}$

Perencanaan Ikatan Angin

1 Ikatan Angin Atas



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin Atas

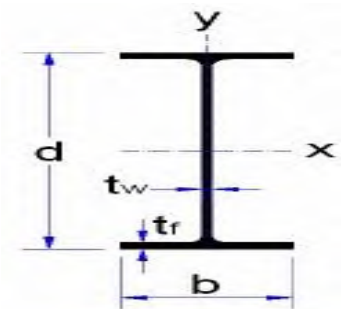
Ikatan angin atas dipasang mulai dari titik 1 sampai titik 12. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang Horizontal

Direncanakan ikatan angin horizontal dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang horizontal dengan data WF : 200 x 150 x 6 x 9

| | | | |
|------------------|-----------------------|------------------|-------------|
| W = | 30,6 kg/m | I _x = | 2690,0 kg/m |
| d = | 200 mm | I _y = | 507 mm |
| b = | 150 mm | S _x = | 277 mm |
| t _w = | 6 mm | S _y = | 67,6 mm |
| t _f = | 9 mm | i _x = | 8,3 mm |
| A _g = | 39,01 cm ² | i _y = | 3,61 cm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 6,02 \text{ T (frame 126)}$$

$$L_k = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{450}{8,3} = 54,217 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{450}{3,6} = 124,654 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 124,654 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,51$$

$$\lambda_c = 1,5 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 2,86$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 39,01 \frac{2900}{2,86} = 39604,5 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 39604,50644 = 33663,8 \text{ kg} > P_u = 6020 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 0,97 \text{ T (frame 137)}$$

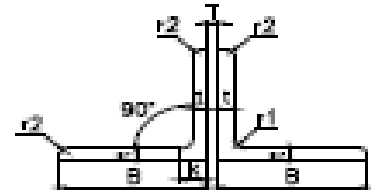
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot f_u \cdot A_e & A_e &= A_n \cdot U = [0,85 \cdot 39,01] \cdot 0,9 = 29,84 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 29,84 & &= 134292 \text{ kg} > P_u = 970 \text{ kg} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

b. Batang diagonal

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



• Batang diagonal tekan

Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 3,86 T (frame 132)

$$L_k = \sqrt{(4,5^2 + 5^2)} = 6,73 \text{ m} \quad L_k = \frac{6,73}{2} = 3,4 \text{ m}$$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{673}{3,0} = 223,482 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{673}{4,5} = 148,495 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 223,482 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,71$$

$\lambda_c = 2,7 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 9,18$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{9,18} = 15357,1 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 15357,0798 = 13053,5 \text{ kg} > P_u = 3860 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

• Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

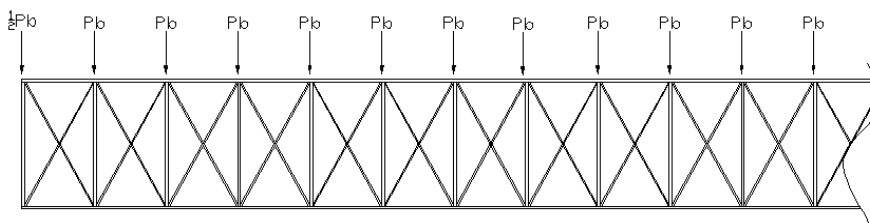
P = 3,63 T (frame 133)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2$$

$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 = 167374 \text{ kg} > P_u = 3630 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

2 Ikatan angin bawah



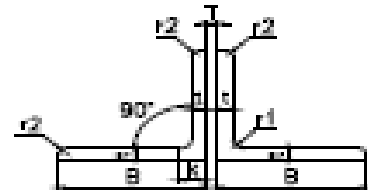
Gambar skema pembebanan Ikatan Angin bawah

Ikatan angin bawah dipasang mulai dari titik awal sampai akhir. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang diagonal tekan

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 11,9 \text{ T (frame 140)}$$

$$L = \sqrt{(9^2+5^2)} = \frac{10,2956}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{515}{3,0} = 171,024 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{515}{4,5} = 113,638 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} 171,024 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,07$$

$$\lambda_c = 2,1 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 5,38$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{fy}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{5,38} = 26222,9 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 26222,93815 = 22289,5 \text{ kg} > P_u = 11900 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

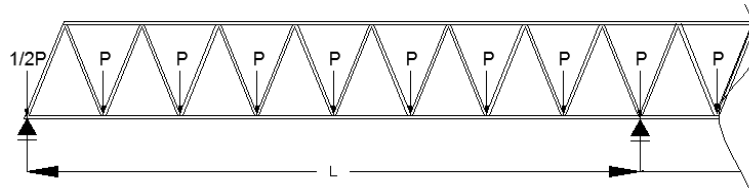
$$P = 22,58 \text{ T (frame 149)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot fu \cdot Ae & Ae &= An \cdot U &= [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 &= 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} &> P_u = 22580 \text{ kg} & \mathbf{OK} \end{aligned}$$

LAMPIRAN.8 PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL B2

Perencanaan rangka utama



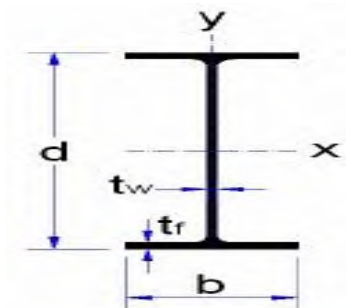
Gambar skema pembebanan rangka utama

a. Portal akhir

Direncanakan rangka utama diagonal tepi dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang diagonal dengan data WF : 400 x 400 x 16 x 24

| | |
|--|-----------------------------|
| W = 200,0 kg/m | I _x = 78000 kg/m |
| d = 406 mm | I _y = 26200 mm |
| b = 403 mm | S _x = 3840 mm |
| t _w = 24 mm | S _y = 1300 mm |
| t _f = 16 mm | i _x = 17,5 mm |
| A _g = 254,9 cm ² | i _y = 10,1 mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 334,98 T (frame 58)

$L_k = \sqrt{(2,5^2 + 6^2)} = 6,5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{17,5} = 37,143 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{10,1} = 64,356 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} 64,356 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,78$

0,25 < $\lambda_c = 0,78$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,78} = 1,33$

Kuat nominal

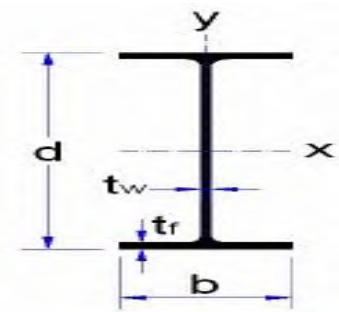
$P_n = A_g \frac{fy}{\omega} = 254,9 \frac{2900}{1,33} = 556783,8243 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 556783,8243 = 473266,25 \text{ kg} > P_u = 334980 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$

b. Batang atas

Direncanakan batang atas rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 16 | x | 24 |
| W | = | 200,0 | kg/m | I _x | = | 78000 | kg/m |
| d | = | 406 | mm | I _y | = | 26200 | mm |
| b | = | 403 | mm | S _x | = | 3840 | mm |
| t _w | = | 24 | mm | S _y | = | 1300 | mm |
| t _f | = | 16 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 254,9 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 495,0 T (frame 57)

L_k = 5 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,5} = 28,571$ cm

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,1} = 49,505$ cm

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,505 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,60$

0,25 < λ_c = 0,60 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,60} = 1,19$

Kuat nominal

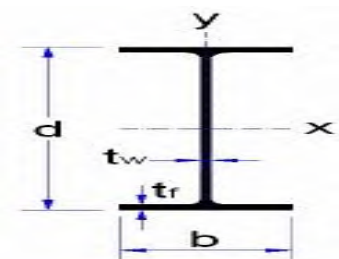
$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 254,9 \frac{2900}{1,19} = 619161,7368$ kg

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 619161,7368 = 526287,48$ kg > P_u = 495000 kg **OK**

c. Batang bawah

Direncanakan batang bawah rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 16 | x | 24 |
| W | = | 200,0 | kg/m | I _x | = | 78000 | kg/m |
| d | = | 406 | mm | I _y | = | 26200 | mm |
| b | = | 403 | mm | S _x | = | 3840 | mm |
| t _w | = | 24 | mm | S _y | = | 1300 | mm |
| t _f | = | 16 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 254,9 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 519,08 T (frame 52)

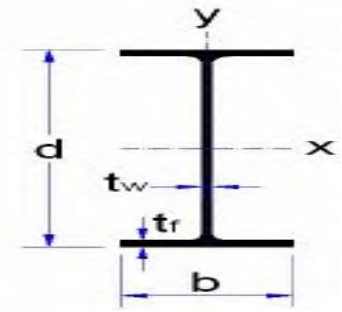
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 254,9] \cdot 0,9 = 195,00$ cm²
 = 0,9 · 5000 · 195,00 = 877493,25 kg > P_u = 519080 kg **OK**

d Batang diagonal tekan

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 15 | x | 15 |
| W | = | 140,0 | kg/m | I _x | = | 49000 | kg/m |
| d | = | 388 | mm | I _y | = | 16300 | mm |
| b | = | 402 | mm | S _x | = | 2520 | mm |
| t _w | = | 15 | mm | S _y | = | 809 | mm |
| t _f | = | 15 | mm | i _x | = | 16,6 | mm |
| A _g | = | 178,5 | cm ² | i _y | = | 9,54 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 265,09 T (frame 59)
L_k = 7 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{16,6} = 39,157$ cm

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{9,5} = 68,134$ cm

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 68,134 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,83$
0,25 < $\lambda_c = 0,83$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,83} = 1,30$

Kuat nominal

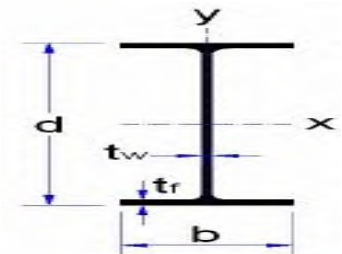
$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 178,5 \frac{2900}{1,30} = 399240,4742$ kg

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 399240,4742 = 339354,40$ kg > P_u = 265090 kg **OK**

e Batang diagonal tarik

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 15 | x | 15 |
| W | = | 140,0 | kg/m | I _x | = | 49000 | kg/m |
| d | = | 388 | mm | I _y | = | 16300 | mm |
| b | = | 402 | mm | S _x | = | 2520 | mm |
| t _w | = | 15 | mm | S _y | = | 809 | mm |
| t _f | = | 15 | mm | i _x | = | 16,6 | mm |
| A _g | = | 178,5 | cm ² | i _y | = | 9,54 | mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

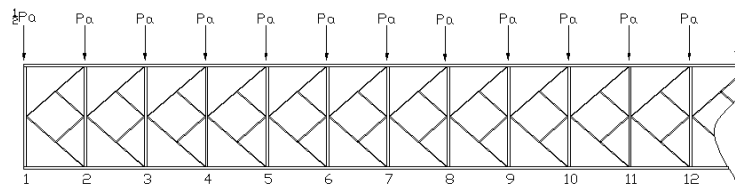
P = 333,2 T (frame 64)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 178,5] \cdot 0,9 = 136,55$ cm²
= 0,9 · 5000 · 136,55 = 614486,25 kg > P_u = 333200 kg **OK**

Perencanaan Ikatan Angin

1 Ikatan Angin Atas



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin Atas

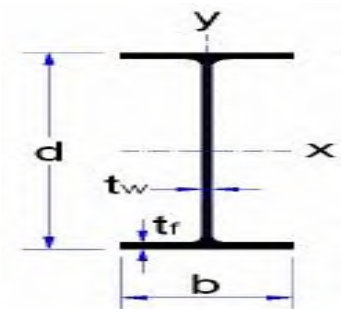
Ikatan angin atas dipasang mulai dari titik 1 sampai titik 10. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang Horizontal

Direncanakan ikatan angin horizontal dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang horizontal dengan data WF : 200 x 150 x 6 x 9

| | | | | | |
|----------------|---|-----------------------|----------------|---|-------------|
| W | = | 30,6 kg/m | I _x | = | 2690,0 kg/m |
| d | = | 200 mm | I _y | = | 507 mm |
| b | = | 150 mm | S _x | = | 277 mm |
| t _w | = | 6 mm | S _y | = | 67,6 mm |
| t _f | = | 9 mm | i _x | = | 8,3 mm |
| A _g | = | 39,01 cm ² | i _y | = | 3,61 cm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 5,32 \text{ T (frame 126)}$$

$$L_k = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{450}{8,3} = 54,217 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{450}{3,6} = 124,654 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 124,654 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,51$$

$$\lambda_c = 1,5 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 2,86$$

Kuat nominal

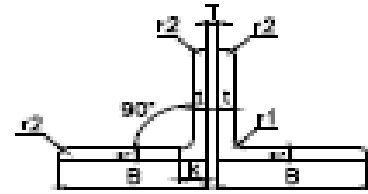
$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 39,01 \frac{2900}{2,86} = 39604,5 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 39604,50644 = 33663,8 \text{ kg} > P_u = 5320 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



• Batang diagonal tekan

Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 2,44 T (frame 132)

$$L_k = \sqrt{(4,5^2 + 5^2)} = 6,73 \text{ m} \quad L_k = \frac{6,73}{2} = 3,4 \text{ m}$$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{673}{3,0} = 223,482 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{673}{4,5} = 148,495 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 223,482 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,71$$

$\lambda_c = 2,7 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 9,18$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{9,18} = 15357,1 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 15357,0798 = 13053,5 \text{ kg} > P_u = 2440 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

• Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

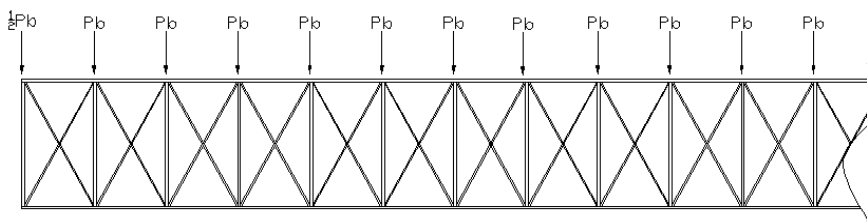
P = 2,23 T (frame 133)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2$$

$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 = 167374 \text{ kg} > P_u = 2230 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

2 Ikatan angin bawah



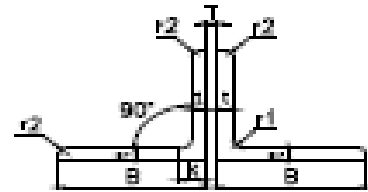
Gambar skema pembebanan Ikatan Angin bawah

Ikatan angin bawah dipasang mulai dari titik awal sampai akhir. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang diagonal tekan

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 9,2 \text{ T (frame 140)}$$

$$L = \sqrt{(9^2+5^2)} = \frac{10,2956}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{515}{3,0} = 171,024 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{515}{4,5} = 113,638 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} 171,024 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,07$$

$$\lambda_c = 2,1 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 5,38$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{fy}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{5,38} = 26222,9 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 26222,93815 = 22289,5 \text{ kg} > P_u = 9200 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

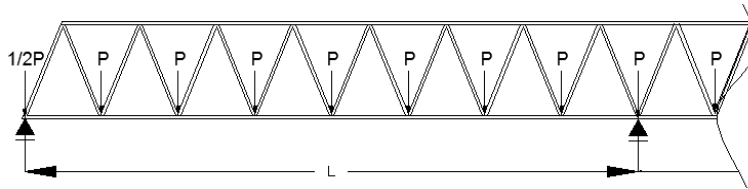
$$P = 18,40 \text{ T (frame 147)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot fu \cdot Ae & Ae &= An \cdot U &= [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 &= 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} &> P_u = 18400 \text{ kg} & \mathbf{OK} \end{aligned}$$

LAMPIRAN.9 PERENCANAAN RANGKA UTAMA DAN IKATAN ANGIN JEMBATAN MODEL B3

Perencanaan rangka utama

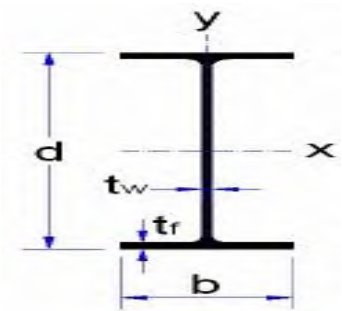


Gambar skema pembebanan rangka utama

a. Portal akhir

Direncanakan rangka utama diagonal tepi dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 13 | x | 21 |
| W | = | 172,0 | kg/m | I _x | = | 66600 | kg/m |
| d | = | 400 | mm | I _y | = | 22400 | mm |
| b | = | 400 | mm | S _x | = | 3330 | mm |
| t _w | = | 13 | mm | S _y | = | 1120 | mm |
| t _f | = | 21 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 218,7 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 224,36 T (frame 58)

$L_k = \sqrt{(2,5^2 + 6^2)} = 6,5 \text{ m}$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{17,5} = 37,143 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{10,1} = 64,356 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} 64,356 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,78$

0,25 < $\lambda_c = 0,78$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,78} = 1,33$

Kuat nominal

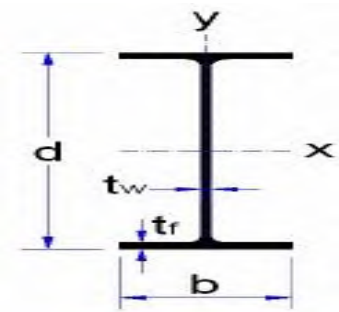
$P_n = A_g \frac{fy}{\omega} = 218,7 \frac{2900}{1,33} = 525482,4818 \text{ kg}$

$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 525482,4818 = 446660,11 \text{ kg} > P_u = 224360 \text{ kg} \quad \text{OK}$

b. Batang atas

Direncanakan batang atas rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 13 | x | 21 |
| W | = | 172,0 | kg/m | I _x | = | 66600 | kg/m |
| d | = | 400 | mm | I _y | = | 22400 | mm |
| b | = | 400 | mm | S _x | = | 3330 | mm |
| t _w | = | 13 | mm | S _y | = | 1120 | mm |
| t _f | = | 21 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 218,7 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 380,06 T (frame 10)

L_k = 5 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{500}{17,5} = 28,571 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{500}{10,1} = 49,505 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 49,505 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,60$

0,25 < λ_c = 0,60 < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,60} = 1,19$

Kuat nominal

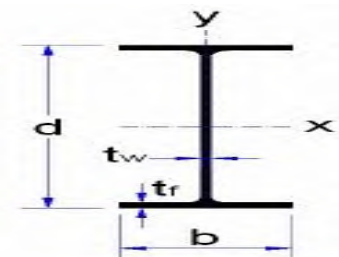
$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 218,7 \frac{2900}{1,19} = 541855,1796 \text{ kg}$

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 541855,1796 = 460576,90 \text{ kg} > P_u = 380060 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$

c. Batang bawah

Direncanakan batang bawah rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 400 | x | 13 | x | 21 |
| W | = | 172,0 | kg/m | I _x | = | 66600 | kg/m |
| d | = | 400 | mm | I _y | = | 22400 | mm |
| b | = | 400 | mm | S _x | = | 3330 | mm |
| t _w | = | 13 | mm | S _y | = | 1120 | mm |
| t _f | = | 21 | mm | i _x | = | 17,5 | mm |
| A _g | = | 218,7 | cm ² | i _y | = | 10,1 | mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 314,32 T (frame 4)

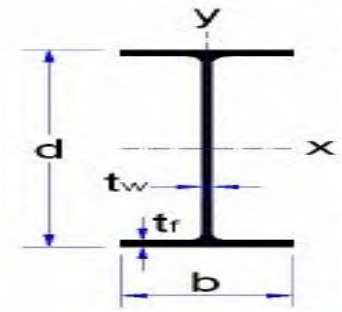
kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 218,7] \cdot 0,9 = 167,31 \text{ cm}^2$
 $= 0,9 \cdot 5000 \cdot 167,31 = 752874,75 \text{ kg} > P_u = 314320 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$

d Batang diagonal tekan

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 300 | x | 10 | x | 16 |
| W | = | 107,0 | kg/m | I _x | = | 38700 | kg/m |
| d | = | 390 | mm | I _y | = | 7210 | mm |
| b | = | 300 | mm | S _x | = | 1980 | mm |
| t _w | = | 10 | mm | S _y | = | 481 | mm |
| t _f | = | 16 | mm | i _x | = | 16,9 | mm |
| A _g | = | 136 | cm ² | i _y | = | 7,28 | mm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 197,3 T (frame 59)
L_k = 7 m

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{650}{16,9} = 38,462$ cm

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{650}{7,3} = 89,286$ cm

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 89,286 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,08$
0,25 < $\lambda_c = 1,08$ < 1,2 bersifat tekuk inelastis, maka :

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 1,08} = 1,57$

Kuat nominal

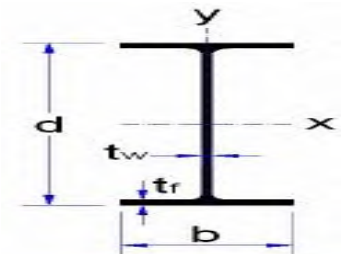
$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 136,0 \frac{2900}{1,57} = 251990,5545$ kg

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 251990,5545 = 214191,97$ kg > P_u = 197300 kg **OK**

e Batang diagonal tarik

Direncanakan batang diagonal rangka utama dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|----|-------|------|
| batang diagonal dengan data WF : | 400 | x | 300 | x | 10 | x | 16 |
| W | = | 107,0 | kg/m | I _x | = | 38700 | kg/m |
| d | = | 390 | mm | I _y | = | 7210 | mm |
| b | = | 300 | mm | S _x | = | 1980 | mm |
| t _w | = | 10 | mm | S _y | = | 481 | mm |
| t _f | = | 16 | mm | i _x | = | 16,9 | mm |
| A _g | = | 136 | cm ² | i _y | = | 7,28 | mm |



Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

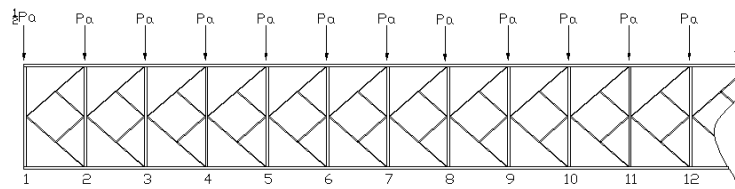
P = 265,67 T (frame 64)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$ $A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 136] \cdot 0,9 = 104,04$ cm²
= 0,9 · 5000 · 104,04 = 468180 kg > P_u = 265670 kg **OK**

Perencanaan Ikatan Angin

1 Ikatan Angin Atas



Gambar skema pembebanan Ikatan Angin Atas

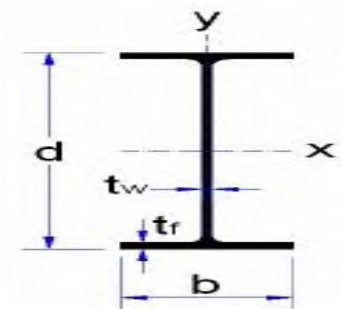
Ikatan angin atas dipasang mulai dari titik 1 sampai titik 8. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang Horizontal

Direncanakan ikatan angin horizontal dengan menggunakan profil WF sebagai berikut :

batang horizontal dengan data WF : 200 x 150 x 6 x 9

| | | | | | |
|-------|-----|-----------------------|-------|-----|-------------|
| W | $=$ | 30,6 kg/m | I_x | $=$ | 2690,0 kg/m |
| d | $=$ | 200 mm | I_y | $=$ | 507 mm |
| b | $=$ | 150 mm | S_x | $=$ | 277 mm |
| t_w | $=$ | 6 mm | S_y | $=$ | 67,6 mm |
| t_f | $=$ | 9 mm | i_x | $=$ | 8,3 mm |
| A_g | $=$ | 39,01 cm ² | i_y | $=$ | 3,61 cm |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 3,67 \text{ T (frame 126)}$$

$$L_k = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{450}{8,3} = 54,217 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{450}{3,6} = 124,654 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 124,654 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 1,51$$

$$\lambda_c = 1,5 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 2,86$$

Kuat nominal

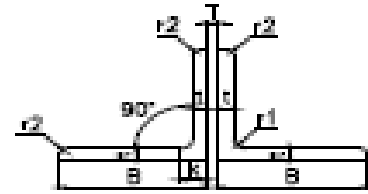
$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 39,01 \frac{2900}{2,86} = 39604,5 \text{ kg}$$

$$\varphi_c P_n = 0,85 \cdot 39604,50644 = 33663,8 \text{ kg} > P_u = 3670 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



• Batang diagonal tekan

Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

P = 1,72 T (frame 128)

$$L_k = \sqrt{(4,5^2 + 5^2)} = 6,73 \text{ m} \quad L_k = \frac{6,73}{2} = 3,4 \text{ m}$$

arah x >>> $\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{673}{3,0} = 223,482 \text{ cm}$

arah y >>> $\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{673}{4,5} = 148,495 \text{ cm}$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} 223,482 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,71$$

$\lambda_c = 2,7 > 1,2$ bersifat tekuk elastis, maka :

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 9,18$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{9,18} = 15357,1 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 15357,0798 = 13053,5 \text{ kg} > P_u = 1720 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

• Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

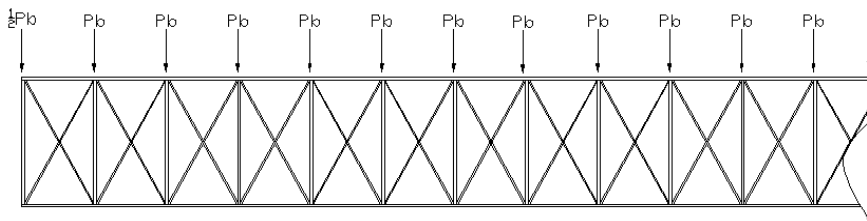
P = 1,63 T (frame 129)

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\phi P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \quad A_e = A_n \cdot U = [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 = 37,19 \text{ cm}^2$$

$$= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 = 167374 \text{ kg} > P_u = 1630 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

2 Ikatan angin bawah



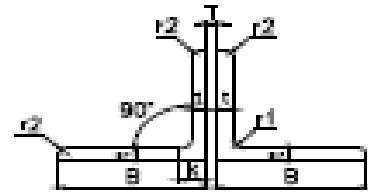
Gambar skema pembebanan Ikatan Angin bawah

Ikatan angin bawah dipasang mulai dari titik awal sampai akhir. untuk satu titik simpul pada sisi yang terkena beban, menerima beban P yang besarnya diambil rata-rata dari jumlah W (beban angin).

a. Batang diagonal tekan

Direncanakan ikatan angin diagonal dengan menggunakan profil 2L sebagai berikut :

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------|-----------------|----------------|------------------------|
| batang diagonal dengan data 2L : | 100 | x | 100 | x | 13 |
| W | = | 38,2 | kg/m | I _x | = 440,0 kg/m |
| B | = | 100 | mm | I _y | = 998,75 mm |
| A | = | 100 | mm | S _x | = 62,32 mm |
| t | = | 13 | mm | S _y | = 95,57 mm |
| A _g | = | 48,62 | cm ² | i _x | = 3,01 mm |
| | | | | i _y | = 4,53 cm ² |



Kuat Tekan Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 6,03 \text{ T (frame 140)}$$

$$L = \sqrt{(9^2+5^2)} = \frac{10,2956}{2} = 5,15 \text{ m}$$

$$\text{arah x } \gg \gg \lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{515}{3,0} = 171,024 \text{ cm}$$

$$\text{arah y } \gg \gg \lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{515}{4,5} = 113,638 \text{ cm}$$

tekuk menentukan arah x sama dengan arah y

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \lambda_y \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} 171,024 \sqrt{\frac{290}{200000}} = 2,07$$

$$\lambda_c = 2,1 > 1,2 \text{ bersifat tekuk elastis, maka :}$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 = 5,38$$

Kuat nominal

$$P_n = A_g \frac{fy}{\omega} = 48,62 \frac{2900}{5,38} = 26222,9 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 26222,93815 = 22289,5 \text{ kg} > P_u = 6030 \text{ kg} \quad \mathbf{OK}$$

b. Batang diagonal tarik

Kuat Tarik Rencana

Dari Output SAP 2000, didapatkan :

Gaya yang terjadi :

$$P = 13,75 \text{ T (frame 145)}$$

kuat tarik nominal (LRFD 10.1.1-2.b)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot fu \cdot Ae & Ae &= An \cdot U &= [0,85 \cdot 48,62] \cdot 0,9 &= 37,19 \text{ cm}^2 \\ &= 0,9 \cdot 5000 \cdot 37,19 & &= 167374 \text{ kg} &> P_u = 13750 \text{ kg} & \mathbf{OK} \end{aligned}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini diambil berdasarkan analisa nonlinier dengan menggunakan *pushover analysis SAP 2000* pada semua model jembatan rangka 2 dimensi. Berikut kesimpulan yang didapat:

1. Pola keruntuhan pada semua model jembatan rangka menerus, elemen rangka yang lemah (terjadi sendi plastis) adalah elemen diagonal portal akhir pada 2 perletakan yang ditengah.
2. Pola keruntuhan pada semua model jembatan rangka bentang tunggal, elemen rangka yang lemah (terjadi sendi plastis) adalah elemen batang atas ditengah bentang.
3. Tingkat kinerja struktur dari semua model jembatan tersebut adalah dalam kondisi IO (*Immediate occupancy*) yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan, hal ini berdasarkan *target displacement FEMA 356*.
4. Daktilitas aktual yang terjadi pada semua model jembatan sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008, dimana nilai daktilitasnya sekitar 1,07. Hasil tersebut tidak bisa menunjukkan perbandingan daktilitas aktualnya, hal ini dikarenakan setiap model jembatan menggunakan profil optimumnya sehingga dengan tipe jembatan yang sama (tipe warden), perbedaan panjang bentang tidak berpengaruh.

5.2 Saran

Dengan diketahui elemen paling lemah pada jembatan rangka batang, selanjutnya bisa dikembangkan dengan studi penggunaan *health monitoring system (HMS)* pada struktur jembatan tersebut sehingga bisa mempermudah dalam pemeliharaan struktur jembatan yang ada.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Asl, A.A., (2008), "*Progressive Collapse Of Steel Truss Bridge, The Case Of I-35W Collapse*", Invited Keynote Paper, Proceedings, 7th International Conference On Steel Bridges, Guimarães Portugal, 4-6 Juni 2008
- Birajdar, H.S., dkk., (2014), "*Failure of Chauras Bridge*", Engineering Failure Analysis 45, vol. 339 – 346.
- Bhattacharya, S., dkk., (2014), "*Collapse of Showa Bridge During 1964 Niigata Earthquake : A Quantitative Reappraisal on The Failure Mechanisms*", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 65, hal. 55 – 71.
- BSN, (2005), "*SNI T-03-2005: Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*", Departemen Pekerjaan Umum.
- BSN, (2005), "*SNI T-02-2005: Standar Pembebanan untuk jembatan*", Departemen Pekerjaan Umum.
- BSN, (2008), "*SNI 2833-2008: Standar Perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan*", Departemen Pekerjaan Umum.
- Computer and Structure inc, (2008), "*CSI Analysis Reference Manual for SAP 2000, ETABS and SAFETM*". California.
- Direktorat Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum, (2009), "*Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja*", Dirjen Bina Marga Kementrian PU, Jakarta.
- Federal Emergency Management Agency, (2000), "*Prestandard And Comentary For The Seismic Rehabilitation Of Building. FEMA 356*". :Washington.
- Guo, T., dan Chen, Y.W., (2011), "*Field Stress/Displacement Monitoring and Fatigue Reliability Assessment of Retrofitted Steel Bridge Details*", Engineering Failure Analysis 18, hal. 354 – 363.
- Imansyah, M.D. dkk., (2013), "*Analisis Keamanan Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang Ditinjau Dari Aspek Kesehatan, Tegangan, Plat Buhul dan Simulasi Kebakaran*" Jurnal Civitas Akademik, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

- Li, Z.X., Chan, T.H.T., dan Ko, J.M., (2001), “*Fatigue Analysis and Prediction of Bridges with Structural Health Monitoring data – Part I : Methodology and Strategy*”, International Journal of Fatigue 23, hal 45-53.
- Manda, A. dan Nakamura, S (2010), “*Progressive Collapse Analysis of Steel Truss Bridges*”, Journal of Constructional Steel Research, Vol.78, hal 192-200.
- Mangkoesoebroto, S.P., (2012), “*Keruntuhan Jembatan Gantung Kartanegara Tragedi dalam Proses Rancang Bangun Infrastruktur*”, Jurnal Teknik Sipil vol. 19, no. 3
- Miyachi, K., Nakamura, S., dan Manda, A., (2012), “ *Progressive Collapse Analysis of Steel Truss Bridges and Evaluation of Ductility*”, Journal of Constructional Steel Research 78, hal. 192 – 200.
- Radar Bromo (2015), “*Saat Truk Bermuatan Pasir Melintas, Jembatan Ambruk*”, Radar Bromo, Probolinggo.
- Shomad, A., (2012), “*Studi Perbandingan Perilaku Inelastik Pada Sistem Rangka Berpengaku Eksentrik Menggunakan Link WF dan Turbular Dengan Metode Performance Based Design*”, Thesis, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya.
- Wahyuni, E., dan Tethool, Y., (2015) “*Effect of Vierendeel Panel Width and Vertical Truss Spacing Ratio in Staggered Truss Framing System Under Earthquake Loads*”, International Journal of Civil Engineering, Vol. 13, No 2.

BIODATA PENULIS



Heri Istiono,

Penulis dilahirkan di Gresik, 16 Pebruari 1990, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Mondoluku, SDN Mondoluku, SLTPN 2 Wringinanom-Gresik, SMKN 1 Cerme-Gresik. Setelah lulus dari SMK tahun 2008, Penulis mengikuti Tes Masuk Program D3 Teknik yang diselenggarakan oleh ITS dan diterima di Jurusan D3 Teknik Sipil FTSP - ITS pada tahun 2008. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan ke jenjang sarjana dengan mengikuti tes program sarjana lintas jalur Teknik Sipil FTSP ITS. Setelah lulus S1, pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi S2 dengan mengambil jurusan teknik struktur. Penulis mengambil tesis mekanisme keruntuhan pada jembatan rangka baja. Email: tio_pelo@yahoo.com