



TUGAS AKHIR - RC09 1380

**MODIFIKASI PERANCANGAN JEMBATAN TRISULA
MENGUNAKAN BUSUR RANGKA BAJA DENGAN
DILENGKAPI DAMPER PADA ZONA GEMPA 4**

**Citra Bahrin Syah
NRP 3106100725**

**Dosen Pembimbing
Bambang Pisceca, ST., MT.
Ir. Djoko Irawan, MS.**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2012**



FINAL PROJECT - RC09 1380

**DESIGN MODIFICATION OF TRISULA BRIDGE USING
STEEL TRUSS ARCH COMPLETED BY DAMPER ON
EARTHQUAKE ZONE 4**

**Citra Bahrin Syah
NRP 3106100725**

**Supervisor
Bambang Piscesa, ST., MT.
Ir. Djoko Irawan, MS.**

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2012**

**MODIFIKASI PERANCANGAN JEMBATAN
TRISULA MENGGUNAKAN BUSUR
RANGKA BAJA DENGAN DILENGKAPI
DAMPER PADA ZONA GEMPA 4**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**CITRA BAHRIN SYAH
Nrp. 3106 100 725**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**1. Bambang Piscesa, ST, MT.
NIP. 198403182008121002**

**2. Ir. Djoko Irawan, MS.
NIP. 195902131987011001**

SURABAYA, JULI 2012

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jembatan	5
2.2 Konstruksi Busur	6
2.2.1 Beberapa Jenis Konstruksi Busur	6
2.2.2 Pemilihan Jenis Konstruksi dan Bentuk Busur.....	7
2.3 Sambungan	7
2.3.1 Sambungan Baut.....	8
2.3.2 Sambungan Las	9
2.4 <i>Lead Rubber Bearing</i>	10
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Urutan Pengerjaan.....	15
3.2 Penjelasan	16
BAB IV PEMBAHASAN	25
4.1 Perencanaan Struktur Sekunder	25
4.1.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan.....	25
4.1.2 Perencanaan Trotoar dan Pagar Pengaman.....	29
4.2 Perencanaan Gelagar Jembatan.....	35

4.2.1	Perencanaan Balok Memanjang	35
4.2.2	Perencanaan Balok Melintang	43
4.3	<i>Preliminary Design</i> Rangka Busur	51
4.4	Modelisasi Struktur	55
4.4.1	Pendifisian dan Input Material	55
4.4.2	Permodelan Struktur	64
4.4.3	Hasil Analisa Gaya Dalam Struktur.....	68
4.4.4	Efektifitas Damper pada <i>Displacement</i>	71
4.5	Kontrol Komponen Struktur	72
4.6	Desain Detail Sambungan.....	105
4.6.1	Sambungan Balok Memanjang dan Melintang.....	105
4.6.2	Sambungan Baut dan Las Struktur Sekunder	108
4.6.3	Perhitungan Tebal dan Sambungan <i>Baseplate</i>	116
4.6.4	Sambungan Rangka Utama.....	122
4.7	Perencanaan Perletakan	130
BAB V	PENUTUP	133
5.1	Kesimpulan	133
5.2	Saran	133
DAFTAR PUSTAKA		135
BIODATA PENULIS		137
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berbagai Macam Dimensi LRB Versi <i>Maurer Sohne</i>	13
Tabel 3.1 Koefisien Seret (RSNI T-02-2005)	21
Tabel 3.2 Kecepatan Angin Rencana (RSNI T-02-2005).....	21
Tabel 4.1 Panjang Penggantung (y)	52
Tabel 4.2 Properti dari Elemen Struktur Rangka Utama	58
Tabel 4.3 Efektifitas Damper pada Pengurangan <i>Displacement</i>	71
Tabel 4.4 Kontrol <i>Stress Ratio</i> pada Komponen Struktur Baja	72
Tabel 4.5 Spesifikasi <i>Pot Bearing</i>	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kondisi Jembatan Trisula yang ada	2
Gambar 1.2	Tampak memanjang Jembatan Trisula yang baru	2
Gambar 2.1	Bagian-bagian detail baut secara umum	8
Gambar 2.2	Ukuran las sudut	10
Gambar 2.3	Komponen dasar penyusun LRB	11
Gambar 2.4	Variasi bentuk LRB hasil fabrikasi	11
Gambar 2.5	Sifat fleksibilitas <i>rubber</i> (karet)	12
Gambar 2.6	<i>Hysteresis loops</i> dari LRB pada hasil test di Jerman	13
Gambar 3.1	Diagram Alir	15
Gambar 3.2	Sketsa Beban Hidup UDL	18
Gambar 3.3	Ilustrasi Beban Hidup Truck “T”	19
Gambar 4.1	Ilustrasi Geser (<i>Pons</i>)	28
Gambar 4.2	Tiang dan pipa sandaran	30
Gambar 4.3	Pembebanan pada pipa sandaran	30
Gambar 4.4	Pembebanan Pu dan Mu pada tiang sandaran	32
Gambar 4.5	Batasan kontrol pada penulangan tiang sandaran	33
Gambar 4.6	Gelagar melintang dan memanjang	35
Gambar 4.7	Pembebanan akibat beban KEL	36
Gambar 4.8	Garis pengaruh akibat beban Truck	37
Gambar 4.9	Titik momen-momen absolut pada bentang menengah ...	41
Gambar 4.10	Struktur balok sebelum komposit	43
Gambar 4.11	Pembebanan gelagar melintang sesudah komposit	44
Gambar 4.12	Perilaku balok komposit	44
Gambar 4.13	Kombinasi beban UDL & KEL (simetris)	45
Gambar 4.14	Kombinasi beban UDL & KEL (asimetris)	45

Gambar 4.15 Letak momen <i>max</i> kombinasi UDL & KEL (asimetris)...	46
Gambar 4.16 Ilustrasi pembebanan Truck “T” (kondisi 1)	47
Gambar 4.17 Ilustrasi pembebanan Truck “T” (kondisi 2)	47
Gambar 4.18 Diagram tegangan struktur balok komposit.....	50
Gambar 4.19 Sketsa konstruksi pemikul utama	52
Gambar 4.20 Kombinasi beban UDL & KEL (asimetris)	54
Gambar 4.21 Input material elemen struktur pada SAP 2000	55
Gambar 4.22 Input Damper pada SAP 2000	56
Gambar 4.23 Input form <i>Mass Source</i> pada Program SAP 2000.....	57
Gambar 4.24 Input form untuk analisa modal SAP 2000.....	59
Gambar 4.25 Data tanah hasil tes SPT di lokasi jembatan	60
Gambar 4.26 Peta Wilayah Gempa Indonesia.....	62
Gambar 4.27 Input <i>Response Spectrum</i> gempa pada SAP 2000.	63
Gambar 4.28 Permodelan struktur tampak isometri (3D)	64
Gambar 4.29 Permodelan beban mati	64
Gambar 4.30 Permodelan beban UDL (momen maksimum)	65
Gambar 4.31 Permodelan beban UDL (geser maksimum).....	65
Gambar 4.32 Permodelan beban KEL 8 (momen maksimum)	66
Gambar 4.33 Permodelan beban KEL 5 (geser maksimum)	66
Gambar 4.34 Permodelan beban angin (Tew 1)	67
Gambar 4.35 Permodelan beban angin (Tew 2)	67
Gambar 4.36 Diagram gaya aksial pada struktur (D+L)	68
Gambar 4.37 Diagram gaya geser pada struktur (D+L)	68
Gambar 4.38 Diagram gaya momen pada struktur (D+L).....	69
Gambar 4.39 Diagram gaya aksial akibat beban angin	69
Gambar 4.40 Diagram gaya aksial akibat beban gempa arah x.....	70
Gambar 4.41 Diagram gaya aksial akibat beban gempa arah y.....	70
Gambar 4.42 Detail sambungan ikatan angin bawah	108

Gambar 4.43 Detail sambungan ikatan angin atas	110
Gambar 4.44 <i>Baseplate</i> dengan gaya vertikal, momen dan geser	116
Gambar 4.45 Distribusi gaya tekan pada <i>Baseplate</i>	117
Gambar 4.46 Batasan kritis <i>Baseplat</i>	117
Gambar 4.47 Keterangan sambungan batang rangka utama busur	122
Gambar 4.48 Detail sambungan batang profil S2	123
Gambar 4.49 Detail sambungan batang profil S12.....	124
Gambar 4.50 Detail sambungan batang profil S10.....	125
Gambar 4.51 Detail sambungan batang profil B9	127
Gambar 4.52 Detail sambungan batang profil B15	128
Gambar 4.53 Potongan <i>Pot Bearing</i>	131

DAFTAR NOTASI

PEMBEBANAN

A_b	: luas samping ekivalen jembatan (m^2)
BGT	: beban garis terpusat dalam pembebanan lajur “D” (kN)
BTR	: beban terbagi rata dalam pembebanan lajur “D” (kN)
C	: koefisien geser dasar untuk gaya gempa
C_w	: koefisien seret untuk gaya angin
C_1	: faktor respon gempa
g	: percepatan akibat gravitasi (9.8 m/s^2)
FBD	: faktor beban dinamis atau factor kejut
I	: faktor keutamaan struktur
K_{TT}^U	: koefisien beban truk
K_{MS}^U	: koefisien beban untuk material beton
K_{TD}^U	: koefisien beban untuk lajur lalu lintas
K_h	: koefisien pembebanan gempa horizontal
L	: panjang total yang dibebani untuk pembebanan lajur “D” (m)
p	: harga BGT dari pembebanan lajur “D”
q	: harga BTR dari pembebanan lajur “D”
R	: faktor reduksi gempa
S	: faktor tipe bangunan untuk tipe beban gempa
T_{EW1}	: beban angin yang bekerja pada konstruksi (kN)
T'_{EQ}	: gaya geser dasar dalam arah yang ditinjau (kN)
V_w	: kecepatan angin rencana (m/s)
V	: gaya geser dasar gempa (kN)
W_t	: berat bangunan atas untuk gaya gempa (kN)
w^*	: pembebanan rencana untuk palang pejalan kaki
T	: waktu getar jembatan (s)
K_p	: kekakuan gabungan (kN/m)

KONTROL PROFIL BAJA

λ	: angka kelangsingan
ϕ	: faktor reduksi
A_g	: luasan penampang profil (cm^2)
A_w	: luasan badan profil (cm^2)
B	: lebar sayap profil WF (mm)
C_b	: koefisien momen lentur
d	: tinggi profil WF (mm)
E	: elastisitas baja (MPa)
f_y	: tegangan leleh baja (MPa)
f_r	: tegangan sisa (MPa)
f_u	: tegangan putus baja (MPa)
G	: modulus geser (MPa)
h	: tinggi bersih pelat badan (mm)
$I_{x,y}$	: inersia penampang (mm^4)
$i_{x,y}$	: jari – jari kelembaman (cm)
K_C	: faktor panjang tekuk
L	: panjang bentang (m).
L_B	: jarak penahan lateral (cm)
$L_{x,y}$	: panjang batang (m)
L_k	: panjang tekuk (m)
$M_{A,B,C}$	: harga dari momen <i>absolute</i> pada $\frac{1}{4} L_B$, $\frac{1}{2} L_B$, $\frac{3}{4} L_B$, (kNm)
M_D	: momen akibat beban mati (kNm)
M_P	: momen plastis (kNm)
M_n	: momen nominal (kNm)
M_R	: momen batas (kNm)
M_U	: momen lentur perlu (kNm)
M_y	: momen leleh (kNm)
$M_{x,y}$	: momen arah x,y (kNm)
N_{crb}	: gaya tekan kritis Euler (kN)
P	: gaya aksial (kN)

P_n	: kuat nominal tekan (kN)
$S_{x,y}$	: modulus elastis baja (cm^3)
t_w	: tebal pelat badan (mm)
t_f	: tebal pelat sayap (mm)
$V_{x,y}$	: gaya geser arah x,y (kN)
V_n	: kuat nominal geser (kN)
V_u	: kuat rencana geser (kN)
W	: berat profil (kg/m)
$Z_{x,y}$	: modulus plastis baja (cm^3)

PERHITUNGAN SAMBUNGAN

A	: luasan las (mm^2)
A_1	: luasan las pada area badan(mm^2)
A_2	: luasan las pada area sayap(mm^2)
A_b	: luas penampang baut (mm^2)
a_{ef}	: tebal kaki las efektif (mm)
a_{perlu}	: tebal kaki las perlu (mm)
d_b	: diameter baut (mm)
f_u	: tegangan putus (MPa)
f_t^b	: kuat tarik baut (MPa)
f_s^b	: kuat geser baut (MPa)
f_n	: kuat nominal las (MPa)
f_{E70XX}	: tegangan putus las (kN)
f_v	: tegangan las akibat V_u (MPa)
f_{hm}	: tegangan las akibat M_u (MPa)
f_{total}	: tegangan total las (MPa)
m	: jumlah bidang geser
n	: jumlah baut rencana
R_d	: kuat tumpu rencana baut (kN)
t_e	: tebal efektif las sudut (mm)
t_p	: tebal pelat tertipis (mm)
t_w	: tebal pelat badan (mm)

- t_f : tebal pelat sayap (mm)
 Td : kuat tarik rencana baut (kN)
 Vd : kuat geser rencana baut (kN)
 Vu : gaya geser *ultimate* (kN)

PERHITUNGAN TEBAL BASEPLATE PERLETAKAN

- ϕ_c : faktor resistensi beton
 ϕ_t : faktor tahanan untuk tegangan
 $A_{1,2}$: luasan pelat (cm^2)
 A_b : luasan penampang angkur (mm^2)
 A_g : luasan lubang baut angkur (mm^2)
 B : lebar pelat (cm)
 b_f : lebar sayap dari kolom (cm)
 d : kedalaman sayap dari kolom (cm)
 f'_c : mutu beton pilar (MPa)
 f_y : mutu baja (MPa)
 L : panjang jangkar (cm)
 N : panjang pelat (cm)
 Pu : beban vertikal (kN)
 Tu : kapasitas angkur (kN)
 tp : tebal pelat (cm)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul ***“Modifikasi Perancangan Jembatan Trisula Menggunakan Busur Rangka Baja Dengan Dilengkapi Damper Pada Zona Gempa 4”***.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tingkat Sarjana di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya. Dengan selesainya laporan Tugas Akhir ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu atas curahan kasih sayang, doa, nasihat dan bimbingannya, Adik-adikku tersayang dan segenap keluarga atas dukungan yang diberikan.
2. Bapak Bambang Pisceca dan Bapak Djoko Irawan, selaku Dosen Pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan, inspirasi, pengarahan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Budi Rahardjo selaku Dosen Wali sekaligus orang tua yang telah memberikan nasihat dan dukungannya selama masa perkuliahan.
4. Ketua Jurusan Teknik Sipil, Bapak Budi Suswanto, seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil ITS, terima kasih atas segala bantuan dan fasilitas yang diberikan.
5. Seluruh teman-teman di ITS, khususnya pada Jurusan Teknik Sipil yang telah banyak membantu Penulis dalam masa perkuliahan.
6. Saudara-saudaraku di Sekretariat Al Khidmah Wadeng yang dengan tulus dan ikhlas memberikan dukungan moral kepada Penulis.
7. Mutiara yang selama ini setia dengan *ocean-ocean* positifnya.
8. Semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu baik secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dengan segala kekurangan dan keterbatasan, Penulis menyadari bahwa perancangan ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun Penulis berharap agar hasil yang diperoleh ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2012

Penulis

MODIFIKASI PERANCANGAN JEMBATAN TRISULA MENGGUNAKAN BUSUR RANGKA BAJA DENGAN DILENGKAPI DAMPER PADA ZONA GEMPA 4

Nama Mahasiswa : Citra Bahrin Syah
NRP : 3106100725
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Bambang Pisceca, ST., MT.
Ir. Djoko Irawan, MS.

Abstrak

Jembatan Trisula merupakan akses penting antara Kota Blitar dengan Kecamatan Kademangan dan Kabupaten Tulungagung. Usia jembatan yang sudah tua dengan volume lalu lintas kendaraan yang semakin meningkat melatarbelakangi pembangunan Jembatan Trisula yang baru sebagai solusi dalam menunjang sarana transportasi.

Dalam Tugas akhir ini, dilakukan perancangan struktur Jembatan Trisula yang baru dengan sistem busur rangka baja. Karena perbedaan kedalaman pada dasar sungai, jembatan didesain dengan dua bentang busur yang masing-masing panjangnya adalah 70 meter. Meninjau lokasi Kota Blitar yang berada pada Zona Gempa 4, pada pangkal busurnya dipasang damper yang berfungsi sebagai lateral stopper. Untuk perletakkannya didesain menggunakan Pot bearing dengan kapasitas beban vertikal maksimum sebesar 500 kN.

Perancangan struktur jembatan ini berpedoman pada beberapa standar peraturan yang ada. Untuk pembebanan mengacu pada SNI T02-2005, perencanaan struktur baja disesuaikan dengan SNI 1729-2002 yang terdiri dari beberapa elemen struktur yaitu balok memanjang, balok melintang, rangka busur utama, ikatan angin bawah dan ikatan angin atas. Untuk desain pelat lantai kendaraan menggunakan SNI 2847-2002. Analisa struktur yang dilakukan meliputi analisa rasio penampang struktur profil baja dan desain detail sambungan,

Setelah dilakukan perhitungan dan kontrol, kemampuan struktur dalam memikul beban – beban yang bekerja masih cukup kuat. Hal ini ditunjukkan dengan stress ratio yang kurang dari 0.95 sesuai

SNI 1729-2002. Bahkan dengan adanya penambahan damper mampu mengurangi deformasi maksimum sebesar 6.8 %. Selanjutnya, dari hasil perancangan didapatkan beberapa gambar denah, potongan memanjang, potongan melintang, dan gambar detail sambungan.

Kata kunci : Jembatan busur, rangka baja, damper.



DESIGN MODIFICATION OF TRISULA BRIDGE USING STEEL TRUSS ARCH COMPLETED BY DAMPER ON EARTHQUAKE ZONE 4

Name : Citra Bahrin Syah
NRP : 3107100725
Departement : Civil Engineering FTSP-ITS
Advisor : Bambang Piscesa, ST., MT.
Ir. Djoko Irawan, MS.

Abstrak

Trisula bridge is an important access between the Blitar City with the Kademangan District and Tulungagung Regency. The bridge's old age with traffic volume increasing was the reason of The new Trisula Bridge construction as a solution in support of transportation facility.

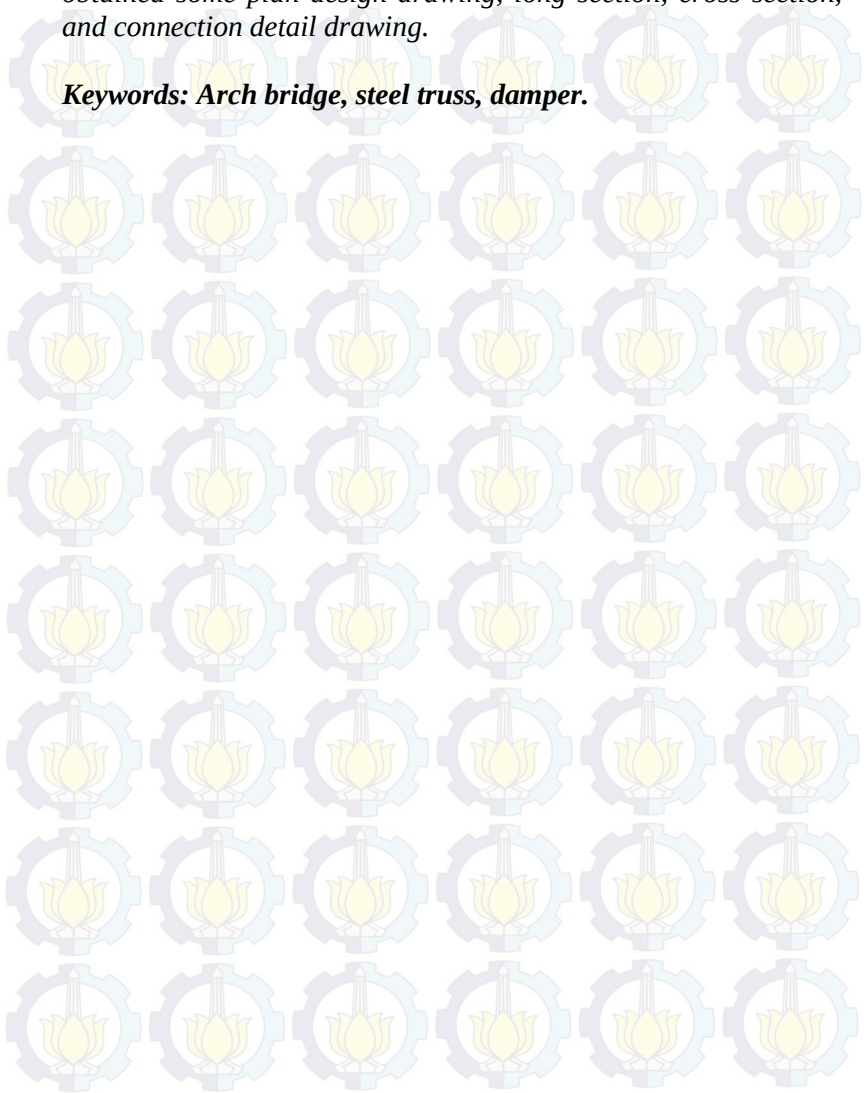
In this final project, there is structure design of the new Trisula bridge with steel truss arch system. Due to differences in the depth of the river, so the bridge was designed with two spans, each arch length is 70 meters. Reviewing the location of Blitar City that located on Earthquake Zone 4, in the base of arch is installed damper to lateral stopper. For bearing design using Pot Bearings with a maximum vertical load capacity of 500 kN.

The design of the bridge structure is based on some standard design. For loading of structure refers to SNI T02-2005, steel structural design based to SNI 1729-2002 which consists of several structure elements such the girder beam, cross beam, truss of the main arch, top wind bracing and bottom wind bracing. For the design of deck using the SNI 2847-2002. Structural analysis including sectional ratio analysis of steel profiles and detail design of the connection,

After doing the calculation and control, the ability of structure to bear the loadings is still strong. This is indicated by the stress ratio less than 0.95 according to SNI 1729-2002. Moreover, the addition of the damper can reduce the maximum

deformation of 6.8%. Furthermore, from the result design is obtained some plan design drawing, long section, cross section, and connection detail drawing.

Keywords: Arch bridge, steel truss, damper.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya aktifitas dan mobilitas manusia mendorong kemajuan teknologi di bidang sarana dan prasarana transportasi. Salah satu usaha dalam menunjang sarana transportasi adalah pembangunan infrastruktur jembatan. Maka, dalam rangka meningkatkan dan menunjang sarana transportasi, Pemerintah Daerah Jawa Timur berencana merealisasikan pembangunan Jembatan Trisula yang baru.

Jembatan Trisula terletak di Wilayah Kabupaten Blitar yang sesuai peta wilayah gempa masuk pada Zona Gempa 4. Berada diatas Sungai Brantas, Jembatan Trisula merupakan akses dari Kota Blitar menuju dua arah, yakni Kecamatan Kademangan (arah selatan) dan Kabupaten Tulungagung (arah barat). Saat ini terdapat jembatan lama bertipe rangka batang terbuka dengan 2 lajur 2 arah, lebar 8 meter dan panjang total 168 meter yang terbagi dalam beberapa segmen (lihat gambar 1.1).

Dengan semakin meningkatnya volume lalu lintas kendaraan, Jembatan Trisula yang lama kurang bisa melayani. Apalagi melihat kondisi usia jembatan yang sudah cukup tua. Untuk menghindari kegagalan struktur dalam upaya meningkatkan pelayanan infrastruktur, dibutuhkan jembatan baru yang selain kuat dalam memikul beban vertikal juga tahan terhadap gaya gempa pada Zona Gempa 4.

Dalam Tugas Akhir ini akan direncanakan Jembatan Trisula yang baru menggunakan konstruksi busur rangka baja dengan rantai kendaraan di tengah. Konstruksi busur dianggap efektif untuk jembatan bentang panjang karena bentuk busur dapat mengurangi momen lentur di lapangan, sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien dibandingkan gelagar paralel. Sedangkan material baja dipilih karena memiliki kekuatan yang cukup tinggi dengan luas penampang yang relatif lebih ramping dari pada material beton.

Pada perencanaannya Jembatan Busur Trisula ini terdiri dari dua bentang busur dengan masing – masing panjang bentang yang sama, yakni 70 m (lihat gambar 1.2). Hal ini disesuaikan dengan kondisi lapangan yang ada. Kondisi lapangan yang dimaksud yaitu perbedaan

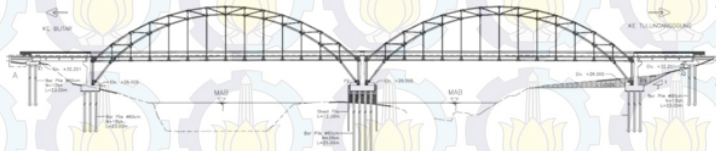
kedalaman pada dasar sungai. Sungai Brantas memiliki kedalaman yang berbeda pada dasar penampang propil sungainya.

Salah satu nilai tambah pada Jembatan Trisula yang baru ini adalah pada pangkal busurnya dipasang sebuah damper jenis LRB (*Lead Rubber Bearing*) sebagai *lateral stopper*. Damper merupakan salah satu kontrol pasif (isolasi seismik) yang berfungsi untuk meminimalisir dan meredam pergerakan struktur selama gempa bumi. Damper jenis LRB ini terdiri dari kombinasi lempengan karet alam dan lempeng baja. Karet alam berfungsi untuk mengurangi getaran akibat gempa bumi, sedangkan lempeng baja digunakan untuk menambah kekakuan bantalan karet. Selain itu pada bagian tengahnya diberikan batangan bulat dari timah untuk meningkatkan redaman.

Dengan adanya desain Jembatan Busur Trisula ini diharapkan mampu menjadi solusi dalam merancang sebuah jembatan yang kuat secara struktural, baik terhadap beban vertikal maupun beban gempa. Adapun sistem busur yang dipakai selain lebih efisien dalam segi material, juga diharapkan mempunyai nilai lebih dalam segi estetika karena mampu memberikan kesan monumental.



Gambar 1.1 Kondisi Jembatan Trisula yang ada



Gambar 1.2 Tampak memanjang Jembatan Trisula yang baru

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan utama yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana merencanakan struktur Jembatan Trisula dengan menggunakan busur rangka baja yang dilengkapi Damper dengan tinjauan Gempa Wilayah 4.

Sedangkan permasalahan detailnya antara lain :

1. Bagaimana merancang lay out awal struktur rangka busur sesuai kondisi lapangan yang ada dengan lantai kendaraan di tengah dan menggunakan batang tarik ?
2. Bagaimana menganalisa pembebanan jembatan busur yang mengacu pada SNI T02-2005 dengan mempertimbangkan beban gempa pada Zona Gempa 4 ?
3. Bagaimana memodelkan struktur jembatan busur pada Program bantu SAP 2000 dengan disertai permodelan Damper ?
4. Bagaimana menentukan profil baja dan sambungan yang efisien serta mengontrol kekuatannya terhadap gaya dalam dengan mengacu SNI 1729-2002 ?
5. Bagaimana pengaruh dan perilaku struktur terhadap gaya gempa dengan adanya Damper sebagai *Lateral Stopper* ?
6. Bagaimana menuangkan hasil perancangan ke dalam bentuk gambar teknik yang sesuai dengan standar ?

1.3 Tujuan

Dalam Tugas Akhir ini, tujuan utama yang ingin dicapai adalah dapat merencanakan struktur Jembatan Trisula dengan menggunakan busur rangka baja yang dilengkapi damper dengan tinjauan Gempa Wilayah 4. Dan tujuan detailnya adalah sebagai berikut :

1. Dapat merancang lay out awal struktur rangka busur sesuai kondisi lapangan yang ada dengan lantai kendaraan di tengah dan menggunakan batang tarik.
2. Dapat menganalisa pembebanan jembatan busur yang mengacu pada SNI T02-2005 dengan mempertimbangkan beban gempa pada Zona Gempa 4.
3. Dapat memodelkan struktur jembatan busur pada Program Bantu SAP 2000 dengan disertai permodelan Damper.
4. Dapat menentukan profil baja dan sambungan yang efisien, serta mengontrol kekuatannya terhadap gaya dalam dengan mengacu SNI 1729-2002.

5. Dapat mengetahui pengaruh dan perilaku struktur terhadap gaya gempa dengan adanya Damper sebagai *Lateral Stopper*.
6. Dapat menuangkan hasil perancangan kedalam bentuk gambar teknik yang sesuai dengan standar.

1.4 Batasan Masalah

Perencanaan pada Tugas Akhir perlu difokuskan sehingga adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Perencanaan ini hanya pada konstruksi busur, tidak termasuk konstruksi balok pratekan yang terdapat pada bagian tepi.
2. Tidak membahas analisa biaya konstruksi dan waktu.
3. Perencanaan tidak meliputi metode pelaksanaan konstruksi.
4. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan pendekat.
5. Tidak merencanakan struktur bangunan bawah

1.5 Manfaat

Penyusunan Tugas Akhir ini diharapkan memberikan manfaat kepada masyarakat, khususnya pada dunia ketekniksipilan sebagai salah satu solusi dalam merancang sebuah jembatan yang kuat secara struktural dan indah dalam segi arsitektural. Dan yang tidak ketinggalan adalah manfaat untuk penulis sendiri, yaitu dapat meningkatkan pengetahuan dan melatih *sense engineering* dalam merencanakan jembatan khususnya jembatan busur rangka baja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan alur jalan dengan melintasi rintangan yang ada seperti lembah, alur sungai, selat, laut, danau, saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan sebagainya tanpa harus menutup rintangan yang ada.

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

- a. Menurut jenis materialnya, yakni jembatan kayu, jembatan baja, jembatan beton bertulang, jembatan beton pratekan, dan jembatan komposit.
- b. Menurut bentangnya dibagi menjadi tiga (Naaman 1982):
 - Bentang pendek (*short span*) dengan panjang bentang kurang dari 15 meter.
 - Bentang menengah (*medium span*) dengan panjang bentang antara 15 sampai 30 meter.
 - Bentang panjang (*long span*) dengan bentang lebih dari 30 meter.
- c. Menurut sistem strukturnya terdapat beberapa tipe jembatan, diantaranya:
 - Jembatan pelat (*slab bridge*)
 - Jembatan gelagar (*girder bridge*)
 - Jembatan busur (*arch bridge*)
 - Jembatan rangka (*truss bridge*)
 - Jembatan gantung (*suspension bridge*)
 - Jembatan kabel (*cable stayed*)

2.2 Konstruksi Busur :

Umumnya yang dimaksud dengan jembatan busur adalah suatu konstruksi jembatan yang pada pembebanan oleh beban vertikal memberikan reaksi perletakan dalam arah horizontal. Pemberian bentuk busur dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan, sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien, dibandingkan dengan gelagar atau balok paralel.

2.2.1 Beberapa Jenis Konstruksi Busur :

a. Menurut sifat gaya horisontal pada busur :

- Busur asli : reaksi horisontal (juga komponen reaksi lain : vertikal dan momen) diterima oleh perletakan, diteruskan ke pangkal jembatan atau pilar.
- Busur dengan batang tarik : gaya horizontal pada busur diterima oleh bagian konstruksi busur, yaitu batang tarik.

b. Pembagian menurut perletakan (jumlah sendi) :

- Busur terjepit
- Busur dua sendi
- Busur tiga sendi

c. Pembagian menurut kedudukan lantai kendaraan :

- Busur dengan lantai kendaraan diatas (*deck arch*)
- Busur dengan lantai kendaraan dibawah (*through arch*)
- Busur dengan lantai kendaraan ditengah (*a half - through arch through arch*)

d. Pembagian menurut jenis gelagar pemikul utama :

- Busur dinding penuh
- Busur rangka batang

e. Beberapa bentuk busur :

- Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal, umumnya untuk busur terjepit.
- Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur, umumnya busur dinding penuh termasuk bentuk box.
- Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal, umumnya untuk busur dua sendi.

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

- Busur sangat kaku dibandingkan dengan batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul busur, bentuk busur umumnya memiliki penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal
- Busur sangat lemah dibandingkan dengan batang tarik yang sangat kaku dengan batang tarik memikul sebagian besar momen, bentuk penampang busur sama untuk seluruh bagian busur.
- Diantara kedua keadaan diatas, momen dibagi antara busur dan batang tarik.

2.2.2 Pemilihan Jenis Konstruksi dan Bentuk Busur.

Pemilihan jenis Konstruksi dan Bentuk Busur, antara lain ditentukan oleh :

a. Keadaan tanah dasar :

- Tebing yang curam, kokoh dan tinggi lebih cocok busur dengan lantai kendaraan diatas
- Bila pada lantai kendaraan diatas pangkal busur terkena muka air, maka busur dengan lantai kendaraan di tengah
- Tanah yang kurang kuat untuk menerima reaksi horizontal busur bisa menambahkan batang tarik
- Untuk mengurangi besarnya gaya horizontal dari perletakan dapat dipikirkan alternatif suatu seri busur (rangkaian beberapa busur)

b. Besarnya beban :

- Skema beban ringan : busur dinding penuh.
- Skema beban berat : busur rangka batang.

c. Segi estetik :

- Kesan kelangsingan : penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal
- Kesan yang tenang : dinding penuh.

2.3 Sambungan

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya di ujung batang) dengan beberapa cara. Salah satu cara yang digunakan adalah

pengelasan, cara lain ialah menggunakan alat penyambung seperti paku keling dan baut (Salmon, Johnson, dan Malhas 2009).

Fungsi sambungan, disamping menyatukan element-element pada suatu konstruksi menjadi satu kesatuan, juga berfungsi sebagai penyalur beban dari satu bagian ke bagian yang lain (Marwan dan Isdarmanu 2006).

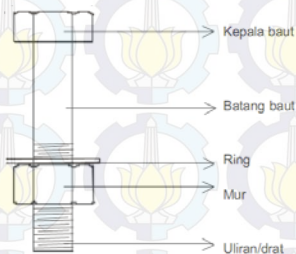
Berdasarkan AISC-LRFD pasal 5.3 jenis alat sambung baja terdiri dari :

- Baut, mur, dan ring
- Alat sambung mutu tinggi
- Las
- Penghubung geser jenis paku yang dilas
- Baut angker

2.3.1 Sambungan Baut

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur/pengunci (lihat gambar 2.1).

Ada dua jenis baut yang biasa dipakai pada konstruksi baja. Pertama adalah baut biasa yang dipakai pada struktur ringan yang menahan beban statis atau untuk menyambung batang-batang sekunder. Jenis yang kedua adalah baut tegangan tinggi (mutu tinggi) dengan pemasangan dikencangkan sedemikian rupa sehingga menahan suatu tekanan yang besar dan bisa menjepit dengan keras bagian-bagian struktur yang disambung (Amon, Knobloch, dan Mazumder 1988).



Gambar 2.1 Bagian-bagian detail baut secara umum

Beberapa kelebihan sambungan menggunakan baut antara lain

- Lebih mudah dalam pemasangan konstruksi di lapangan.
- Konstruksi sambungan baut dapat dibongkar-pasang.

- Baut jenis *Baut Pass* kuat digunakan untuk konstruksi berat, termasuk jembatan.

2.3.2 Sambungan Las

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan dua potong logam dengan cara memanaskan baja hingga mencapai suhu leleh dengan ataupun tanpa bahan pengisi. Pada umumnya mutu kawat las (bahan pengisi) lebih besar atau sama dengan mutu baja yang akan disambung. Pada pelaksanaannya terdapat beberapa tipe sambungan las antara lain :

a. Las Tumpul

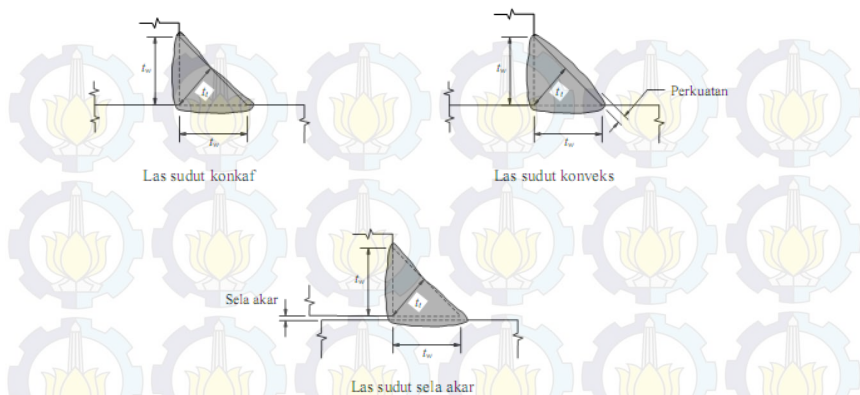
Las tumpul adalah las yang dibuat pada celah antara ujung-ujung yang bersebelahan, tepi-tepi, atau permukaan dua bagian yang akan digabung pada *jointbutt* .

Ada beberapa bahan las tumpul yang dipakai, antara lain F_{E60XX} , F_{E70XX} , F_{E80XX} , F_{E90XX} , F_{E100XX} , F_{E110XX} . E adalah Elektrode, sedangkan 60 – 110 menunjukkan kekuatan tarik minimum dalam KSI ($1\text{ksi} = 70.3 \text{ kg/cm}^2$), dan digit dibelakangnya xx menunjukkan tipe coatingnya (Marwan dan Isdarmanu 2006)

b. Las Sudut

Las sudut adalah las yang secara teoritis mempunyai penampang melintang segitiga, yang menggabungkan dua permukaan yang kurang lebih mempunyai sudut siku, yaitu pada join lap, tee (T), dan *corner* (pojok).

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang tw_1 , tw_2 , dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (lihat gambar 2.2). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah tw . Bila terdapat sela akar, ukuran tw diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar seperti ditunjukkan dalam gambar 2.2 (SNI 03-1729-2002).



Gambar 2.2 Ukuran las sudut

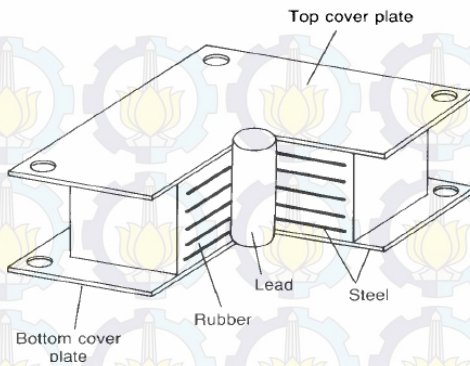
Beberapa kelebihan sambungan yang menggunakan las :

- Konstruksi sambungan memiliki bentuk lebih rapi.
- Konstruksi baja dengan sambungan las memiliki berat lebih ringan, hanya berkisar 1 – 1,5% dari berat konstruksi, sedang dengan paku keling / baut berkisar 2,5 – 4% dari berat konstruksi.
- Pengerjaan konstruksi relatif lebih cepat (tidak perlu membuat lubang-lubang baut, tak perlu memasang potongan baja siku / pelat penyambung, dan sebagainya).
- Luas penampang batang baja tetap utuh karena tidak dilubangi, sehingga kekuatannya utuh.

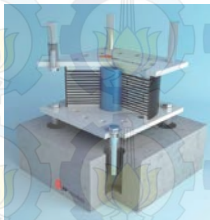
2.4 *Lead Rubber Bearing*

Lead Rubber Bearing (LRB) adalah salah satu sistem anti seismik base isolator yang banyak digunakan pada struktur untuk mereduksi gaya gempa. LRB ini terdiri dari beberapa lapisan karet alam atau sintetis yang mempunyai nisbah redaman kritis antara 2-5%. Untuk dapat menahan beban vertikal (tidak terjadi tekuk), maka karet diberi lempengan baja yang dilekatkan ke lapisan karet dengan sistem vulkanisir. Untuk meningkatkan nisbah redaman sistem ini, maka pada bagian tengahnya diberikan batangan bulat dari timah.

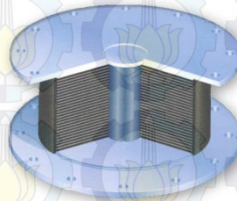
Produk dari LRB sangat bervariasi bentuknya (lihat gambar 2.4). Tetapi pada umumnya LRB terdiri dari beberapa komponen dasar penyusun seperti terlihat pada gambar 2.3.



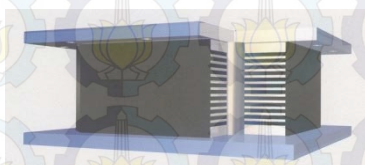
Gambar 2.3 Komponen dasar penyusun LRB



(a) Produk LRB *FIP Industrial*



(b) Produk LRB dari *Aurotek*

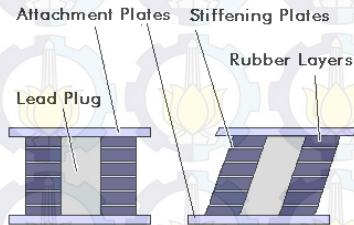


(c) LRB produk *Aurotek* tipe *square*

Gambar 2.4 Variasi bentuk LRB hasil fabrikasi

Pada dasarnya cara perlindungan bangunan oleh LRB dicapai melalui pengurangan getaran gempa bumi ke arah horizontal dan memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan oleh pondasi. LRB dapat mengurangi daya reaksi

gempa karena secara alami karet alam memiliki sifat fleksibilitas dan menyerap sebagaimana gambar 2.5. Bantalan yang digunakan untuk melindungi gempa bumi dibuat dari kombinasi lempengan karet alam dan lempeng baja.



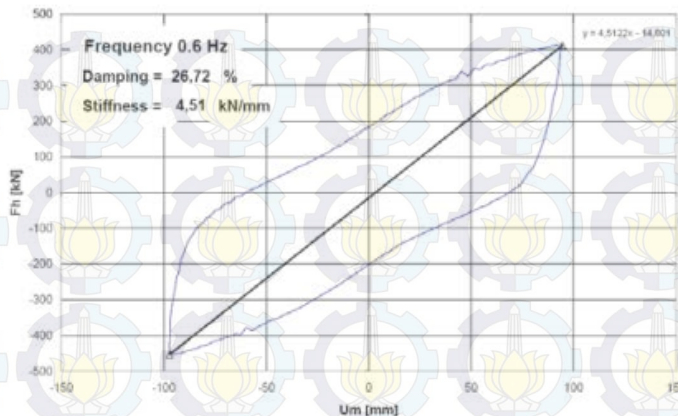
Gambar 2.5 Sifat fleksibilitas *rubber* (karet)

Untuk bantalan karet pada LRB dengan luas bantalan diberikan A , modulus geser G , tinggi h , regangan geser yang diijinkan γ , bentuk S faktor, dan curah modulus K sebagai kekakuan horisontal dan periode getaran bisa dinyatakan sebagai

$$K = \frac{G \times A}{h}$$

$$T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{M}{K}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{m_0(k_0 + k_1)}{A_g}}$$

Dimana A adalah *overlap* dari area atas dan bawah bantalan pada perpindahan maksimum. Nilai *typical* untuk penampang bantalan elastomer jembatan adalah $G = 1$ mPa (145 psi), $K = 200$ mPa (290 psi), $\gamma = 0,9-1,4$, $S = 3$ sampai 40. Variabilitas utama terletak pada S , yang merupakan fungsi dari dimensi rencana dan ketebalan lapisan karet. Kurva histeresis yang terkait ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hysteresis loops dari LRB pada hasil tes di Jerman

Terdapat berbagai macam ukuran LRB yang disesuaikan dengan kebutuhan. Tabel 2.1 berikut ini adalah produk LRB dari Maurer Sohne.

Tabel 2.1 Berbagai Macam Dimensi LRB Versi Maurer Sohne.

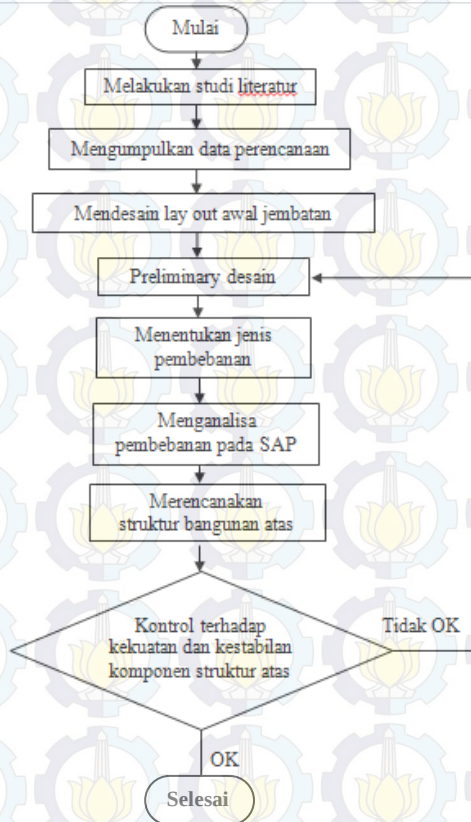
Vertical load* (MN)	Outline dimensions of isolator without anchor studs length (L) x width (W) or diameter (D) [mm]	Dimensions of rubber pad length (l) x width (w) or diameter (d) [mm]	Height values				Rubber layer thickness		
			Rubber height		Isolator height **		total		single layer
			min [mm]	max [mm]	min [mm]	max [mm]	min [mm]	max [mm]	[mm]
0.37 / 0.45	280 x 170 / 280 x 220	100 x 150 / 100 x 200							
0.67 / 0.84 / 1.0 0.70 / 1.1	330 x 220 / 330 x 270 / 330 x 320 Ø 380 / Ø 430	150 x 200 / 150 x 250 / 150 x 300 Ø 200 / Ø 250	49	71	79	101	16	24	8
1.12 / 1.35 / 1.57 1.8 / 1.59	380 x 270 / 380 x 320 / 380 x 320 380 x 420 / Ø 480	200 x 250 / 200 x 300 / 200 x 350 200 x 400 / Ø 300	58	93	88	123	24	48	8
1.68 / 2.25 / 2.16	430 x 320 / 430 x 420 / Ø 530	250 x 300 / 250 x 400 / Ø 350	58	104	88	134	24	56	8
2.7 / 3.37 / 4.05 2.82 / 3.57	480 x 420 / 480 x 520 / 480 x 620 Ø 580 / Ø 630	300 x 400 / 300 x 500 / 300 x 600 Ø 400 / Ø 450	84	132	124	172	36	72	12
3.54 / 4.41	530 x 470 / Ø 680	350 x 450 / Ø 500	84	148	124	188	36	84	12
4.5 / 5.4 / 5.34	580 x 520 / 580 x 620 / Ø 730	400 x 500 / 400 x 600 / Ø 550	100	164	140	204	48	96	12
6.07 / 6.36	630 x 620 / Ø 780	450 x 600 / Ø 600	100	164	140	204	48	108	12
6.75 / 7.46	680 x 620 / Ø 830	500 x 600 / Ø 650	100	164	140	204	48	120	12
8.1 / 9.45	780 x 630 / 780 x 730 Ø 880 / Ø 930	600 x 600 / 600 x 700 Ø 700 / Ø 750	119	224	159	264	64	144	16
11.02 / 12.6 11.3 / 12.76	880 x 730 / 880 x 830 Ø 980 / Ø 1030	700 x 700 / 700 x 800 Ø 800 / Ø 850	119	224	159	264	64	160	16
14.4 / 14.3	980 x 830 / Ø 1080	800 x 800 / Ø 900	135	305	175	345	80	220	20
18.2	1080 x 930	900 x 900	135	305	175	345	80	220	20

BAB III

METODOLOGI

3.1 Urutan Pengerjaan

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam merencanakan struktur jembatan busur trisula yang digambarkan dengan diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Penjelasan

Secara garis besar langkah-langkah ini mencakup beberapa hal pokok antara lain :

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur dengan berpedoman beberapa standar peraturan sebagai bahan pustaka dalam pengerjaan tugas akhir, antara lain :

- a. Bridges Management System (BMS) 1992
- b. RSNI T-02-2005 (standar pembebanan untuk jembatan)
- c. SNI 1729-2002 (perencanaan struktur baja)
- d. SNI 03-2847-2002 (untuk perhitungan pelat lantai)
- e. AISC – LRFD

2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan antara lain :

- Bentang sungai : 120 meter
- Data tanah : Standar Penetrasi Test (SPT)
- Lokasi : Blitar, Jawa Timur
- Ruas Jalan : Blitar-Kademangan/Tulungagung
- Letak Jembatan : > 5 km dari pantai
- Zona wilayah gempa : 4

3. Preliminary Design

a. Penentuan mutu bahan yang digunakan :

- Mutu Beton ($f'c$) = 24 MPa.
- Mutu Baja Tulangan (f_y) = 390 MPa.
- Struktur utama BJ 50 (f_y) = 290 MPa.
- Mutu baut sambungan menggunakan ASTM A325-A490 untuk sambungan baut antar profil sedangkan sambungan *base plate* dengan pondasi menggunakan ASTM A307.
- Mutu las yang digunakan adalah E70xx.

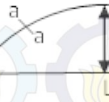
b. Memperkirakan tebal pelat lantai kendaraan

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , yang memenuhi kedua ketentuan berikut :

$$t_s \geq 200 \text{ mm dan } t_s \geq 100 + 40 L \text{ (m),}$$

dimana L adalah bentang dari pelat lantai antara pusat tumpuan dan t_s diberikan dalam millimeter (BMS 6.7.1.2).

c. Menentukan dimensi busur



- Tinggi Busur :

$$\text{Syarat : } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad \text{atau} \quad 0.167 \leq \frac{f}{L} \leq 0.200$$

f : tinggi busur

L : bentang busur

- Tinggi Tampang Busur :

$$\text{Syarat : } \frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (\text{rangka batang})$$

t : tinggi tampang busur;

L : bentang busur

- Lebar Jembatan:

$$\text{Syarat : } \frac{b}{L} \geq \frac{1}{20}$$

b : jarak perletakan kiri-kanan paling luar

- Panjang Penggantung Busur

Panjang penggantung busur dapat dicari dengan persamaan sumbu geometrik busur.

$$y_n = \frac{4 \times f \times x \times (L - x)}{L^2} \quad (3.1)$$

4. Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa.

a. Berat Mati

Beban mati pada perencanaan ini meliputi berat sendiri dari masing – masing elemen struktur seperti berat I-Girder, Pelat lantai kendaraan dan aspal. Besarnya beban - beban mati tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

$$\text{Beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

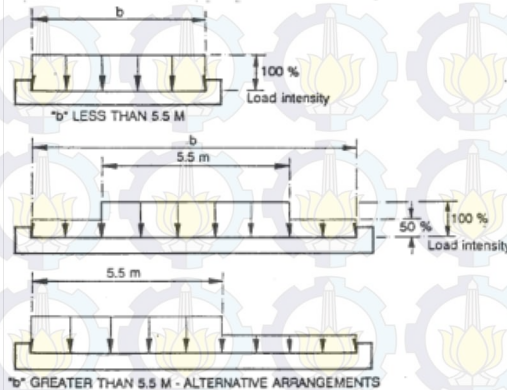
$$\text{Aspal} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

b. Beban Hidup UDL “U” (*Uniform Dead Load*)

Pembebanan menurut SNI T02-2005, untuk beban hidup UDL diambil sebagai fungsi terhadap panjang jembatan dimana besarnya beban hidup UDL yang diambil dapat direncanakan sebagai berikut :

- Untuk panjang bentang jembatan (L) lebih kecil sama dengan 30 m maka besarnya beban hidup UDL dapat diambil sebesar 9 kPa.
- Untuk panjang bentang jembatan (L) lebih besar dari 30 m maka besarnya beban hidup UDL dapat diambil sebesar $9(0.5+15/L)$ kPa.

Berdasarkan SNI T02-2005, ilustrasi pembebanan UDL dapat dilihat pada Gambar 3.2. Konfigurasi pembebanan tertentu untuk elemen-elemen struktur tertentu juga harus diperhatikan untuk mendapatkan bentuk pembebanan yang memberikan gaya paling maksimum (Maksimum-Maksimorum). Besarnya *Dynamic Load Allowance* (DLA) untuk beban UDL ini diambil sebesar 30 % untuk panjang bentang kurang dari 50 m.



Gambar 3.2 Sketsa Beban Hidup UDL

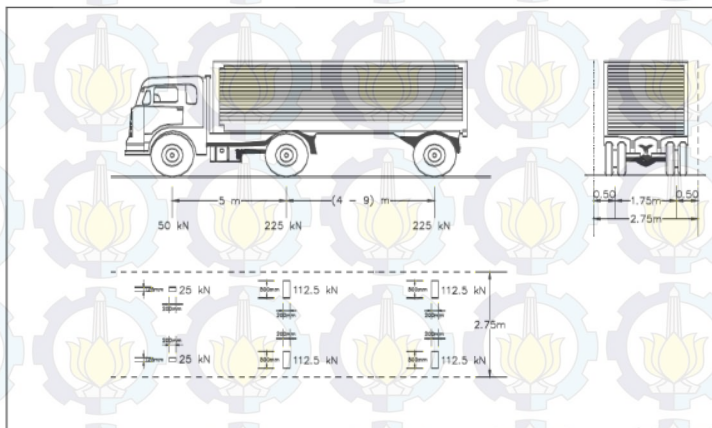
c. Beban Hidup KEL (*Knife Edge Load*)

Pembebanan menurut SNI T02-2005, untuk beban hidup KEL diambil sebagai fungsi terhadap panjang jembatan dimana besarnya beban hidup KEL diambil sebesar 49 kN/m.

Konfigurasi pembebanan tertentu untuk elemen-elemen struktur tertentu juga harus diperhatikan untuk mendapatkan bentuk pembebanan yang memberikan gaya paling maksimum (Maksimum-Maksimorum). Besarnya *Dynamic Load Allowance* (DLA) diambil sebesar 30% untuk panjang bentang kurang dari 50 m.

d. Beban Hidup Truk “T” (*Truck Load*)

Pembebanan menurut SNI T02-2005, untuk beban hidup Truck konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.3. Besarnya jarak beban gandar variable antara 4 hingga 9 meter. Untuk jembatan yang memiliki bentang yang panjang umumnya kondisi pembebanan menggunakan Truck tidak dominan tetapi yang dipakai umumnya menggunakan beban UDL.



Gambar 3.3 Ilustrasi beban hidup Truck “T”

e. Koefisien Pembebanan

Koefisien pembebanan pada jembatan dimaksudkan agar perencanaan mencapai kondisi ultimate maka beban tersebut harus dikalikan dengan koefisien pembebanan ultimate. Koefisien pembebanan berdasarkan Bridge Management System (BMS) dapat dilihat sebagai berikut :

1. Koefisien beban Truck (K_{TT}^U) = 2.0
2. Koefisien berat material beton (K_{MS}^U) = 1.3
3. Koefisien beban lajur lalu lintas (K_{TD}^U) = 2.0

f. Beban Pejalan Kaki

Trotoar yang terdapat pada jembatan harus diperhitungkan adanya beban pejalan kaki sebesar 500 kg/m

g. Beban Angin Rangka

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut :

$$T_{EW} = 0.0006 C_w (V_w)^2 A_b \quad (3.2)$$

Dimana :

V_w : Kecepatan angina rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau.

C_w : Koefisien seret

A_b : Luas koefisien bagian samping jembatan.

Luas ekivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang massif dalam arah tegal lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekivalen dianggap 30 % dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar.

Apabila suatu kendaraan sedang berada pada permukaan lantai maka besarnya beban angin dapat dihitung sebagai berikut :

$$T_{EW} = 0.0012 C_w (V_w) 2 A_b \quad (3.3)$$

Dimana nilai C_w diambil sama dengan 1.2. hal ini berbeda dengan beban angin yang bekerja pada rangka dengan koefisien seret (C_w) diambil seperti pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Koefisien Seret (RSNI T-02-2005)

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara dari b/d bisa diinterpolasi linier	
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Besarnya kecepatan angin rencana yang akan digunakan bergantung daripada kondisi letak struktur jembatan yang ada. Beberapa parameter tersebut dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 3.2 Kecepatan Angin Rencana (RSNI T-02-2005)

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

h. Beban Gempa

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Blitar-Tulungagung adalah wilayah gempa 4 sebagaimana ketentuan dalam SNI 1726-2002 serta mempertimbangkan kondisi tanah dilokasi rencana struktur ini yaitu tanah sedang.

i. Beban Temperatur

temperature yang digunakan diambil sebesar 40^0 Celcius yang merupakan penentuan ekstrim dari perubahan suhu malam dan siang di daerah Blitar-Tulungagung.

j. Beban Gempa

Simulasi pembebanan terhadap beban gempa ditinjau secara statik maupun dinamis, sedangkan besaran gaya gempa statik ekuivalen merujuk pada persamaan SNI 03-1726-2002 :

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} W_t \quad (3.4)$$

Dimana,

- V : Gaya Geser Dasar
 C_1 : Faktor Respon Gempa
 I : Faktor Keutamaan Struktur
 W_t : Berat Total Bangunan
 R : Faktor Reduksi

Kombinasi Pembebanan

Konfigurasi kombinasi pembebanan berdasarkan SNI T02-2005 dapat dilihat sebagai berikut :

$$1,30DL + 1,80LL + 1,00T$$

$$1,00DL + 1,00 LL \pm 1,00E + 1,00T$$

$$1,00DL + 1,00 LL \pm 1,30W + 1,00T$$

DL : beban mati

LL : beban hidup

E : beban gempa

W_1 : beban angin arah x

W_2 : beban angin arah y

T : beban temperatur

5. Kontrol Kekuatan dan Kestabilan Struktur

a. Kontrol kapasitas tekan

Mencari angka kelangsingan :

$$\lambda = \frac{Kc \times L}{i} \quad (3.5)$$

Menghitung gaya tekuk elastis :

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda^2} \quad (3.6)$$

Menghitung parameter kelangsingan kolom :

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} \quad (3.7)$$

$$\omega = 1 \quad (\lambda_c \leq 0.25)$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c} \quad (0.25 < \lambda_c < 1.2)$$

$$\omega = 1.25\lambda_c^2 \quad (\lambda_c \geq 1.2)$$

$$- \text{Kuat Nominal : } P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} \quad (3.8)$$

$$- \text{Syarat Kuat Rencana : } \phi P_n > P_u ; \phi = 0.85$$

b. Kontrol *Local Buckling* :

$$- \text{Sayap : } \frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (3.9)$$

$$- \text{Badan : } \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (3.10)$$

c. Kapasitas *Lateral Buckling*

L_B = Jarak penahan lateral

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.11)$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} \quad (3.12)$$

$L_B < L_R$ (bentang pendek)

$L_P \leq L_B \leq L_R$ (bentang menengah)

$L_B > L_R$ (bentang panjang)

d. Kapasitas Lentur

Menghitung koefisien momen lentur :

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30 \quad (3.13)$$

Kuat nominal lentur penampang

Bentang pendek :

$$M_n = M_p$$

Bentang menengah :

$$M_n = C_b \times \left[M_R + (M_p - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_p \quad (3.14)$$

Bentang panjang :

$$M_n = M_{cr}$$

e. Kapasitas Geser

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \quad (3.15)$$

$$V_n = 0.9 \times 0.6 \times f_y \times A_w > V_u \quad (3.16)$$

Cek Kapasitas – LRFD

$$\frac{Pu}{\phi P_n} + \frac{8\phi M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8\phi M_{uy}}{9\phi M_{ny}} < 1 \quad (3.17)$$

6. Perhitungan Sambungan

a. Sambungan Geser

$$\text{- Kuat geser } (V_d) = \phi \times f_s^b \times A_b \times m \quad (3.18)$$

$$\text{- Kuat tumpu } (R_d) = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b \quad (3.19)$$

$$\text{- Kuat tarik } (T_d) = \phi \times f_t^b \times A_b \quad (3.20)$$

b. Jumlah baut perlu : $\frac{V_u}{V_d} \quad (3.21)$

c. Perhitungan Sambungan Las pada Base Plate

$$f_v = \frac{V_u}{A} \quad (3.22)$$

$$f_{total} = \sqrt{(f_{vp}^2 + f_{hm}^2)} \quad (3.23)$$

Perhitungan Sambungan Base Plate

$$T_{perlu} = L_{max} \times \sqrt{\frac{2 \times Pu}{0.9 \times f_y \times B \times N}} \quad (3.24)$$

Kontrol tegangan maksimum pada tumpuan :

$$\frac{Pu}{A} + \frac{M_x}{W} + \frac{My}{W} < f'_c \quad (3.25)$$

- Desain angkur

$$A_g = \frac{T_u}{0.75 \times 0.75 \times f_u} \quad (3.26)$$

$$\text{Stress Ratio} = \frac{A_g}{A_b} \quad (3.27)$$

$$L = \frac{T_u}{\pi \times d \times 0.1 \times f'_c} \quad (3.28)$$

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur Sekunder

4.1.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan lebar 1.6 m dan panjang 5 m. Berdasarkan SNI T02-2005 persyaratan tebal pelat (d_3) dan tebal aspal (d_4) dapat dihitung dengan perumusan dibawah ini :

Ditentukan jarak antar balok memanjang (b_1) = 1.6 m

$$d_3 \geq 100 + 40 b_1, \text{ atau } d_3 \geq 200 \text{ mm}$$

$$d_3 \geq 100 + 40 (1.6)$$

$$d_3 \geq 164 \text{ mm}$$

Dari syarat-syarat diatas maka diambil tebal pelat lantai kendaraan sebesar 250 mm, sedangkan untuk perencanaan tebal aspal berdasarkan SNI T02-2005 dapat dilihat sebagai berikut :

$$d_4 \geq 5 - 8 \text{ cm}$$

Dari syarat diatas maka diambil tebal aspal sebesar 50 mm.

Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Pembebanan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai dengan BMS 1992 dengan faktor beban $K_U^{MS} = 1.3$ (Beton dicor ditempat) dan

Beban truck "T", $K_U^{TT} = 2.0$

Pada perencanaan pelat lantai kendaraan akan dihitung dengan asumsi per-meter panjang, dengan perhitungan pembebanan detail sebagai berikut :

- Perhitungan beban mati :

Berat sendiri plat

$$\begin{aligned} &= d_3 \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \times K_U^{MS} \\ &= 0.25 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} \times 1.3 \\ &= 7.8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berat aspal

$$\begin{aligned} &= d_4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1 \text{ m} \\ &= 0.05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} \\ &= 1.1 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

q_{Mati}

$$\begin{aligned} &= \text{berat sendiri pelat} + \text{berat aspal} \\ &= 7.8 + 1.1 = 8.9 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Perhitungan beban hidup :

Beban Roda Truck= 100 kN, dengan faktor kejut DLA (*Dynamic Load Allowance*) sebesar 0.3.

$$T = (1 + 0.3) \times 100 = 130 \text{ kN}$$

Beban Hidup *Ultimate* (Truck) :

$$\begin{aligned} T_{(U)} &= K_U^{TT} \times T \\ &= 2.0 \times 130 \text{ KN} = 260 \text{ KN} \end{aligned}$$

Perhitungan Momen – Momen Arah Melintang (Mx)

Perhitungan momen – momen arah melintang (bentang pendek) akibat beban mati dan beban hidup berupa beban truck dapat dilihat sebagai berikut :

- Perhitungan momen akibat beban mati :

$$\begin{aligned} M_U &= \frac{1}{10} \times q_{\text{Mati}} \times b_1^2 \\ &= \frac{1}{10} \times 8.9 \text{ kN/m} \times (1.60 \text{ m})^2 = 2.278 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup:

$$\begin{aligned} M_U &= 0.8 \times \frac{S + 0.6}{10} \times T_{(U)}, \text{ dimana } S = b_1 \\ &= 0.8 \times \frac{1.60\text{m} + 0.6}{10} \times 260 \text{ KN} = 45.76 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen Total :

$$\begin{aligned} M_U &= 2.278 \text{ kNm} + 45.760 \text{ kNm} \\ &= 48.038 \text{ kNm} \\ &= 48038000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Lentur Lantai kendaraan

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini adalah data perencanaannya:

- Mutu Beton (f'_c) = 24 MPa
- Mutu Baja Tulangan (f_y) = 390 MPa
- Kebutuhan tebal decking diambil 40 mm
- Tulangan utama (D) = 16 mm (arah x)
- Tulangan susut (ϕ) = 13 mm (arah y)
- Tebal pelat = 250 mm

Dengan mutu beton (f'_c) = 25 MPa < 30 mPa, maka nilai $\beta = 0.85$
(SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3))

$$\begin{aligned} d &= h - \phi - \left(\frac{1}{2} \times D\right) - \text{decking} \\ &= 250 - 13 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right) - 40 = 189 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times \frac{0.85 f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= 0.85 \times \frac{0.85 \times 24}{390} \times \frac{600}{(600 + 390)} \\ &= 0.0269 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0269 = 0.0202$$

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{390}{0.85 \times 24} = 19.1176$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_1 \times d^2} = \frac{48038000}{0.8 \times 1600 \times 189^2} \\ &= 1.05 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19.1176} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.1176 \times 1.05}{390}} \right] \\ &= 0.0028 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$, Maka dipakai $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0.0028$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0028 \times 1600 \times 189 = 846.72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa perhitungan penulangan diatas didapatkan bahwa kebutuhan penulangan arah x (bentang pendek) adalah D16-200 (As = 1608 mm²)

Untuk penulangan susut dipakai ketentuan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0.0018 \times A_{\text{bruto pelat}} \\ &= 0.0018 \times (250 \times 1600) \\ &= 720 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

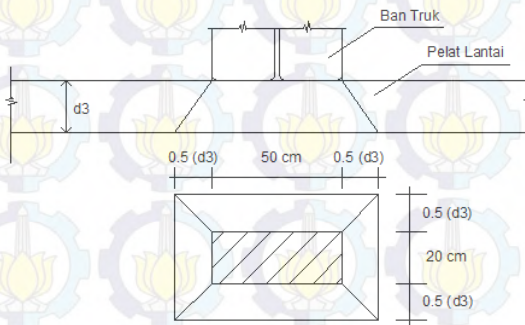
Sehingga kebutuhan penulangan susut didesain menggunakan D13-250 ($A_s = 849 \text{ mm}^2$)

Kontrol Penulangan Geser (Pons) Pelat Lantai Kendaraan

Perhitungan penulangan geser (*pons*) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truck, sedangkan untuk kemiringan sudut geser pons diambil sebesar 45° .

d_3 adalah tebal pelat = 25 cm, sehingga besarnya nilai b_0 , d_0 , b , d , ϕV_n , V_u dan kontrol kapasitas geser pons dari pelat lantai kendaraan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_0 &= 50 + (2 \times 0.5 \times d_3) = 50 + (2 \times 0.5 \times 25) = 75 \text{ cm} \\ d_0 &= 20 + (2 \times 0.5 \times d_3) = 20 + (2 \times 0.5 \times 25) = 45 \text{ cm} \\ b &= 2 \times (b_0 + d_0) = 2 \times (75 + 45) = 240 \text{ cm} \\ d &= 25 \text{ cm} \\ A &= b \times d = 6000 \text{ cm}^2 = 600000 \text{ mm}^2 \\ \phi V_n &= \phi A (f_c')^{0.5} / 6 \\ &= 0.6 \times 600000 \times 5 / 6 \\ &= 300000 \text{ N} = 300 \text{ kN} \\ V_u &= K_U^{TT} \times 100 \times (1 + \text{DLA}) \\ &= 2.0 \times 100 \times (1 + 0.3) \\ &= 260 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.1 Ilustrasi Geser (*Pons*)

Dari hasil analisa perhitungan diatas, didapatkan bahwa besarnya beban $\phi V_n > V_u$, maka pelat lantai kendaraan cukup kuat untuk menerima beban roda truk terpusat pada tengah bentang pelat lantai kendaraan.

4.1.2 Perencanaan Trotoar dan Pagar Pengaman Jembatan

Perhitungan Penulangan Pelat Trotoar (kerb)

Data – data perencanaan :

- Lebar trotoar = 1 m
- Tebal pelat trotoar (kerb) = 200 mm
- Mutu beton (f'_c) = 24 MPa
- Mutu baja (f'_y) = 390 MPa

Perhitungan beban mati :

$$\begin{aligned} q_{\text{Mati}} &= b \times d \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 1 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 4.8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Perhitungan beban hidup :

Beban trotoar akibat pejalan kaki sebesar 5 kPa = 500 kg/m² = 5 kN/m² dengan faktor beban $K_U^{TT} = 2.0$ (BMS 2.3.9), maka

$$q_{\text{Hidup}} = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 2.0 = 10 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{Total}} &= q_{\text{Mati}} + q_{\text{Hidup}} \\ &= 4.8 \text{ kN/m} + 10 \text{ kN/m} = 14.8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_U &= \frac{1}{2} \times q_{\text{Total}} \times (L)^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 14.8 \times 1^2 = 7.4 \text{ kNm} = 7400000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$d = 189 \text{ mm}; \rho_b = 0.0269; \rho_{\text{max}} = 0.0202$$

$$\rho_{\text{min}} = 0.0018; m = 19.1776$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_U}{\phi \times b_1 \times d^2} = \frac{7400000}{0.8 \times 1000 \times 189^2} \\ &= 0.26 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

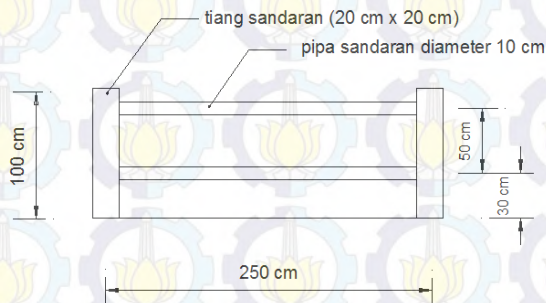
$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19.1776} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.1776 \times 0.26}{390}} \right] = 0.0007 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ sehingga yang dipakai adalah $\rho = \rho_{\text{min}} = 0.0018$
 $A_s = \rho \times b \times d = 0.0018 \times 1000 \times 189 = 340.2 \text{ mm}^2$
 Dipakai tulangan D₁₆ – 200 ($A_s = 1005 \text{ mm}^2$)

Perhitungan Sandaran

Data – data perencanaan :

Tinggi tiang sandaran = 1 m; Jarak antar tiang sandaran = 2.5 m
 Dimensi tiang sandaran = 20 cm x 20 cm. Untuk pipa sandaran digunakan profil baja dengan diameter luar = 101.6 mm; tebal pipa = 4.0 mm ; $I = 146 \text{ cm}^4$; $Z_x = 28.8 \text{ cm}^3$; $g = 9.63 \text{ kg/m}$; $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

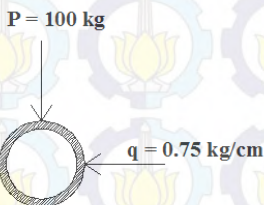


Gambar 4.2 Tiang dan pipa sandaran

Kontrol Kekuatan Pipa Sandaran :

Dengan asumsi pembebanan :

- Beban angin pada sandaran (w') = 0.75 kN/m = 0.75 kg/cm
- Beban terpusat pada sandaran = 100 kg



Gambar 4.3 Pembebanan pada pipa sandaran

- **Kontrol Lendutan**

$$y_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{250}{360} = 0.69$$

- Akibat beban merata :

$$\begin{aligned} f_y &= \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E \times I_x} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0.75 \times 250^4}{2 \times 10^6 \times 146} = 0.13 \end{aligned}$$

- Akibat beban terpusat:

$$\begin{aligned} f_x &= \frac{1}{48} \times \frac{P \times L^3}{E \times I_x} \\ &= \frac{1}{48} \times \frac{100 \times 250^3}{2 \times 10^6 \times 146} = 0.11 \end{aligned}$$

Syarat Lendutan :

$$\frac{L}{360} \geq \sqrt{(f_x^2 + f_y^2)}$$

$$\frac{250}{360} \geq \sqrt{(0.13^2 + 0.11^2)}$$

$$0.69 > 0.17$$

OK

- **Kontrol kekuatan Lentur :**

$$\begin{aligned} Mu_x &= \left(\frac{1}{4} \times P \times L \right) + \left(\frac{1}{8} \times q_D \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{4} \times 100 \times 2.5^2 \right) + \left(\frac{1}{8} \times 9.63 \times 2.5^2 \right) = 163 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu_y &= \frac{1}{4} \times q_L \times L^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 75 \times 2.5^2 = 47 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= \sqrt{Mu_x^2 + Mu_y^2} \\ &= \sqrt{163^2 + 47^2} = 169.64 \text{kgm} = 16964 \text{kgcm} \end{aligned}$$

$$\sigma_{ijin} = 0.6 \times f_y = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad W = \frac{I_x}{y} = \frac{146}{5} = 29.2 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{16964}{29.2} = 581 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\text{Syarat : } \sigma \leq \sigma_{ijin}$$

$$581 \text{ kg} / \text{cm}^2 < 1440 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

OK

Kontrol kekuatan tiang sandaran :

Tiang sandaran direncanakan dari beton bertulang dengan tinggi 1 m dan dimensi penampang 20 cm x 20 cm. Dengan asumsi perilaku seperti kolom yang dibebani P_u (beban mati pipa sandaran dan beban hidup 100 kg) dan menerima momen M_u yang berasal dari beban angin (w'). Ilustrasi pembebanannya dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pembebanan P_u dan M_u pada tiang sandaran

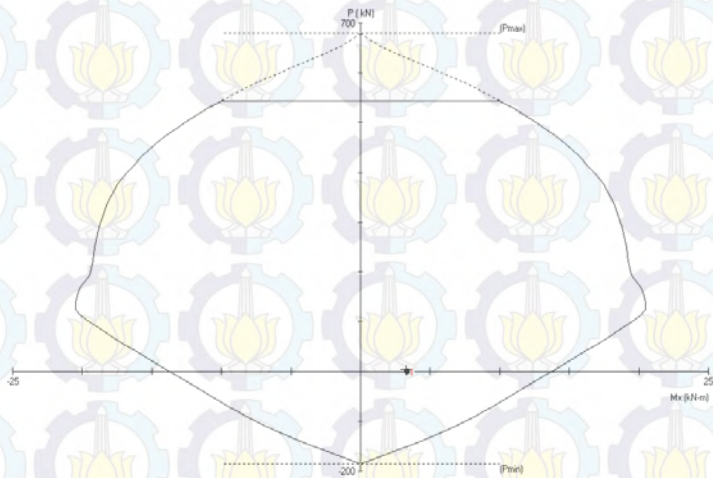
$$P_u = 1.2 \times \left(2 \times 2 \times \frac{q_D \times \lambda}{2} \right) + 1.6 \left(2 \times 2 \times \frac{P_L}{2} \right)$$

$$= 1.2 \times \left(2 \times 2 \times \frac{9.63 \times 2.5}{2} \right) + 1.6 \left(2 \times 2 \times \frac{100}{2} \right)$$

$$= 377.78 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 Mu &= 1.6 \times \left[\left(2 \times \frac{w_1 \times \lambda}{2} \times L_1 \right) + \left(2 \times \frac{w_1 \times \lambda}{2} \times L_2 \right) \right] \\
 &= 1.6 \times \left[\left(2 \times \frac{75 \times 2.5}{2} \times 0.8 \right) + \left(2 \times \frac{75 \times 2.5}{2} \times 0.3 \right) \right] \\
 &= 330 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Untuk penulangan tiang sandaran dipakai tulangan 4 Φ 13 ($A_s = 530 \text{ mm}^2$) dengan dikontrol menggunakan program pcaColumn 3.63 didapatkan hasil batasan seperti terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Batasan kontrol pada penulangan tiang sandaran

Perhitungan penulangan geser tiang sandaran :

Data perencanaan :

$f'_c = 24 \text{ MPa}$; $d = 170 \text{ mm}$; $b_w = 200 \text{ mm}$;

$w' = 0.75 \text{ kN}$; $f_y = 240 \text{ MPa}$;

Tulangan geser rencana : $\phi 8 - 200$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{24} \times 200 \times 170 \\ &= 27761 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 27761 = 20821 \text{ N} = 20.821 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{(0.25 \times \pi \times 8^2 \times 2) \times 240 \times 170}{200} \\ &= 20509 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_s = 0.75 \times 20509 = 15382 \text{ N} = 15.382 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{w' \times \lambda}{2} \times 2 \right) + \left(\frac{w' \times \lambda}{2} \times 2 \right) \\ &= \left(\frac{0.75 \times 2.5}{2} \times 2 \right) + \left(\frac{0.75 \times 2.5}{2} \times 2 \right) \\ &= 3.75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c + \phi V_s \\ &= 20.821 \text{ kN} + 15.382 \text{ kN} \\ &= 36.21 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \phi V_n &\geq V_u \\ 36.21 \text{ kN} &> 3.75 \text{ kN} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.2 Perencanaan Gelagar Jembatan

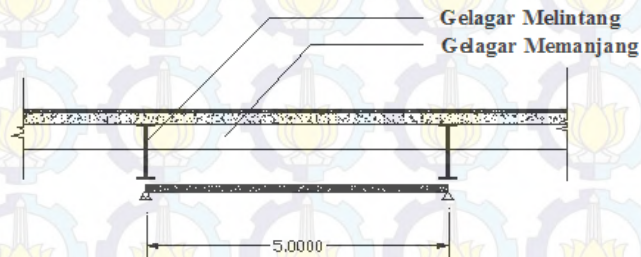
4.2.1 Perencanaan Balok Memanjang

Untuk perencanaan balok jembatan ini menggunakan profil baja dengan mutu BJ 50, dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh (f_y) = 290 MPa = 2900 kg/cm²

Tegangan ultimate (f_u) = 500 MPa = 5000000 kg/cm²

Modulus Elastisitas (E) = 200000 MPa = 2000000 kg/cm²



Gambar 4.6 Gelagar melintang dan memanjang

Untuk perencanaan gelagar memanjang dipilih profil WF dengan dimensi : 496 x 199 x 9 x 14

Data detail profil :

$A = 101.3 \text{ cm}^2$; $g = 79.5 \text{ kg/m}$; $d = 496 \text{ mm}$; $bf = 199 \text{ mm}$; $tf = 14$; $tw = 9$;
 $i_x = 20.3 \text{ cm}$; $i_y = 4.27 \text{ cm}$; $I_x = 41900 \text{ cm}^4$; $I_y = 1840 \text{ cm}^2$; $S_x = 1690 \text{ cm}^3$;
 $S_y = 185 \text{ cm}^3$; $r = 20 \text{ mm}$; $h = 496 - 2(20 + 14) = 428 \text{ mm}$

Pembebanan pada Gelagar Memanjang

Beban mati

Pelat beton	: $0.25 \times 2400 \times 1.6 \times 1.3$	= 1248 kg/m
Aspal	: $0.05 \times 2200 \times 1.6 \times 1.3$	= 228.8 kg/m
Berat bekisting	: $500 \times 0.8 \times 1.3$	= 520 kg/m
Berat sendiri	: 79.5×1.3	= 103.4 kg/m
Q_D	: $1248 + 228.8 + 520 + 103.4$	= 2100.2 kg/m

$$M_D = \frac{1}{8} \times Q_D(u) \times L^2 = \frac{1}{8} \times 2100.2 \times 5^2 = 6563.13 \text{ kgm}$$

Beban hidup (ultimate)

- Beban terbagi rata (UDL)

Karena bentang (L) = 5 m < 30 m, maka $q = 9.0$ kPa

(RSNI T-02 2005 pasal 6.3)

$$q = 9.0 \text{ kPa} = 900 \text{ kg/m}^2$$

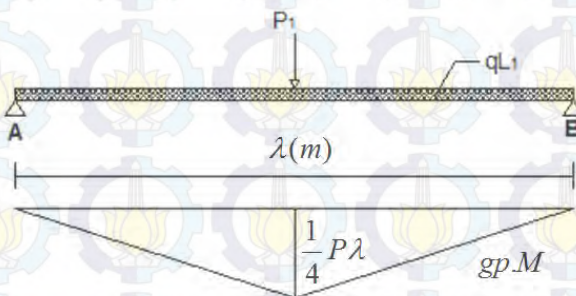
Beban yang bekerja :

$$Q_L = 900 \times 1.6 \times 1.8 = 2592 \text{ kg/m} = 25.92 \text{ kN/m}$$

- Beban garis (KEL)

Beban garis (KEL) sebesar p kN/m ditempatkan tegak lurus dari arah lalu-lintas pada jembatan dimana besarnya $P = 49$ kN = 4900 kg/m. Faktor beban dinamik yang berlaku untuk KEL ditentukan melalui gambar 8 SNI T-02-2005, didapatkan harga DLA = 35% sehingga beban yang bekerja dengan adanya factor kejut DLA adalah :

$$\begin{aligned} P_1 &= (1 + \text{DLA}) \times P \times b_1 \times K_{TD}^U \\ &= (1 + 0.35) \times 49 \times 1.6 \times 1.8 \\ &= 190.51 \text{ kN} \\ &= 19051 \text{ kg} \end{aligned}$$

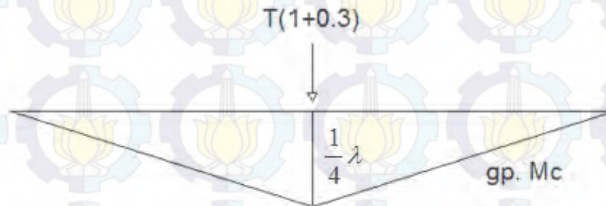


Gambar 4.7 Pembebanan akibat beban KEL

$$\begin{aligned} M_{L1} &= \left(\frac{1}{8} \times Q_L \times \lambda^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_1 \times \lambda \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 2592 \times 5^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 19051 \times 5 \right) \\ &= 31913.75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- **Beban Truck**

Beban Truck “T” adalah sebesar 112.5 kN (RSNI T-02 2005 6.4) dengan faktor kejut DLA = 0.3 (RSNI T-02 2005 6.6)



Gambar 4.8 Garis pengaruh akibat beban Truck

$$\begin{aligned} T_U &= T \times (1 + DLA) \times K_{TT}^U \\ &= 112.5 \times (1+0.3) \times 1.8 \\ &= 263.25 \text{ kN} = 26325 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{L2} &= \frac{1}{4} \times T \times \lambda = \frac{1}{4} \times 263.25 \times 5 \\ &= 329.16 \text{ kNm} = 32916 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Karena $M_{L2} > M_{L1}$ maka dipakai momen terbesar akibat beban hidup yakni $M_L = M_{L2} = 32916 \text{ kgm}$, Sehingga

$$M_U = M_D + M_L = 6563.13 \text{ kgm} + 32916 \text{ kgm} = 39479.13 \text{ kgm}$$

Kontrol Profil Gelagar Memanjang

- **Kuat Rencana Momen Lentur**

Kontrol penampang :

$$\begin{aligned} \text{Sayap : } \frac{bf}{2tf} &\leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\ \frac{199}{2 \times 14} &\leq \frac{170}{\sqrt{290}} \quad 7.107 < 9.983 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan : } \frac{h}{tw} &\leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \\ \frac{428}{9} &\leq \frac{1680}{\sqrt{290}} \quad 47.5 < 98.65 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= S_x \times f_y \\ &= 1690 \times 2900 = 4901000 \text{ kgcm} = 49010 \text{ kgm} \\ \phi M_n &= 0.9 \times M_n \\ &= 0.9 \times 49010 \\ &= 44109 \text{ kgm} > M_{UJ} = 39479.13 \text{ kgm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- **Kuat Rencana Geser**

Kontrol penampang :

$$\begin{aligned} \frac{h}{tw} &\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \\ \frac{428}{9} &\leq \frac{1100}{\sqrt{290}} \quad 47.5 < 64.5 \quad \text{OK (Plastis)} \end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD :

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times f_y \times (d \times tw) \\ &= 0.6 \times 2900 \times (49.6 \times 0.9) \\ &= 77673.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat UDL + KEL dan beban mati :

$$\begin{aligned} V_u &= \left[P_{KEL} + \left(\frac{1}{2} \times Q_{UDL} \times \lambda \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \times Q_D \times \lambda \right] \\ &= \left[19051 + \left(\frac{1}{2} \times 2592 \times 5 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \times 2100.2 \times 5 \right] \\ &= 30781.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat beban Truck (T) dan beban mati :

$$\begin{aligned} V_u &= T + \left(\frac{1}{2} \times Q_D \times \lambda \right) \\ &= 26325 + \left(\frac{1}{2} \times 2100.2 \times 5 \right) = 31576 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat UDL + KEL :

$$\begin{aligned} V_a &= P_{KEL} + \left(\frac{1}{2} \times Q_{UDL} \times \lambda \right) \\ &= 19051 + \left(\frac{1}{2} \times 2592 \times 5 \right) = 25531 \text{ kg} \end{aligned}$$

Vu diambil terbesar yakni akibat beban Truck (T) dan beban mati sebesar 31576 kg.

$$\phi V_n = 0.9 \times 77673.6 \text{ kg} = 69906.24 \text{ kg}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$31576 \text{ kg} < 69906.24 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

- **Lendutan Ijin**

Syarat : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup saja).

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\lambda}{500} \text{ (LRFD)} \\ &= \frac{500}{500} = 1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban hidup KEL + UDL:

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{5}{384} \times \frac{Q_L \times \lambda^4}{E \times I_x} + \frac{P_{KEL} \times \lambda^3}{48 \times E \times I_x} \\ \delta' &= \left(\frac{5}{384} \times \frac{25.92 \times 500^4}{2000000 \times 41900} \right) + \left(\frac{19051 \times 500^3}{48 \times 2000000 \times 41900} \right) \\ &= 0.25 + 0.59 \\ &= 0.84 \text{ cm} \quad (\text{menentukan}) \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban Truck :

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{T_U \times \lambda^3}{48 \times E \times I_x} \\ \delta' &= \frac{26325 \times 500^3}{48 \times 2000000 \times 41900} = 0.82 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dipilih lendutan terbesar = 0.84 cm

Cek syarat lendutan ijin :

$$\begin{aligned} \delta' &\leq \delta \\ 0.84 \text{ cm} &> 1 \text{ cm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- Kontrol Lateral Buckling**

$$L_B = 125 \text{ cm.}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.76 \times 4.27 \times \sqrt{\frac{2000000}{2900}} = 197.36 \text{ cm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$f_y = 2900 \text{ kg/cm}^2; f_r = 700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 2900 - 700 = 2200 \text{ kg/cm}^2$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ plat badan } b = d - 2t_f = 496 - 2(14) = 468 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{1}{3} \times 46.8 \times 0.9^3 \right) + \left(\frac{1}{3} \times 19.9 \times 1.4^3 \right) = 29.57 \text{ cm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(h')^2}{4}; h' = d - t_f = 496 - 14 = 482 \text{ mm}$$

$$I_w = 1840 \times \frac{(48.2)^2}{4} = 1068690.4 \text{ cm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = \frac{\pi}{1690} \sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 8 \times 10^5 \times 29.57 \times 101.3}{2}}$$

$$= 90999.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y}$$

$$= 4 \times \left(\frac{1690}{8 \times 10^5 \times 29.57} \right)^2 \times \frac{1068690}{1840} = 1.18573 \times 10^{-5} (\text{kg/cm}^2)^{-2}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$= 4.27 \times \left(\frac{90999.4}{1700} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (1.18573 \times 10^{-5} \times 1700^2)}}$$

$$L_R = 602.08 \text{ cm}$$

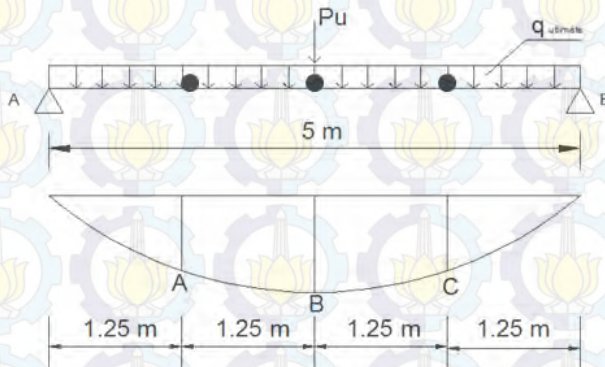
$$\text{Karena } L_P = 197.36 \text{ cm} < L_B = 500 \text{ cm} < L_R = 602.08 \text{ cm}$$

(Bentang Menengah)

$$M_n = C_b \times \left[M_R + (M_p - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_p} \right] \leq M_p$$

$$\begin{aligned} M_R &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 1690 \times (2900 - 700) \\ &= 3718000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1850 \times 2900 = 5365000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Titik momen-momen absolut pada bentang menengah (*Inelastic Buckling*)

$$\begin{aligned} q_U &= (1.2 \times q_D) + (1.6 \times q_L) \\ &= (1.2 \times 2100.2 \text{ kg/m}) + (1.6 \times 2592 \text{ kg/m}) \\ &= 6667.44 \text{ kg/m} \\ P_U &= 1.6 \times P_{KEL} \\ &= 1.6 \times 19051 \text{ kg} = 30481.6 \text{ kg} \\ V_a &= V_b \\ &= \frac{(q_U \times L)}{2} + \frac{P_U}{2} \\ &= \frac{(6667.44 \times 5)}{2} + \frac{30481.6}{2} = 31909.4 \text{ kg} \\ M_A &= M_C \\ &= (V_a \times 1.25) - (0.5 \times q_U \times 1.25^2) \\ &= (31909.4 \times 1.25) - (0.5 \times 6667.44 \times 1.25^2) \\ &= 34677.8 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= M_B \\
 &= (V_a \times 2.5) - (0.5 \times q_U \times 2.5^2) \\
 &= (31909.4 \times 2.5) - (0.5 \times 6667.44 \times 2.5^2) \\
 &= 58937.75 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30 \\
 &= 1.25 < 2.30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P \\
 &= 5166766 \text{ kgcm} < M_P = 5365000 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.9 \times 5166766 \text{ kgcm} \\
 &= 4650090 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$M_U = 58937.75 \text{ kgm} = 5893775 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 4650090 \text{ kgcm} > M_U = 5893775 \text{ kgcm} \quad \text{OK}$$

4.2.2 Perencanaan Balok Melintang

Balok memanjang direncanakan dengan menggunakan BJ 50 profil WF 900x300x18x34

Data detail profil :

$$\begin{aligned} A &= 364 \text{ cm}^2; & g &= 286 \text{ kg/m}; & d &= 912 \text{ mm}; & b &= 302 \text{ mm}; \\ t_f &= 34; & t_w &= 18; & i_x &= 37 \text{ cm}; & i_y &= 6.56 \text{ cm}; \\ I_x &= 498000 \text{ cm}^4; & I_y &= 15700 \text{ cm}^2; & S_x &= 10900 \text{ cm}^3; & S_y &= 1040 \text{ cm}^3; \\ r &= 28 \text{ mm}; & h &= 912 - 2(28 + 34) = 788 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Pembebanan pada Gelagar Melintang

Beban Mati

- Beban Mati (Sebelum Komposit)
 - Berat balok memanjang: $\left(\frac{79.5 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m}}{1.6 \text{ m}} \right) \times 1.1 = 248.5 \text{ kg/m}$
 - Berat balok melintang : $286 \times 1.1 = 314.6 \text{ kg/m}$
 - Berat pelat beton : $0.25 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3900 \text{ kg/m}$
 - Berat bekisting : $500 \times 1.6 = 800 \text{ kg/m}$

$$Q_{D(U)} = 248.5 + 314.6 + 3900 + 800 = 5263.1 \text{ kg/m}$$

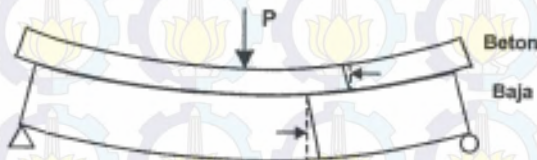
Momen akibat beban mati (sebelum komposit) :

$$M_{D1} = \frac{1}{8} \times Qd1 \times L^2 = \frac{1}{8} \times 5263.1 \times 10^2 = 65788.75 \text{ kgm}$$

Gaya geser max akibat beban mati (sebelum komposit):

$$V_{D1} = \frac{1}{2} \times Qd1 \times L = \frac{1}{2} \times 5263.1 \times 10 = 26315.5 \text{ kgm}$$

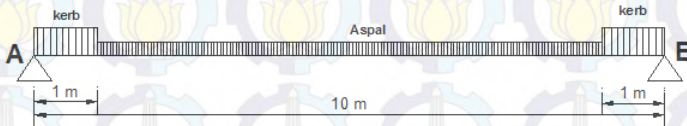
Perilaku balok sebelum komposit dapat dilihat pada gambar 4.10, dimana gesekan antara beton dan pelat baja diabaikan, sehingga beton dan pelat baja masing – masing memikul momen secara terpisah.



Gambar 4. 10 Struktur balok sebelum komposit

Beban Mati (*sesudah komposit*)

- Berat aspal : $0.05 \times 2200 \times 5 \times 1.3 = 715 \text{ kg/m}$
- Berat kerb : $0.2 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3120 \text{ kg/m}$



Gambar 4.11 Pembebanan gelagar melintang sesudah komposit

$$R_A = \frac{(715 \times 8)}{2} + \frac{2 \times (3120 \times 1)}{2} = 5980 \text{ kg}$$

Momen akibat beban mati sesudah komposit :

$$\begin{aligned} M_{D2} &= (5980 \times 5) - (3120 \times 1 \times 5.5) - (715 \times 4 \times 2) \\ &= 7020 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Gaya geser max akibat beban mati (sebelum komposit):

$$V_{\max} = R_A = 5980 \text{ kg}$$

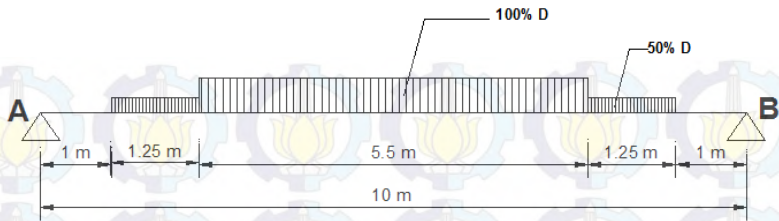
Beban Hidup (*sesudah komposit*)

$$\begin{aligned} P_{\text{KEL}} &= (1 + \text{DLA}) \times P \times 1.8 \\ &= (1 + 0.3) \times 4900 \text{ kg/m} \times 1.8 \\ &= 11466 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{UDL}} &= q \times L \times 1.8 \\ &= 900 \text{ kg/m}^2 \times 5 \text{ m} \times 1.8 \\ &= 8100 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 4.12 Perilaku balok komposit



Gambar 4.13 Kombinasi beban UDL & KEL (simetris)

Beban "D" = Beban UDL + KEL
 $= 8100 \text{ kg/m} + 11466 \text{ kg/m}$
 $= 19566 \text{ kg/m}$

$$q_1 = 100\% \times 19566 \text{ kg/m}$$

$$= 19566 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 50\% \times 19566 \text{ kg/m}$$

$$= 9783 \text{ kg/m}$$

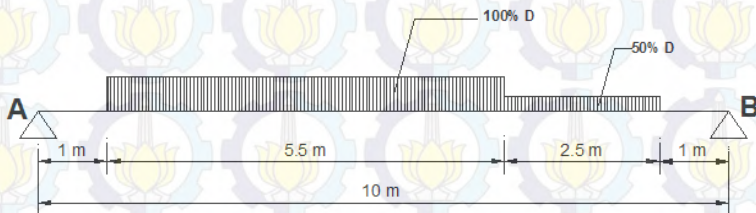
$$V_A = \frac{q_1 \times 5.5 \text{ m}}{2} + \frac{2 \times q_2 \times 1.25 \text{ m}}{2}$$

$$= \frac{19566 \times 5.5}{2} + \frac{2 \times 9783 \times 1.25}{2} = 66035.25 \text{ kg}$$

$$M_{\max} = (V_A \times 5 \text{ m}) - (q_2 \times 1.25 \text{ m} \times 3.375 \text{ m}) - (q_1 \times 2.25 \text{ m} \times 1.375 \text{ m})$$

$$= (66035.25 \times 5) - (9783 \times 1.25 \times 3.375) - (19566 \times 2.25 \times 1.375)$$

$$= 228372 \text{ kgm (menentukan)}$$



Gambar 4.14 Kombinasi beban UDL & KEL (asimetris)

$$\sum M_B = 0$$

$$V_A \times 10 - (q_1 \times 5.5 \text{ m} \times 6.25 \text{ m}) - (q_2 \times 2.5 \text{ m} \times 2.25 \text{ m}) = 0$$

$$V_A \times 10 - (19566 \times 5.5 \times 6.25) - (9783 \times 2.5 \times 2.25) = 0$$

$$V_A = 72761 \text{ kg (menentukan)}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$V_B \times 10 - (q_1 \times 5.5 \text{ m} \times 3.75 \text{ m}) - (q_2 \times 2.5 \text{ m} \times 7.75) = 0$$

$$V_B \times 10 - (19566 \times 5.5 \times 3.75) - (9783 \times 2.5 \times 7.75) = 0$$

$$V_B = 59310 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$V_A + V_B = (q_1 \times 5.5 \text{ m}) + (q_2 \times 2.5 \text{ m})$$

$$72761 + 59310 = (19566 \times 5.5) + (9783 \times 2.5)$$

$$105168 \text{ kg} = 132071 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

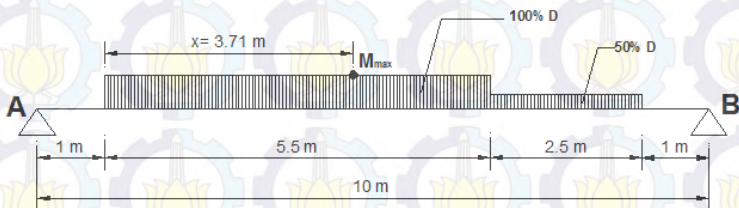
Sehingga momen maksimum kombinasi asimetris adalah :

$$\begin{aligned} M_x &= V_A (1+x) - \left(\frac{1}{2} q_1 x^2\right) \\ &= 72761 (1+x) - \left(\frac{1}{2} \times 19566 x^2\right) \\ &= 72761 + 72761x - 9783 x^2 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai x maka :

$$\frac{dM_x}{dx} = 0$$

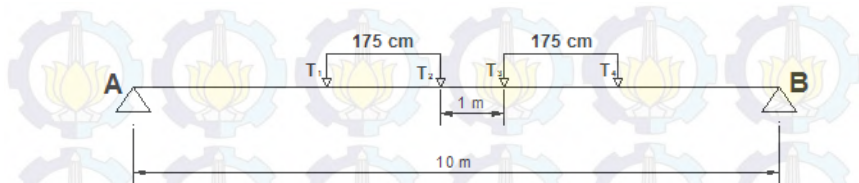
$$72761 - 19566 x = 0, \text{ sehingga } x = 3.71 \text{ m}$$



Gambar 4.15 Letak momen maksimum kombinasi UDL & KEL (asimetris)

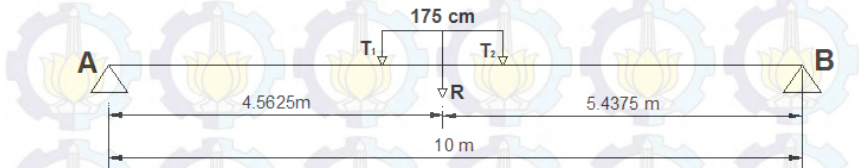
$$\begin{aligned} M_{\max} &= V_A \times (1 + 3.71 \text{ m}) - (q_1 \times 3.71 \text{ m} \times 1.86 \text{ m}) \\ &= (72761 \times 4.71) - (19566 \times 3.71 \times 1.86) \\ &= 207687 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Beban Truck “T”



Gambar 4.16 Ilustrasi pembebanan Truck “T” (kondisi 1)

$$\begin{aligned}
 T &= (1 + 0.3) \times 112.5 \times 1.8 = 263.25 \text{ kN} = 26325 \text{ kg} \\
 \sum M_B &= 0 \\
 V_A \times 10 - T (7.25 + 5.5 + 4.5 + 2.75) &= 0 \\
 (V_A \times 10) - 26325 (7.25 + 5.5 + 4.5 + 2.75) &= 0 \\
 V_A &= 52650 \text{ kg} \\
 M_{\max} &\text{ terletak pada } T_2 \text{ dan } T_3 \\
 M_{\max} &= (V_A \times 4.5) - (T_1 \times 1.75) \\
 &= (52650 \times 4.5) - (26325 \times 1.75) = 190856.25 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Ilustrasi pembebanan Truck “T” (kondisi 2)

$$\begin{aligned}
 R &= 2 \times T = 2 \times 26325 \text{ kg} = 52650 \text{ kg} \\
 \sum M_B &= 0 \\
 V_A \times 10 - R (5.4375) &= 0 \\
 (V_A \times 10) - (52650 \times 5.4375) &= 0 \\
 V_A &= 28629 \text{ kg} \\
 M_{\max} &\text{ terletak pada } T_1 \text{ dan } T_2 \\
 M_{\max} &= V_A (4.5625 - 0.875) \\
 &= 28629 \times 3.6875 \\
 &= 105570 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Dari kondisi di atas, maka dipakai kondisi yang memberikan $M_{\max}$ terbesar, yakni pada kondisi 2 sebesar 190856.25 kgm.

Kontrol Profil Balok Melintang

- **Kuat Rencana Geser**

Kontrol penampang :

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$$
$$\frac{788}{18} \leq \frac{1100}{\sqrt{290}} \quad 43.7 < 64.5 \quad \text{OK (Plastis)}$$

Berdasarkan LRFD :

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times f_y \times (d \times tw) \\ &= 0.6 \times 2900 \times (91.2 \times 1.8) \\ &= 285639 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_{\max} \leq \phi V_n$$

$$V_{\max} = 72761 \text{ kg} \leq \phi V_n = 0.9 \times 285639 \text{ kg} = 257076 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

- **Lendutan Ijin**

$$\text{Syarat :} \quad \delta' \leq \delta$$

Dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup saja)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\lambda}{500} \quad (\text{LRFD}) \\ &= \frac{1000}{500} = 2 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban hidup KEL + UDL:

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{5}{384} \times \frac{Q_L \times \lambda^4}{E \times I_x} + \frac{P_{KEL} \times \lambda^3}{48 \times E \times I_x} \\ \delta' &= \left(\frac{5}{384} \times \frac{81 \times 1000^4}{2000000 \times 498000} \right) + \left(\frac{114.66 \times 1000^3}{48 \times 2000000 \times 498000} \right) \\ &= 1.06 + 0.003 = 1.063 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban Truck :

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{T_U \times \lambda^3}{48 \times E \times I_x} \\ \delta' &= \frac{26325 \times 1000^3}{48 \times 2000000 \times 498000} = 0.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dipilih δ' terbesar = 1.063 cm

Cek syarat lendutan ijin :

$$\delta' \leq \delta$$

$$1.063 \text{ cm} > 2 \text{ cm OK}$$

- **Kuat Penampang**

Sayap :
$$\frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{302}{2 \times 34} \leq \frac{170}{\sqrt{290}}$$

$$4.441 < 9.983 \quad \text{OK}$$

Badan :
$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{788}{18} \leq \frac{1680}{\sqrt{290}}$$

$$43.7 < 98.65 \quad \text{OK}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$M_n = S_x \times f_y$$

$$= 10900 \times 2900 = 31610000 \text{ kgcm} = 316100 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times M_n$$

$$= 0.9 \times 316100$$

$$= 284490 \text{ kgm} > M_{D(U)} = 65788.75 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Gaya Momen Setelah Komposit

- **Perhitungan Lebar Efektif Pelat**

$$b_{eff} = 5000 \text{ mm (jarak antar gelagar memanjang)}$$

$$b_{eff} = 16 d_3 + b_w = (16 \times 250) + 300 = 4300 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \frac{\text{Lebar jembatan}}{4} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ cm} = 2500 \text{ mm}$$

Untuk lebar efektif pelat beton diambil yang terkecil yaitu 2500 mm.

Perhitungan Kapasitas Momen Setelah Komposit

Kontrol Kegagalan Struktur Pada Beton :

$$C_c = 0.85 f_c b_{eff} d_3 = 0.85 \times 24 \times 2500 \times 250 = 12750 \text{ kN}$$

Kontrol Kegagalan Struktur Pada Baja :

$$T = A_s f_y = 36400 \times 290 = 10556 \text{ kN}$$

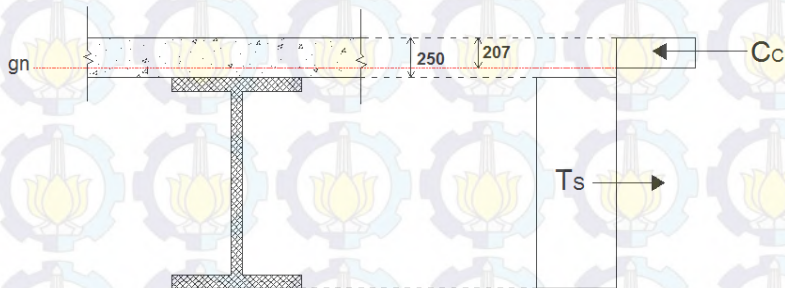
Kontrol Kapasitas Momen :

$$a = \frac{T}{0.85 f_c b_{eff}} = \frac{10556000}{0.85 \times 24 \times 2500} = 207 \text{ mm}$$

$$M_n = T \left(d3 - \frac{a}{2} \right) + T \frac{h}{2} = 10556 \left(250 - \frac{207}{2} \right) + 10556 \frac{788}{2}$$

$$= 10556 \left(250 - \frac{207}{2} \right) + 10556 \frac{788}{2} = 5706 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times 5706 \text{ kNm} = 4850.1 \text{ kNm}$$



Gambar 4.18 Diagram tegangan struktur balok komposit

$$\begin{aligned} Mu &= M_{D1} + M_{D2} + M_{UDL+KEL \text{ simetris}} \\ &= 65789 \text{ kgm} + 7020 \text{ kgm} + 228372 \text{ kgm} \\ &= 301181 \text{ kgm} = 3011.81 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 4850.1 \text{ kNm} > Mu = 3011.81 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Perhitungan Kebutuhan Shear Connector

$$D-25; A_s = 490 \text{ mm}^2; f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} (f_c E_c)^{0.5} = 0.5 \times 490 \times (25 \times 23500)^{0.5} = 187 \text{ kN}$$

$$V_n = T = 10556 \text{ kN}$$

$$n = \frac{V_n}{Q_n} = \frac{10556}{187} = 46.7 \approx 48 \text{ buah}$$

Dipakai 2-D25 ~ 200 mm

4.3 Preliminary Design Rangka Busur

Konstruksi pemikul utama (struktur busur) merupakan konstruksi pokok yang menerima seluruh beban jembatan sebelum diteruskan ke tumpuan (perletakan). Bentuk konstruksi utama yang dipilih adalah sesuai dengan kriteria yang ada pada Bab I, yaitu konstruksi busur rangka baja dengan batang tarik.

Langkah awal dalam perencanaan jembatan busur adalah dengan melakukan *preliminary design*. Tujuan dari *preliminary design* adalah untuk menentukan dimensi awal busur, yang meliputi tinggi busur (f), tinggi tampang busur (t), lebar jembatan (b) dan panjang penggantung busur (y).

Tinggi Busur (f)

$$\text{Syarat : } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad \text{atau} \quad 0.167 \leq \frac{f}{L} \leq 0.200$$

f : tinggi busur

L : bentang busur

Dengan $L = 70$ m, maka dipakai $f = 12$ m

$$\frac{f}{L} = \frac{12}{70} = 0.171$$

$$0.167 < 0.171 < 0.200$$

OK

Tinggi Tampang Busur (t)

$$\text{Syarat : } \frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (\text{rangka batang})$$

t : tinggi tampang busur;

L : bentang busur

Dipakai $t = 2$ m ;

$$\frac{t}{L} = \frac{2}{70} = \frac{1}{35}$$

$$\frac{1}{40} < \frac{1}{35} < \frac{1}{25}$$

OK

Lebar Jembatan (b)

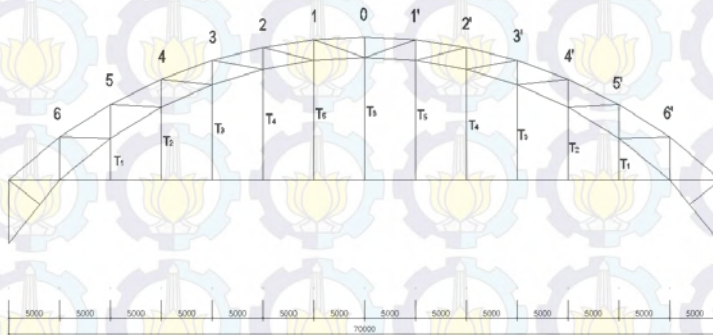
$$\text{Syarat : } \frac{b}{L} \geq \frac{1}{20}$$

b : lebar jembatan (jarak perletakan kiri-kanan paling luar)

$$\text{Dipakai } b = 10.7 \text{ m ; } \frac{10.7}{70} = \frac{3}{20} > \frac{1}{20} \quad \text{OK}$$

Panjang Penggantung Busur

Panjang dari penggantung busur dapat dicari dengan menggunakan pendekatan persamaan sumbu geometrik busur.



Gambar 4.19 Sketsa konstruksi pemikul utama

Persamaan parabola :

$$y_n = \frac{4 \times f \times x \times (L - x)}{L^2}$$

Tabel 4.1 Panjang Penggantung (y)

Titik	$x(m)$	$y(m)$
6	0	0
5	5	4.093
4	10	7.122
3	15	9.324
2	20	10.828
1	25	11.707
0	30	12

Material yang dipakai untuk penggantung adalah baja ulir (*threadbars*) dengan diameter 47 mm. Data detail *threadbars* yang dipakai antara lain:

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 47 \text{ mm}; & A &= 1735 \text{ mm}^2; & w &= 14.10 \text{ kg/m}; \\ f_y &= 839.19 \text{ MPa}; & f_u &= 1048 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pembebanan Batang Penggantung

Beban Mati

– Berat trotoar : $0.25 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3900 \text{ kg/m}$

– Berat pejalan kaki : $500 \times 5 = 2500 \text{ kg/m}$

$$Q_{D1} = 3900 + 2500 = 6400 \text{ kg/m}$$

$$P_{D1} = 1 \text{ m} \times 6400 \text{ kg/m} = 6400 \text{ kg}$$

– Berat pelat lantai kendaraan :

$$0.25 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3900 \text{ kg/m}$$

$$P_{D2} = \frac{1}{2} \times 3900 \times 10 = 19500 \text{ kg}$$

– Berat gelagar melintang : $g = 286 \text{ kg/m}$

$$P_{D3} = \frac{1}{2} \times 286 \times 10 \times 1.1 = 1573 \text{ kg}$$

– Berat gelagar memanjang : $g = 79.5 \text{ kg/m}$

$$P_{D4} = \frac{1}{2} \times 79.5 \times 6 \times 1.1 = 262.35 \text{ kg}$$

– Berat aspal : $0.05 \times 5 \times 2200 \times 2 = 1100 \text{ kg/m}$

$$P_{D5} = \frac{1}{2} \times 1100 \times 6 = 3300 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } P_D \text{ total} &= P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4} + P_{D5} \\ &= 31035.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban Hidup

– UDL

$$L \leq 30 \text{ m}; \quad q = 8 \text{ kPa}; \quad L = 5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= q \times b_1 \times K_{TD}^U \\ &= 800 \times 5 \times 2 = 8000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q_1 = 100\% \times 8000 = 8000 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 50\% \times 8000 = 4000 \text{ kg/m}$$

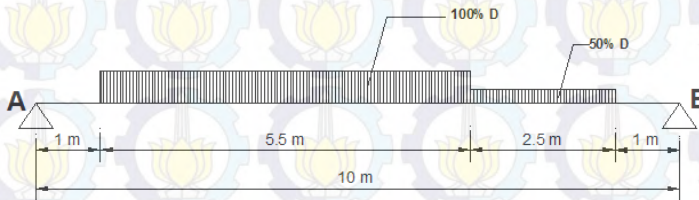
– Beban garis (KEL)

$$P = 44 \text{ kN/m} = 4400 \text{ kg/m} ; \quad \text{DLA} = 30\%$$

$$P_L = (1 + 0.3) \times 4400 \times 2 = 11440 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban "D"} = Q_L + P_L = 8000 + 11440 = 19440 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban 50\% D} = 50\% \times 19440 = 9720 \text{ kg/m}$$



Gambar 4.20 Kombinasi beban UDL & KEL (asimetris)

$$\sum M_B = 0$$

$$V_A \times 10 - (q_1 \times 5.5 \text{ m} \times 6.25 \text{ m}) - (q_2 \times 2.5 \text{ m} \times 2.25) = 0$$

$$V_A \times 10 - (19440 \times 5.5 \times 6.25) - (9720 \times 2.5 \times 2.25) = 0$$

$$V_A = 72293 \text{ kg} \quad (\text{menentukan})$$

Beban lain –lain

- Berat sambungan dan berat ikatan angin bawah diasumsikan sebesar 10% dari beban mati (P_D total), sehingga satu penggantung busur menerima beban tersebut sebesar :

$$0.1 \times 31035.4 = 3103.54 \text{ kg}$$

Jadi penggantung busur menerima beban sebesar :

$$R_A \text{ total} = P_D \text{ total} + V_A + \text{beban lain-lain}$$

$$= 31035.4 + 72293 + 3103.54 = 106431.94 \text{ kg}$$

Kontrol Tegangan

Diambil pada batang terpanjang, yakni batang T_6 pada titik 0

$$P = R_A \text{ total} + \text{berat sendiri penggantung}$$

$$= 106431.94 \text{ kg} + (14.10 \text{ kg/m} \times 12 \text{ m})$$

$$= 106601.14 \text{ kg} = 1066011.4 \text{ N}$$

Kekuatan leleh batang tarik :

$$P_n = f_y \times A_g$$

$$= 8391.9 \times 17.35 = 145599.465 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 145599.465 \text{ kg}$$

$$= 131039.52 \text{ kg} > P = 106601.14 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

4.4 Modelisasi Struktur

4.4.1 Pendefinisian dan Input Material

Analisa struktur terhadap struktur bangunan ini, menggunakan asumsi bahwa sistem struktur merupakan model space frame (3D frame system). Oleh karena itu elemen-elemen struktur dirancang dengan 6 derajat kebebasan pada kedua ujung nodal elemen ($UX, UY, UZ \neq 0$ dan $RX, RY, RZ \neq 0$)

a. Input Material

Data masukkan material dalam permodelan SAP 2000 adalah data material elemen struktur rangka batang baja dan material penggantung menggunakan threadbar. Data masukkan material dapat dilihat pada gambar 4.21

The image displays two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. Both windows show the 'General Data' tab.

Left Window (Material: B4 50):

- Material Name and Display Color: B4 50
- Material Type: Steel
- Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:
 - Weight per Unit Volume: 7.897E-05
 - Mass per Unit Volume: 7.849E-03
 - Units: N, mm, C
- Isotropic Property Data:
 - Modulus of Elasticity, E: 1.98E+11
 - Poisson's Ratio, U: 0.3
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 - Shear Modulus, G: 7.6903E+07
- Other Properties for Steel Materials:
 - Minimum Yield Stress, Fy: 250
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 500
 - Effective Yield Stress, Fye: 250
 - Effective Tensile Stress, Fue: 500
- Buttons: Switch To Advanced Property Display, OK, Cancel

Right Window (Material: THREADBAR):

- Material Name and Display Color: THREADBAR
- Material Type: Steel
- Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:
 - Weight per Unit Volume: 7.849
 - Mass per Unit Volume: 7.849
 - Units: KN, m, C
- Isotropic Property Data:
 - Modulus of Elasticity, E: 1.89E+11
 - Poisson's Ratio, U: 0.3
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 - Shear Modulus, G: 7.6903069
- Other Properties for Steel Materials:
 - Minimum Yield Stress, Fy: 339193
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 1048991.4
 - Effective Yield Stress, Fye: 339193
 - Effective Tensile Stress, Fue: 1048991.4
- Buttons: Switch To Advanced Property Display, OK, Cancel

Gambar 4.21 Input material elemen struktur pada SAP 2000

b. *Input Damper*

Damper pada permodelan ini didefinisikan sebagai *Link/Support* dengan nilai Stiffness sebesar 4.51 kN/mm (sebagaimana material damper yang digunakan)

The screenshot shows the 'Link/Support Property Data' dialog box in SAP 2000. The 'Link/Support Type' is set to 'Damper'. The 'Property Name' is 'Damper'. The 'Total Mass and Weight' section has 'Mass' and 'Weight' both set to 0. The 'Rotational Inertia' section has 'Rotational Inertia 1', 'Rotational Inertia 2', and 'Rotational Inertia 3' all set to 0. The 'Factors For Line, Area and Solid Springs' section has 'Property is Defined for This Length In a Line Spring' and 'Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs' both set to 1. The 'Directional Properties' section has a table with columns 'Direction', 'Fixed', 'NonLinear', and 'Properties'. The 'P-Delta Parameters' section has an 'Advanced...' button. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
U1	☐	☐	Modify/Show for U1
U2	☐	☐	Modify/Show for U2...
U3	☐	☐	Modify/Show for U3
R1	☐	☐	Modify/Show for R1
R2	☐	☐	Modify/Show for R2
R3	☐	☐	Modify/Show for R3

Fix All Clear All

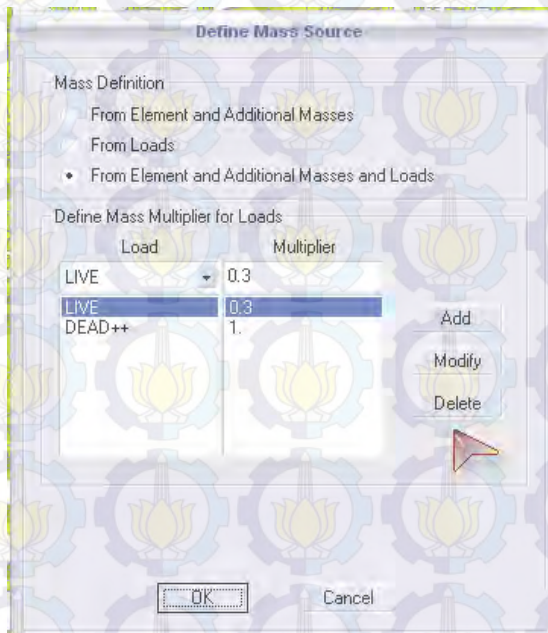
Gambar 4.22 Input damper pada SAP 2000

c. Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (*mass source*) adalah massa struktur pada SAP 2000 yang digunakan pada perhitungan massa untuk analisa modal menggunakan pilihan ketiga dimana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban-beban tambahan ditambahkan dengan pembesaran yang sesuai dengan jenis bebannya. Masa-masa beban yang dimasukkan adalah :

Beban *Dead++* : *Multiplier* 1.0

Beban *Live* (UDL,KEL) : *Multiplier* 0.3



Gambar 4.23 Input form *Mass Source* pada Program SAP 2000.

d. Pendefinisian Elemen Struktur Rangka Utama

Elemen struktur yang digunakan dalam permodelan dan analisa struktur dalam SAP 2000 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2. Properti dari Elemen Struktur Rangka Utama

TABLE: Material List 2 - By Section Property				
Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
Text	Text	Unitless	m	KN
H 414 x 405 x 18 x 28	Frame	18	116.92345	262.114
WF 386 x 299 x 9 x 14	Frame	10	69.78526	62.278
WF 250 x 125 x 6 x 9	Frame	17	181.9	50.993
C 250 x 90 x 11 x 14.5	Frame	24	214.76584	83.333
C 320 x 100 x 14 x 17.5	Frame	12	123.793	71.37
H 400 x 400 x 13 x 21	Frame	52	263.4742	435.095
WF 400 x 200 x 8 x 13	Frame	44	174.50951	110.039
DL 80 x 80 x 8	Frame	2	10.7	2.003
H 406 x 403 x 16 x 24	Frame	26	133.0412	256.751
WF 499 x 199 x 9 x 14	Frame	84	420	317.176
WF 900 x 300 x 18 x 34	Frame	15	160.5	437.04
WF 250 x 175 x 7 x 11	Frame	1	10.7	4.485
WF 150 x 75 x 5 x 7	Frame	18	104.92957	13.973
CC 300 x 90 x 12 x 16	Frame	12	141.72706	133.004
KABEL PENGGANTUNG	Frame	22	196.296	26.214

e. Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis

Analisis modal menggunakan SAP 2000 diambil sebanyak 30 Mode Shape untuk menjamin partisipasi massa struktur lebih dari 90 %. Dalam hal ini partisipasi massa dari struktur diambil 99% terhadap gaya lateral kearah X dan kearah Y. Input form untuk analisa modal dapat dilihat pada gambar 4.24

Load Case Name: MODAL

Load Case Type: Modal

Type of Modes: Eigen Vectors

Number of Modes: Maximum Number of Modes: 30, Minimum Number of Modes: 1

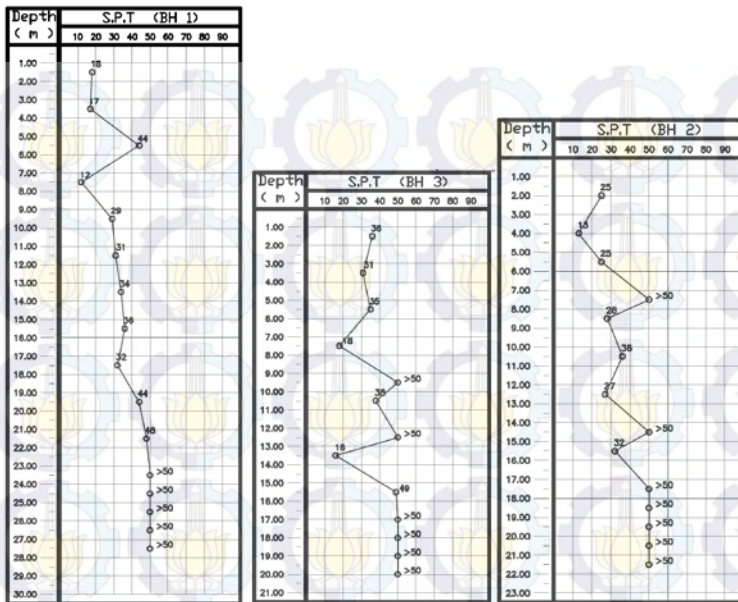
Load Type	Load Name	Target Mass Participation Ratios (%)	Static Correction
Accel	UX	99	No
Accel	UY	99	No

Other Parameters: Frequency Shift (Center): 0, Cutoff Frequency (Radius): 0, Convergence Tolerance: 1.000E-07

Gambar 4.24 Input form untuk analisa modal SAP 2000

f. Penentuan Klarifikasi Tanah Setempat

Berdasarkan hasil penelitian kondisi tanah (*soil investigation*), struktur bangunan ini termasuk kedalam kategori tanah sedang sehingga untuk pembebanan gempa digunakan *Response Spectrum* pada Zona Gempa 4 dengan klasifikasi tanah sedang. Hasil data tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.25 Data tanah hasil tes SPT di lokasi jembatan

- Cek Kondisi Tanah BH1

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{10 \times 1.5}{\frac{1.5}{18} + \frac{1.5}{17} + \frac{1.5}{44} + \frac{1.5}{12} + \frac{1.5}{29} + \frac{1.5}{31} + \frac{1.5}{34} + \frac{1.5}{36} + \frac{1.5}{32} + \frac{1.5}{44}}$$

$$\bar{N} = 25.103$$

Dari data tersebut didapatkan bahwa lokasi BH1 jenis tanahnya yang akan digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah *Tanah Sedang*.

- Cek Kondisi Tanah BH3

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{8 \times 1.5}{\frac{1.5}{36} + \frac{1.5}{31} + \frac{1.5}{35} + \frac{1.5}{18} + \frac{1.5}{50} + \frac{1.5}{38} + \frac{1.5}{18} + \frac{1.5}{49}} = 30.025$$

Dari data tersebut didapatkan bahwa lokasi BH3 jenis tanahnya yang akan digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah *Tanah Sedang*.

- Cek Kondisi Tanah BH2

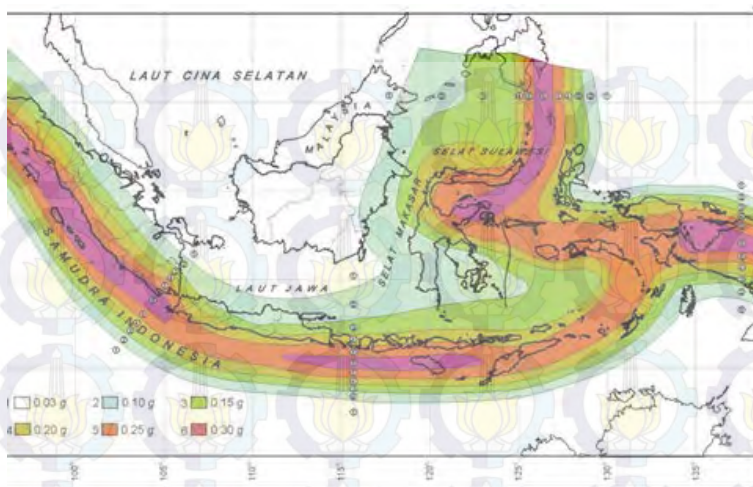
$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{9 \times 1.5}{\frac{1.5}{25} + \frac{1.5}{15} + \frac{1.5}{25} + \frac{1.5}{50} + \frac{1.5}{28} + \frac{1.5}{36} + \frac{1.5}{27} + \frac{1.5}{50} + \frac{1.5}{32}} = 28.535$$

Dari data tersebut didapatkan bahwa lokasi BH2 jenis tanahnya yang akan digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah *Tanah Sedang*.

g. Penentuan Wilayah Gempa

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan ini sesuai dengan wilayah gempa dari kota Semarang dimana Percepatan Puncak Efektif Batuan Dasar (PPEBD) dapat dilihat pada SNI 1726-2002 seperti Gambar 4.26. Dalam hal ini wilayah kota Blitar masuk ke dalam Zona Gempa 4.

Simulasi pembebanan akibat beban terhadap struktur yang direncanakan diterapkan berdasarkan kaidah *tributary area*, dimana semua beban pada penutup lantai ditransfer ke elemen struktur balok berdasarkan daerah pengaruh layanan luasan pembebanan di sekitar segmen elemen frame yang bersangkutan.



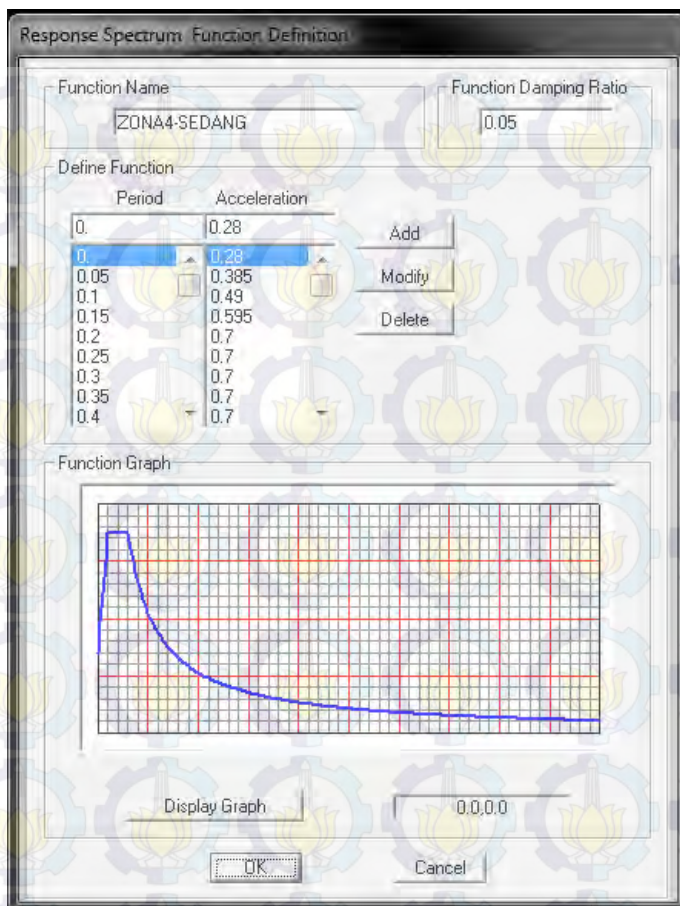
Gambar 4.26 Peta Wilayah Gempa Indonesia

h. Pembebanan Response Spectrum Pada SAP 2000

Faktor pembesaran bebannya diambil dari formulasi perumusan sebagai berikut :

$$LoadFactor = \frac{I}{R} g = \frac{1.0}{3.5} (9.8) = 2.8$$

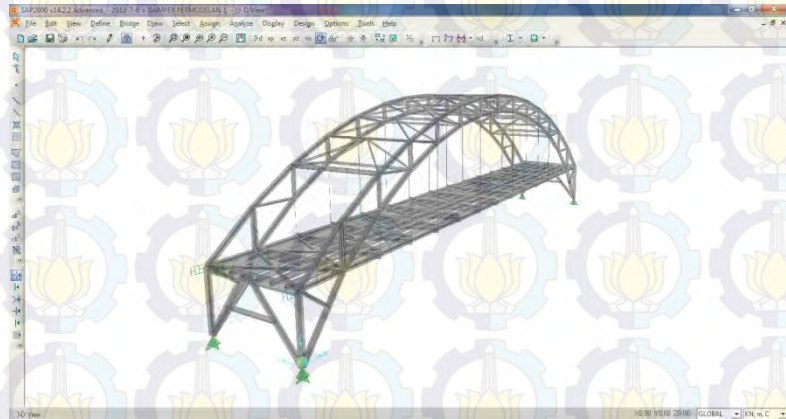
Load factor tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau sehingga factor pembesaran beban pada arah tegak lurus gempa yang ditinjau adalah $0.3 \times 2.8 = 0.84$. Input dari data-data tersebut dapat dilihat pada gambar 4.27.



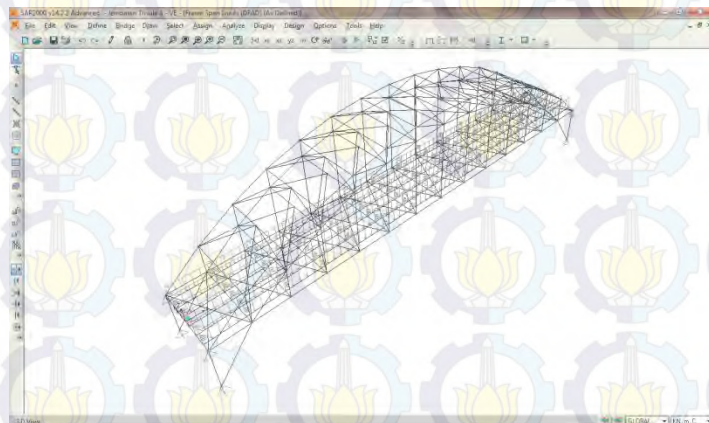
Gambar 4.27 Input Response Spectrum gempa pada SAP 2000.

4.4.2 Permodelan Struktur

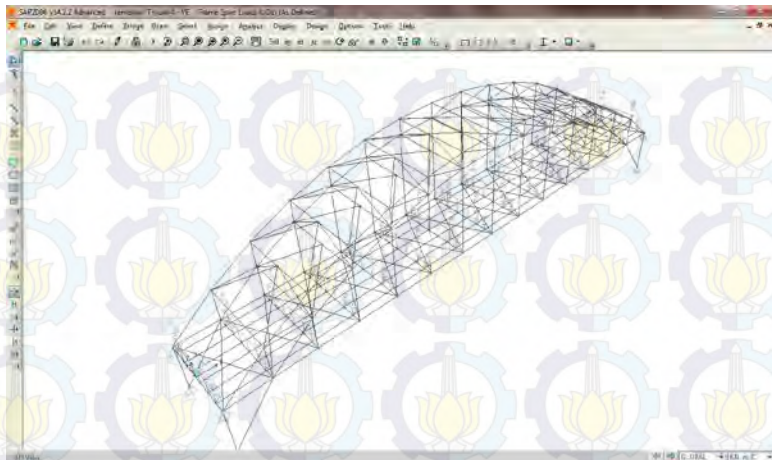
Model *undeformed shape* struktur bangunan ini dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini yang merupakan *capture picture* dari SAP 2000.



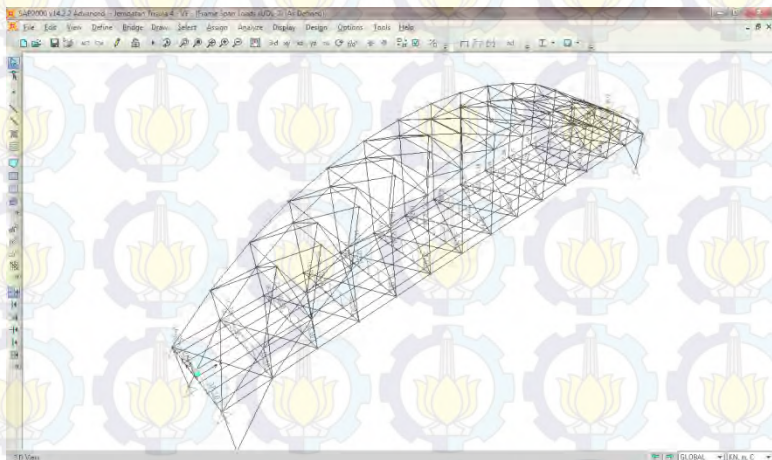
Gambar 4.28 Permodelan struktur tampak isometri (3D)



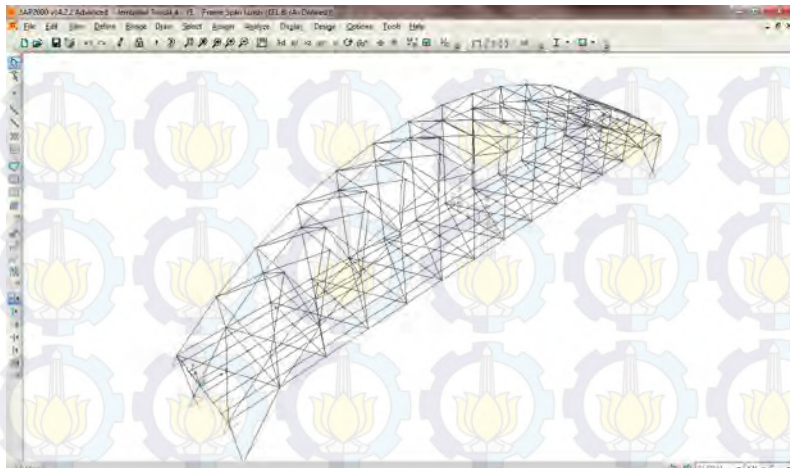
Gambar 4.29 Permodelan beban mati



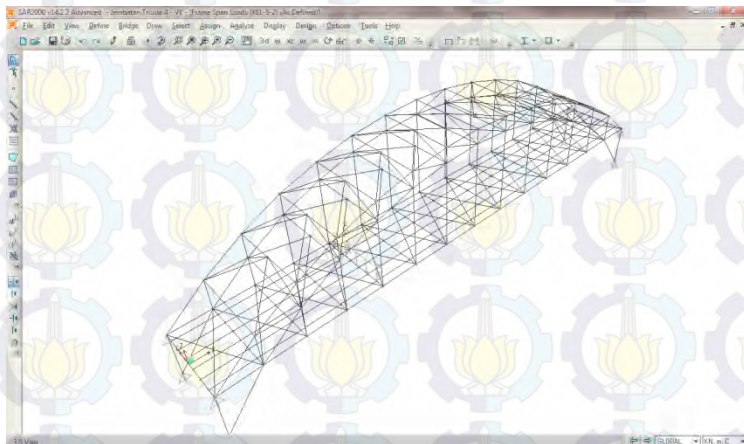
Gambar 4.30 Permodelan beban UDL (momen maksimum)



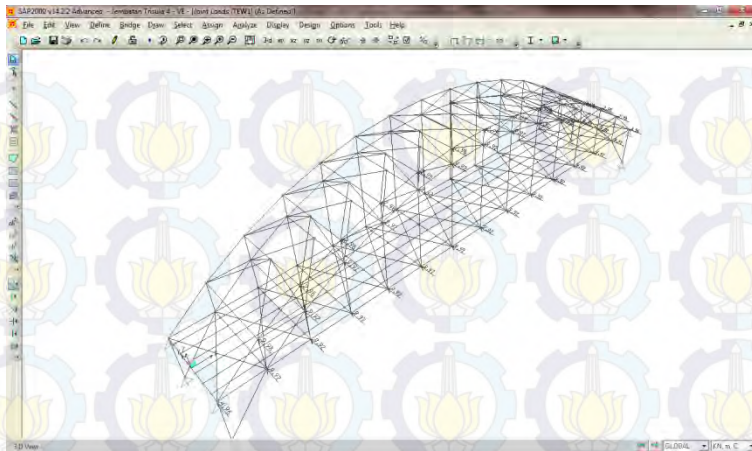
Gambar 4.31 Permodelan beban UDL (geser maksimum)



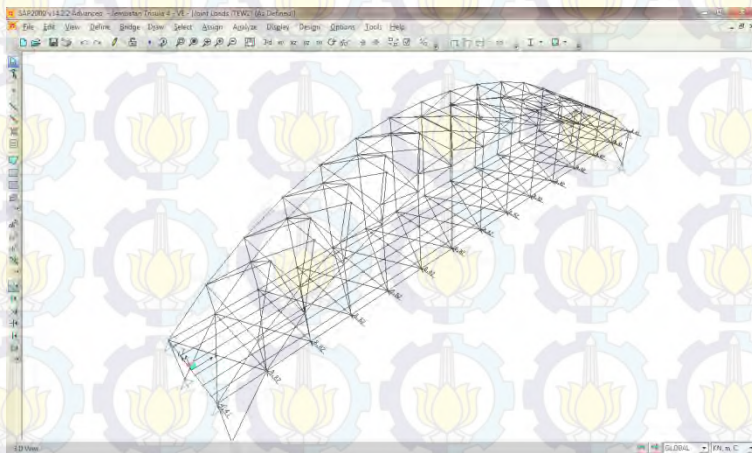
Gambar 4.32 Permodelan beban KEL 8 (momen maksimum)



Gambar 4.33 Permodelan beban KEL 5 (geser maksimum)

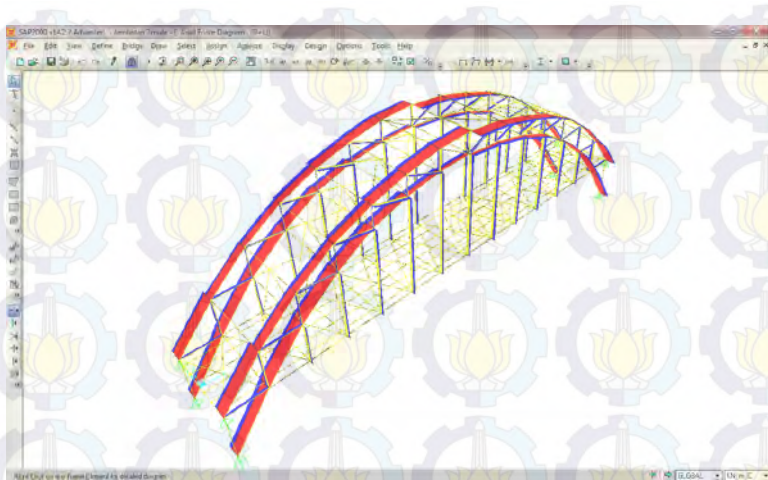


Gambar 4.34 Permodelan beban angin (Tew 1)

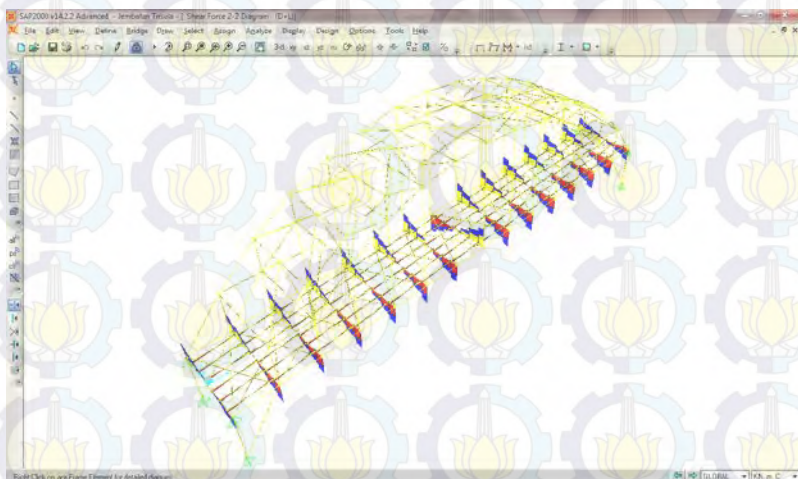


Gambar 4.35 Permodelan beban angin (Tew 2)

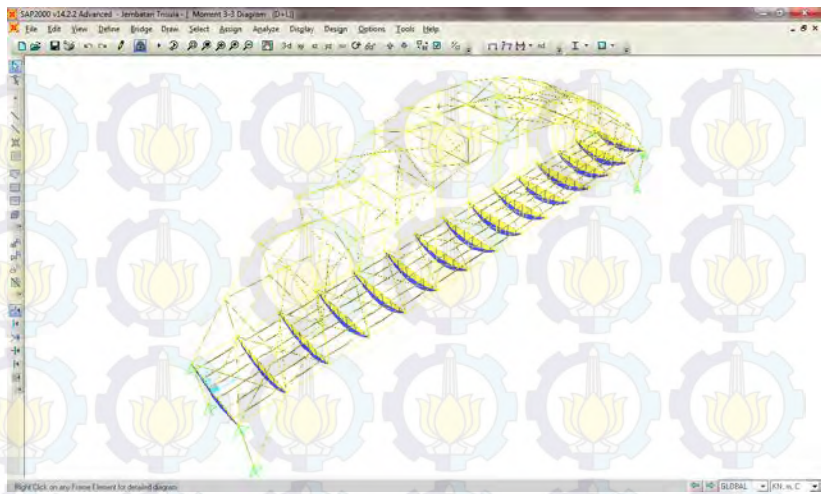
4.4.3 Hasil Analisa Gaya Dalam Struktur



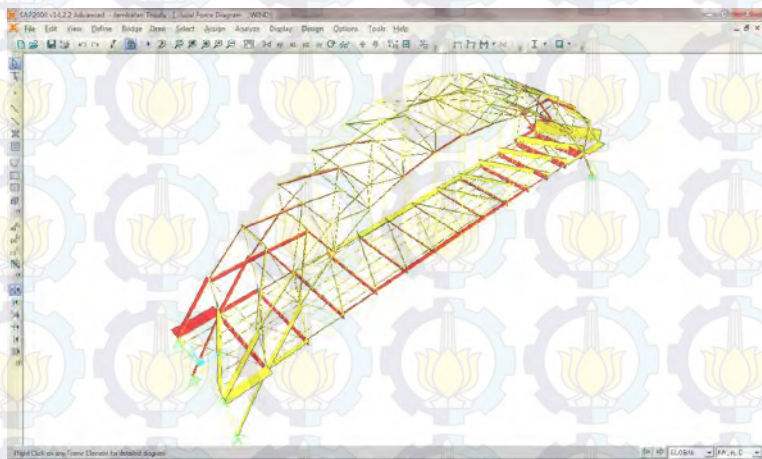
Gambar 4.36 Diagram gaya aksial pada struktur (D+L)



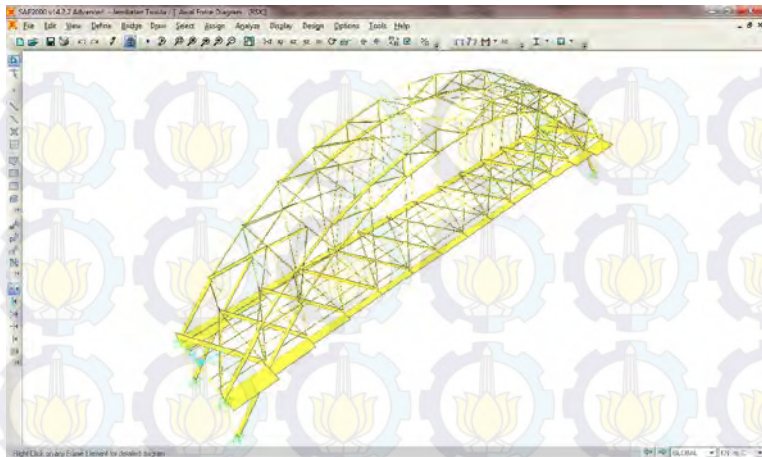
Gambar 4.37 Diagram gaya geser pada struktur (D+L)



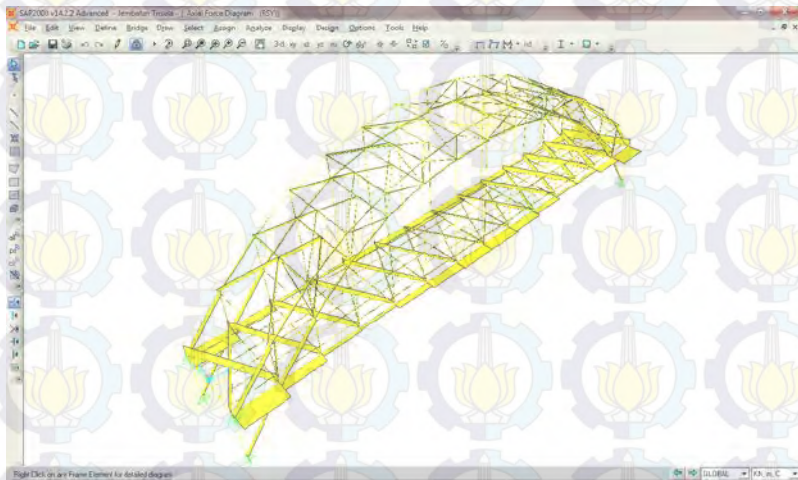
Gambar 4.38 Diagram gaya momen pada struktur (D+L)



Gambar 4.39 Diagram gaya aksial akibat beban angin



Gambar 4.40 Diagram gaya aksial akibat beban gempa arah x



Gambar 4.41 Diagram gaya aksial akibat beban gempa arah y

4.4.4 Efektifitas Damper pada *Displacement*

Analisa efektifitas damper dilakukan dengan mengambil dua permodelan pada Program SAP. Permodelan pertama menggunakan damper yang didefinisikan sebagai *Link / Support*. Sedangkan pada permodelan kedua tanpa ditambahkan damper, Sehingga didapatkan pengaruh damper pada *displacement* struktur yang diambil pada titik 19 (*joint text*) sebagaimana disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Efektifitas Damper pada Pengurangan *Displacement*

TABLE: Joint Displacements					
Joint Text	Output Case Text	StepType Text	U1-ND m	U1-D m	Selisih (%)
19	D+L+RSX	Max	0.007169	0.006686	6.7373413
19	D+L+RSX	Min	-0.02145	-0.020483	4.5126101
19	D+L+RSY	Max	0.007169	0.006686	6.7373413
19	D+L+RSY	Min	-0.02145	-0.020483	4.5126101
19	D+L+W	Max	-0.0018	-0.0018	0.0555247
19	D+L+W	Min	-0.01028	-0.00978	4.8545578
19	D+L+RSX-2	Max	0.007391	0.006886	6.8326343
19	D+L+RSX-2	Min	-0.02202	-0.021034	4.4820853
19	D+L+RSY-2	Max	0.007391	0.006886	6.8326343
19	D+L+RSY-2	Min	-0.02202	-0.021034	4.4820853
19	D+L+W-2	Max	-0.00158	-0.001599	-1.3307985
19	D+L+W-2	Min	-0.01085	-0.010331	4.7746336

Dari hasil analisa pada tabel 4.3 dengan tinjauan titik 19 (salah satu tempat pemasangan damper) dapat disimpulkan bahwa penggunaan damper sebagai *lateral stopper* berpengaruh pada pengurangan *displacement* dengan pengaruh maksimum akibat beban D+L+RSY-2 dan D+L+RSX-2 sebesar 6.8 %.

4.5 Kontrol Komponen Struktur

Perhitungan kontrol komponen struktur ini meliputi kontrol rasio tegangan dengan berpedoman pada peraturan SNI 1729-2002. Perhitungan dilakukan dengan mengontrol komponen struktur secara keseluruhan dengan cara mengambil satu sampel profil yang mempunyai tegangan maksimum dari dimensi yang sama. Sedangkan tegangan maksimum didapatkan pada program SAP 2000. Dari hasil analisa didapatkan nilai *Stress Ratio* hasil perhitungan manual yang dibandingkan dengan *Stress Ratio* hasil analisa Program SAP 2000 sebagaimana tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Kontrol *Stress Ratio* pada komponen struktur baja

No	Properti	Stress Ratio SAP/ Manual
1	WF 414 x 405 x 18 x 28	0.834/ 0.882
2	WF 400 x 200 x 8 x 13	0.594/ 0.616
3	WF 400 x 200 x 8 x 13	0.227/ 0.305
4	WF 400 x 400 x 13 x 21	0.055/ 0.078
5	WF 406 x 403 x 16 x 24	0.796/ 0.817
6	WF386 x 299 x 9 x 14	0.110/ 0.086
7	WF 250 x 125 x 6 x 9	0.634/ 0.698
8	C 250 x 90 x 11 x 14.5	0.908/ 0.863
9	C 320 x 100 x 14 x 17.5	0.490 / 0.542

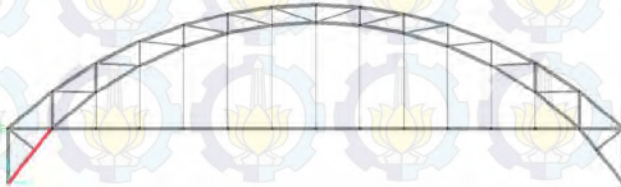
Dari tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa seluruh komponen profil baja cukup kuat dengan ditunjukkan nilai *Stress Ratio* hasil analisa program SAP 2000 dan perhitungan manual yang masih kurang dari 0.95. Hal ini sebagaimana yang telah disyaratkan pada SNI 1729-2002.

Data material profil baja yang dipakai adalah BJ 50 dengan fitur material detailnya sebagai berikut :

- Tegangan leleh baja (f_y) = 290 MPa
- Tegangan putus baja (f_u) = 500 MPa
- Modulus Young (E_s) = 200000 MPa
- Poisson Ratio (ν) = 0.3
- Modulus Geser (G) = 76923.08 MPa

Untuk perhitungan detail manual dapat dilihat pada beberapa perhitungan berikut dengan tinjauan profil yang diberi warna merah:

a. Profil WF 414 x 405 x 18 x 28



Data Profil :

W	d	B	tw	tf	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
229.22	414	405	18	28	91511	31018	17.726

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
10.32	4420	1531	4953	2325	292

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya aksial (P) = -4804 kN
- Momen X (M_x) = 0 kNm
- Momen Y (M_y) = 45 kNm
- Gaya geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya geser Y (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_cx) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_cy) = 1
- Panjang batang (L_x) = 6.47 m = 647 cm
- Panjang batang (L_y) = 6.47 m = 647 cm

$$\lambda_x = \frac{K_cx \times L_x}{i_x} = \frac{1 \times 647}{17.726} = 36.50$$

$$\lambda_y = \frac{Kcy \times Ly}{iy} = \frac{1 \times 647}{10.32} = 62.69(\text{menentukan})$$

$$Ncrbx = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_x^2} = 7471.26 \text{ kN}$$

$$Ncrby = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_y^2} = 2532.40 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{62.69}{\pi} \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0.76$$

Karena $0.25 < \lambda_c < 1.2$ maka $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c}$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - (0.67 \times 0.76)} = 1.31$$

$$Pn = Ag \frac{fy}{\omega} = 6460.21 \text{ kN}$$

$$\phi Pn = 0.85 \times 6460.21 = 5491 \text{ kN} > 4804 \text{ kN}$$

OK

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2tf} = \frac{405}{2 \times 28} = 7.23$$

$$7.23 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{fy}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{tw} = \frac{344}{18} = 19.11$$

$$19.11 < 98.6$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98.6$$

Penampang kompak : $Mnx = Mpx$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 6462 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4769.89 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 \quad ; \text{ plat badan } b = d - 2t = 414 - 2(28) = 358 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{1}{3} \times 358 \times 18^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 405 \times 28^3 \right) = 6605496 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - t_f)^2}{4} = 1.061 \times 10^{13} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 27377.9$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 1.035 \times 10^{-5}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} \\ = 19158 \text{ mm}$$

Karena $L_P = 4770 \text{ mm} < L_B = 6470 \text{ mm} < L_R = 19158 \text{ mm}$
(Bentang Menengah)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 1436.37 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 674.25 \text{ kNm}$$

$$M_{RX} = S_x (f_y - f_r) = 972.4 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30 \\ = 1.82 < 2.3$$

Karena bentang menengah, maka

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P$$

$$= 2300.49 \text{ kNm} > M_P = 1436.37 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = M_P = 1436.37 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = \frac{344}{28} = 12.28 \quad \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{1100}{\sqrt{290}} = 64.59$$

$$12.28 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w$$

$$= 0.6 \times 2900 \times (41.4 \times 1.8)$$

$$= 1296.648 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 1296.648$$

$$= 1166.983 \text{ kN} > V_u = 0$$

OK

Cek Kapasitas – LRFD

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8\phi M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8\phi M_{uy}}{9\phi M_{ny}} < 1$$

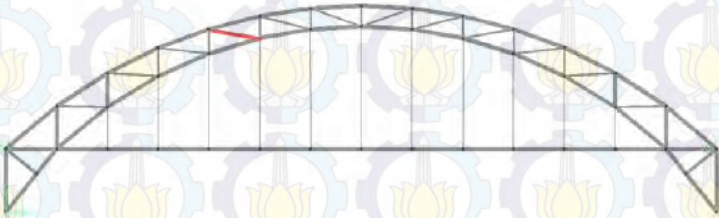
$$\frac{4804}{5491.18} + 0 + \frac{45}{606.825} < 1$$

$$0.875 + 0 + 0.0074 < 1$$

$$0.882 < 1$$

OK

Profil WF 400 x 200 x 8 x 13



Data Profil :

W	d	B	tw	tf	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm^4)	(cm^4)	(cm)
64.3072	400	200	8	13	22964	1734	16.7431

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^2)
4.602	1148	174	1285	265	81.92

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = 1198 kN
- Momen X (M_x) = 0 kNm
- Momen Y (M_y) = 2.602 kNm
- Gaya Geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya Geser (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_{cx}) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x) = 5.08 m = 508 cm
- Panjang batang (L_y) = 5.08 m = 508 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = 29.86$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \times L_y}{i_y} = 108.65(\text{menentukan})$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2}$$

$$= 11157.79 \text{ kN}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2}$$

$$= 842.95 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 1.32$$

Karena $\lambda_c \geq 1.2$ maka $\omega = 1.25\lambda^2 = 2.17$

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 2375.68 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.85 \times 2375.68 = 2019.33 \text{ kN} > 1198 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2t_f} = 7.69$$

$$7.69 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{t_w} = 30.77$$

$$30.77 < 93.96$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 93.96$$

Penampang kompak : $M_{nx} = M_{px}$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 5080 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2127 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 \quad ; \text{ plat badan } b = d - 2t_f = 400 - 2(13) = 374 \text{ mm}$$
$$= \left(\frac{1}{3} \times 374 \times 8^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 200 \times 13^3 \right) = 322629.3 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - t_f)^2}{4} = 4.85 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 12339.09$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 0.002393$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} = 8870 \text{ mm}$$

Karena $L_P = 2127 \text{ mm} < L_B = 5080 \text{ mm} < L_R = 8870 \text{ mm}$
(Bentang Menengah)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 372.65 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 76.85 \text{ kNm}$$

$$M_{rx} = S_x (f_y - f_r) = 252.56 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$
$$= 2.26 < 2.3$$

Karena bentang menengah, maka

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P$$

$$= 723.33 \text{ kNm} > M_P = 372.65 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = M_{Px} = 372.65 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = 50 \quad \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 64.59$$

$$50 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w = 556.8 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 556.8 = 501.12 \text{ kN} > V_u = 0$$

Cek Kapasitas – LRFD

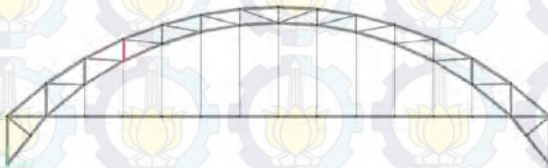
$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8\phi M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8\phi M_{uy}}{9\phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{1198}{2019.33} + 0 + \frac{1.83}{76.85} < 1$$

$$0.59 + 0 + 0.023 < 1$$

$$0.616 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil WF 400 x 200 x 8 x 13



Data Profil :

W	d	B	tw	tf	Ix	Iy	ix
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
64.3072	400	200	8	13	22964	1734	16.7431

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
4.602	1148	174	1285	265	81.92

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = -366. 813 kN
- Momen X (M_x) = 0 kNm
- Momen Y (M_y) = 0 kNm
- Gaya Geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya Geser (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_cx) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_cy) = 1
- Panjang batang (L_x) = 3.314 m = 3314 mm
- Panjang batang (L_y) = 3.314 m = 3314 mm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = 19.79$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \times L_y}{i_y} = 72.01(\text{menentukan})$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2}$$

$$= 25398.8 \text{ kN}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2}$$

$$= 1918.82 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.87$$

Karena $0.25 < \lambda_c < 1.2$

$$\text{maka } \omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c} = 1.41$$

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 1686.55 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.85 \times 1686.55 = 1433.57 \text{ kN} > 366.813 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

$$\begin{aligned} \text{- Sayap : } \quad \frac{b}{2tf} &= 7.69 \\ \frac{170}{\sqrt{f_y}} &= 9.98 \end{aligned} \quad 7.69 < 9.98$$

$$\begin{aligned} \text{- Badan : } \quad \frac{h}{tw} &= 30.77 \\ \frac{1680}{\sqrt{f_y}} &= 93.96 \end{aligned} \quad 30.77 < 93.96$$

Penampang kompak : $M_n \leq M_p$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 3314 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2127 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L)^2}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; \quad f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ plat badan } b = d - 2tf = 400 - 2(13) = 374 \text{ mm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 374 \times 8^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 200 \times 13^3 \right) = 322629.3 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - tf)^2}{4} = 4.85 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJ_A}{2}} = 12339.09$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 0.002393$$

$$L_R = iy \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} = 8870 \text{ mm}$$

Karena $L_P = 2127 \text{ mm} < L_B = 3314 \text{ mm} < L_R = 8870 \text{ mm}$
(Bentang Menengah)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 372.65 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 76.85 \text{ kNm}$$

$$M_{RX} = S_x (f_y - f_r) = 252.56 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$

$$= 2.26 < 2.3$$

Karena bentang Menengah, maka

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P$$

$$= 723.33 \text{ kNm} > M_P = 372.65 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = M_{px} = 372.65 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = 50 \quad \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 64.59$$

$$50 < 64.59 \text{ (Plastis)}$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w = 556.8 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 556.8 = 501.12 \text{ kN} > V_u = 0$$

Cek Kapasitas – LRFD :

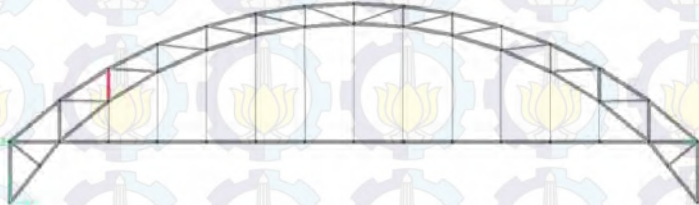
$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8 \phi M_{ux}}{9 \phi M_{nx}} + \frac{8 \phi M_{uy}}{9 \phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{366.813}{1198.08} + 0 + 0 < 1$$

$$0.305 + 0 + 0 < 1$$

$$0.305 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil WF 400 x 400 x 13 x 21



Data Profil :

W	d	b	tw	tf	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
167.99	400	400	13	21	65361	22406	17.45

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
10.22	3268	1120	3600	1695	214

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = -365 kN
- Momen X (M_x) = 0 kNm
- Momen Y (M_y) = 0 kNm
- Gaya geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya geser Y (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_{cx}) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x) = 4.179 m = 4179 mm
- Panjang batang (L_y) = 4.179 m = 4179 mm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = 23.95$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \times L_y}{i_y} = 40.89 (\text{menentukan})$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2} = 17349.72 \text{ kN}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2} = 5951.19 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.5$$

Karena $0.25 < \lambda_c < 1.2$ maka $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c}$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - (0.67 \times 0.76)} = 1.31$$

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 5502.64 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.85 \times 5502.64 = 4677.24 \text{ kN} > 365 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2t_f} = 9.53 \quad 9.53 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{t_w} = 19.047 \quad \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 93.96$$

$$19.047 < 93.96$$

Penampang kompak : $M_{nx} = M_{px}$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 4179 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4723.67 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ plat badan } b = d - 2t_f = 400 - 2(21) = 358 \text{ mm}$$
$$= \left(\frac{1}{3} \times 358 \times 13^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 400 \times 21^3 \right) = 2731775 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - t_f)^2}{4} = 7.18 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 20385.7$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 3.1 \times 10^5$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} = 15214 \text{ mm}$$

Karena $L_B = 4179 \text{ mm} < L_P = 4723.67 \text{ mm}$ (Bentang Pendek)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 1044 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 491.55 \text{ kNm}$$

Karena bentang pendek, maka

$$M_n = M_p$$

$$M_{nx} = M_{px} = 1044 \text{ kNm}$$

$$M_{ny} = M_{py} = 491.55 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = 30.77 \quad \frac{1100}{\sqrt{fy}} = 64.59$$

$$30.77 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$Vn = 0.6 \times fy \times Aw = 904.8 \text{ kN}$$

$$\phi Vn = 0.9 \times 904.8 = 814.32 \text{ kN} > Vu = 0$$

Cek Kapasitas – LRFD

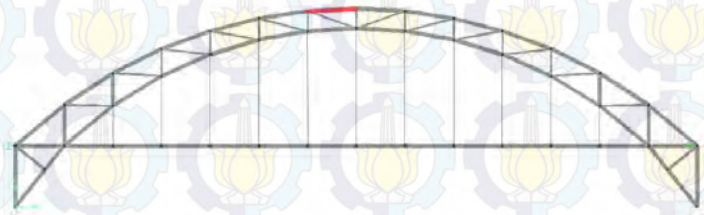
$$\frac{Pu}{\phi 2 Pn} + \frac{8\phi Mux}{9\phi Mn timer} + \frac{8\phi Muy}{9\phi Mntimer} < 1$$

$$\frac{365}{4677.24} + 0 + 0 < 1$$

$$0.078 + 0 + 0 < 1$$

$$0.078 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil WF 406 x 403 x 16 x 24



Data Profil :

W	d	b	tw	tf	Ix	Iy	ix
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
196.82	406	403	16	24	76779	26192	17.5

iy	Sx	Sy	Zx	Zy	Ag
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
10.221	3782	1299	4207	1971	250.72

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = 4155 kN
- Momen X (M_x) = 0 kNm
- Momen Y (M_y) = 9.83 kNm
- Gaya geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya geser Y (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_{cx}) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x) = 5006 mm
- Panjang batang (L_y) = 5006 mm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = 28.57$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \times L_y}{i_y} = 48.92 (\text{menentukan})$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_x^2}$$
$$= 12188.01 \text{ kN}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_y^2}$$
$$= 4158.08 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.59$$

Karena $0.25 < \lambda_c < 1.2$ maka $\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c}$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - (0.67 \times 0.76)} = 1.19$$

$$P_n = Ag \frac{f_y}{\omega} = 6115.32 \text{ kN}$$

$$P_n = 0.85 \times 6115.32 = 5198.02 \text{ kN} > 4155 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2tf} = 8.39$$

$$8.39 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{fy}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{tw} = 16.92$$

$$16.92 < 93.96$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = 93.96$$

Penampang kompak : $Mnx = Mpx$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 5006 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times iy \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 4724 \text{ mm}$$

$$L_R = iy \times \left(\frac{x_1}{fy - fr} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$fy = 290 \text{ MPa}; \quad fr = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = fy - fr = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} bt^3 \quad ; \text{ plat badan } b = d - 2tf = 406 - 2(24) = 358 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{1}{3} \times 358 \times 16^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 403 \times 24^3 \right) = 4198741 \text{ mm}^4$$

$$I_w = Iy \times \frac{(d - tf)^2}{4} = 8.58 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{Sx} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 23638$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 1.8 \times 10^5$$

$$L_R = iy \times \left(\frac{x_1}{fy - fr} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} = 16897 \text{ mm}$$

Karena $L_P = 4724 \text{ mm} < L_B = 5006 \text{ mm} < L_R = 16897 \text{ mm}$
(Bentang Menengah)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times fy = 1220.03 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times fy = 571.59 \text{ kNm}$$

$$M_{RX} = S_x (fy - fr) = 832.04 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$

$$= 2.36 < 2.3$$

Karena bentang Menengah, maka

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P$$

$$= 2858.05 \text{ kNm} > M_P = 1220.03 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = M_{px} = 1220.03 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = 25.38 \quad \frac{1100}{\sqrt{fy}} = 64.59 \quad 25.38 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times fy \times A_w = 1130.30 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 1130.30 = 1017.27 \text{ kN} > V_u = 0$$

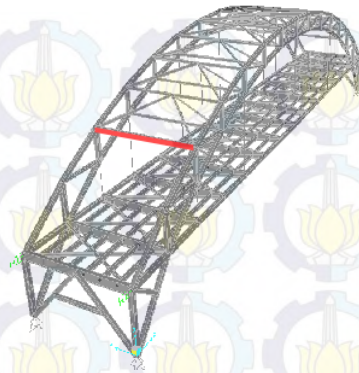
Cek Kapasitas – LRFD

$$\frac{Pu}{\phi P_n} + \frac{8\phi M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8\phi M_{uy}}{9\phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{4155}{5198.02} + 0 + \frac{9.83}{571.59} < 1$$

$$0.817 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil WF 386 x 299 x 9 x 14



Data Profil :

W	d	b	tw	tf	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
94.2785	386	299	9	14	33700	6240	16.7

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
7.21	1740	418	2000	633.1	120.1

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = -9.29 kN
- Momen X (M_x) = -46.961 kNm
- Momen Y (M_y) = 0.00025 kNm
- Gaya geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya geser Y (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_cx) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_cy) = 1
- Panjang batang (L_x) = 10700 mm
- Panjang batang (L_y) = 10700 mm

$$\lambda_x = \frac{Kcx \times Lx}{ix} = 64.07$$

$$\lambda_y = \frac{Kcy \times Ly}{iy} = 148.40(\text{menentukan})$$

$$Ncrbx = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_x^2}$$

$$= 2423.88 \text{ kN}$$

$$Ncrby = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_y^2}$$

$$= 451.8 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = 1.8$$

Karena $\lambda_c > 1.2$ maka $\omega = 1.25\lambda^2 = 4.04$

$$Pn = Ag \frac{fy}{\omega} = 861.12 \text{ kN}$$

$$\phi Pn = 0.85 \times 861.12 = 731.95 \text{ kN} > 9.29 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2tf} = 10.67$$

$$10.67 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{fy}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{tw} = 27.57$$

$$27.57 < 93.96$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = 93.96$$

Penampang kompak : $Mnx = Mpx$

Kapasitas *Lateral Buckling*

$$L_B = 10700 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3332 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; \quad f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 ; \text{ plat badan } b = d - 2t_f = 386 - 2(14) = 358 \text{ mm}$$
$$= \left(\frac{1}{3} \times 358 \times 9^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 299 \times 14^3 \right) = 612823.67 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - t_f)^2}{4} = 4.3 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 13585$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 0.0003755$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} = 10326 \text{ mm}$$

Karena $L_B = 3322 \text{ mm} > L_R = 10326 \text{ mm}$
(Bentang Panjang)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 580 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 183.599 \text{ kNm}$$

$$M_{RX} = S_x (f_y - f_r) = 382.8 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$
$$= 1.82 < 2.3$$

Karena bentang panjang, maka $M_n = M_{cr}$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= C_b \times \frac{\pi}{L} \times \sqrt{(E \times I_y \times G \times J) + \left(\frac{\pi \times E}{L}\right)^2 \times I_y \times I_w} \leq M_p \\ &= 657.39 \text{ kNm} > M_p = 580 \text{ kNm} \\ M_{nx} &= M_{px} = 580 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = 42.89 \quad \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 64.59 \quad 25.38 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w = 544.03 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 544.03 = 489.63 \text{ kN} > V_u = 0 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas – LRFD

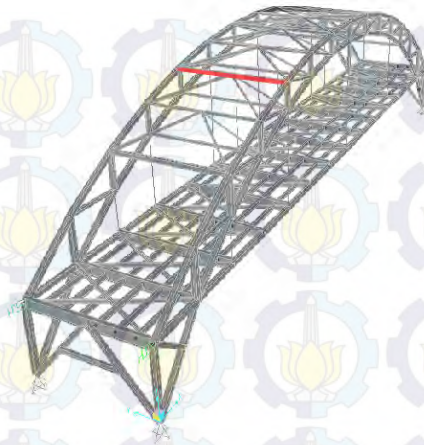
$$\frac{P_u}{\phi 2 P_n} + \frac{8 \phi M_{ux}}{9 \phi M_{nx}} + \frac{8 \phi M_{uy}}{9 \phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{9.29}{1722.24} + \frac{46.9}{580} + \frac{0.00025}{183.599} < 1$$

$$0.006 + 0.08 + 0.000001 < 1$$

$$0.086 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil WF 250 x 125 x 6 x 9



Data Profil :

W	d	b	t_w	t_f	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm^4)	(cm^4)	(cm)
28.59	250	125	6	9	3892	293	10.34

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^2)
2.84	311	47	351	72	36.42

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = - 94.36 kN
- Momen X (M_x) = 0.272 kNm
- Momen Y (M_y) = 0.156 kNm
- Gaya Geser X (V_x) = 0.051 kN
- Gaya Geser Y (V_y) = 0.029 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_cx) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_cy) = 1
- Panjang batang (L_x) = 10700 mm
- Panjang batang (L_y) = 10700 mm

$$\lambda_x = \frac{Kcx \times Lx}{ix} = 103.49$$

$$\lambda_y = \frac{Kcy \times Ly}{iy} = 188.51 (\text{menentukan})$$

$$Ncrbx = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_x^2}$$

$$= 929.04 \text{ kN}$$

$$Ncrby = \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda_y^2}$$

$$= 280.00 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = 2.28$$

$$\text{Karena } \lambda_c > 1.2 \text{ maka } \omega = 1.25\lambda^2 = 6.53$$

$$Pn = Ag \frac{fy}{\omega} = 161.84 \text{ kN}$$

$$\phi Pn = 0.85 \times 161.84 = 137.56 \text{ kN} > 94.36 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2tf} = 6.94$$

$$6.94 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{fy}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{tw} = 27.78$$

$$27.78 < 93.96$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = 93.96$$

Penampang kompak : $Mnx = Mpx$

Kapasitas *Lateral Buckling*

$$L_B = 10700 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1312 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; \quad f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ plat badan } b = d - 2t_f = 250 - 2(9) = 232 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{1}{3} \times 232 \times 6^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 125 \times 9^3 \right) = 68454 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - t_f)^2}{4} = 3.2 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 13989$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 0.0015019$$

$$L_R = 5587 \text{ mm}$$

Karena $L_P = 1312 \text{ mm} < L_{Kx} = 5350 \text{ mm} < L_R = 5587 \text{ mm}$
(Bentang Menengah)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 101.79 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 20.88 \text{ kNm}$$

$$M_{Rx} = S_x (f_y - f_r) = 68.42 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$
$$= 1.13 < 2.3$$

Karena bentang menengah, maka

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P$$

$$= 79.40 \text{ kNm} < M_P = 101.79 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = 79.40 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{tw} = 41.67 \frac{1100}{\sqrt{fy}} = 64.59 \quad 41.67 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times fy \times A_w = 261 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 261 = 234.9 \text{ kN} > V_u = 0.1 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas – LRFD

$$\frac{Pu}{\phi P_n} + \frac{8\phi M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8\phi M_{uy}}{9\phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{94.36}{137.56} + \frac{0.242}{71.462} + \frac{0.139}{18.792} < 1$$

$$0.686 + 0.004 + 0.008 < 1$$

$$0.698 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil C - 250 x 90 x 11 x 14.5

(Ikatan angin bawah)



Data Profil :

W	d	b	tw	tf	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
39.57	250	90	11	14.5	4612	375	9.56

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
2.72	369	59	441	105	50.41

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = 30.971 kN
- Momen X (M_x) = 0 kNm
- Momen Y (M_y) = 0 kNm
- Gaya geser X (V_x) = 0 kN
- Gaya geser Y (V_y) = 0 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_{cx}) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x) = 10811 mm
- Panjang batang (L_y) = 10811 mm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = 123.55$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \times L_y}{i_y} = 434.23 (\text{menentukan})$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2} = 651.91 \text{ kN}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2} = 52.77 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 5.26$$

$$\text{Karena } \lambda_c > 1.2 \text{ maka } \omega = 1.25 \lambda^2 = 34.63$$

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 42.22 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.85 \times 42.22 = 35.89 \text{ kN} > 30.97 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2tf} = 3.10$$

$$3.10 < 9.98$$

$$\frac{170}{\sqrt{fy}} = 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{tw} = 17.24$$

$$17.24 < 93.96$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = 93.96$$

Penampang kompak : $Mnx = Mpx$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 10811 \text{ mm}$$

$$L_P = 1.76 \times iy \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1257 \text{ mm}$$

$$L_R = iy \times \left(\frac{x_1}{fy - fr} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}}$$

$$fy = 290 \text{ MPa}; fr = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = fy - fr = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} bt^3 ; \text{ plat badan } b = d - 2tf = 250 - 2(14.5) = 232 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{1}{3} \times 90 \times 11^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 125 \times 14.5^3 \right) = 68454 \text{ mm}^4$$

$$I_w = Iy \times \frac{(d - tf)^2}{4} = 4.6 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 24294$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 0.000257$$

$$L_R = 6487 \text{ mm}$$

Karena $L_B = 10811 \text{ mm} > L_R = 6487 \text{ mm}$ (Bentang Panjang)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 127.89 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 30.45 \text{ kNm}$$

$$M_{RX} = S_x (f_y - f_r) = 382.8 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$

$$= 1 < 2.3$$

Karena bentang panjang, maka

$$M_n = M_{cr}$$

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

$$= 34.688 \text{ kNm} > M_p = 127.89 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = M_{px} = 127.89 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{t_w} = 22.73 \quad \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 64.59 \quad 22.73 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w = 478.5 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 478.5 = 430.65 \text{ kN} > V_u = 0 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas – LRFD

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8 \phi M_{ux}}{9 \phi M_{nx}} + \frac{8 \phi M_{uy}}{9 \phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{30.971}{35.89} + 0 + 0 < 1$$

$$0.863 < 1 \quad \text{OK}$$

Profil C - 320 x 100 x 14 x 17.5

(Ikatan angin atas)



Data Profil :

W	d	b	t_w	t_f	I_x	I_y	i_x
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm)
58.8	320	100	14	17.5	10716	642	11.96

i_y	S_x	S_y	Z_x	Z_y	A_g
(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ²)
2.93	669	88	813	159	74.9

Gaya – gaya dalam hasil analisa dari program SAP 2000 :

- Gaya Aksial (P) = 315.04 kN
- Momen X (M_x) = 6.77 kNm
- Momen Y (M_y) = 0.47 kNm
- Gaya geser X (V_x) = 0.33 kN
- Gaya geser Y (V_y) = 0.10 kN

Kontrol Kapasitas Tekan :

- Faktor panjang tekuk (K_{cx}) = 1
- Faktor panjang tekuk (K_{cy}) = 0.5
- Panjang batang (L_x) = 7327 mm
- Panjang batang (L_y) = 7327 mm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = 61.25$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \times L_y}{i_y} = 125.03(\text{menentukan})$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2}$$
$$= 2651.95 \text{ kN}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2}$$

$$= 636.49 \text{ kN}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 1.52$$

Karena $\lambda_c > 1.2$ maka $\omega = 1.25\lambda^2 = 2.87$

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} = 756.56 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.85 \times 756.56 = 643.076 \text{ kN} > 315.04 \text{ kN}$$

Analisa Local Buckling :

- Sayap :

$$\frac{b}{2t_f} = 2.86 \qquad \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 9.98$$

$$2.86 < 9.98$$

- Badan :

$$\frac{h}{t_w} = 18.29 \qquad \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 93.96$$

$$18.29 < 93.96$$

Penampang kompak : $M_{nx} = M_{px}$

Kapasitas Lateral Buckling

$$L_B = 7327 \text{ mm}; \qquad L_p = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1354 \text{ mm}$$

$$L_R = i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_1 f_L^2)}}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}; \qquad f_r = 70 \text{ MPa (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220 \text{ MPa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3; \quad \text{plat badan } b = d - 2t_f = 320 - 2(17.5) = 285 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{1}{3} \times 285 \times 14^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 100 \times 14.5^3 \right) = 416745 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{(d - t_f)^2}{4} = 1.94 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = 23010; \quad x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} = 0.000527$$

$$L_R = 15870 \text{ mm}$$

Karena $L_p = 1354 \text{ mm} < L_B = 7327 \text{ mm} < L_R = 7598 \text{ mm}$
(Bentang Menengah)

Kapasitas Lentur :

$$M_{px} = Z_x \times f_y = 235.77 \text{ kNm}$$

$$M_{py} = Z_y \times f_y = 46.11 \text{ kNm}$$

$$M_{RX} = S_x (f_y - f_r) = 147.18 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{(2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2.30$$

$$= 1.315 < 2.3$$

Karena bentang menengah, maka

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_R + (M_p - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_p} \right] \leq M_p$$

$$M_{nx} = 299.35 \text{ kNm} > M_p = 235.77 \text{ kNm} \text{ sehingga } M_{nx} = 235.77 \text{ kNm}$$

Kapasitas Geser :

$$\frac{h}{t_w} = 22.86 \quad \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 64.59$$

$$22.86 < 64.59 \quad (\text{Plastis})$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w = 779.52 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 779.52 = 701.568 \text{ kN} > V_u = 0.33 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas – LRFD

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8 \phi M_{ux}}{9 \phi M_{nx}} + \frac{8 \phi M_{uy}}{9 \phi M_{ny}} < 1$$

$$\frac{315.04}{643.08} + \frac{6.02}{235.77} + \frac{0.47}{46.11} < 1$$

$$0.542 < 1$$

OK

4.6 Desain Detail Sambungan

Desain detil sambungan ini mengacu pada SNI 1729-2002 yang mendasarkan metodenya pada LRFD. Beberapa sistem sambungan yang digunakan dalam perencanaan ini terdiri dari :

- Sambungan balok memanjang yang merupakan sistem sambungan geser atau *Shear Connection* dengan profil sambungan menggunakan *Double L* dan baut mutu A325.
- Sambungan balok melintang yang merupakan sistem sambungan geser atau *Shear Connection* dengan profil sambungan menggunakan *End Plate* dan baut mutu A325.
- Sambungan ikatan angin dan *bracing* dengan menggunakan welded gusset plate dan baut A325. Beberapa *bracing* menggunakan *end plate* dan baut A325.
- Sambungan rangka utama, *hanger* dan rangka diagonal menggunakan sambungan *Gusset Plate* dengan baut A325.
- Sambungan perletakan menggunakan *Pot Bearing* yang diangkur ke pilar pondasi. Sistem sambungan ini merupakan sistem sambungan sendi.

4.6.1 Sambungan Balok Memanjang dan Balok Melintang

Profil Balok Memanjang WF 500 x 200 x 9 x 14 :

$$\begin{array}{lll} f_y = 290 \text{ MPa} & ; f_u = 500 \text{ MPa} ; & E_s = 200000 \text{ MPa} \\ d = 499 \text{ mm} & ; b = 199 \text{ mm} ; & t_w = 9 \text{ mm} ; t_f = 14 \end{array}$$

V_u maksimum = 315.76 kN

Baut type A325

- Kuat tarik baut (f_t^b) = 497 MPa
- Kuat geser baut (f_s^b) = 332 MPa
- Diameter baut (d_b) = 16 mm
- Luas baut (A_b) = 202 mm²
- Jumlah bidang geser (m) = 2
- Phi (ϕ) = 0.75
- tebal pelat tertipis (t_p) = 9 mm
- Kuat Geser Rencana Baut (V_d) :
 $V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 100.6 \text{ kN}$
- Kuat tarik rencana baut (T_d) :
 $T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 58.63 \text{ kN}$
- Kuat tumpu rencana baut dengan pelat (R_d) :
 $R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 122.8 \text{ kN}$

- Jumlah baut perlu :

$$\frac{Vu}{Vd} = \frac{315.76}{100.6} = 3.14 \approx 4$$

- Jumlah baut rencana (n) = 6

Kapasitas Geser :

Profil Sambungan DL 100 x 100 x 10 (profil siku)

tebal pelat = 10 mm

- $Anv = 350 \times 10 = 4500 \text{ mm}^2$
- $Ant = Anv - (3 \times d_b \times t) = 4020 \text{ mm}^2$
- $\phi Rnt = 0.75 \times 0.6 \times Ant \times fy$
 $= 904.5 \text{ kN} > Vu = 315.76 \text{ kN}$ **OK**
- $\phi Rnv = 0.9 \times 0.6 \times Anv \times fy$
 $= 1215 \text{ kN} > Vu = 315.76 \text{ kN}$ **OK**

Profil Balok Melintang WF 900 x 300 x 16 x 28 :

$fy = 290 \text{ MPa}$; $fu = 500 \text{ MPa}$; $Es = 200000 \text{ MPa}$
 $d = 900 \text{ mm}$; $b = 300 \text{ mm}$; $tw = 16 \text{ mm}$; $tf = 28$
 $Vu \text{ maksimum} = 727.61 \text{ kN}$

Kapasitas Geser Baut

Baut type A325

- Kuat tarik baut (f_t^b) = 497 MPa
- Kuat geser baut (f_s^b) = 332 MPa
- Diameter baut (d_b) = 24 mm
- Luas baut (A_b) = 453 mm^2
- Jumlah bidang geser (m) = 1
- Phi (ϕ) = 0.75
- tebal pelat tertipis (t_p) = 12 mm
- Kuat Geser Rencana Baut (Vd) :
 $Vd = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 112.8 \text{ kN}$
- Kuat tarik rencana baut (Td) :
 $Td = \phi \times f_t^b \times A_b = 471.86 \text{ kN}$
- Kuat tumpu rencana baut dengan pelat (Rd) :
 $Rd = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 244.62 \text{ kN}$
- Jumlah baut perlu :
 $\frac{Vu}{Vd} = \frac{727.61}{112.8} = 6.45 \approx 7$
- Jumlah baut rencana (n) = 12

Perhitungan Sambungan Las Base Plate

$$\phi f_n = \phi (0.6 \times E70) = 0.75 (0.6 \times 70 \times 70.3) \\ = 2214.45 \text{ kg/cm}^2 = 217.02 \text{ MPa}$$

$$a_{\text{ef maksimum}} (\text{las di badan}) = 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times t_w \\ = 0.707 \times \frac{f_u}{70 \times 70.3} \times t_w \\ = 8.6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{ef maksimum}} (\text{las di sayap}) = 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times t_f \\ = 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times t_f \\ = 14.9 \text{ mm} \quad (\text{menentukan})$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{t_e}{0.707} = \frac{5.1}{0.707} = 8 \text{ mm}$$

misal $t_e = 1$

$$A = 1 (2 \times (A_1 + A_2)) = 335 \text{ cm}^2$$

$$y_{\text{max}} = 46.9 \text{ cm}$$

$$I_x = 2 \left[\left(\frac{1}{12} \times 1 \times A_1^3 \right) + \left(1 \times A_2 \times \frac{d}{2} \right) \right] \\ = 450460 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{y_{\text{max}}} \\ = 9604.69 \text{ cm}^3$$

Akibat V_u :

$$f_v = \frac{V_u}{A} = 37.86 \text{ MPa}$$

Akibat M_u :

$$f_{hmx} = \frac{M_{ux}}{S_x} = 0 \quad f_{hmy} = \frac{M_{uy}}{S_y} = 0$$

$$f_{total} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2}$$

$$= 37.86 \text{ MPa} < 217.2 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

4.6.2 Sambungan Baut dan Las Struktur Sekunder

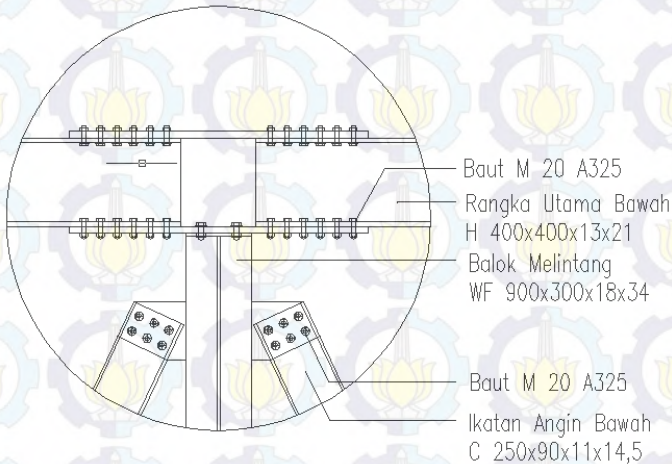
Kontrol Sambungan Ikatan Angin Bawah

(Profil C 250 x 90 x 11 x 14.5)

$f_y = 290 \text{ MPa}$; $f_u = 500 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

$d = 250 \text{ mm}$; $b = 90 \text{ mm}$; $tw = 11 \text{ mm}$;

$t_f = 14.5 \text{ mm}$ $V_u = 247 \text{ kN}$



Gambar 4.42 Detail sambungan ikatan angin bawah

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 315 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 1$$

$$\text{Phi } (\phi) = 0.75$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (Vd) :$$

$$Vd = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 78.44 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (Td) :$$

$$Td = \phi \times f_t^b \times A_b = 113.25 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (Rd) :$$

$$Rd = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 189.83 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu : } \frac{Vu}{Vd} = 4$$

$$\text{Jumlah baut rencana} = 6$$

Kapasitas Geser

$$\text{Profil PL120; Tebal profil} = 11 \text{ mm}$$

$$Anv = 600 \times 11 = 6600 \text{ mm}^2$$

$$Ant = Anv - (6 \times d_b \times t) = 5280 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi Rnt &= 0.75 \times 0.6 \times Ant \times fy \\ &= 1188 \text{ kN} > Vu = 247 \text{ kN} \end{aligned}$$

OK

$$\begin{aligned} \phi Rnv &= 0.9 \times 0.6 \times Anv \times fy \\ &= 1033.56 \text{ kN} > Vu = 247 \text{ kN} \end{aligned}$$

OK

Kontrol Sambungan Ikatan Angin Atas

(Profil C 250 x 90 x 11 x 14.5)

$$f_y = 290 \text{ MPa} ;$$

$$d = 250 \text{ mm} ;$$

$$t_f = 14.5 \text{ mm}$$

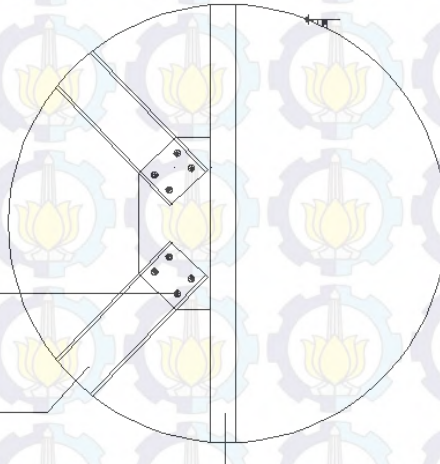
$$f_u = 500 \text{ MPa} ;$$

$$b = 90 \text{ mm} ;$$

$$V_u = 49 \text{ kN}$$

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

$$t_w = 11 \text{ mm} ;$$



Baut M 16 A325

Ikatan Angin Atas
C 250x90x11x14,5

WF 250x125x6x9

Gambar 4.43 Detail sambungan ikatan angin atas

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 202 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 1$$

$$\text{Phi } (\phi) = 0.75$$

Kuat Geser Rencana Baut (V_d) :

$$V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 50.3 \text{ kN}$$

Kuat tarik rencana baut (T_d) :

$$T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 75.3 \text{ kN}$$

Kuat tumpu rencana baut (R_d) :

$$R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 157.45 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} : \frac{Vu}{Vd} = 1$$

Jumlah baut rencana = 4

Kapasitas Geser

Profil PL120; tebal profil = 11 mm

$$Anv = 600 \times 11 = 6600 \text{ mm}^2$$

$$Ant = Anv - (4 \times d_b \times t) = 2596 \text{ mm}^2$$

$$\phi Rnt = 0.75 \times 0.6 \times Ant \times fy$$

$$= 584.1 \text{ kN} > Vu = 49 \text{ kN}$$

OK

$$\phi Rnv = 0.9 \times 0.6 \times Anv \times fy$$

$$= 133.56 \text{ kN} > Vu = 49 \text{ kN}$$

OK

Kontrol Sambungan Ikatan Angin Atas

(Profil C 320x100x14x17.5)

$$fy = 290 \text{ MPa} ;$$

$$fu = 500 \text{ MPa} ;$$

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

$$d = 320 \text{ mm} ;$$

$$b = 100 \text{ mm} ;$$

$$tw = 14 \text{ mm} ;$$

$$tf = 17.5 \text{ mm}$$

$$Vu = 351 \text{ kN}$$

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 202 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 2$$

$$\text{Phi } (\phi) = 0.75$$

$$\text{Tebal Pelat tertipis} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (Vd) :$$

$$Vd = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 100.6 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (Td) :$$

$$Td = \phi \times f_t^b \times A_b = 12.41 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (Rd) :$$

$$Rd = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 28.3 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} : \frac{Vu}{Vd} = 4$$

Jumlah baut rencana = 6

Kapasitas Geser

Profil PL120; Tebal profil = 12 mm

$$A_{nv} = 450 \times 12 = 5400 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = A_{nv} - (6 \times d_b \times t) = 428 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_{nt} = 0.75 \times 0.6 \times A_{nt} \times f_y = 955.8 \text{ kN} > V_u = 351 \text{ kN}$$

OK

$$\phi R_{nv} = 0.9 \times 0.6 \times A_{nv} \times f_y$$

$$= 845.64 \text{ kN} > V_u = 351 \text{ kN}$$

OK

Kontrol Sambungan Brace WF 100 x 50 x 4.5 x 7

$$f_y = 290 \text{ MPa};$$

$$d = 100 \text{ mm};$$

$$t_f = 7 \text{ mm}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa};$$

$$b = 50 \text{ mm};$$

$$V_u = 61 \text{ kN}$$

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

$$t_w = 4.5 \text{ mm}$$

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 202 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 1$$

$$\Phi (\phi) = 0.75$$

$$\text{Tebal Pelat Tertipis} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (V_d) :$$

$$V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 50.3 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (T_d) :$$

$$T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 75.3 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (R_d) :$$

$$R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 100.2 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut rencana } (n) = 4$$

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n} = 15.25 \text{ kN}$$

$$F_v = \frac{R_{uv}}{A_b} = 76 \text{ kN}$$

$$F_{\max \text{ baut}} = T_d \times \sqrt{1 - \left(\frac{R_{uv}}{V_d} \right)^2} = 71.76 \text{ kN}$$

Perhitungan Sambungan Las Base Plate

$$\phi f_n = \phi (0.6 \times E70) = 0.75 (0.6 \times 70 \times 70.3)$$

$$= 2214.45 \text{ kg/cm}^2 = 217.02 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} a_{ef \text{ maksimum}} (\text{las di badan}) &= 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times t_w \\ &= 0.707 \times \frac{f_u}{70 \times 70.3} \times t_w \\ &= 3.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{ef \text{ maksimum}} (\text{las di sayap}) &= 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times t_f \\ &= 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times t_f \\ &= 5.1 \text{ mm} \quad (\text{menentukan}) \end{aligned}$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{t_e}{0.707} = \frac{5.1}{0.707} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{misal } t_e = 1$$

$$A = 1 (2 \times (A_1 + A_2)) = 16.845 \text{ cm}^2 \quad y_{\text{max}} = 5.51 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_x &= 2 \left[\left(\frac{1}{12} \times 1 \times A_1^3 \right) + \left(1 \times A_2 \times \frac{d}{2} \right) \right] \\ &= 282 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_x &= \frac{I_x}{y_{\text{max}}} \\ &= 51.18 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Akibat V_u :

$$f_v = \frac{V_u}{A} = 36.2 \text{ MPa}$$

Akibat M_u :

$$\begin{aligned} f_{hm x} &= \frac{M_{ux}}{S_x} = 0 & f_{hm y} &= \frac{M_{uy}}{S_y} = 0 \end{aligned}$$

$$f_{total} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2}$$

$$= 36.2 \text{ MPa} < 217 \text{ MPa}$$

OK

Kontrol Sambungan Brace WF 250 x 125 x 6 x 9

$$\begin{array}{lll} f_y = 290 \text{ MPa} ; & f_u = 500 \text{ MPa} ; & E_s = 200000 \text{ MPa} \\ d = 250 \text{ mm} ; & b = 125 \text{ mm} ; & t_w = 6 \text{ mm} ; \\ t_f = 9 \text{ mm} & M_x = 19 \text{ kNm} ; & V_x = 224 \text{ kN} \end{array}$$

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 202 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 1$$

$$\Phi (\phi) = 0.75$$

$$\text{Tebal Pelat Tertipis} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (V_d) :$$

$$V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 50.3 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (T_d) :$$

$$T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 52.18 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (R_d) :$$

$$R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 79.35 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut rencana } (n) = 6$$

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n} = 37.34 \text{ kN}$$

$$f_v = \frac{R_{uv}}{A_b} = 185 \text{ kN}$$

Perhitungan Sambungan Las Base Plate

$$\phi \phi_n = \phi (0.6 \times E70) = 0.75 (0.6 \times 70 \times 70.3)$$

$$= 2214.45 \text{ kg/cm}^2 = 217.02 \text{ MPa}$$

$$a_{ef \text{ maksimum}} (\text{las di badan}) = 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70.xx}} \times t_w$$

$$= 0.707 \times \frac{fu}{70 \times 70.3} \times tw$$

$$= 4.4 \text{ mm}$$

$$a_{\text{ef maksimum}} (\text{las di sayap}) = 0.707 \times \frac{fu}{f_{E70xx}} \times tf$$

$$= 0.707 \times \frac{fu}{f_{E70xx}} \times tf$$

$$= 6.5 \text{ mm} \quad (\text{menentukan})$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{te}{0.707} = \frac{6.5}{0.707} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{missal } te = 1$$

$$A = 1 (2 \times (A_1 + A_2)) = 55.87 \text{ cm}^2$$

$$y_{\text{max}} = 13.15 \text{ cm}$$

$$I_x = 2 \left[\left(\frac{1}{12} \times 1 \times A_1^3 \right) + \left(1 \times A_2 \times \frac{d}{2} \right) \right]$$

$$= 5958 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{y_{\text{max}}}$$

$$= 453.07 \text{ cm}^3$$

Akibat V_u :

$$f_v = \frac{V_u}{A} = 40.1 \text{ MPa}$$

Akibat M_u :

$$f_{hm} = \frac{M_{ux}}{S_x} = 41.94$$

$$f_{hmy} = \frac{M_{uy}}{S_y} = 0$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2}$$

$$= 58.03 \text{ MPa} < 217.02 \text{ MPa}$$

OK

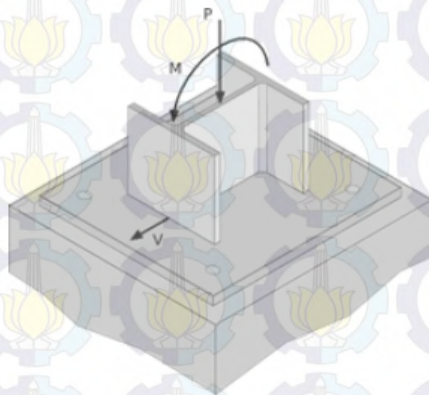
4.6.3 Perhitungan Tebal dan Sambungan *Baseplate* (Perletakan)

Data material dan beban

$$\begin{aligned} f_y &= 290 \text{ MPa} ; & f_u &= 500 \text{ MPa} ; \\ E_s &= 200000 \text{ MPa} ; & f'_c &= 25 \text{ MPa} \\ d &= 414 \text{ mm} ; b_f &= 405 \text{ mm} ; t_w &= 18 \text{ mm} ; t_f &= 28 \text{ mm} \\ P_u &= 5950 \text{ kN} ; & M_x &= 0 ; & M_y &= 0 \end{aligned}$$

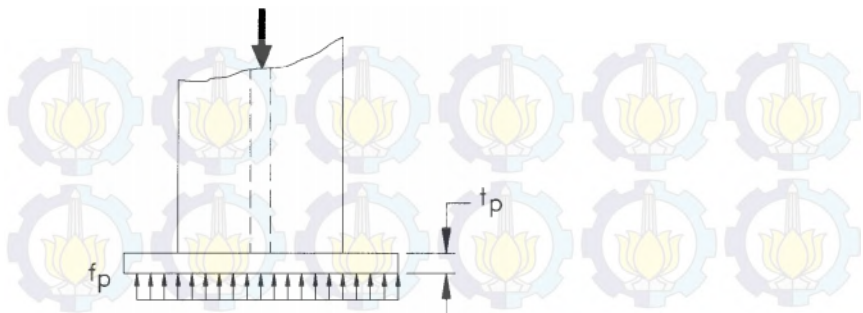
Perhitungan Tebal *Baseplate* (Pelat Dasar)

Pelat dasar merupakan pelat baja yang berperan sebagai penghubung antara struktur atas dan struktur bawah dan berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas menuju struktur bawahnya (lihat gambar 4.44). Perencanaan dimensi *Baseplate* ini berdasarkan metode AISC-LRFD dengan tinjauan beban vertical (P_u).



Gambar 4.44 *Baseplate* dengan gaya Vertikal, Momen dan Geser

Perencanaan *Baseplate* dengan beban vertical diasumsikan bahwa beban vertical adalah terpusat pada pelat yang selanjutnya menjadi beban terbagi rata untuk struktur di bawahnya (lihat gambar 4.45)



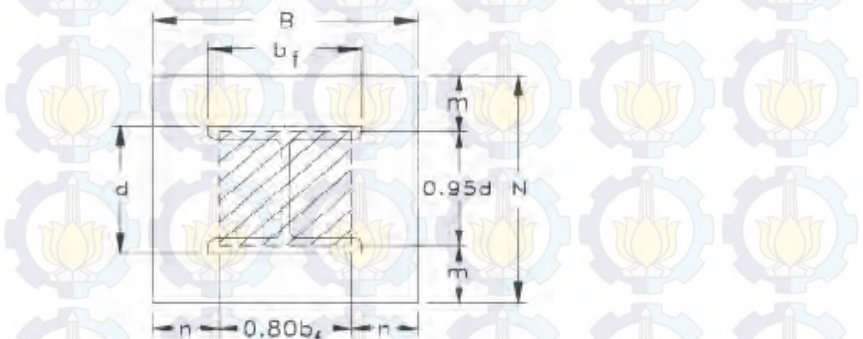
Gambar 4.45 Distribusi gaya tekan pada *Baseplate*

Untuk menghitung dimensi berdasarkan beban vertical dengan metode LRFD dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui beban vertikal (P_u) = 5950 kN = 5950000 N

$$A_l = \frac{P_u}{1.7 \times \phi_c \times f'_c} = \frac{5950000}{1.7 \times 0.6 \times 25} = 4666.67 \text{ cm}^2 (\text{menentukan})$$

Menentukan dimensi pelat (B dan N)



Gambar 4.46 Batasan kritis *Basepelat*

$$B = 75 \text{ cm}$$

$$N = 75 \text{ cm}$$

$$A_2 = B \times N = 75 \times 75 = 5625 \text{ cm}^2$$

$$A_{1-2} = \frac{A_1^2}{A_2} = \frac{(4666.67)^2}{5625} = 3871.62 \text{ cm}^2$$

$$A_{1-3} = bf \times d = 40.5 \times 41.4 = 1676.7 \text{ cm}^2$$

$$\Delta = \frac{(0.95 \times d) - (0.8 \times bf)}{2} = \frac{(0.95 \times 41.4) - (0.8 \times 40.5)}{2} = 2.43 \text{ cm}$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta = \sqrt{4666.67} + 2.43 = 70.75 \text{ cm}$$

$$B = \frac{A_1}{N} = \frac{4666.67}{70.75} = 65.96 \text{ cm}$$

$$m = \frac{N - (0.9 \times d)}{2} = \frac{75 - (0.9 \times 41.4)}{2} = 18.87 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - (0.9 \times bf)}{2} = \frac{65.96 - (0.9 \times 40.5)}{2} = 21.3 \text{ cm (menentukan)}$$

Menentukan ketebalan pelat (tp) didasarkan dari besaran nilai m atau n yang dilihat pada gambar 4.46 diatas dan diambil nilai yang terbesar antara m atau n .

$$L_{\max} = n = 21.3 \text{ cm}$$

$$T_{\text{perlu}} = L_{\max} \times \sqrt{\frac{2 \times Pu}{0.9 \times fy \times B \times N}}$$

$$= 21.3 \times \sqrt{\frac{2 \times 5950000}{0.9 \times 290 \times 750 \times 750}} = 6.07 \text{ cm}$$

$$T_{\text{pakai}} = 6 \text{ cm}$$

Kontrol Tegangan Maksimum pada Tumpuan

$$\frac{Pu}{A} + \frac{Mx}{W} + \frac{My}{W} < f'_c$$

$$10.578 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Desain Baut Angkur dan Panjang Pengankuran

Baut angkur diperlukan untuk semua *baseplate*. Baut angkur digunakan untuk memperkuat semua plat dan untuk mencegah kolom terbalik. Baut angkur juga diperlukan ketika pelat menerima beban yang besar atau *uplift*. Berikut ini adalah data rencana baut angkur yang akan dipakai dan perhitungannya:

Spesifikasi Angkur = A-307 ($f_y = 240 \text{ MPa}$; $f_u = 370 \text{ MPa}$)

Diameter (d) = 36 mm

Luas penampang (A_b) = 1017.88 mm²

Kapasitas angkur (T_u) = 200 kN = 200000 N

$$A_g = \frac{T_u}{0.75 \times \phi_t \times f_u}$$

$$= \frac{200000}{0.75 \times 0.75 \times 370}$$

$$= 960.97 \text{ mm}^2$$

$$\text{Stress Ratio} = \frac{A_g}{A_b} = \frac{960.97}{1017.88} = 0.94$$

$$\text{Stress Ratio} = 0.94 < 1 \quad \text{OK}$$

Menentukan panjang jangkar (L) :

$$L = \frac{T_u}{\pi \times d \times 0.1 \times f'_c} = 707.4 \text{ mm} (\text{pakai } 800 \text{ mm})$$

Perhitungan Sambungan Las Base Plate

$$\phi f_n = \phi (0.6 \times E70) = 0.75 (0.6 \times 70 \times 70.3)$$

$$= 2214.45 \text{ kg/cm}^2 = 217.02 \text{ MPa}$$

$$a_{\text{ef maksimum}} (\text{las di badan}) = 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times tw$$

$$= 0.707 \times \frac{f_u}{70 \times 70.3} \times tw$$

$$= 13 \text{ mm}$$

$$a_{\text{ef maksimum}} (\text{las di sayap}) = 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times tf$$

$$= 0.707 \times \frac{f_u}{f_{E70xx}} \times tf$$

$$= 20.2 \text{ mm} \quad (\text{menentukan})$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{te}{0.707} = \frac{20.2}{0.707} = 29 \text{ mm}$$

misal $te = 1$

$$A = 1 (2 \times (A_1 + A_2)) = 435 \text{ cm}^2$$

$$y_{\text{max}} = 22.72 \text{ cm}$$

$$I_x = 2 \left[\left(\frac{1}{12} \times 1 \times A_1^3 \right) + \left(1 \times A_2 \times \frac{d}{2} \right) \right]$$

$$= 140211 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{y_{\text{max}}}$$

$$= 6171.26 \text{ cm}^3$$

Akibat V_u :

$$f_v = \frac{V_u}{A} = 152.9 \text{ MPa}$$

Akibat M_u :

$$f_{hmx} = \frac{M_{ux}}{S_x} = 0$$

$$f_{hmy} = \frac{M_{uy}}{S_y} = 0$$

$$f_{total} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2}$$

$$= 152.9 \text{ MPa} < 217.02 \text{ MPa}$$

OK

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A307

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 414 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 248 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 1018 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 2$$

$$\text{Phi } (\phi) = 0.75$$

$$\text{Tebal pelat tertipis} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (Vd) :$$

$$Vd = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 378.7 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (Td) :$$

$$Td = \phi \times f_t^b \times A_b = 316.09 \text{ kN}$$

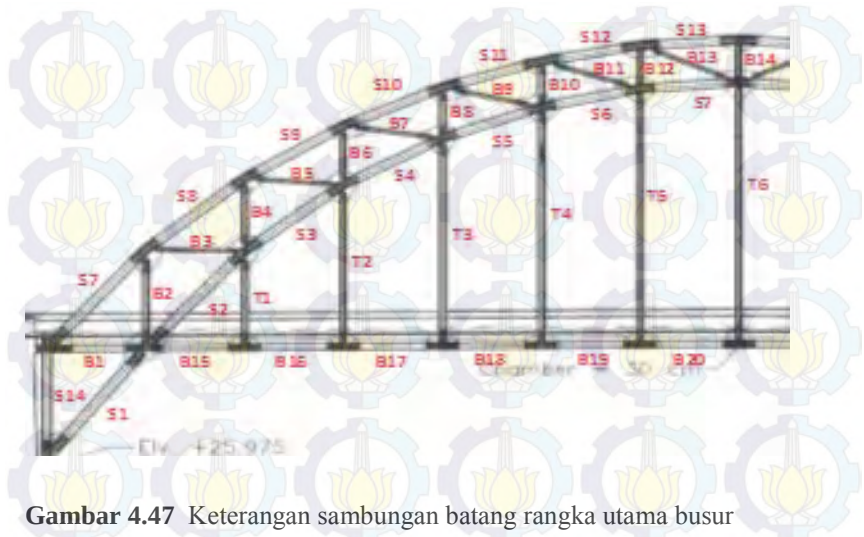
$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (Rd) :$$

$$Rd = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 1341.36 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} = \frac{Vu}{Vd} = 7.8 \approx 8$$

$$\text{Jumlah baut rencana } (n) = 8$$

4.6.4 Sambungan Rangka Utama



Gambar 4.47 Keterangan sambungan batang rangka utama busur

Sambungan Rangka Batang S1, S2, S3, S4, S14, S12

Profil WF 414 x 405 x 18 x 28 (Batang S2)

$f_y = 290 \text{ MPa}$; $f_u = 500 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

$d = 414 \text{ mm}$; $b = 405 \text{ mm}$; $t_w = 18 \text{ mm}$; $t_f = 28 \text{ mm}$

$P_u = 5424 \text{ kN}$; $M_x = 0$; $M_y = 18.68 \text{ kNm}$

$V_x = 0$; $V_y = 0 \text{ kN}$

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

Kuat tarik baut (f_t^b) = 497 MPa

Kuat geser baut (f_s^b) = 332 MPa

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Luas baut (A_b) = 315 mm^2

Jumlah bidang geser (m) = 2

$\Phi (\phi) = 0.75$

Tebal Pelat tertipis = 30 mm

Kuat Geser Rencana Baut (V_d) :

$$V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 156.87 \text{ kN}$$

Kuat tarik rencana baut (T_d) :

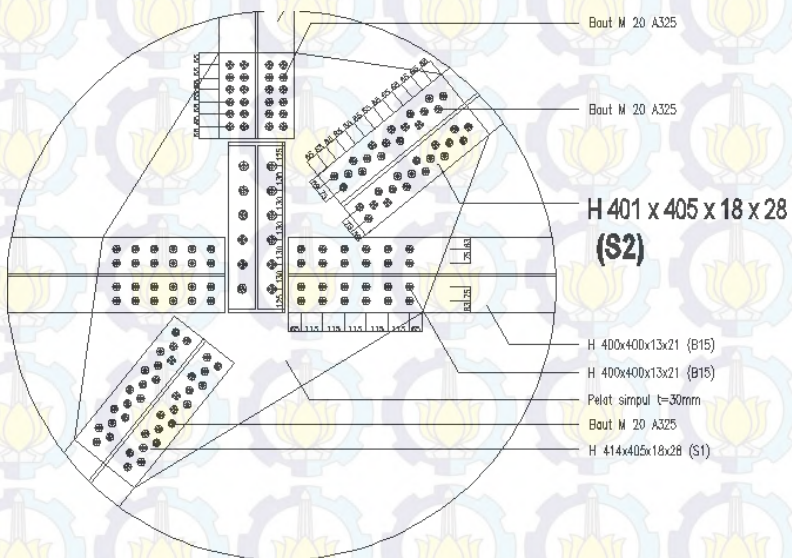
$$T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 117.42 \text{ kN}$$

Kuat tumpu rencana baut (R_d) :

$$R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 322.06 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} = \frac{Pu}{Vd} = 34.5 \approx 35$$

Jumlah baut rencana = 36 buah



Gambar 4.48 Detail sambungan batang profil S2

Kapasitas Geser

Profil Penyambung

Tebal pelat

Anv

Ant

ϕR_{nt}

ϕR_{nv}

= Gusset Plate

= 28 mm

$$= 6 \times 5 \times 75 \times (28) = 63000 \text{ mm}^2$$

$$= Anv - (36 \times d_b \times t) = 52920 \text{ mm}^2$$

$$= 0.75 \times 0.6 \times Ant \times f_y$$

$$= 11907 \text{ kN} > P = 5424 \text{ kN}$$

OK

$$= 0.9 \times 0.6 \times Anv \times f_y$$

$$= 9865.8 \text{ kN} > P = 5424 \text{ kN} \quad \textbf{OK}$$

Sambungan Rangka Batang S5, S6, S7, S11, S12, S13

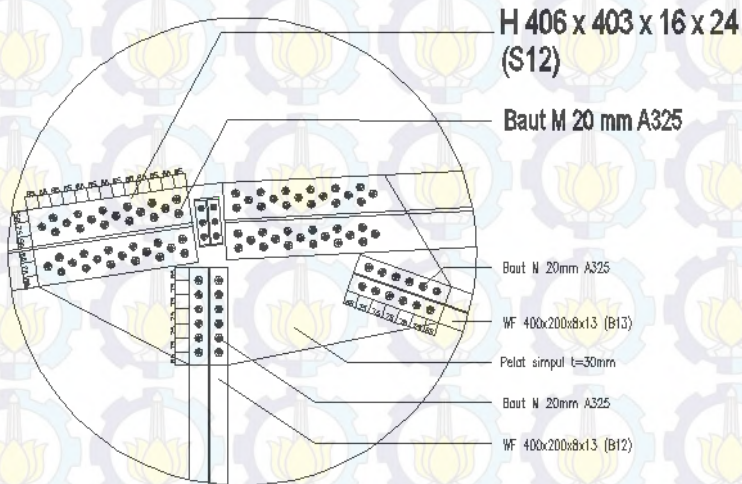
Profil WF 414 x 405 x 18 x 28 (Batang S12)

$f_y = 290 \text{ MPa}$; $f_u = 500 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

$d = 414 \text{ mm}$; $b = 405 \text{ mm}$; $tw = 18 \text{ mm}$; $tf = 28 \text{ mm}$

$P_u = 4299.88 \text{ kN}$; $M_x = 0 \text{ kNm}$; $M_y = 10.07 \text{ kNm}$

$V_x = 0$; $V_y = 0 \text{ kN}$



Gambar 4.49 Detail sambungan batang profil S12

Kapasitas Geser

Baut Type A325

Kuat tarik baut (f_t^b) = 497 MPa

Kuat geser baut (f_s^b) = 332 MPa

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Luas baut (A_b) = 315 mm^2

Jumlah bidang geser (m) = 2

Φ (ϕ) = 0.75

Tebal Pelat tertipis = 12 mm

Kuat Geser Rencana Baut (V_d) :

$$V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 156.87 \text{ kN}$$

Kuat tarik rencana baut (T_d) :

$$T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 117.42 \text{ kN}$$

Kuat tumpu rencana baut (R_d) :

$$R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 214.71 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu } (n) = \frac{P_u}{V_d} = 27.4 \approx 28$$

Jumlah baut rencana = 36 buah

Kapasitas Geser

Profil Penyambung = Gusset Plate

Tebal pelat = 30 mm

$$A_{nv} = 6 \times 5 \times 75 \times (30) = 67500 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = A_{nv} - (36 \times d_b \times t) = 56700 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_{nt} = 0.75 \times 0.6 \times A_{nt} \times f_y$$

$$= 12757.5 \text{ kN} > P = 4299.88 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

$$\phi R_{nv} = 0.9 \times 0.6 \times A_{nv} \times f_y$$

$$= 10570.5 \text{ kN} > P = 4299.88 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Sambungan Rangka Batang S8, S9, S10

Profil WF 414 x 405 x 18 x 28 (Batang S10)

$$f_y = 290 \text{ MPa}; \quad f_u = 500 \text{ MPa};$$

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

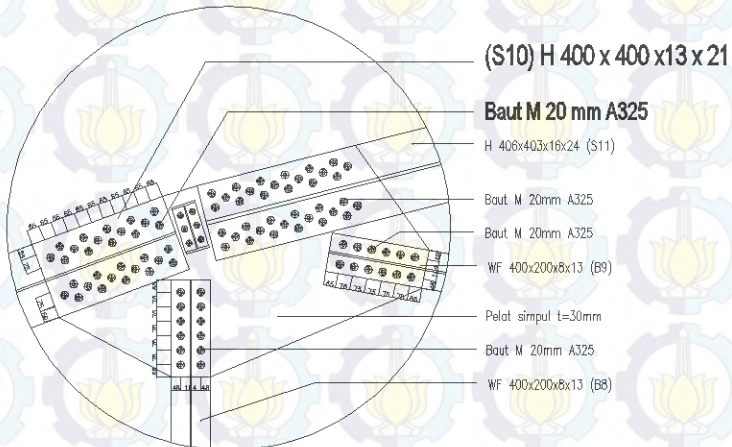
$$d = 414 \text{ mm}; \quad b = 405 \text{ mm};$$

$$t_w = 18 \text{ mm}; \quad t_f = 28 \text{ mm}$$

$$P_u = 3125.55 \text{ kN}; \quad M_x = 0 \text{ kNm};$$

$$M_y = 8.944 \text{ kNm}$$

$$V_x = 0; \quad V_y = 0 \text{ kN}$$



Gambar 4.50 Detail sambungan batang profil S10

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 315 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 2$$

$$\text{Phi } (\phi) = 0.75$$

$$\text{Tebal Pelat tertipis} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (Vd) :$$

$$Vd = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 156.87 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (Td) :$$

$$Td = \phi \times f_t^b \times A_b = 117.42 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (Rd) :$$

$$Rd = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_{px} \times f_t^b \times A_b = 214.71 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} = \frac{Pu}{Vd} = 19.92 \approx 20$$

$$\text{Jumlah baut rencana} = 30 \text{ buah}$$

Kapasitas Geser

$$\text{Profil Penyambung} = \text{Gusset Plate}$$

$$\text{Tebal pelat} = 30 \text{ mm}$$

$$Anv = 6 \times 4 \times 75 \times (30) = 54000 \text{ mm}^2$$

$$Ant = Anv - (30 \times d_b \times t) = 45000 \text{ mm}^2$$

$$\phi Rnt = 0.75 \times 0.6 \times Ant \times f_y$$

$$= 10125 \text{ kN} > Pu = 3125.55 \text{ kN}$$

OK

$$\phi Rnv = 0.9 \times 0.6 \times Anv \times f_y$$

$$= 8456.4 \text{ kN} > Pu = 3125.55 \text{ kN}$$

OK

Sambungan Rangka Batang B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17, B18, B19, B20

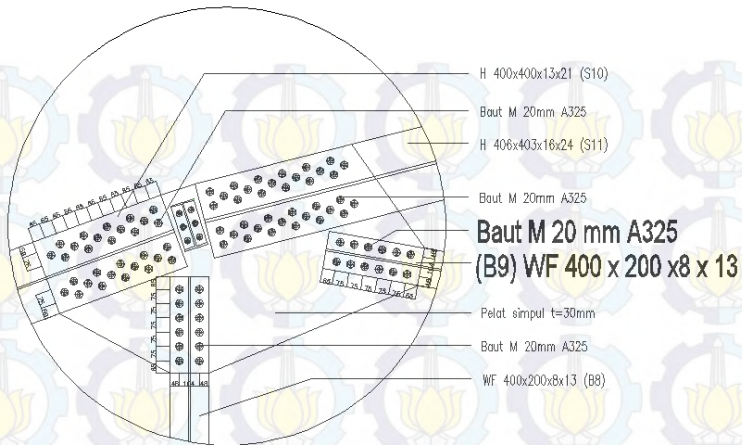
Profil WF 400 x 200 x 8 x 13 (Batang B9)

$$f_y = 290 \text{ MPa} ; \quad f_u = 500 \text{ MPa} ; \quad E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$d = 400 \text{ mm} ; \quad b = 200 \text{ mm} ; \quad t_w = 8 \text{ mm} ; \quad t_f = 13 \text{ mm}$$

$$Pu = 1305.1 \text{ kN} ; \quad M_x = 0 \text{ kNm} ; \quad My = 2.06 \text{ kNm}$$

$$V_x = 0 ; \quad V_y = 0 \text{ kN}$$



Gambar 4.51 Detail sambungan batang profil B9

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

Kuat tarik baut (f_t^b) = 497 MPa

Kuat geser baut (f_s^b) = 332 MPa

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Luas baut (A_b) = 315 mm²

Jumlah bidang geser (m) = 2

Φ (ϕ) = 0.75

Tebal Pelat tertipis = 12 mm

Kuat Geser Rencana Baut (V_d) :

$$V_d = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 156.87 \text{ kN}$$

Kuat tarik rencana baut (T_d) :

$$T_d = \phi \times f_t^b \times A_b = 117.42 \text{ kN}$$

Kuat tumpu rencana baut (R_d) :

$$R_d = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 143.14 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} = \frac{P_u}{V_d} = 8.32 \approx 9$$

Jumlah baut rencana = 12 buah

Kapasitas Geser

Profil Penyambung = Gusset Plate

Tebal pelat = 30 mm

$$A_{nv} = 2 \times 5 \times 75 \times (30) = 22500 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = A_{nv} - (12 \times d_b \times t) = 18900 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= 0.75 \times 0.6 \times A_{nt} \times f_y \\ &= 4252.5 \text{ kN} > P_u = 1305.1 \text{ kN} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= 0.9 \times 0.6 \times A_{nv} \times f_y \\ &= 3523.5 \text{ kN} > P_u = 1305.1 \text{ kN} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

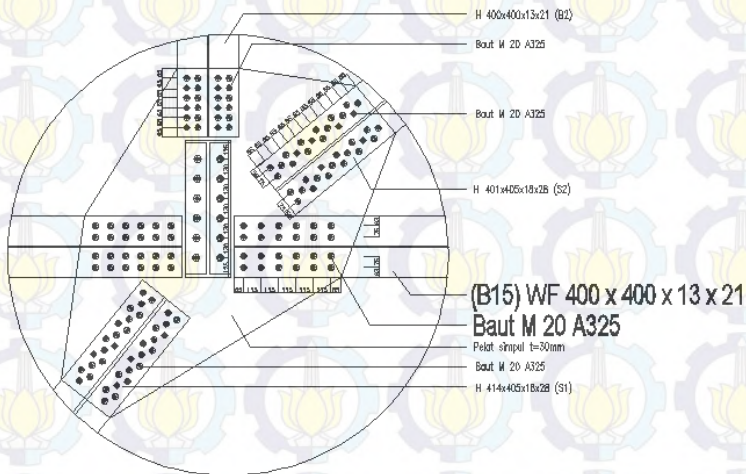
Sambungan Rangka Batang B15, B16, B17, B18, B19, B20

Profil WF 414 x 405 x 18 x 28 (Batang B15)

$f_y = 290 \text{ MPa}$; $f_u = 500 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$
 $d = 414 \text{ mm}$; $b = 405 \text{ mm}$; $tw = 18 \text{ mm}$; $tf = 28 \text{ mm}$

$P_u = 1633.1 \text{ kN}$; $M_x = 0 \text{ kNm}$; $M_y = 6.71 \text{ kNm}$

$V_x = 0$; $V_y = 0 \text{ kN}$



Gambar 4.52 Detail sambungan batang profil B15

Kapasitas Geser Baut

Baut Type A325

$$\text{Kuat tarik baut } (f_t^b) = 497 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat geser baut } (f_s^b) = 332 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut } (d_b) = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut } (A_b) = 315 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bidang geser } (m) = 2$$

$$\text{Phi } (\phi) = 0.75$$

$$\text{Tebal Pelat tertip} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Geser Rencana Baut } (Vd) :$$

$$Vd = \phi \times f_s^b \times A_b \times m = 156.87 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tarik rencana baut } (Td) :$$

$$Td = \phi \times f_t^b \times A_b = 117.42 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu rencana baut } (Rd) :$$

$$Rd = \phi \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b = 214.71 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut perlu} = \frac{Pu}{Vd} = 10.4 \approx 11$$

$$\text{Jumlah baut rencana} = 24 \text{ buah}$$

Kapasitas Geser

$$\text{Profil Penyambung} = \text{Gusset Plate}$$

$$\text{Tebal pelat} = 30 \text{ mm}$$

$$Anv = 4 \times 5 \times 75 \times (30) = 45000 \text{ mm}^2$$

$$Ant = Anv - (24 \times d_b \times t) = 37800 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi Rnt &= 0.75 \times 0.6 \times Ant \times f_y \\ &= 8505 \text{ kN} > Pu = 1633.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

OK

$$\begin{aligned} \phi Rnv &= 0.9 \times 0.6 \times Anv \times f_y \\ &= 7047 \text{ kN} > Pu = 1633.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

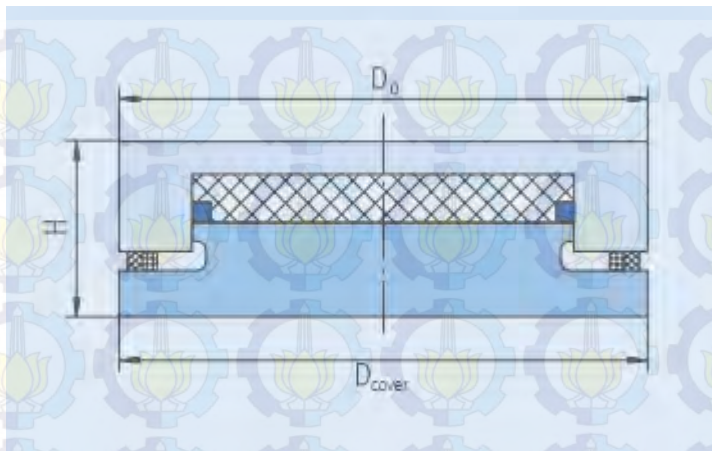
OK

4.7 Perencanaan Perletakan

Untuk perletakan direncanakan menggunakan *pot. Bearing* (lihat gambar 4.53). Sebagaimana hasil analisa pada program SAP 2000 didapatkan gaya vertikal maksimum sebesar 4900 k N. Sehingga dipilih type pot bearing TF-5 (lihat tabel 4.5) dengan kapasitas beban vertikal maksimum sebesar 5000 kN dan kuat tekan beton minimum yang disyaratkan dari abutment ($f'c$) adalah 26 N/mm^2 .

Tabel 4.5 Spesifikasi *Pot Bearing*

Permissible concrete pressure = 26 N/mm^2					
type of bearing	load V kN	H mm	D _{cover} mm	D _o mm	weight kg
TF- 1	1000	70	270	270	36
TF- 2	2000	80	360	360	62
TF- 3	3000	90	430	430	93
TF- 4	4000	94	490	490	116
TF- 5	5000	101	550	550	155
TF- 6	6000	106	600	600	192
TF- 7	7000	112	650	650	235
TF- 8	8000	116	690	690	269
TF- 9	9000	124	730	730	322
TF- 10	10000	131	770	770	380
TF- 11	11000	135	810	810	427
TF- 12	12000	139	840	840	468
TF- 13	13000	145	880	880	544
TF- 14	14000	150	910	910	598
TF- 15	15000	155	940	940	654
TF- 16	16000	158	970	970	714
TF- 17	17000	161	1000	1000	768
TF- 18	18000	168	1030	1030	856
TF- 19	19000	170	1060	1060	913
TF- 20	20000	175	1090	1090	994



Gambar 4.53 Potongan *Pot Bearing*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, kesimpulan yang dapat diambil dari pengerjaan tugas akhir perancangan jembatan ini adalah sebagai berikut:

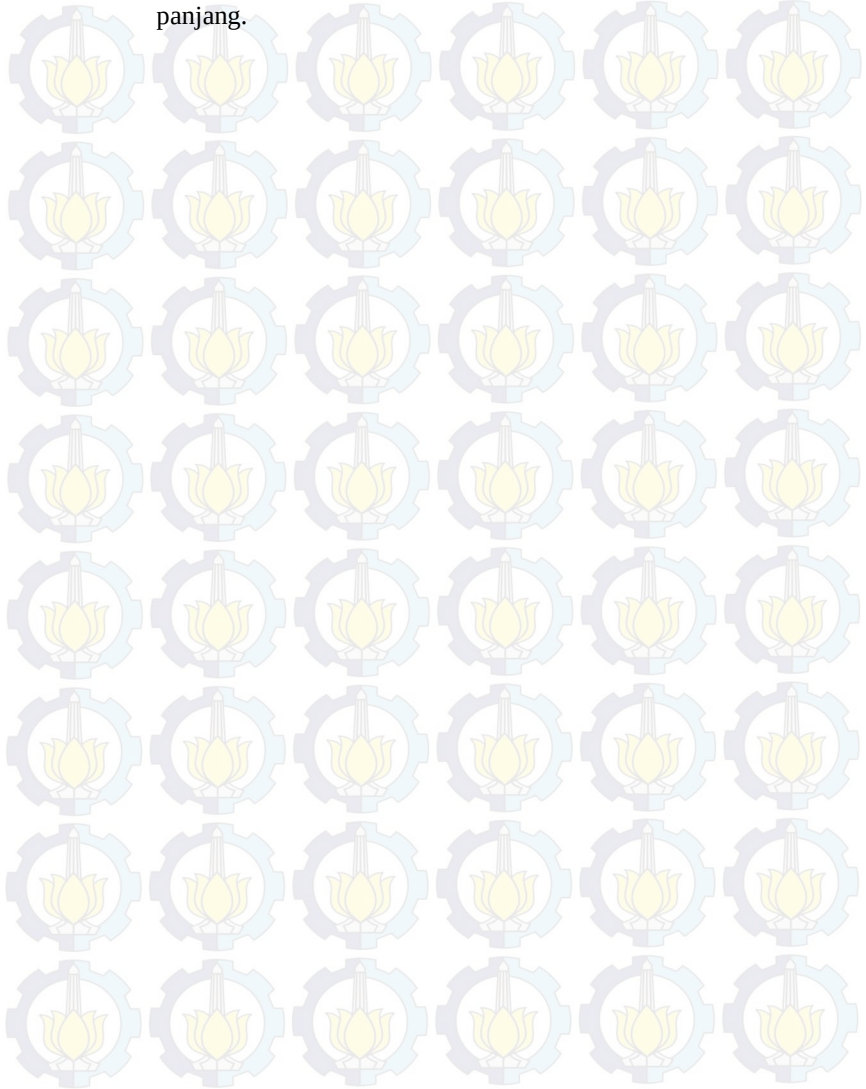
1. Berat total profil baja dan sambungan struktur jembatan Trisula ini adalah 227 ton untuk satu bentang busur.
2. Berdasarkan hasil perhitungan dan kontrol manual serta analisa pada program bantu SAP 2000 v.14, komponen struktur secara keseluruhan masih cukup kuat dalam memikul beban-beban yang bekerja (beban mati, beban kendaraan, beban angin, dan beban gempa) yang ditunjukkan dengan *stress ratio* kurang dari 0.95 sesuai dengan SNI 1729-2002.
3. Dari hasil analisa pada program SAP 2000 v.14 penggunaan damper sebagai *Lateral Stopper* mempengaruhi pengurangan deformasi maksimum sebesar 6.8 %.
4. Pemilihan *Hanger (threadbar)* sebagai material penggantung busur dengan mutu baja tinggi, selain lebih ringan juga mampu memberikan nilai lebih dalam segi estetika.

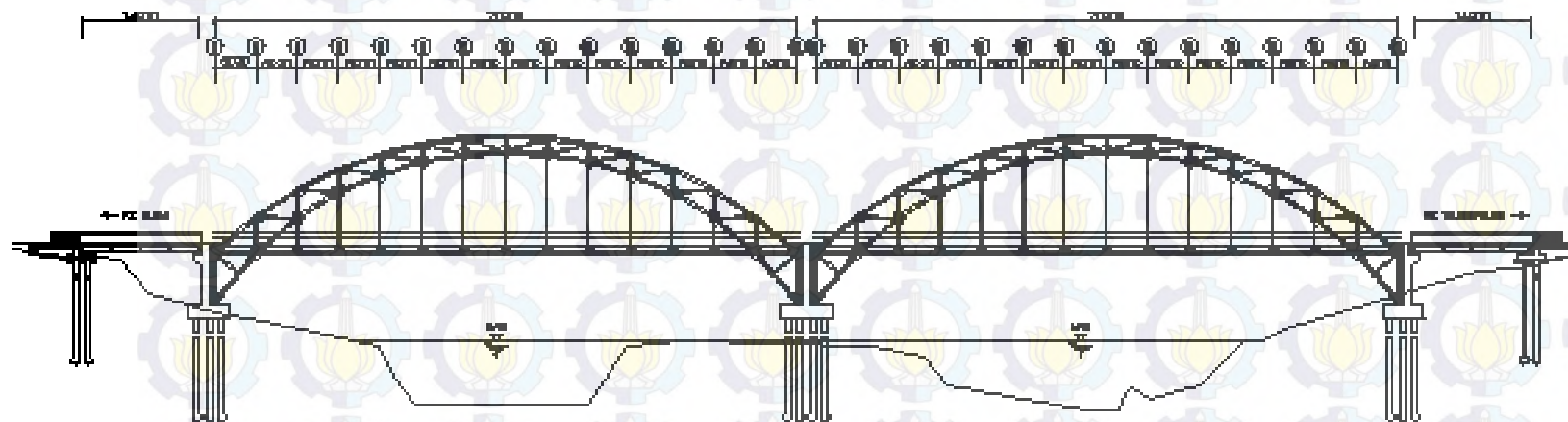
5.2 Saran

Setelah dilakukan perancangan struktur Jembatan Trisula yang baru dengan menggunakan sistem busur rangka baja dan dilengkapi damper pada zona gempa 4, Ada beberapa saran dari penulis untuk perencanaan selanjutnya :

1. Penggunaan perletakan *Pot. Bearing* cocok digunakan untuk jembatan- jembatan bentang panjang karena lebih kuat dan lebih kaku dibandingkan perletakan elastomer terutama dalam menahan beban horisontal.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan damper jenis lain khususnya pada jembatan – jembatan bentang panjang.





POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN TRISULA
SKALA 1 : 500



POTONGAN MEMANJANG BUSUR
SKALA 1 : 400

DISKANTINGEN: EPM - ITSP

JURUSAN: AMIR

TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERANCANGAN
DIKONTAKTIRGALAH, MINING LAMBAH
BUSUR MANJANG, BAHU, DEHILAI
DIUSKANTIRGALAH, BAHU, DEHILAI
DIUSKANTIRGALAH, BAHU, DEHILAI

DOSEN PEMBIMBING

BAHARU, PIRGAL, ST. MT.
DIUSKANTIRGALAH, BAHU, DEHILAI

MAHA MANAJER

CITRA, BAHARU, PIRGAL

MP

200420072E

MAHA MANAJER

POTONGAN MEMANJANG BUSUR

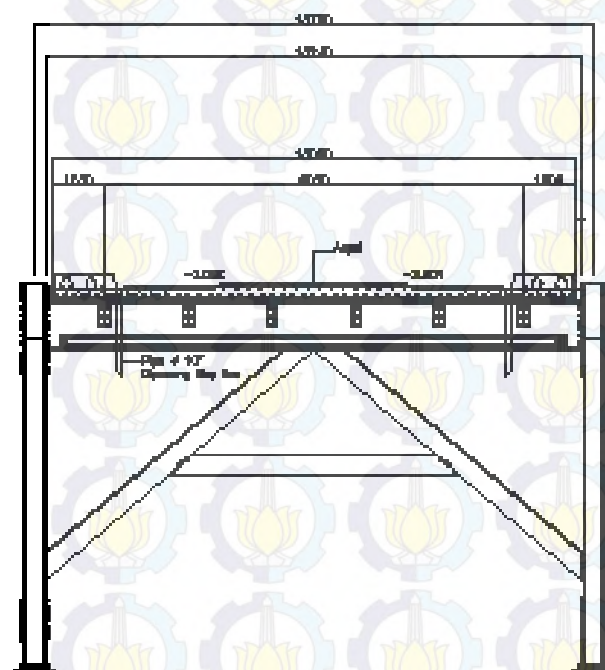
SKALA 1 : 400

NO. LEMBAR

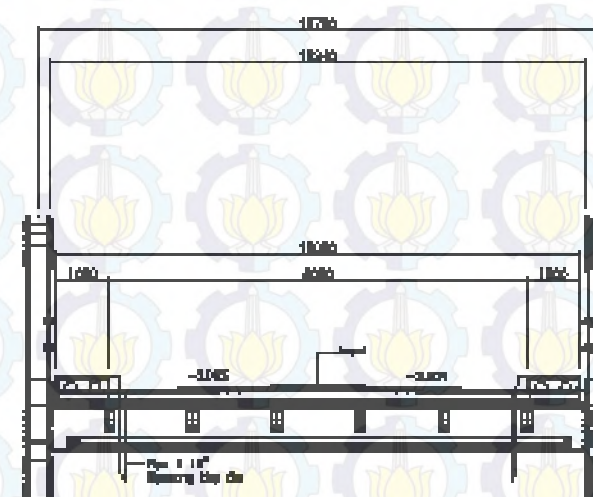
2

JUMLAH LEMBAR

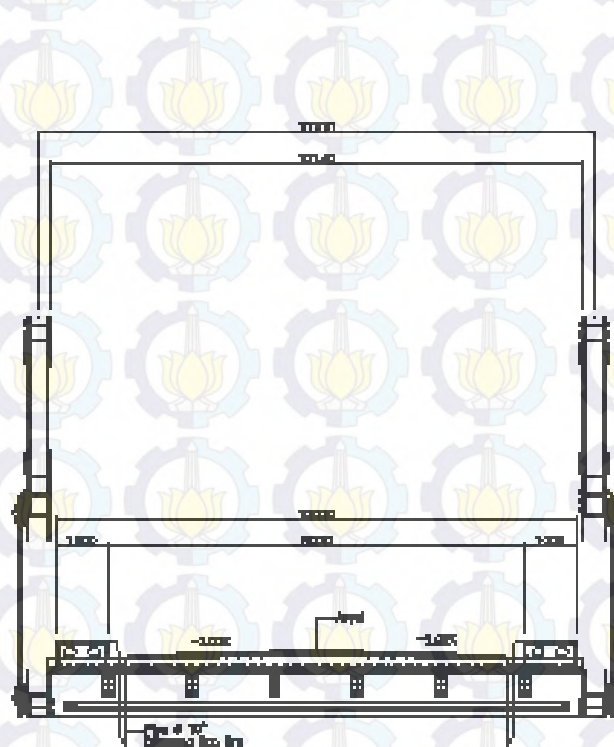
22



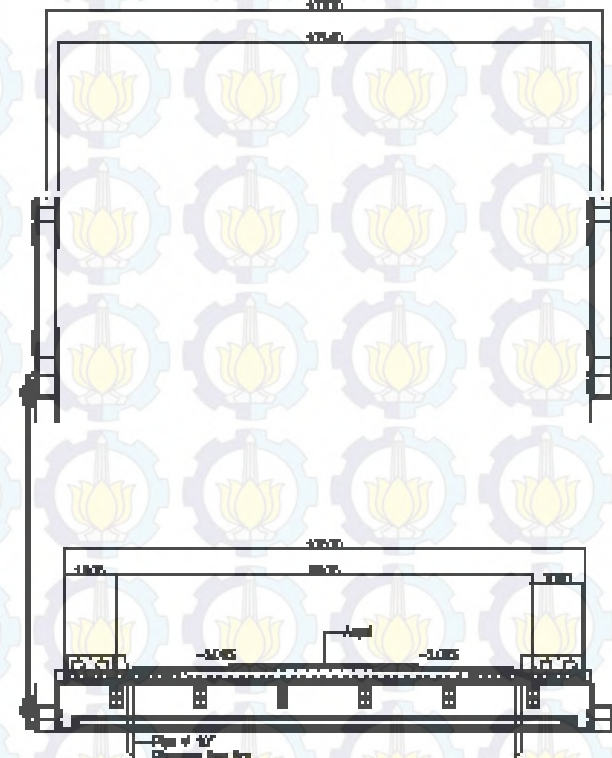
POTONGAN MELINTANG AS 1, 15, 16, 30
SKALA 1:125



POTONGAN MELINTANG AS 2, 14, 17, 29
SKALA 1:125



POTONGAN MELINTANG AS 3, 13, 18, 28
SKALA 1: 125



POTONGAN MELINTANG AS 4, 12, 19, 27
SKALA 1: 125

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FIBO

ADALAH BAHASA

TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI PEMANGKALAN
JEMBATAN TIRIS LA. MERUSURANAN
BUPUK BAHUKEA BALI DENGAN
GALANGAN DAN PERALATAN
REKAYASA**

DOSEN PEMBIMBING

**BAHARU PURBA, ST. MT.
Dr. DIONO BAYAN, MS.**

REKAM MANSIBNYA

OTRAN BAHUKEA

NSP

REKAYASA

REKAYASA

**POTONGAN MELINTANG
AS 3, 4, 12, 13, 18, 19, 27, 28**

SKALA 1:125

REKAYASA

JURUSAN TEKNIK

4

22

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FTSP

JURUSAN SIPIL

TEKNIK ARSITEK

MODUL PRASARANA PERENCANAAN
JENJANG TANTANGAN, MENINGKATKAN
SULUH MANAJEMEN, DAN DEKORASI
DI LINGKUNGAN KAMPUS PADA ZONA
KAMPUS 4

DOSEN PEMBIMBING

DAFTAR/DR. FIDELA, ST. MT.
D. DUCOD BAWA, MS.

MAHASISWA

CITRA RAHMAN SYAH

MM

2004200728

MAHASISWA

POTONGAN MELINTANG
AS 5, 11, 20, 26, 28, 29, 30

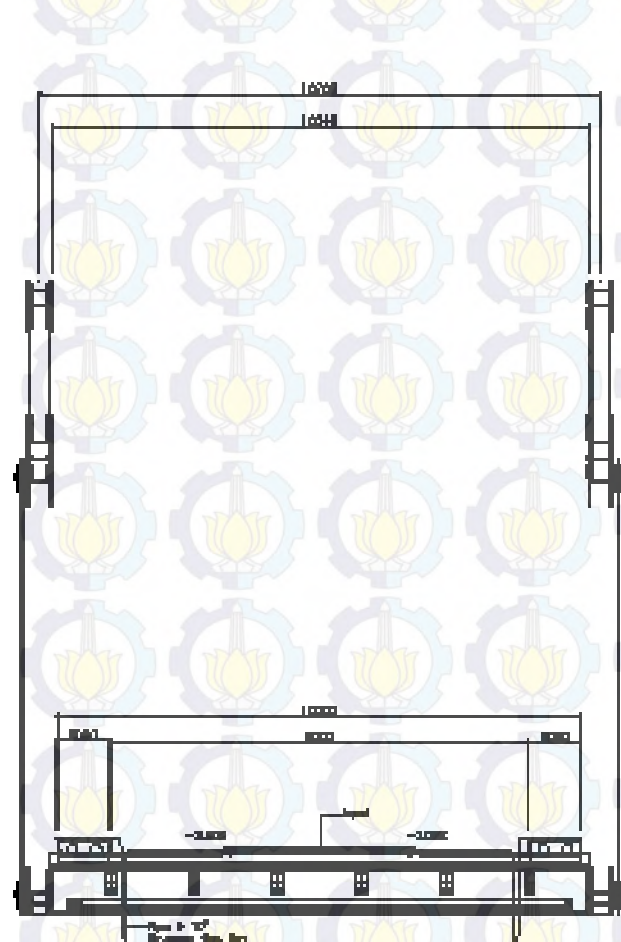
SKALA 1 : 125

NO. LEMBAR

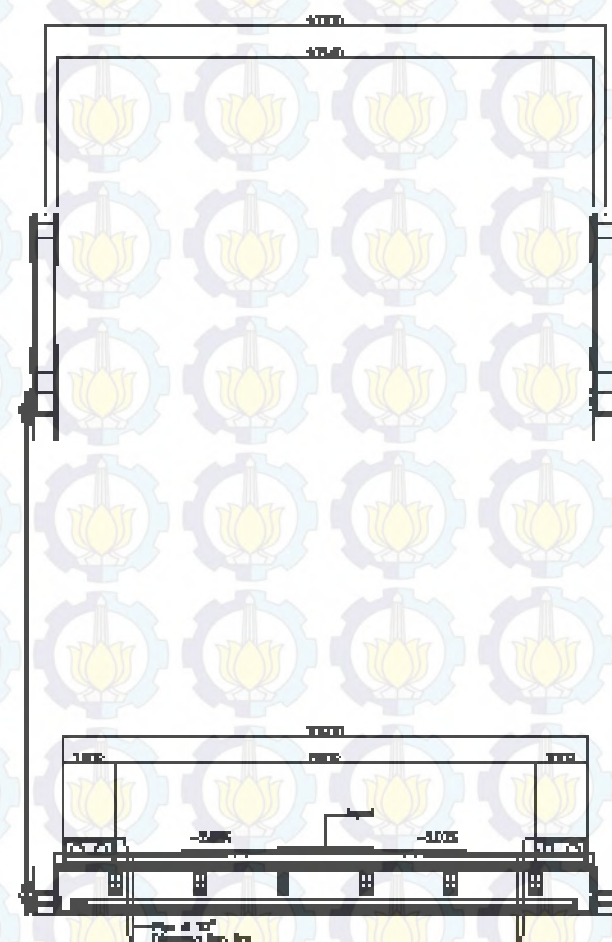
JUMLAH LEMBAR

1

22



POTONGAN MELINTANG AS 5, 11, 20, 26
SKALA 1 : 125



POTONGAN MELINTANG AS 6, 10, 21, 25
SKALA 1 : 125

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FTSP

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PENANCANGAN
JERAMBA TITIKSILA DI BLOK LINGKARAN
DUSUN PAKSIKHA BAKA, DE MELAN
KABUPATEN BUKITTINGGI, SUMATERA
BARAT

DOKUMEN PERENCANAAN

DANARU PRIGEN, ST. MT.
12.02.2020 BAKHA, MT.

NAMA MAHASISWA

CITRA RAHMANSYAH

NIP

300100720

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG
AS 7, 8, 9, 22, 23, 24

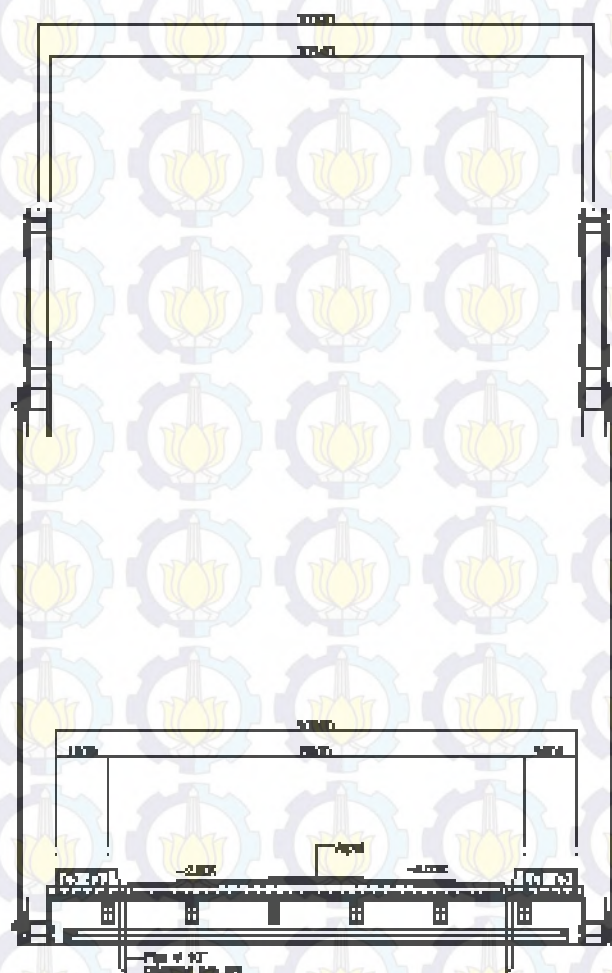
SKALA 1:125

NO. LEMBAR

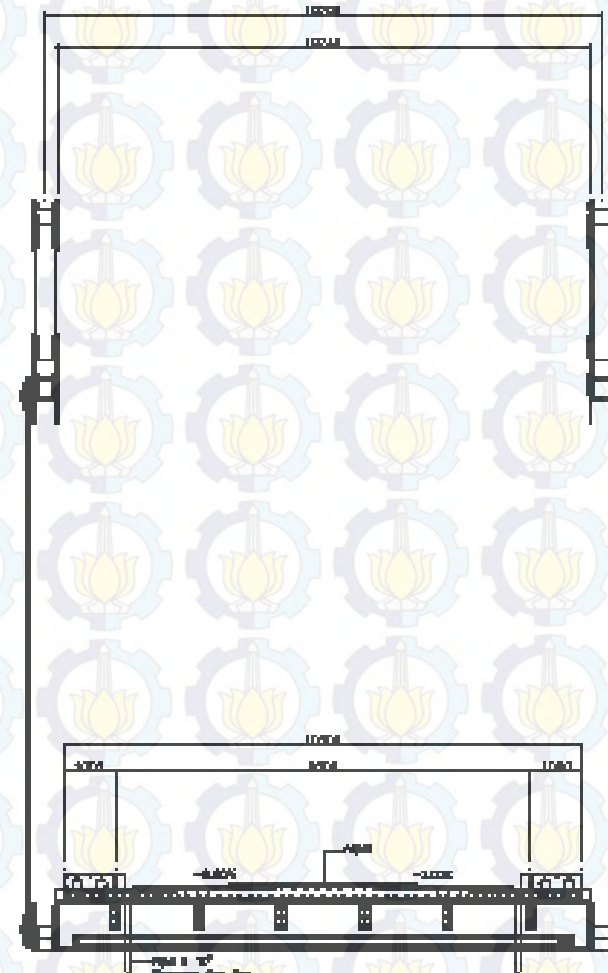
1

JUMLAH LEMBAR

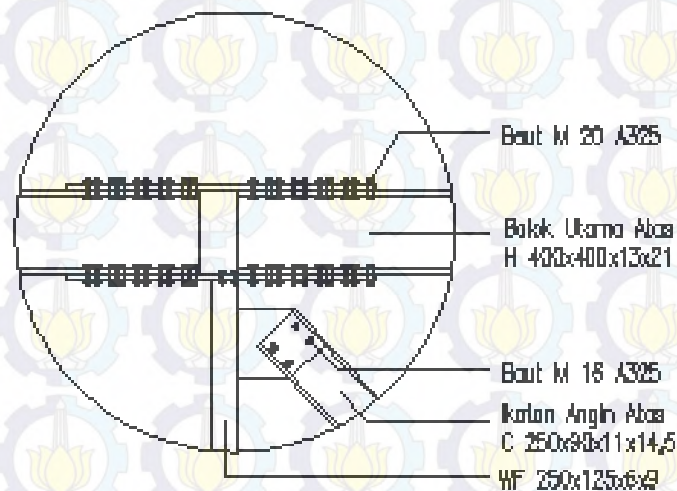
22



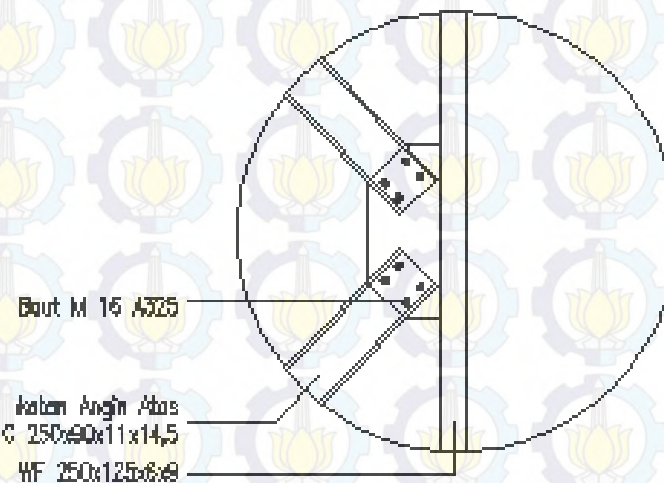
POTONGAN MELINTANG AS 7, 9, 22, 24
SKALA 1:125



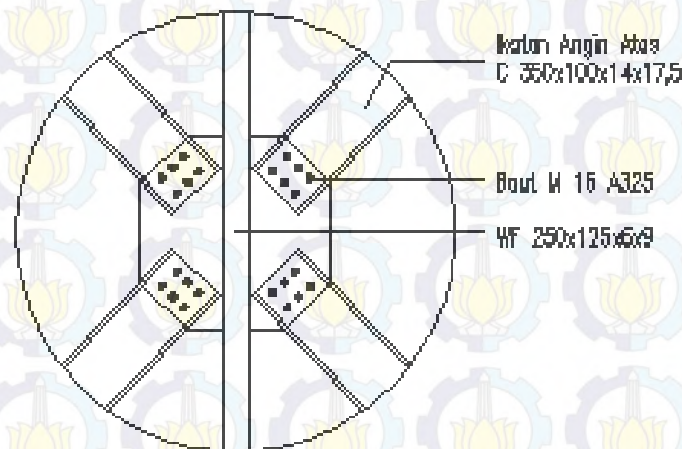
POTONGAN MELINTANG AS 8, 29
SKALA 1:125



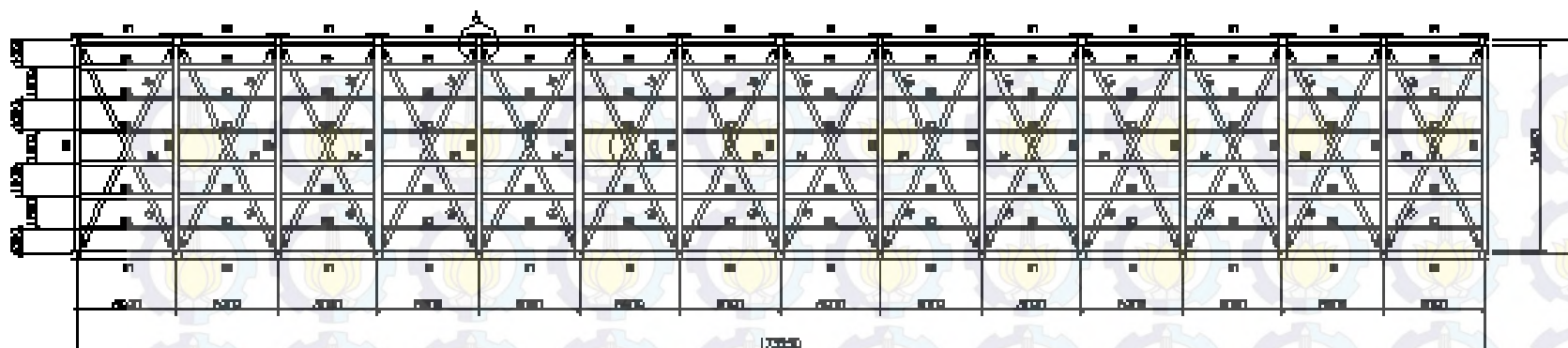
DETAIL C
SKALA 1:40



DETAIL D
SKALA 1:40

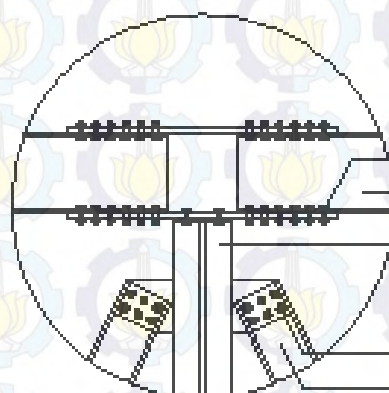


DETAIL E
SKALA 1:40



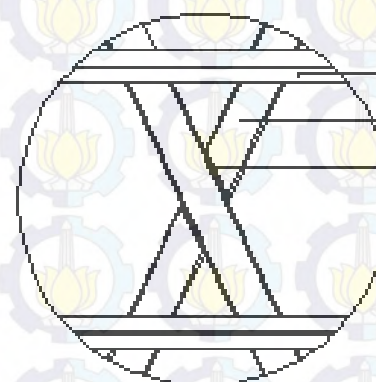
DENAH BAWAH RANGKA JEMBATAN TRISULA
SKALA 1 : 200

NOTASI	PROFIL
IRMA 116 - 130	1.400x400x13x21
IRMA 111	111.400x400x13
U	C.200x30x11x4,5



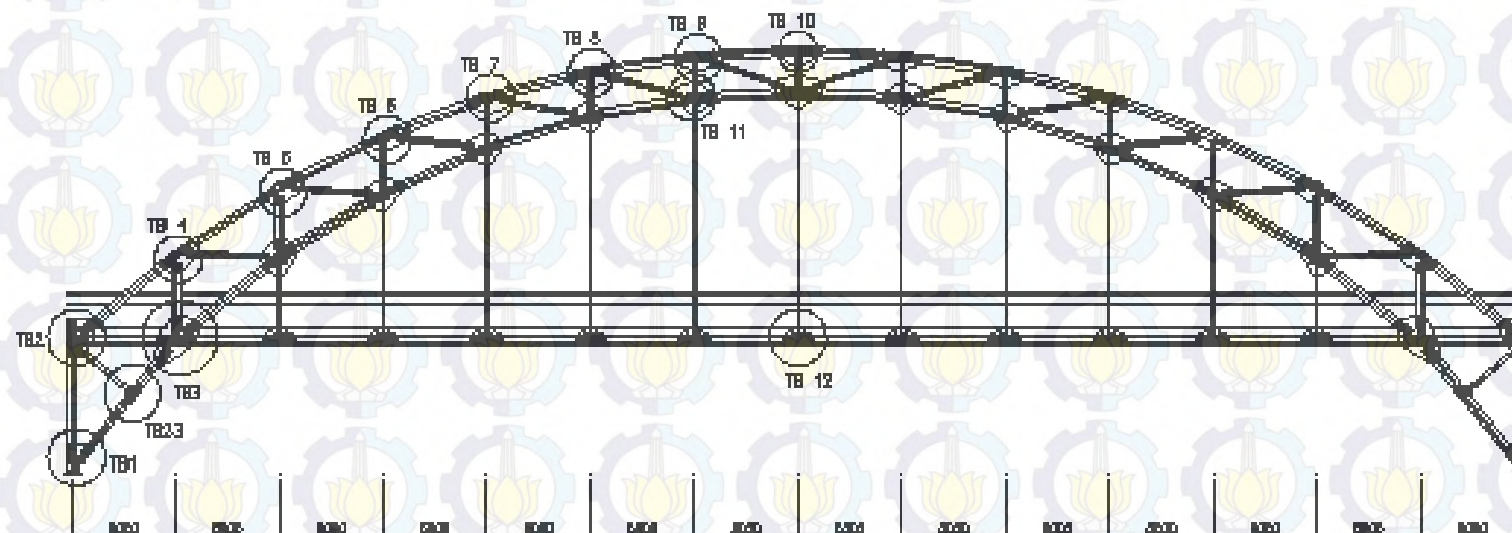
DETAIL A
SKALA 1:40

Baut M 20 A325
Rangka Utama Bawah
H. 400x400x13x21
Balok Melintang
MF 800x300x18x34
Baut M 20 A325
Balok Angin Bawah
C. 250x80x11x4,5



DETAIL B
SKALA 1:40

Balok Melintang
VF 495x195x8x14
Balok Angin Bawah
C. 250x80x11x4,5
Dilas



TAMPAK MEMANJANG RANGKA JEMBATAN TRISULA
SKALA 1 : 200

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FTSP

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERANCANGAN
JEMBATAN TRISULA MELAKUKAKAN
DASAR RANGKA BALOK DENGAN
DI LINDUNG DARI PIR PADA ZONA
TUMPAH 4

KELOMPOK PEMBINAAN

DOSEN PEMBINA, ST. MT
DR. DR. DR. DR. DR. DR.

NAMA MAHASISWA

CITRA RAHMATYAN

FTSP

SEMESTER 7

NAMA GAMBAR

TAMPAK MEMANJANG
JEMBATAN TRISULA

SKALA 1 : 200

NO. LEMBAR

10

JUMLAH LEMBAR

22

JURUSAN TEKNIK SIPIL • FSTP

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
MAGISTER TEKNIK PERENCANAAN
JERAMBATAN TIRIS ULA KEMAS LAMPUAN
BESUKAN RUMAH KAS. BAKIS, DE. MOJOKO
DIREKSI KAWASAN DAIRY, PADA JEMBATAN
GEM. 4

DOKUMEN PERENCANAAN

DAFTAR ISI
1. PENDAHULUAN, ST. MT.
2. DAFTAR ISI, MS.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

100

100/1007 20

DAFTAR ISI

DETAIL TB1

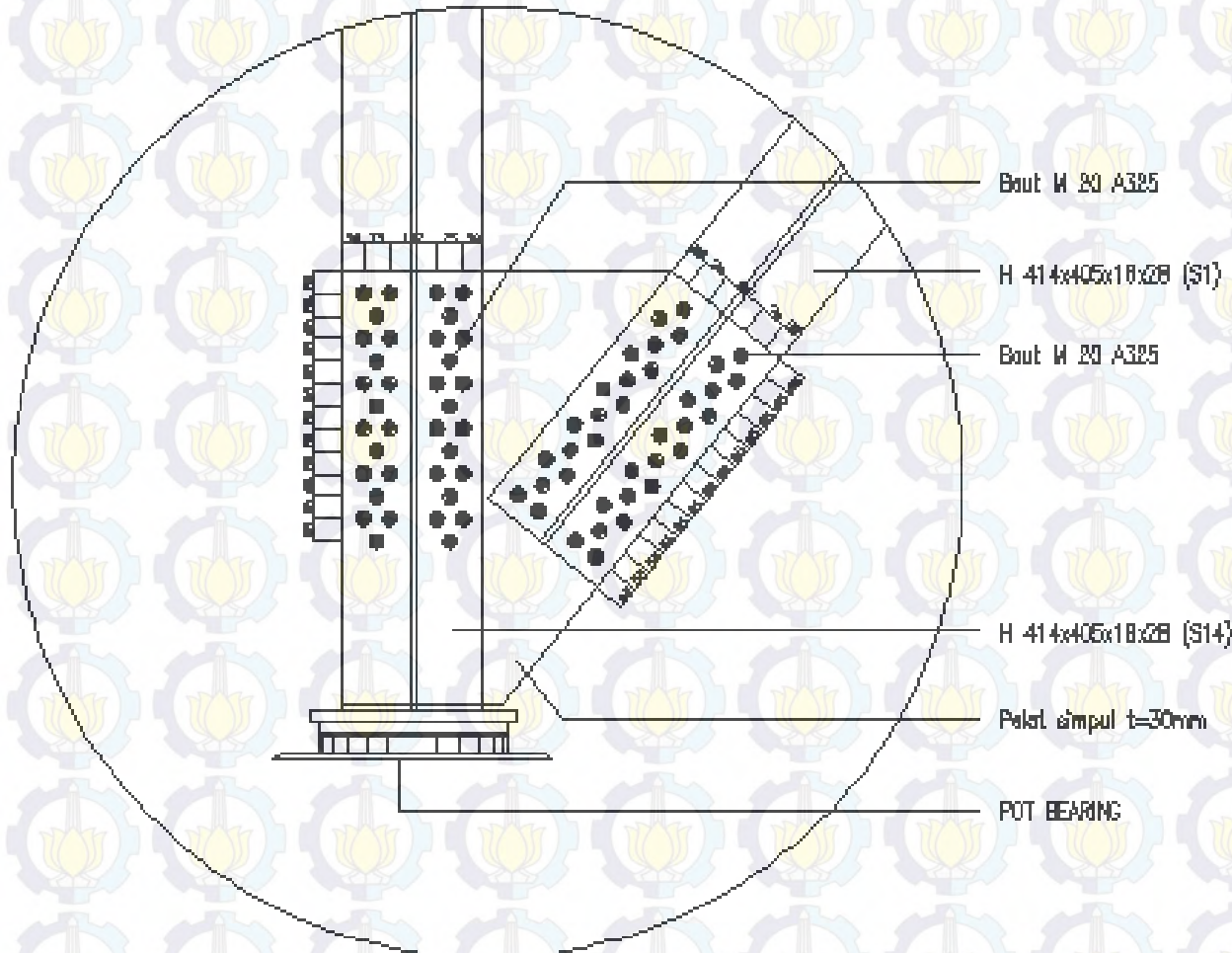
SKALA 1:20

NO. LEMBAR

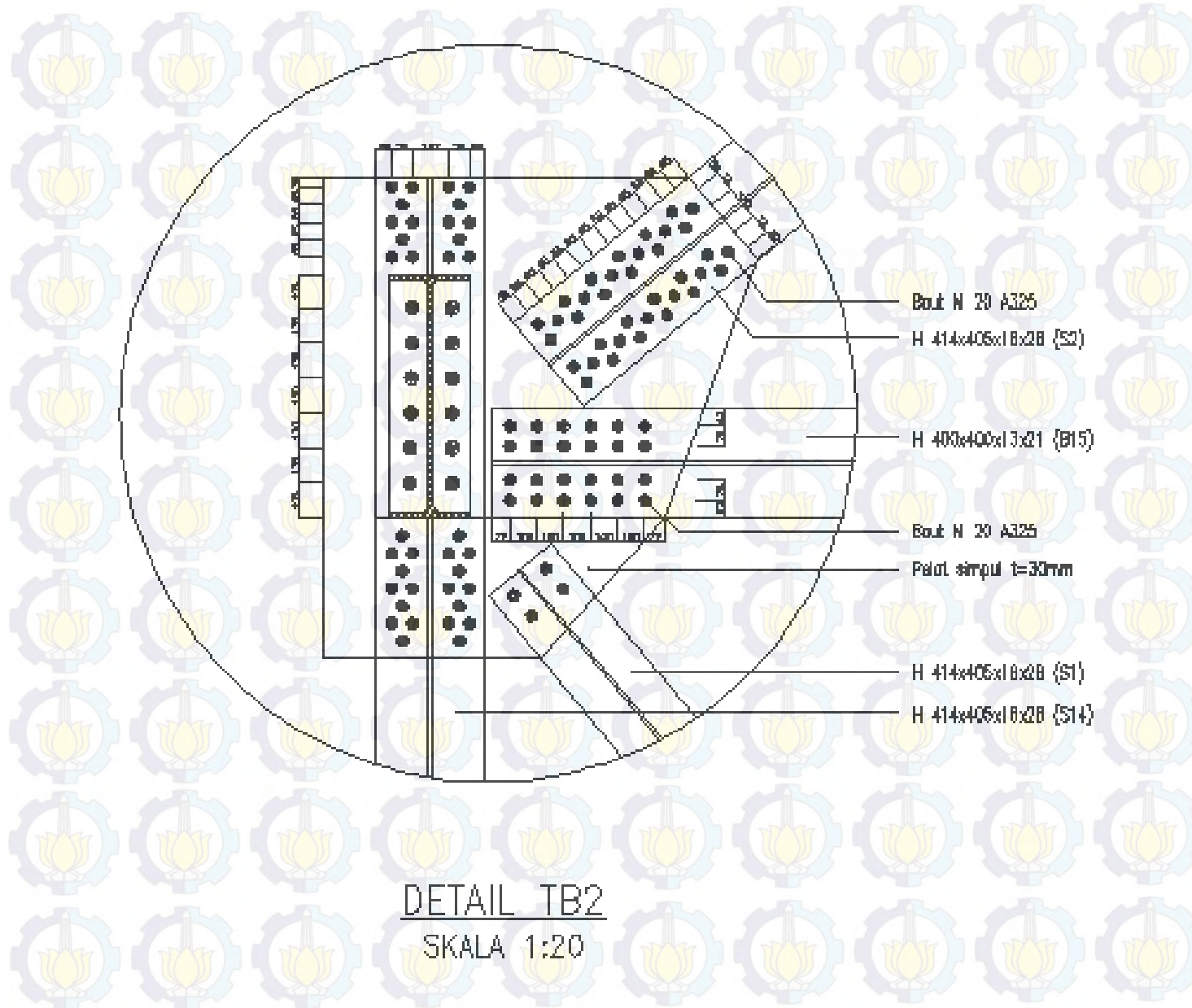
JUMLAH LEMBAR

21

22



DETAIL TB1
SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL - FESIP

JURUSAN DAMPAK

TUGAS AKHIR

PROYEKSI PERANCANGAN
JEMBATAN TIRIS ULA, MERANGKAP
MUSUR BUKIT CAKIL, DEKATAN
DUREN MUKAH DIMPUNDA, SD MA
GEMPAK 4

DOKUMEN PERANCANGAN

DIAMANDI NINGSIA, ST. MT.
IP DINDI NINGSIA, MS.

FAKULTAS MUHAMMAD

CITRA DAMPAK SYAH

169

030120072

FAKULTAS DAMPAK

DETAIL TB 2

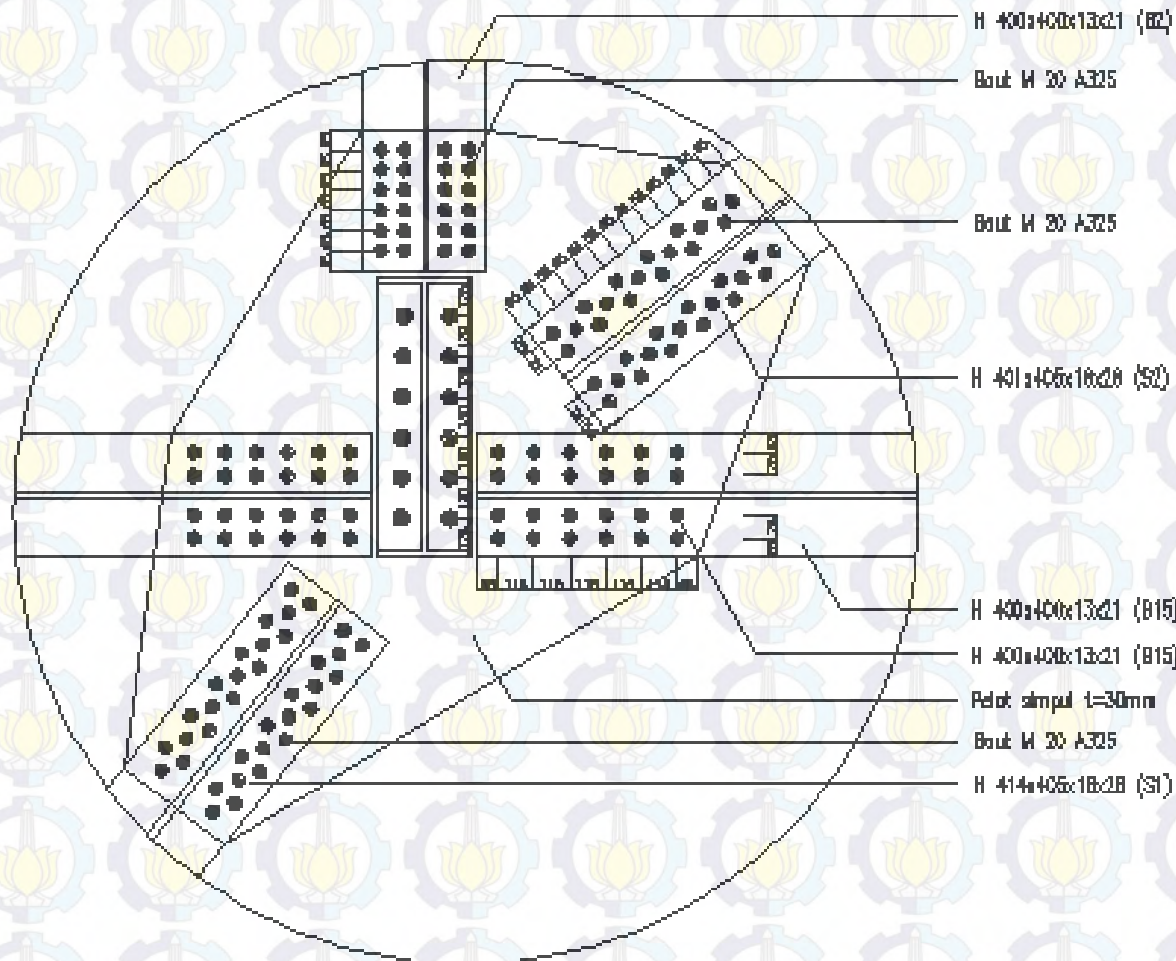
SKALA 1:20

NO. JEMBATAN

12

JURUSAN DAMPAK

22



DETAIL TB3
SKALA 1:20

JURUSAN TEKNIK SIPIL - ITS P

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
HOT SPOT PADA BALOK/SLAB
JEMBATAN TETAPAN LIA. KEMUDIAN
DITUNJANGKAN DALAM KELOMPOK
DI LEMBAR DARI PER PADA BOKLA
DILAMPA 4

DOSEN PEMBIMBING

BUNYAN PRIMA, ST. MT.
IR. DR. H. H. H. H. H.

NAMA MAHASISWA

CITRA BAHUWIDAN

NBP

MORFOLOGI 2

NAMA GAMBAR

DETAIL TB3

SKALA 1:20

NO. LEMBAR

12

JUMLAH LEMBAR

22

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FESIP

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
RANCANGAN PERENCANAAN
REHABILITASI TIRIS LILA MENGGUNAKAN
RUSUK BAHASA BALKON DEKATAN
DILENGKAPKAN PADA JEMBATAN
GEMPA 4

DOSEN PEMBIMBING

RAMBUTAN MURRAY, ST. MT.
IP. DOKTERI BANGUNAN, MS.

NAMA MAHASISWA

CIPTA RAHINI SYAH

169

ISN 120721

NAMA GAMBAR

DETAIL TB 4

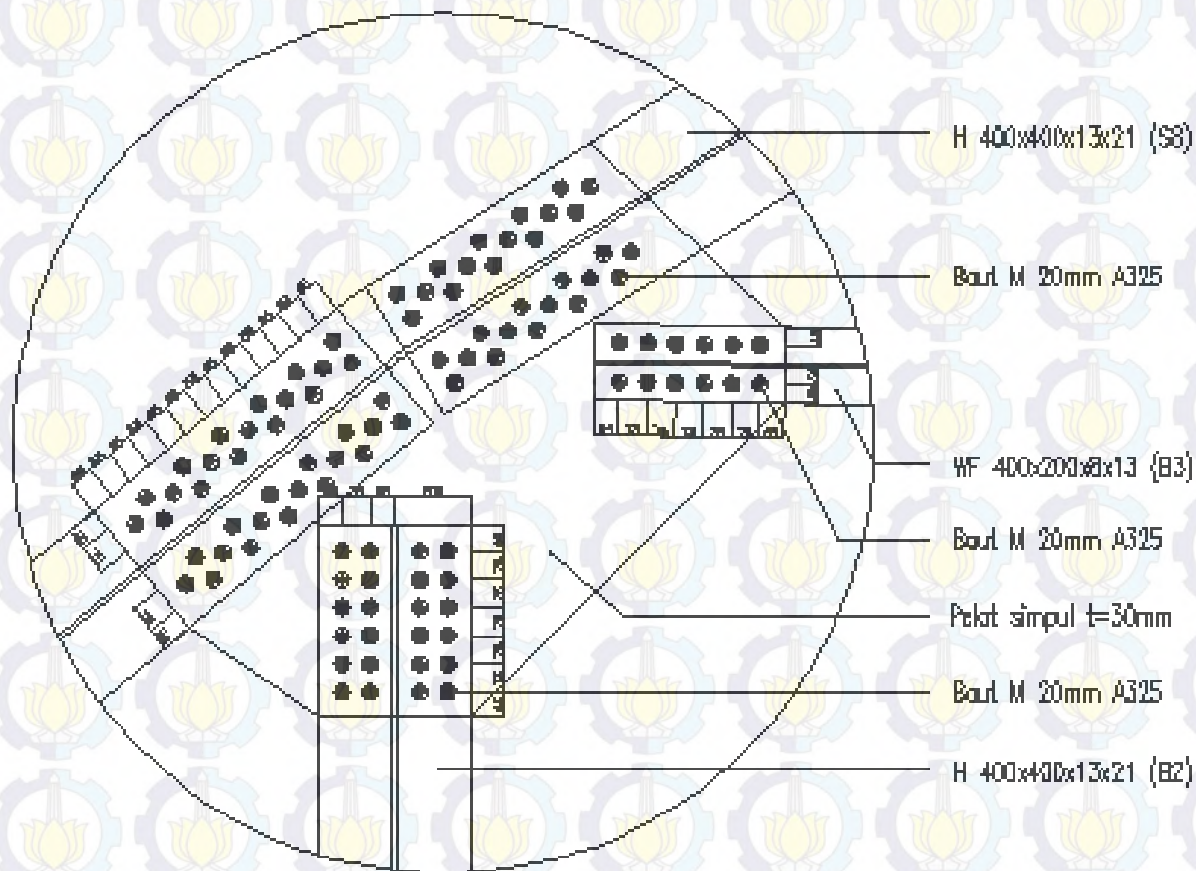
SKALA 1:20

NO. LEMBAR

24

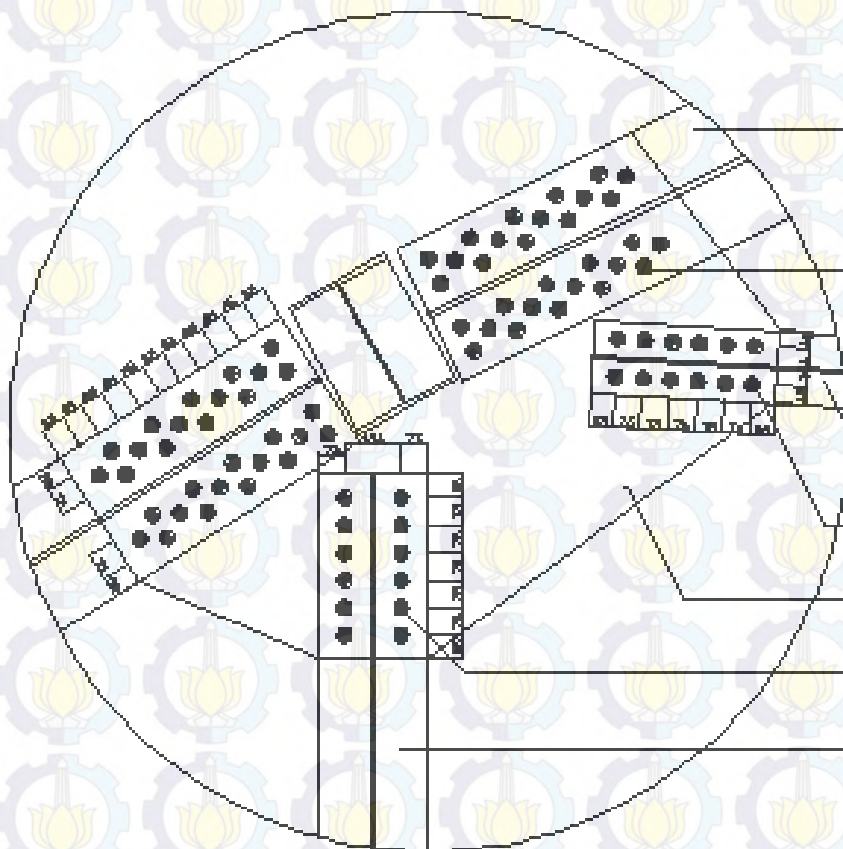
JUMLAH LEMBAR

22



DETAIL TB 4

SKALA 1:20



DETAIL TB 5
SKALA 1:20

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FSTP

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
RANCANGAN PERENCANAAN
STRUKTURAL TIE BEAM MENGGUNAKAN
BESI DAN BLOK BATA. DI BILAH
DOKUMEN DISELEKSI PADA JEMPAK
GEMPAK 4

LOKASI PERENCANAAN

BALAPURAN MONGGA, ST. MT.
17 DOKUMEN DISELEKSI, MS.

NAMA PENYUSUN

OTMA BAHIRIYAH

NO

NO 1007 20

NAMA GAMBAR

DETAIL TB 5

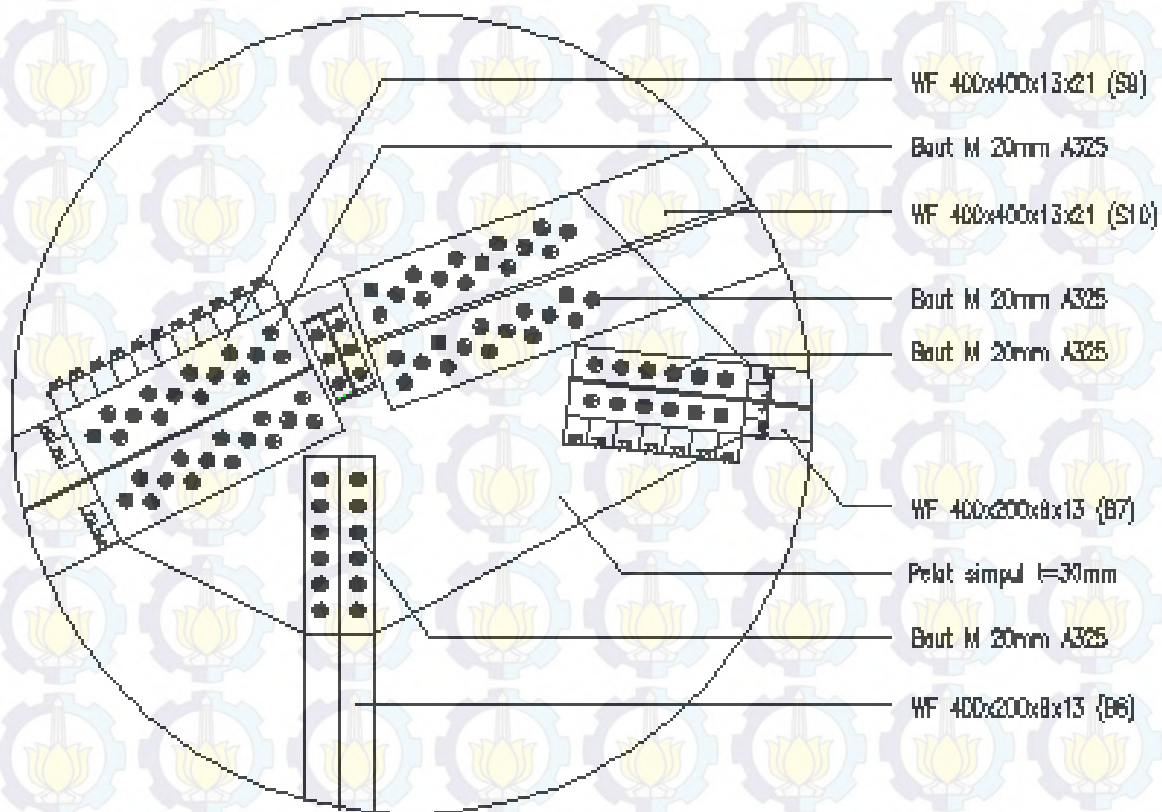
SKALA 1 : 20

NO JEMPAK

21

JURUSAN TEKNIK SIPIL

22



DETAIL TB6

SKALA 1:20

JURUSAN TEKNIK SIPIL • FSTP

JUDUL KAMUS

TUGAS AKHIR
MELAKUKAKAN PERALIHAN
JEMBATAN MELALUI MENGGUNAKAN
DUSUN POKOK, DARI 20 METER
DARI MUKAPU DUMPER PADA 20 METER
GILIRAN 4

DOKUMEN KEMAHIRAN

DAFTAR ISI
1. PENDAHULUAN, ET. MT.
1. PENDAHULUAN, MS.

DAFTAR ISI

CITRA BAHU KEMAHIRAN

MS

MS/2007/2

KAMUS KEMAHIRAN

DETAIL TB6

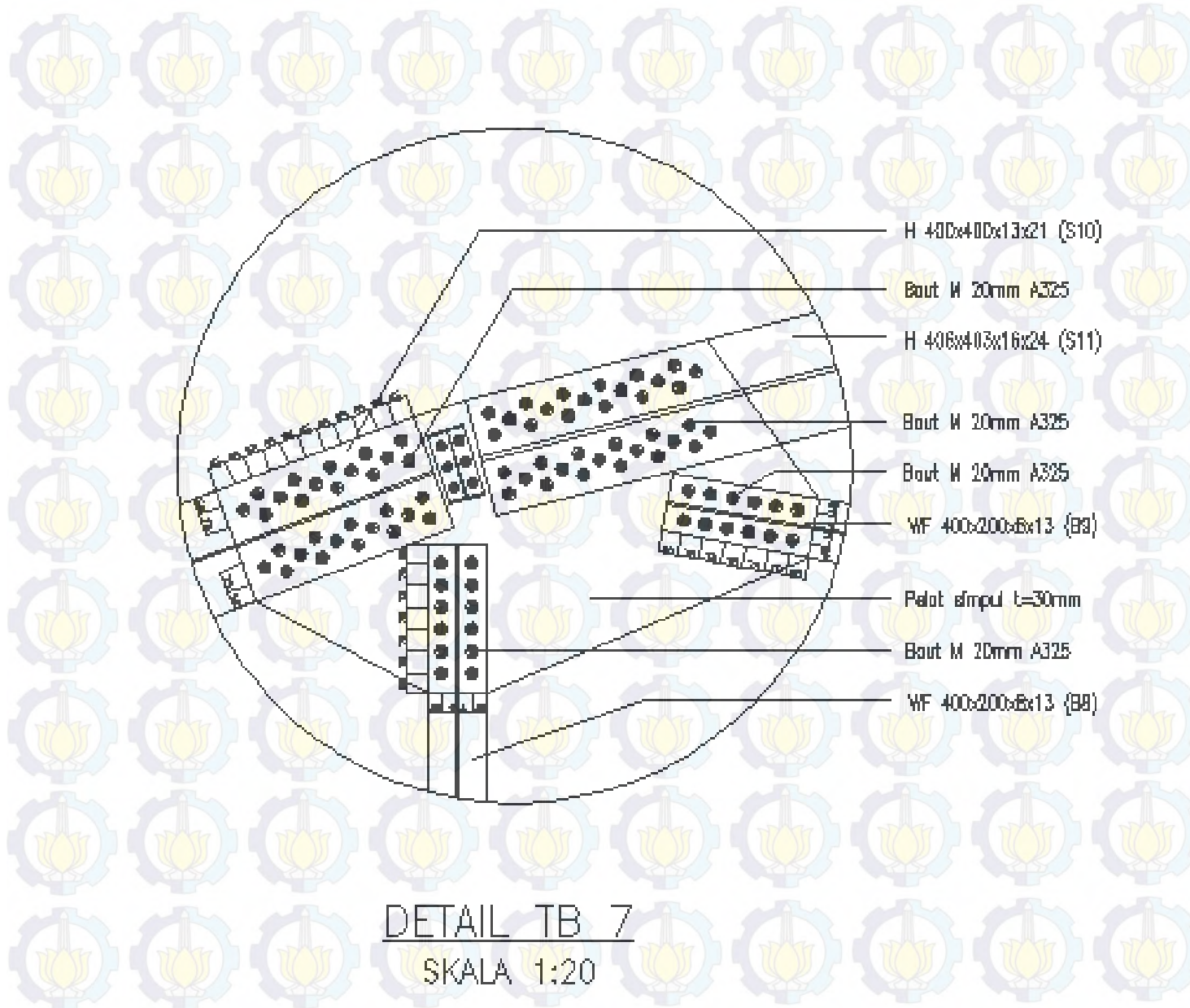
SKALA 1:20

NO. KEMAHIRAN

14

JURUSAN KEMAHIRAN

22



JURUSAN TEKNIK SIPIL - FTSP

JUDULAHIAN

TUGAS AKHIR
MATERI PERANCANGAN
JEMBATAN TITIK, LEMBARAN
BETON PAWING, BAJA, DAN
DILAKUKAN PADA JEMBATAN
GEMPAK

DOSEN PEMBIMBING

DR. BUDI HARTONO, ST. MT.
DR. BUDI HARTONO, ST. MT.

MAHA SISWA

CITRA BAHENDAH

NIM

200100720

MAHA SISWA

DETAIL TB 7

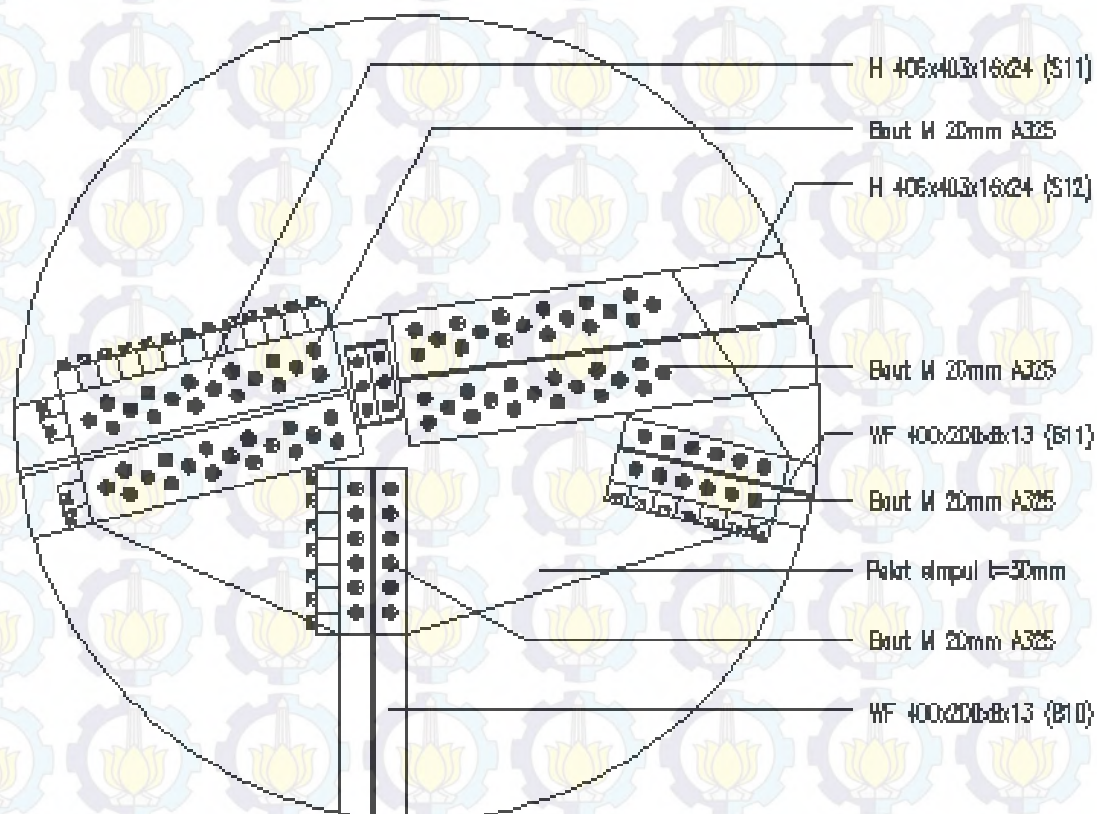
SKALA 1:20

NO. LEMBAR

17

JUMLAH LEMBAR

22



DETAIL TB 8

SKALA 1:20

JURUSAN TEKNIK SIPIL - FSTP

JUDUL KAMUS

TUGAS AKHIR
MENDISAIN PERENCANAAN
JEMBATAN TIE LIAHONG LIAHONG LIAHONG
DUSUN PAMONG, DESA DE MELAN
DISTRIK KAPI DAM PER PADA 2014
GILIRAN 4

DOSEN PEMBIMBING

IRAN BAHU PANGKA, ST. MT.
IR. DINDO BAHU, MS.

IRAN BAHU PANGKA

IRAN BAHU PANGKA

IRAN

IRAN

IRAN

IRAN

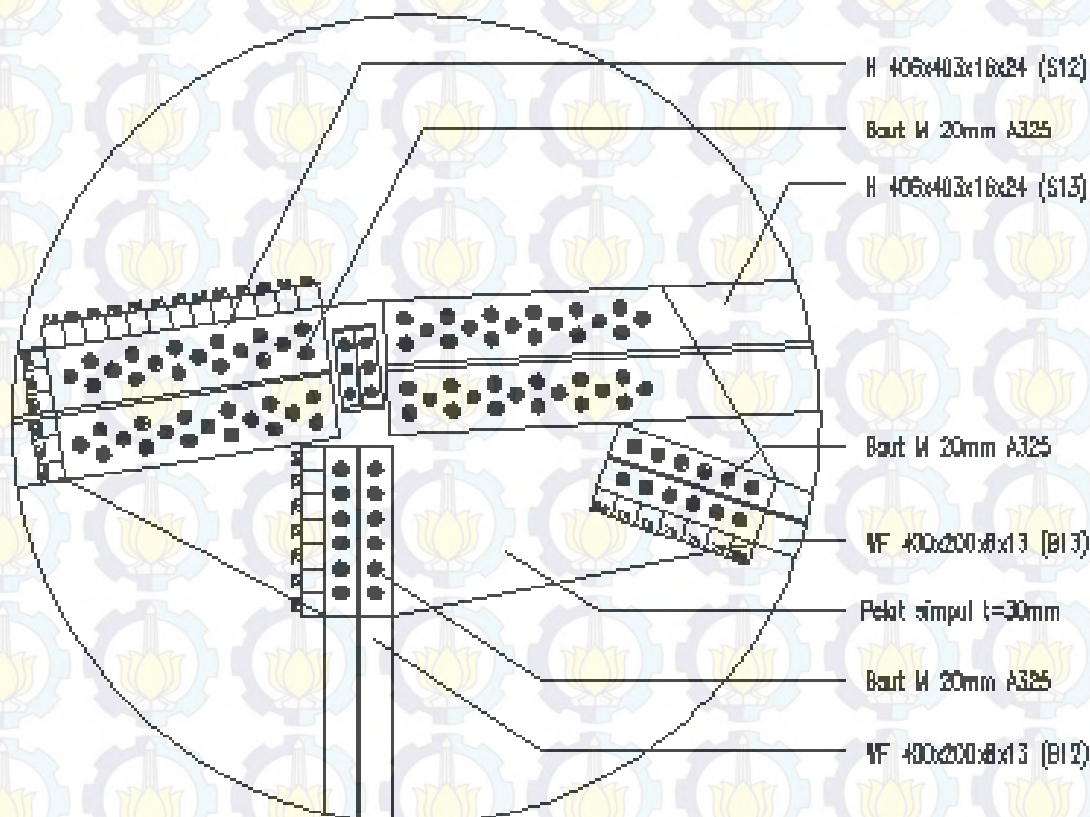
SKALA 1 : 20

NO. LEMBAR

10

JUMLAH LEMBAR

22



DETAIL TB 9
SKALA 1:20

JURUSAN TEKNIK SIPIL - ITS P

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
REKONSTRUKSI PERAKSIAN
JALAN KANTOR DAIRY LAMBO LAMBO
DUSUN PAMONGRA, DESA KENDAL
DILINDUNG KAWI DAMPIR PADA ZONA
GAMBAR 4

DOKUMEN KEMERIAHAN

BAHARU PRIMA, ET. MT.
R. DEDHITRAWANA, MS.

NAMA LAMBO LAMBO

CITRA DAMPIR KAWI

MS

2020 2020

REKONSTRUKSI

REKONSTRUKSI

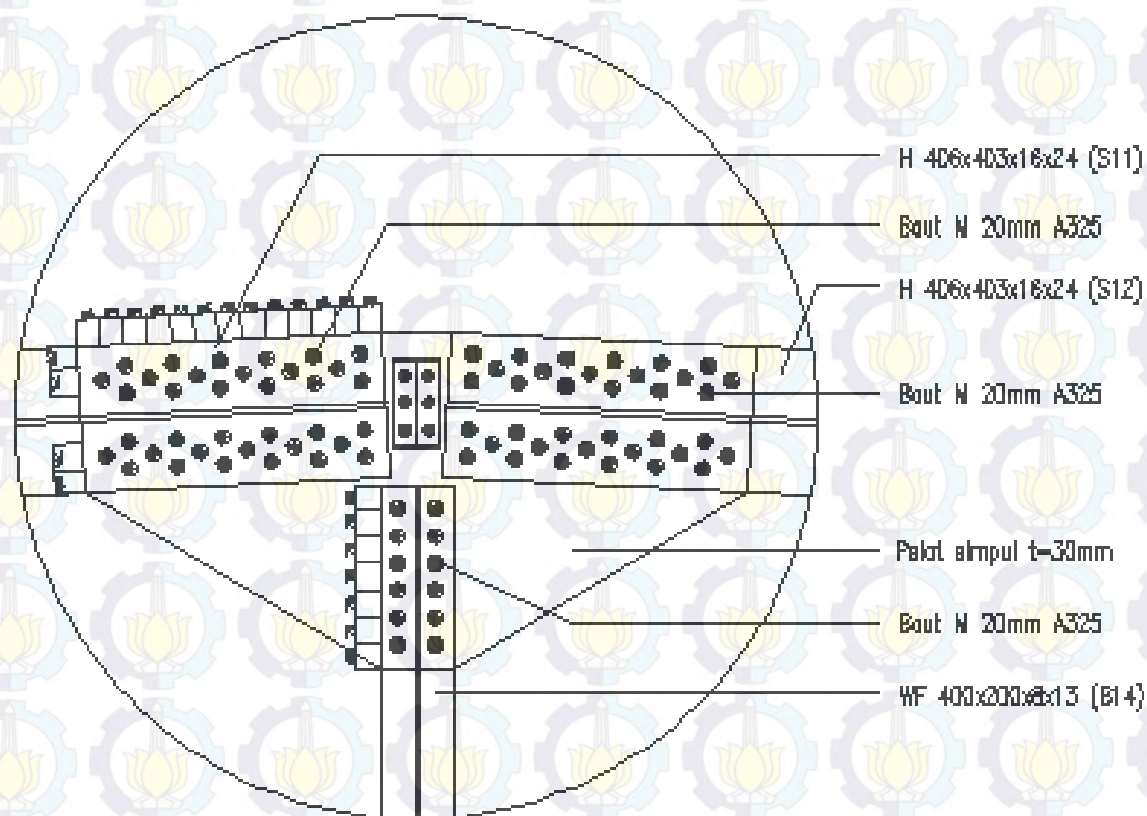
SKALA 1 : 20

NO. LEMBAR

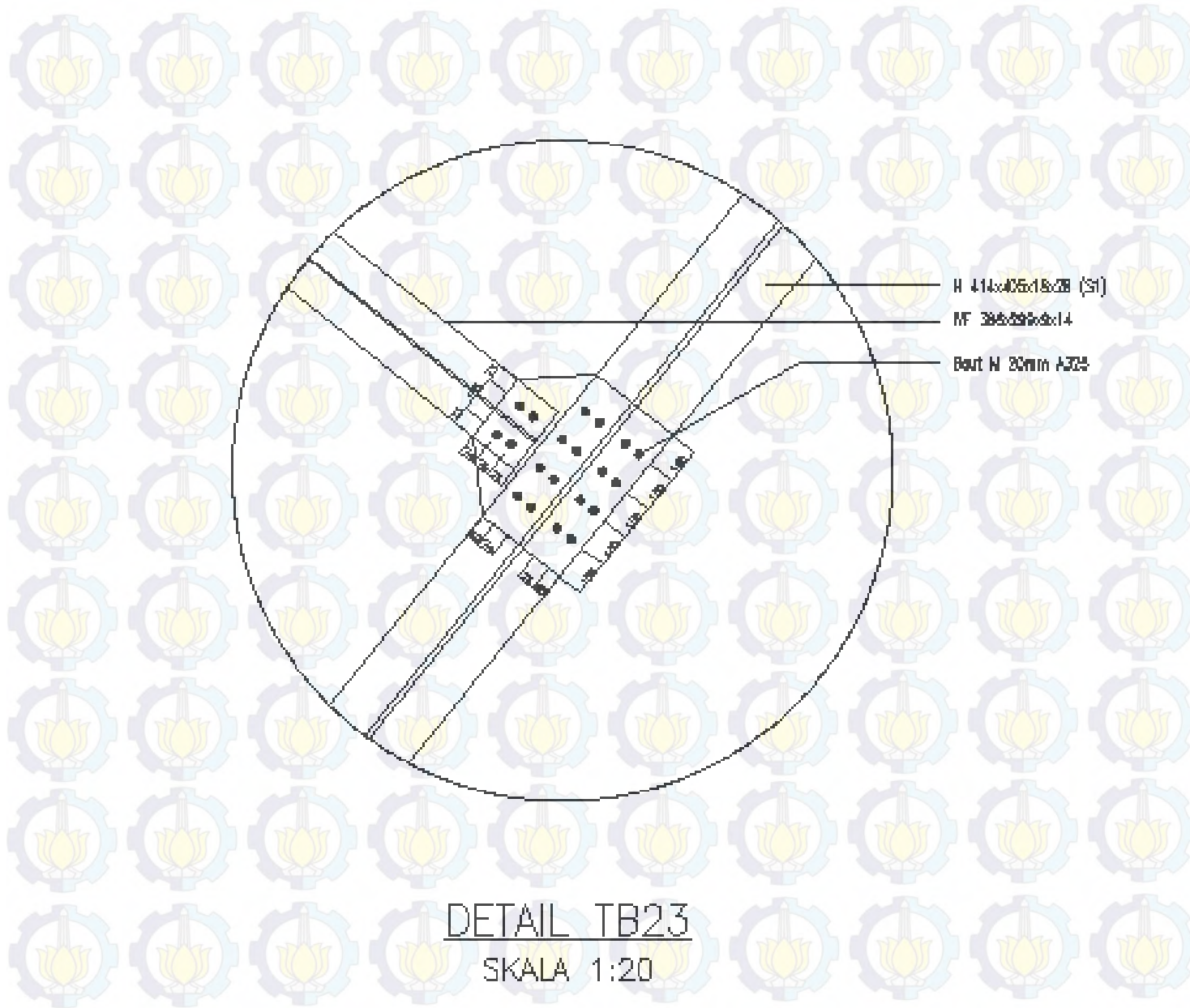
20

JURUSAN TEKNIK

22



DETAIL TB10
SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL - FSTP

AJUL GAMBAR

TEMA & ISI
LODI PIPAS I PERANGKARAN
JALURAN TIRUPAN M BERSUKAN
MUSUK PIPAS SA BUKA DITRIBUSI
DILEPISAN DUMPER PADA ID NA
6 BM PA.4

DOE SA MELAKUKAN

BAHAWA PISORA, ST. MT.
N 12000 BUKAN, MS

HANYA MAHSISWA

CITRA BAHAR SYAH

FSTP

2020.05.28

MAHA GAMBAR

DETAIL TB 23

SKALA 1:20

NO LEMBAR

20

JUJUAN LEMBAR

22

JUR. TEKNIK PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

TUGAS AKHIR
MELAKUKAKAN PERENCANAAN
JEMBATAN TIRIDAN DI BAWAH JALAN
JALAN RUMAH KUNYIT, KOTA SURABAYA
DILAKUKAN OLEH
DAN PADA ZONA
GEMPA 4

DOSEN PEMBIMBING

DR. HENDRIK PRASEJA, ST. MT.
DR. LUCIUS HENDRIK, MS.

NAMA MAHASISWA

OTHA RAHMANIYAH

NPM

2001300728

NAMA GAMBAR

DETAIL T11
DETAIL T12

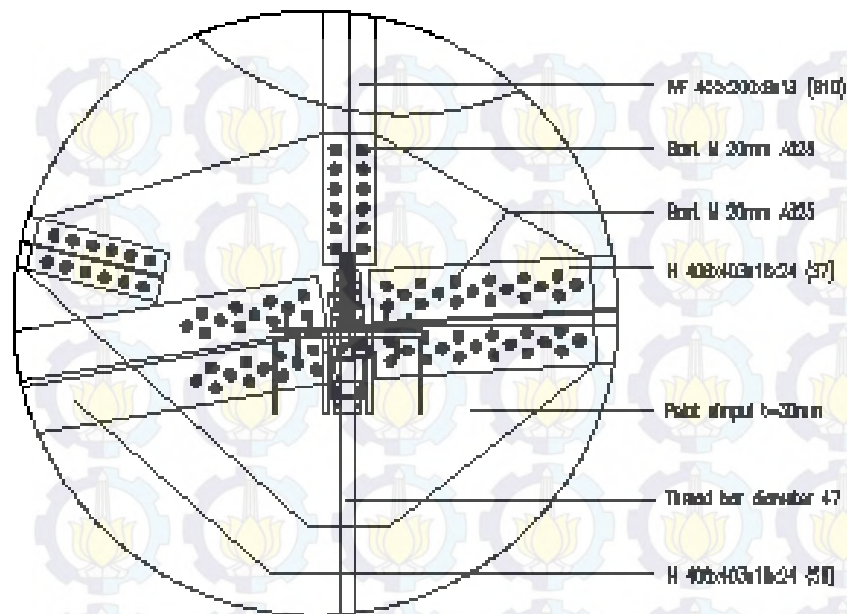
SKALA 1:40

NO. JEMBATAN

22

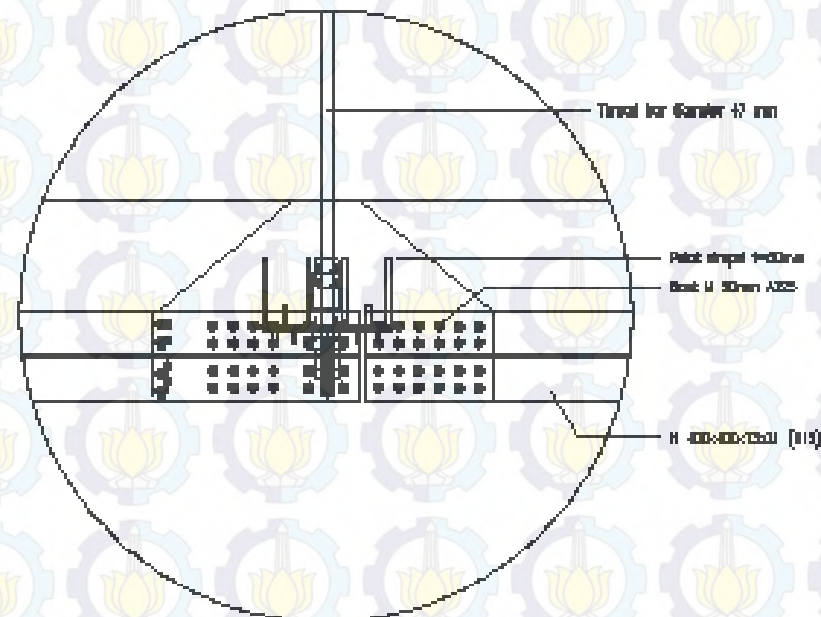
JUMLAH LEMBAR

22



DETAIL TB11

SKALA 1:40



DETAIL T12

SKALA 1:40

DAFTAR PUSTAKA

Bridge Management System (BMS). **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan**. 1992. Departemen PU Bina Marga.

Charles, G.S., John B. J., Wira. 2009. **Struktur Baja Disain dan Perilaku Jilid 2**. Madison : University of Wisconsin.

Chen, W.F., dan Duan L. 2003. **Bridge Engineering Seismic Design**. 2nd. Edition. New York : CRC Press.

Dishongh, B.E. 2003. **Pokok-Pokok Teknologi Struktur untuk Konstruksi dan Arsitektur**. Jakarta : Erlangga.

Dywidag Prestressing Systems using Bars. Dywidag-Systems International.

Irawan, Djoko. 1998. **Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**.

Marwan dan Isdarmanu. 2006. **Buku Ajar Struktur Baja I**. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Maurer Pot Bearings. **Maurer Sohne Innovations in Steel**. Jerman.

Maurer Seismic Isolation Systems with Lead Rubber Bearings (MLRB). **Maurer Sohne Innovations in Steel**. Jerman.

Naaman, A.E. 1982. **Prestressed Concrete Analysis and Design**. Canada : McGraw-Hill, Inc.

Petros, P.X.1994. **Theory and Design of Bridges**. John Wiley and Sons, Inc..

SNI 03-1729-2002. **Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung.** Badan Standardisasi Nasional. Jakarta 2002.

SNI T-02-2005. **Standar Pembebanan Untuk Jembatan.** Badan Standardisasi Nasional. Jakarta 2005.

Salmon, C.G., Johnson J.E., dan Malhas F.A. 2009. **Steel Structures: Design and Behavior : Emphasizing Load and Resistance Factor Design.**

Setiawan, Agus. 2008. **Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD.** Jakarta: Erlangga.

Purwono, R., Tavio, Imran I., dan Raka I.G.P. 2007. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002).** Surabaya : Itspress.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 30 Januari 1988, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Muhammad Syahid dan Ibu Saudah. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Muslimat 76 Wadeng, SDN Wadeng 3 Sidayu - Gresik, MI Nurul Huda Wadeng, MTs Nurul Huda Wadeng dan SMA Darul Ulum 2 Jombang. Kemudian melalui program Penerimaan Beasiswa Santri Berprestasi (PBSB) dari Kementerian Agama RI, Penulis diterima pada Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2006 dan terdaftar dengan NRP. 3106100725.

Di Jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Struktur. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMS) dan selama masa kuliah Penulis juga terlibat aktif dalam salah satu organisasi non akademis di luar kampus.