

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN ANGKAT
UNTUK PELINTAS ALUR KAPAL**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Muhammad Taufiqy Nurcahyo

NIM : 30201900154

Muzaki Ahsan

NIM : 30201900157

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN ANGKAT UNTUK PELINTAS ALUR KAPAL



Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : 30201900154



Muzaki Ahsan
NIM : 30201900157

Telah disetujui dan disahkan di Semarang tanggal 31 Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA**
NIDN: 0613026601
2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**
NIDN: 0625059102
3. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., P.h.D.**
NIDN: 0608046802

Three handwritten signatures in black ink, corresponding to the three members of the review team listed on the left. The signatures are placed over a large, faint watermark of the Universitas Islam Sultan Agung logo.

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A handwritten signature in black ink, corresponding to Muhamad Rusli Ahyar, the head of the Civil Engineering Program.

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor : 47 / A.2 / SA - T / 2023

Pada hari ini Selasa, tanggal 31 Januari 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : 30201900154

Muzaki Ahsan
NIM : 30201900157

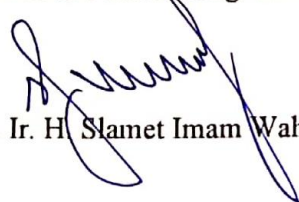
Judul : Perancangan Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	03/10/2022	
2	Seminar Proposal	14/11/2022	ACC
3	Pengumpulan data	08/12/2022	
4	Analisis data	26/12/2023	
5	Penyusunan laporan	06/01/2022	
6	Selesai laporan	31/01/2023	ACC

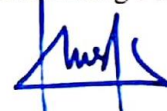
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA

Dosen Pembimbing Pendamping



M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI


Saya yang bertanda tangan di bawah ini :
NAMA : Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : NIM : 30201900154

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
**“PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN ANGKAT UNTUK
PELINTAS ALUR KAPAL”** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan
ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan
yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Semarang, Januari 2023
Yang membuat pernyataan,




Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : 30201900154



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muzaki Ahsan

NIM : NIM : 30201900157

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“PERANCANGAN PROTOTYPE JEMBATAN ANGKAT UNTUK PELINTAS ALUR KAPAL” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : NIM : 30201900154
JUDUL TUGAS AKHIR : PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN
ANGKAT UNTUK PRLINTAS ALUR KAPAL

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau Perguruan Tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2023
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : 30201900154

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Muzaki Ahsan
NIM : NIM : 30201900157
JUDUL TUGAS AKHIR : PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN
ANGKAT UNTUK PRLINTAS ALUR KAPAL


Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau Perguruan Tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2023
Yang membuat pernyataan,




Muzaki Ahsan
NIM : 30201900157

MOTTO

”Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”

(Q.S. Ali Imran : 110)

“Seorang alim tidak adakan pernah kenyang terhadap ilmu sampai ujungnya adalah surga”

(HR Al-Qudha’i dalam Musnad As-Syihab)

"Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga"

(HR Muslim, no. 2699)

Sesungguhnya Allah tidak melihat (menilai) bentuk tubuhmu dan tidak pula menilai kebagusan wajahmu, tetapi Allah melihat (menilai) keikhlasan hatimu”

(HR. Muslim)

"Kerjakanlah urusan duniamu seakan-akan kamu hidup selamanya. Dan laksanakanlah urusan akhiratmu seakan-akan kamu akan mati besok”

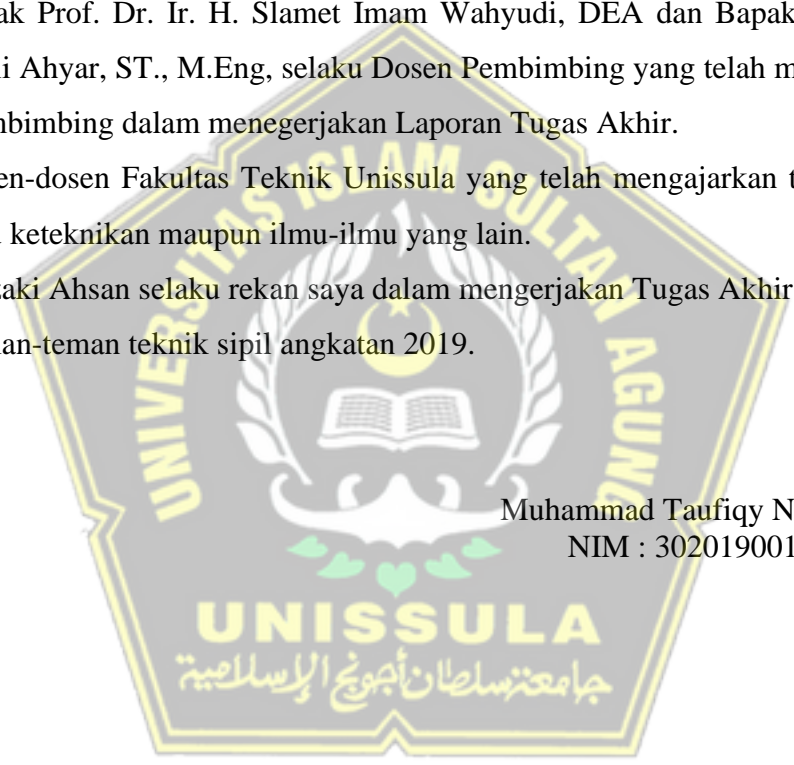
(HR. Ibnu Asakir)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya Bapak Mudiyono dan Ibu Khanifah yang telah memberikan segenap motivasi, semangat, do'a dan dukungan berupa moril dan meteril.
2. Adik saya yang telah memberikan motivasi dan dukungan selama kuliah.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA dan Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu dan membimbing dalam menegerjakan Laporan Tugas Akhir.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik Unissula yang telah mengajarkan tentang ilmu-ilmu keteknikan maupun ilmu-ilmu yang lain.
5. Muzaki Ahsan selaku rekan saya dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman teknik sipil angkatan 2019.

Muhammad Taufiqy Nurcahyo
NIM : 30201900154



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya Bapak Suroto dan Ibu Muzaedah yang telah memberikan segenap motivasi, semangat, do'a dan dukungan berupa moril dan meteril.
2. Kakak dan Adik saya yang telah memberikan motivasi dan dukungan selama kuliah.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA dan Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu dan membimbing dalam menegerjakan Laporan Tugas Akhir.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik Unissula yang telah mengajarkan tentang ilmu-ilmu keteknikan maupun ilmu-ilmu yang lain.
5. Muhammad Taufiqy Nurcahyo selaku rekan saya dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman teknik sipil angkatan 2019.

Muzaki Ahsan
NIM : 30201900157

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN ANGKAT UNTUK PELINTAS ALUR KAPAL”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., P.hD selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil UNISSULA.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Slamet Imam Wahyudi, DEA selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada kami.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi kami, namun juga bagi para pembaca.

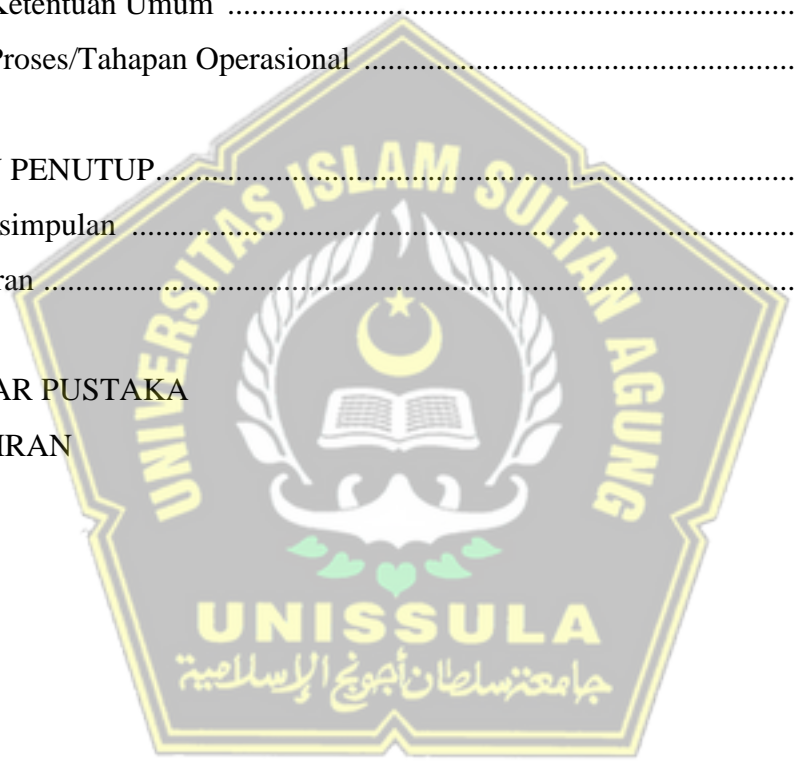
Semarang, Januari 2023
Muhammad Taufiqy Nurcahyo
Muzaki Ahan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xviii
ABSTRAK.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Pendahuluan	4
2.2. Jembatan.....	4
2.2.1. Pengertian Jembatan.....	4
2.2.2. Klasifikasi Jembatan	4
2.2.3. Jembatan Angkat Yang Ada Di Indonesia	4
2.3. Peraturan Perencanaan Jembatan	6

2.3.1. Peraturan Perencanaan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Tahun 2015	6
2.4. Pembebanan Jembatan Angkat	10
2.4.1 Beban Vertikal	10
2.5. Metrial Struktur Jembatan.....	12
2.5.1. Baja	12
2.6. Perencanaan Gelagar Baja Sesuai SNI 1729:2020.....	12
2.6.1. Data Properties	12
2.6.2. Menghitung Kekuatan Tarik	13
2.6.3. Menghitung Kuat Tekan Rencana ϕP_n	16
2.6.4. Menghitung Kuat Lentur Nominal.....	19
2.6.5. Menghitung Perbandingan Momen Kuat Tekan.....	23
2.6.6. Perencanaan Sambungan Baut.....	23
BAB III METODE PERANCANGAN.....	28
3.1. Metode Perancangan	28
3.2. <i>Preliminary Design</i>	28
3.3. Permodelan Jembatan	30
3.4. Pembebanan Jembatan	30
3.5. Perhitungan Struktur	30
3.5.1. Perancangan Pelat Lantai Jembatan	30
3.5.2. Perancangan Gelagar Memanjang dan Melintang	31
3.6. Metode Operasional Jembatan Angkat	31
BAB IV PEMBAHASAN.....	34
4.1. Pendahuluan	34
4.2. <i>Preliminary Design</i>	34
4.2.1. Data Perancangan Jembatan	34
4.3. Permodelan Jembatan Angkat	34
4.4. Pembebanan Jembatan Angkat	36
4.4.1. Beban Vertikal	36
4.5. Perancangan Penyeimbang Jembatan Angkat (<i>Counter Weight</i>)	37

4.6. Desain Struktur Atas Jembatan	40
4.6.1. Desain Struktur Utama	40
4.6.2. Desain Struktur Sekunder	54
4.7. Desain Engsel	67
4.7.1. Engsel I	67
4.7.2. Engsel II	71
4.7.3. Engsel III	74
4.7.4. Engsel IV	77
4.8. Pedoman Operasional Jembatan Angkat	80
4.8.1. Ketentuan Umum	80
4.8.2. Proses/Tahapan Operasional	80
 BAB V PENUTUP.....	 82
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran	82
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pedoman Umum Penentuan Bentang Ekonomis	9
Tabel 2.2. Berat Isi Untuk Beban Mati	11
Tabel 2.3. Beban Hidup dan Lendutan Izin Jembatan Gantung Pejalan Kaki....	11
Tabel 2.4. Sifat Mekanis Baja Struktural	12
Tabel 2.5. Faktor Lag Geser Untuk Sambungan ke Komponen Struktur Tarik .	14
Tabel 2.6. Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksial tekan	17
Tabel 2.7. Jarak Tepi Minimum Baut	24
Tabel 4.1. Beban Pejalan Kaki dan Sepeda Motor	37
Tabel 4.2. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel I.....	69
Tabel 4.3. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel II.....	72
Tabel 4.4. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel III	75
Tabel 4.5. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel IV	78



DAFTAR GAMBAR

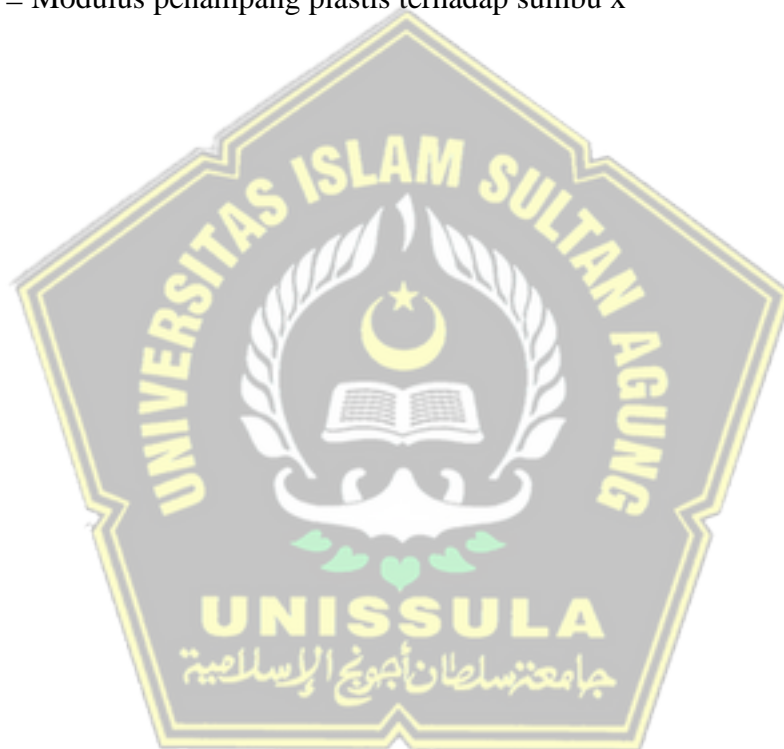
Gambar 2.1. Jembatan Kota Intan.....	5
Gambar 2.2. Jembatan Petekan	6
Gambar 2.3. Notasi Jarak dan Spasi Baut	25
Gambar 3.1. Bagan Alir Perancangan Prototipe Jembatan Angkat	29
Gambar 3.2. Jembatan Angkat Keadaan Normal.....	31
Gambar 3.3. Jembatan Angkat Keadaan Diangkat 30 Derajat.....	32
Gambar 3.4. Jembatan Angkat Keadaan Diangkat 60 Derajat.....	32
Gambar 3.4. Jembatan Angkat Keadaan Diangkat 90 Derajat.....	33
Gambar 4.1. Jembatan Angkat Tampak Samping.....	35
Gambar 4.2. Jembatan Angkat Tampak Depan	35
Gambar 4.3. Jembatan Angkat Tampak Atas.....	36
Gambar 4.4. Penyeimbang Pada Keadaan 0 Derajat.....	37
Gambar 4.5. Penyeimbang Pada Keadaan 30 Derajat.....	38
Gambar 4.6. Penyeimbang Pada Keadaan 60 Derajat.....	38
Gambar 4.7. <i>Design Couter Weight</i>	39
Gambar 4.8. Dimensi Pelat Lantai	40
Gambar 4.9. Data Properties Pelat Lantai Arah X.....	41
Gambar 4.10. Data Properties Pelat Lantai Arah Y	42
Gambar 4.11. Properties Penampang Memanjang (IWF 100 x 50).....	44
Gambar 4.12. Gambar Reaksi Gelagar Memanjang	46
Gambar 4.13. Momen Maksimum Gelagar Memanjang	46
Gambar 4.14. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Gelagar Memanjang Jembatan	48
Gambar 4.15. Properties Penampang Melintang IWF 100 x 50	49
Gambar 4.16. Besar Reaksi Gelagar Melintang.....	51
Gambar 4.17. Besar M_A Pada Gelagar Melintang	52
Gambar 4.18. Besar M_B Pada Gelagar Melintang	52
Gambar 4.19. Besar M_C Pada Gelagar Melintang.....	52
Gambar 4.20. Besar M_{MAX} Pada Gelagar Melintang	52
Gambar 4.21. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Gelagar Melintang Jembatan	54
Gambar 4.22. Properties Penampang Kolom IWF 200 x 100	54

Gambar 4.23. Besar Reaksi Kolom.....	57
Gambar 4.24. Besar M_{MAX} Kolom.....	57
Gambar 4.25. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Kolom Jembatan Angkat	59
Gambar 4.26. Properties Penampang Lengan Atas IWF 200 x 150	59
Gambar 4.27. Besar Reaksi Lengan Atas.....	62
Gambar 4.28. Besar M_A Lengan Atas	62
Gambar 4.29. Besar M_B Lengan Atas	62
Gambar 4.30. Besar M_C Lengan Atas	63
Gambar 4.31. Besar M_{MAX} Lengan Atas.....	63
Gambar 4.32. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Lengan Atas Jembatan Angkat	64
Gambar 4.33. Data Properties Penampang Silinder Pejal D20.....	65
Gambar 4.34. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Element Tarik Jembatan Angkat	66
Gambar 4.35. Perletakan Engsel	67
Gambar 4.36. Data Properties silinder Pejal untuk engsel I	67
Gambar 4.37. Desain 3D Engsel I.....	68
Gambar 4.38. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel I.....	68
Gambar 4.39. Data Properties Silinder Pejal untuk engsel II	71
Gambar 4.40. Desain 3D Engsel II	71
Gambar 4.41. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel II	71
Gambar 4.42. Data Properties silinder Pejal untuk engsel III.....	74
Gambar 4.43. Desain 3D Engsel III.....	74
Gambar 4.44. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel III.....	75
Gambar 4.45. Data Properties Silinder Pejal untuk engsel IV	77
Gambar 4.47. Desain 3D Engsel IV	77
Gambar 4.44. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel III.....	78

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang
A_g	= Luas penampang bruto komponen struktur
B	= Lebar keseluruhan penampang baja persegi sepanjang muka yang menyalurkan beban
B_f	= Lebar sayap tekan
C_b	= Faktor modifikasi tekuk torsi-lateral untuk diagram momen tidak merata
C_w	= Konstanta pembengkokan
E	= Modulus elastis baja
F_{cr}	= Tegangan kritis
F_e	= Tegangan tekuk elastis
F_u	= Tegangan tarik minimum
F_y	= Tegangan leleh minimum
G	= Modulus elastis geser baja
h_0	= Jarak antara titik sayap
I_x	= Momen inersia terhadap sumbu utama x
I_y	= Momen inersia terhadap sumbu utama y
J	= Konstanta torsi
L_b	= Panjang antara titik-titik yang dibreis untuk mencegah peralihan lateral sayap tekan
L_p	= Pembatasan panjang tidak dibreis secara lateral untuk kondisi batas leleh
L_r	= Pembatasan panjang tidak dibreis secara lateral untuk kondisi batas tekuk torsi-lateral inelatis
M_A	= Nilai absolut momen pada titik seperempat dari segmen tidak dibreis
M_B	= Nilai absolut momen pada sumbu segmen tidak dibreis
M_C	= Nilai absolut momen pada titik tiga-perempat dari segmen tidak dibreis
	M_{cx}, M_{cy} = Kekuatan lentur tersedia
M_{max}	= Nilai absolut momen maksimum pada segmen tidak dibreis
M_n	= Kekuatan lentur nominal
M_p	= Momen lentur plastis
P_c	= Kekuatan aksial tersedia

- P_r = Kekuatan aksial yang diperlukan dengan kombinasi beban
- r_x = radius girasi pada sumbu x
- r_y = radius girasi pada sumbu y
- r_{ts} = radius girasi efektif
- t_f = Tebal sayap
- t_w = Tebal badan
- S_x = Modulus penampang elastis terhadap sumbu x
- S_y = Modulus penampang elastis terhadap sumbu x
- Z_x = Modulus penampang plastis terhadap sumbu x
- Z_y = Modulus penampang plastis terhadap sumbu x



PERANCANGAN PROTOTIPE JEMBATAN ANGKAT UNTUK PELINTAS ALUR KAPAL

Abstrak

Jembatan adalah suatu struktur bangunan yang dibangun untuk melewati lalu lintas dan orang dari satu ujung jalan ke ujung jalan yang lain di seberangnya. Seiring berjalannya waktu keberadaan jembatan ini mengalami perkembangan, seperti model yang semakin modern, serta kegunaan yang tidak hanya bisa dilalui oleh lalu lintas darat, melainkan dapat juga untuk alur transportasi dibawahnya seperti kapal. Tujuan dari tugas akhir ini adalah merencanakan sebuah jembatan sederhana yang dapat dilalui oleh lalu lintas darat, juga bisa untuk penyeberangan kapal.

Tahap awal perancangan adalah *preliminary design* yaitu dengan menentukan data-data awal perancangan seperti panjang, jembatan, lebar jembatan dan dimensi gelagar baja. Perancangan dilanjutkan dengan menghitung pelat lantai, gelagar memanjang dan melintang serta pembebanan pada jembatan.

Hasil dari perancangan struktur atas Jembatan Angkat adalah perancangan jembatan dengan bentang 3 m dan lebar 1,5 m dengan hasil perancangan meliputi pelat lantai 2 cm, profil struktur baja yang digunakan yaitu IWF 100x50x4,5x6,8 untuk profil gelagar memanjang dan melintang, IWF 200x100x7x10 untuk profil kolom jembatan, IWF 150x75x5,5x9,5 untuk profil lengan atas jembatan, dan D10 untuk profil elemen tarik. Untuk perancangan engsel yang didapatkan yaitu terdapat empat engsel yaitu D40 untuk engsel I dan IV, dan D30 untuk engsel II dan III.

Kata Kunci : *Jembatan; Jembatan Angkat; Kapal.*

DESIGN OF A LIFT BRIDGE PROTOTYPE FOR SHIP CHANNEL PASSAGE

Abstract

A bridge is a building structure built to pass traffic and people from one end of the road to the other end of the road across it. Over time, the existence of this bridge has developed, such as an increasingly modern model, as well as its use that can not only be passed by land traffic, but can also be used for transportation routes underneath such as ships. The purpose of this final project is to plan a simple bridge that can be passed by land traffic, it can also be used for ship crossings.

The initial stage of design is preliminary design, namely by determining initial design data such as length, bridge, bridge width and dimensions of steel girders. The design is continued by calculating the floor slab, longitudinal and transverse girders and the loading on the bridge.

The result of the design of the upper structure of the Lift Bridge is the design of a bridge with a span of 3 m and a width of 1.5 m with the design results including a 2 cm floor plate, the steel structure profile used is IWF 100x50x4.5x6.8 for longitudinal and transverse girder profiles, IWF 200x100x7x10 for the bridge column profile, IWF 150x75x5.5x9.5 for the upper arm profile of the bridge, and D10 for the tensile element profile. For the hinge design, there are four hinges, namely D40 for hinges I and IV, and D30 for hinges II and III.

Keywords : Bridge; Lift Bridge; Ship.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kawasan kampus merupakan tempat berkumpulnya bagi para mahasiswa, dosen maupun pegawai lainnya. Untuk itu maka menjadi hal wajar apabila kampus terencana dalam suatu sistem yang tertata dengan baik. Penataan sistem dibutuhkan untuk penyediaan sarana dan prasarana kampus. Memperlancar jalannya proses pembelajaran merupakan salah satu tujuan infrastruktur. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran akan berjalan lebih lancar jika ada sarana dan prasarana, seperti tidak harus antri atau menunggu siswa lain melakukan kegiatan.

Sarana dan prasarana penunjang lainnya juga sangat dibutuhkan agar tercipta lingkungan kampus yang aman dan nyaman bagi penggunanya. Salah satu dari sekian banyak sarana dan prasarana yang ada di kampus adalah danau di area kampus. Banyak aktivitas yang dilakukan mahasiswa, dosen maupun pegawai lainnya yang berkunjung yaitu hanya sekedar berkumpul, duduk santai, berfoto, melihat ikan, dan lainnya.

Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang yang terletak di dalam kawasan Yayasan Badan Wakaf Sultan Agung (YBWSA) di Jalan Raya Kaligawe Kota Semarang juga terdapat danau di area kampus. Ada beberapa danau di area kampus Unissula, diantaranya adalah danau yang terletak di belakang gedung Fakultas Teknik dan Fakultas Kedokteran Gigi. Terdapat sarana transportasi air yang ada di danau tersebut.

Namun terdapat sebuah masalah yang timbul pada sarana transportasi air yang melewati sebuah saluran penghubung antara kedua danau saat ini, yaitu saluran penghubung yang ditimbun dengan urugan tanah dan berbagai macam sampah, sehingga mengakibatkan terganggunya aliran air diantara kedua danau tersebut dan transportasi air yang ada di danau tidak bisa melewati saluran penghubung.

Maka salah satu solusi infrastruktur yang digunakan untuk saluran penghubung adalah desain jembatan angkat dan pelebaran saluran. Penggunaan jembatan angkat agar transportasi darat dan air tidak saling mengganggu dan dapat terintegrasi.

Pada Tugas Akhir ini penulis melakukan Perancangan Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dijelaskan rumusan masalah dalam Tugas Akhir Perancangan Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal?
2. Bagaimana cara merancang struktur Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal?
3. Bagaimana cara mengoperasikan Jembatan Angkat dengan aman dan stabil?

1.3. Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir yang membahas tentang “Perancangan Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal” memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Perancangan bentang jembatan 3 meter dengan tipe Jembatan Angkat girder baja
2. Lebar jembatan 1,5 meter
3. Perancangan jembatan hanya menghitung struktur atas jembatan
4. Perancangan menggunakan pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016
5. Perhitungan Jembatan Baja SNI 1729-2020

1.4. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan Tugas Akhir ini adalah merancang Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal.

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah merancang Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal yang meliputi :

1. Merancang Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal
2. Merancang elemen struktur dan detailing struktur pada Jembatan Angkat
3. Menganalisa keamanan dan stabilitas struktur berdasarkan pedoman operasional Jembatan Angkat

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi kajian atau teori yang dijadikan sebagai acuan informasi pembahasan Tugas Akhir.

BAB III METODE PERANCANGAN

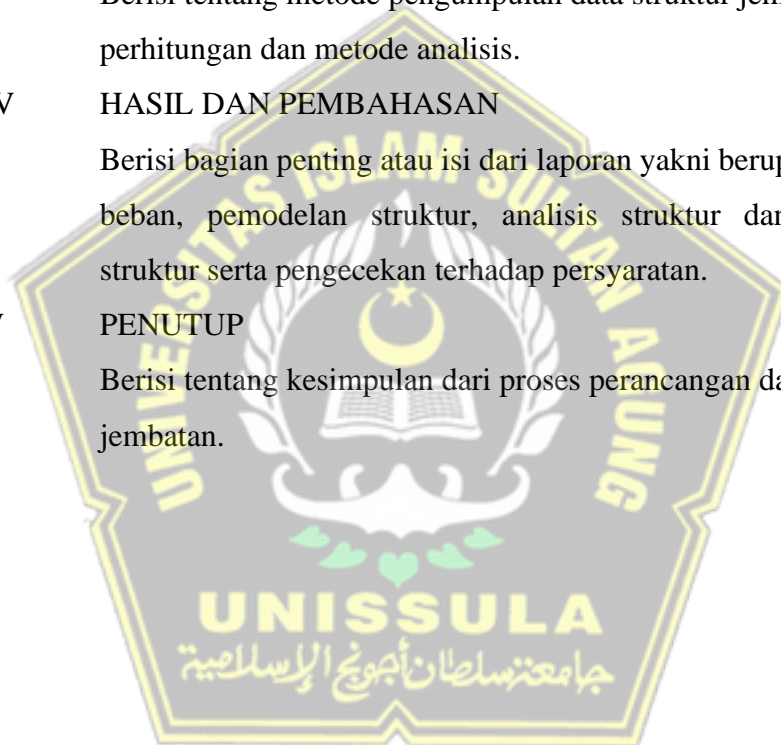
Berisi tentang metode pengumpulan data struktur jembatan, metode perhitungan dan metode analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi bagian penting atau isi dari laporan yakni berupa perhitungan beban, pemodelan struktur, analisis struktur dan perhitungan struktur serta pengecekan terhadap persyaratan.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dari proses perancangan dan perhitungan jembatan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Teori-teori, referensi maupun ketentuan-ketentuan yang terkait dengan konstruksi jembatan, khususnya jembatan angkat akan dibahas didalam BAB II ini. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk merangkum informasi yang terkait dengan Tugas Akhir ini.

2.2. Jembatan

2.2.1. Pengertian Jembatan

Jembatan adalah bagian dari jalan yang berfungsi sebagai bangunan pelayanan lalu lintas bagi lalu lintas yang melintas. Sangat penting untuk dimiliki karena menghubungkan ruas-ruas jalan yang dipisahkan oleh rintangan seperti sungai, lembah, gorong-gorong, dan saluran (air, pipa, dan kabel, dll.) lalu lintas lain atau jalan.

2.2.2. Klasifikasi Jembatan

1. Berdasarkan sifat :
 - Statis (tidak bergerak)
 - Non statis (bergerak/ moveable) : Angkat, Gantung, Apung, Putar
2. Berdasarkan pola jembatan : Linier (flat/ datar), Dimana jembatan ini mempunyai bentang yang datar. Busur (arches), Jembatan yang mempunyai pola melengkung.
3. Berdasarkan struktur jembatan : Monoblok, Portal, Apung, Rangka, Kabel, Advance.
4. Berdasarkan material : Batu, Berbagai jenis kayu, Beton bertulang, Baja, Komposit.

2.2.3. Jembatan Angkat Yang Ada Di Indonesia

Jembatan angkat, gantung balok ganda, jungkat-jungkit atau jembatan lipat adalah jembatan yang dapat dipindahkan. Ada beberapa jembatan angkat yang ada di

Indonesia, yaitu :

1) Jembatan Kota Intan

Di Kawasan Kota Tua Jakarta terdapat jembatan Kota Intan. Jembatan jungkat-jungkit ala Belanda yang terbuat dari besi dan kayu. Benteng Belanda dan benteng Inggris dihubungkan oleh jembatan yang dibangun pada tahun 1628 ini.

Jembatan diubah menjadi jembatan gantung pada tahun 1938. Jembatan itu dimaksudkan untuk diangkat untuk lalu lintas kapal dan pencegahan kerusakan akibat banjir, tetapi desain dan bentuknya tetap tidak berubah.

Jembatan kayu ini memiliki lebar 4,43 meter dan panjang 30 meter. Belanda membangun jembatan yang mirip dengan Jembatan Kota Intan, tetapi sudah tidak digunakan lagi.

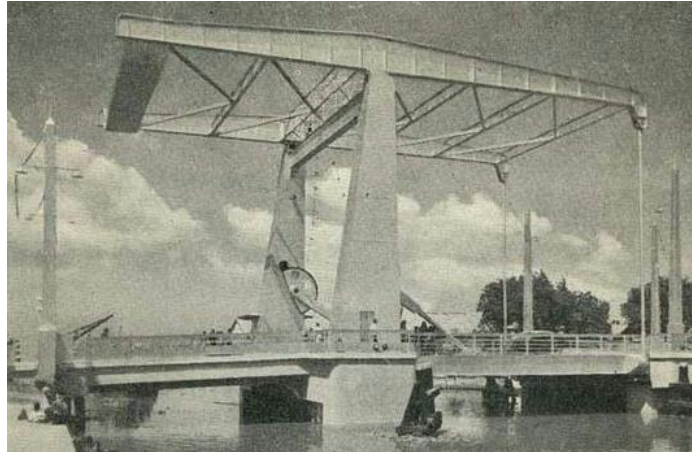


Gambar 2.1. Jembatan Kota Intan

2) Jembatan Petekan

Pada tahun 1900, Jembatan Petekan dibangun. Pada 16 Desember 1939, jembatan ini pertama kali hidup. Saat air pasang, jembatan ini berdiri 1,70 meter di atas permukaan sungai dan 1,20 meter di bawah jalan utama. Pilar dengan dimensi 11 meter kali 50 meter dapat ditemukan di sisi timur dan barat jembatan. Struktur geladak terdiri dari gelagar yang terhubung sepanjang struktur dengan sudut baja yang melintasi gelagar..

Pada 1980-an geladak jembatan tidak bisa lagi diangkat. Sebelum Januari 2011, geladak jembatan dipotong karena balok penopang dan sikunya dicuri. Ini menyebabkan geladak jatuh ke sungai dan mencegah kapal-kapal di bawah berlayar. Jembatan Petekan sudah tidak berfungsi lagi karena sudah tua dan perlu dirawat.



Gambar 2.2. Jembatan Petekan

2.3. Peraturan-Peraturan Perencanaan Jembatan

Peraturan-peraturan tentang perencanaan jembatan yang akan digunakan sebagai acuan dalam perencanaan jembatan tarik rangka baja adalah Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tentang Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan tahun 2015.

2.3.1. Peraturan Perencanaan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Tahun 2015

Dalam Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor :07/SE/M/2015 tentang Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan terdapat pokok-pokok perencanaan jembatan dan aspek lainnya yang harus diperhatikan.

A. Pokok-Pokok Perencanaan Jembatan

Pokok-pokok perencanaan jembatan pada Peraturan Perencanaan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada tahun 2015 meliputi :

1) Keselamatan

Keselamatan masyarakat umum adalah tanggung jawab utama perancang jembatan, dan perencana harus mendapatkan jembatan dengan keamanan struktural yang memadai.

2) Keawetan (*Durability*)

Jembatan harus dibuat dari bahan yang berkualitas serta menggunakan standar yang tinggi dalam proses fabrikasi dan perakitan.

Sistem pelapisan atau proteksi katodik yang tahan lama diperlukan untuk mencegah korosi pada baja struktural. Membangun baja dan baja prategang di bagian substansial yang terpapar udara atau air akan cukup dilindungi oleh salah satu atau campuran epoksi atau pengaman potensial galvanik, penutup substansial, ketebalan substansial, potongan sintesis substansial, penutup permukaan substansial atau proteksi katodik. Nat atau zat tahan korosi lainnya harus disuntikkan ke dalam baja pra-tekan selongsong. Komponen baja dan beton harus diisolasi secara elektrik dari bahan aluminium.

3) Mudah Diperiksa (*Inspectability*)

Akses ke lampu penerangan pengganti, tangga inspeksi, ramp, *catwalk*, lubang inspeksi tertutup dan sebagainya harus disediakan bila sulit untuk mencapai tujuan inspeksi.

4) Mudah Dipelihara (*Maintainability*)

Sebaiknya tidak menggunakan sistem struktur tertentu yang dianggap sulit dipertahankan.

Mendongkrak, membersihkan, memperbaiki, dan mengganti bantalan dan sambungan harus dilakukan di area sekitar penyangga bantalan dan di bawah sambungan lantai.

Rencana harus menentukan titik pendongkrak, dan struktur harus dirancang untuk menahan gaya pendongkrak yang diperlukan. Hindari atau sembunyikan celah dan sudut yang dapat memikat hewan atau manusia.

5) Keamanan dan Kenyamanan Pengguna (*Rideability*)

Desain geladak jembatan harus memfasilitasi arus lalu lintas. Pelat transisi struktural perlu dipasang di jalan beraspal antara jalan pendekat dan kepala jembatan..

Kemungkinan tergerus atau gompal pada sambungan lantai beton yang dilalui lalu lintas harus dicegah. Jika digunakan lantai beton tanpa lapisan permukaan aspal, tambahan ketebalan +10 mm harus disediakan untuk menyesuaikan profil lantai melalui penggilingan dan mengganti lantai yang lebih tipis akibat abrasi.

6) Utilitas

Jika diperlukan perlengkapan harus dibuat untuk mendukung dan memelihara tempat terpasangnya utilitas.

7) Perubahan bentuk (*Deformation*)

Sudut terencana pada sambungan lantai beton yang harus dilalui lalu lintas harus dilindungi dari jembatan untuk menghindari efek struktural dan psikologis yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh deformasi. Dalam skenario ini, perhitungan tambahan mengenai jembatan miring dan batas lendutan yang diperbolehkan yang ditentukan oleh bahan jembatan dan jenis struktur juga harus disediakan.

8) Pertimbangan pelebaran di masa depan

Kecuali diasumsikan bahwa tidak mungkin atau tidak mungkin untuk memperlebar jembatan di masa depan, kapasitas balok luar (*exterior beams*) pada jembatan gelagar harus dihitung setara dengan balok lain (*interior beams*) untuk tujuan ini. Sejalan dengan itu, kapasitas substruktur untuk mendukung peningkatan beban pada kondisi jembatan juga harus diperhitungkan saat mendesainnya.

9) Kemudahan dikerjakan (*Constructability*)

Sebuah jembatan tidak hanya harus direncanakan dengan baik, tetapi juga harus dilaksanakan atau dibangun. Oleh karena itu, seorang perencana harus mengetahui metode konstruksi jembatan dan komponennya sehingga gambar proses perencanaan dapat digunakan.

10) Ekonomis

Desain atau perencanaan yang baik akan mempertimbangkan aspek finansial dari sumber pendanaan pelaksanaan jembatan setelah direncanakan. Jumlah uang yang dibutuhkan untuk membangun jembatan akan ditentukan oleh jenis bangunan atas yang dipilih, jumlah dan panjang bentang, dan faktor lainnya. Ini disajikan sebagai referensi pertama dalam memilih superstruktur berdasarkan rentang ekonominya pada **Tabel 2.1** dari berbagai publikasi.

Tabel 2.1. Pedoman umum penentuan bentang ekonomis

No	Tipe Bangunan Atas	Bentang Ekonomis (m)
1	Pelat Beton Bertulang	0 – 15
2	Gelagar Beton T	10 – 18
3	Mod Gelagar Beton T	18 – 25
4	Gelagar Boks Beton Bertulang	25 – 40
5	Gelagar I Beton Pratekan	25 – 40
6	Gelagar Boks Baja	40 – 300
7	Rangka Baja (<i>Steel Truss</i>)	150 – 200
8	Pelengkung Baja (<i>Steel Arch</i>)	150 – 400
9	Beruji Kabel (<i>Cable Stayed</i>)	200 – 500
10	Gantung (<i>Suspension</i>)	300 – 2000

11) Estetika

Karena bentuknya yang khas dibandingkan dengan bangunan di sekitarnya, jembatan biasanya memiliki nilai estetika. Pertimbangan estetika dapat diperhitungkan selama perencanaan jembatan untuk menentukan bentuk visual.

B. Umur Jembatan

Umur rencana untuk jembatan dibuat untuk masa layan selama 75 tahun kecuali :

- a) jembatan yang dapat dibongkar atau bersifat sementara, dengan umur rencana 20 tahun.
- b) Umur rencana jembatan khusus dengan fungsi strategis yang ditetapkan oleh instansi yang berwenang adalah 100 tahun.
- c) Umur rencana lainnya ditentukan dengan peraturan dari instansi yang berwenang..

Struktur jembatan akan tetap dapat berfungsi pada akhir perkiraan umur rencana, dan jembatan akan tetap dapat dilalui selama waktu tersebut tanpa perlu pemeriksaan dan pemeliharaan yang teratur dan memadai.

2.4. Pembebanan Jembatan Angkat

Pembebanan Jembatan Angkat memiliki kesamaan dengan Jembatan Gantung Desa (JUDESA) yaitu hanya untuk menahan beban hidup pejalan kaki dan sepeda motor saja. Untuk menahan beban yang ditentukan dalam desain, jembatan pejalan kaki harus kokoh dan kaku tanpa menunjukkan lendutan yang berlebihan. Fungsi JUDESA didasarkan pada penggunaannya yang hanya bisa pengendara sepeda motor atau pejalan kaki. Beban terdiri dari beban hidup dari pengguna jembatan, beban mati, dan beban samping berupa beban angin yang dimaksudkan untuk dipikul oleh JUDESA.

2.4.1. Beban Vertikal

Kombinasi estimasi beban mati dan beban hidup dari pengguna jembatan merupakan beban vertikal desain. Arah di mana beban ini bekerja tegak lurus terhadap jembatan. Berat jembatan itu sendiri dan beban hidup pengguna jembatan memperhitungkan beban vertikal ini.

Akumulasi berat komponen jembatan, seperti geladak jembatan, gelagar melintang, gelagar memanjang, dan tiang penyangga, menghasilkan berat sendiri jembatan. Volume komponen dan berat jenis menentukan besarnya beban sendiri ini. Berat jenis dari setiap komponen tersebut mengacu pada peraturan pembebanan jembatan yaitu SNI 1725:2016 seperti pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Berat Isi untuk Beban Mati

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

Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan

Berdasarkan Tabel 2.3 beban hidup yang diperhitungkan untuk JUDESA hanyalah beban yang didistribusikan secara merata dari sepeda motor dan pejalan kaki dengan besaran 3 kPa.

Tabel 2.3. Beban Hidup dan Lendutan Izin Jembatan Gantung Pejalan Kaki.

Kelas pengguna	Lebar	Beban terpusat	Beban terdistribusi merata	Lendutan izin $\bar{\Delta}$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas I (beban hidup maksimum sampai dengan kendaraan ringan)	1,8 m	20 kN (hanya ada satu kendaraan bermotor ringan pada satu bentang jembatan)	5 kPa	$\frac{1}{200}L$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas II (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,4 m	-	4 kPa	$\frac{1}{100}L$
Keterangan: L adalah bentang utama jembatan				

Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010

2.5. Material Struktur Jembatan

2.5.1. Baja

Persyaratan material Baja yang digunakan untuk material JUDESA adalah:

1. Penyimpanan Bahan

Baja harus disimpan di atas balok sehingga tidak langsung berada di atas tanah di lokasi pembuatan atau di lapangan.

2. Pengecatan Permukaan sebagai Lapis Pelindung

- Minyak, debu, korosi, garam, dan kotoran lainnya harus dihilangkan dari permukaan yang akan dicat.
- Perbaikan lapis baja struktur baja Bahan dasar struktur baja harus sesuai dengan bahan pelindung lapis baja.

3. Baja Struktur

Bagian struktural baja harus memiliki sifat mekanis yang tercantum pada **Tabel 2.4** bila terbuat dari baja struktural.

Tabel 2.4. Sifat Mekanis Baja Struktural

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

Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02 tahun 2010.

2.6. Perencanaan Gelagar Baja Sesuai SNI 1729:2020

2.6.1. Data Properties

Data properties adalah data-data yang terdapat pada profil baja yaitu pada baja profil I. Data tersebut antara lain:

$$I_x = \frac{1}{12}(bd^3 - h^3) + wh^3) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$I_y = \frac{1}{12}(2tb^3 + hw^3) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$S_x = \frac{I_x}{y_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S_y = \frac{I_y}{0,5b} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Z_x = bt(d - t) + 0,25wh^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Z_y = 1,5S_y \dots\dots\dots(2.6)$$

$$J = \frac{1}{3} \times (2t_f^3 \times b + t_w^3 \times h_0) \dots\dots\dots(2.7)$$

2.6.2. Menghitung Kuat Tarik

A. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik izin, P_n/Ω_t , komponen struktur tarik harus merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

a. Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y A_g \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\phi_t = 0,90 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_t = 1,67 \text{ (DKI)}$$

b. Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto:

$$P_n = F_u A_e \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\phi_t = 0,75 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_t = 2,00 \text{ (DKI)}$$

Keterangan :

A_e = luas neto efektif, in.2 (mm²)

A_g = luas bruto dari komponen struktur, in.2 (mm²)

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi, ksi (MPa)

F_u = kekuatan tarik minimum terspesifikasi, ksi (MPa)

B. Luas Neto Efektif

Luas neto efektif komponen struktur tarik harus ditentukan sebagai berikut:

$$A_e = A_n U \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan U , faktor lag geser, ditentukan seperti tertera dalam **Tabel 2.5**.

C. Komponen Struktur Terhubung Sendi

1) Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik izin, P_n / Ω_t , komponen struktur terhubung-sendi, harus diambil nilai terendah yang ditentukan sesuai dengan keadaan batas keruntuhan tarik, keruntuhan geser, tumpu, dan leleh.

Tabel 2.5. Faktor Lag Geser Untuk Sambungan ke Komponen Struktur Tarik

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor Lag geser, U	Contoh
1	Semua komponen struktur tarik dengan beban tarik disalurkan secara langsung ke setiap dari elemen profil melintang melalui pengencang atau las (kecuali seperti dalam Kasus 4, 5 dan 6)	$U = 1,0$.
2	Semua komponen struktur tarik, kecuali PSR, dengan beban tarik disalurkan ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang melalui pengencang atau las longitudinal dalam kombinasi dengan las transversal. Secara alternatif, kasus 7 dapat digunakan untuk profil W, M, S dan HP. (Untuk baja siku, Kasus 8 digunakan untuk dipergunakan)	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
3	Semua komponen struktur tarik dengan beban tarik hanya disalurkan melalui las transversal ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang	$U = 1,0$ dan $A_e =$ luas elemen yang disambung langsung	.
4 ^a	Pelat, siku, kanal dengan pengelasan pada heels, T dan profil W yang elemen-elemennya disambung, dengan beban tarik disalurkan hanya melalui las longitudinal. Lihat Kasus 2 untuk definisi dari \bar{x}	$U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right)$	
5	PSR Bundar dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal melalui slot pada PSR	$l \geq 1,3D, U = 1,0$ $D \leq l < 1,3D, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi}$	
6	PSR Persegi panjang dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal	$l \geq H, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
	dengan dua sisi pelat buhul	$l \geq H, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	Profil W, M, S atau HP atau T yang dipotong dari profil-profil ini (Jika U dihitung dalam Kasus 2, nilai yang lebih besar digunakan untuk dipergunakan).	dengan sayap disambungkan dengan tiga atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$b_1 \geq \frac{2}{3}d, U = 0,90$ $b_1 < \frac{2}{3}d, U = 0,85$
		dengan badan disambungkan dengan empat atau lebih pengencang perbaris dalam arah pembebanan	$U = 0,70$

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor Lag geser, U	Contoh	
8	Siku tunggal dan ganda (Jika U dihitung dalam Kasus 2, nilai yang lebih besar diizinkan untuk digunakan).	dengan empat atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$U = 0,80$	-
		Dengan tiga pengencang per baris dalam arah pembebanan (Dengan lebih sedikit dari tiga pengencang per baris dalam arah pembebanan, gunakan Kasus 2).	$U = 0,60$	-

B = lebar keseluruhan komponen struktur PSR persegi panjang, diukur 90° terhadap bidang sambungan, in. (mm); D = diameter luar PSR bundar, in. (mm); H = tinggi keseluruhan komponen struktur PSR persegi panjang, diukur pada bidang sambungan, in. (mm); d = tinggi profil, in. (mm); untuk T, d = tinggi penampang sebelum dipotong menjadi T, in. (mm); l = panjang sambungan, in. (mm); w = lebar pelat, in. (mm); x = eksentrisitas sambungan, in. (mm).
[a] $\frac{l_1 + l_2}{2}$ dengan l_1 and l_2 tidak lebih kecil dari 4 kali ukuran las.

a. Untuk keruntuhan tarik pada luas neto efektif

$$P_n = F_u (2t b_e) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\phi_t = 0,75 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_t = 2,00 \text{ (DKI)}$$

b. Untuk keruntuhan geser pada luas efektif:

$$P_n = 0,6 F_u A_{sf} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\phi_t = 0,75 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_t = 2,00 \text{ (DKI)}$$

Keterangan :

$$A_{sf} = 2t (a + d/2)$$

= luas pada alur kegagalan geser, in.² (mm²)

a = jarak terpendek dari tepi lubang sendi ke tepi komponen struktur yang diukur paralel terhadap arah gaya, in. (mm)

$b_e = 2t + 0,63$, in. (= $2t + 16$, mm) tetapi tidak lebih dari jarak aktual dari tepi lubang ke tepi bagian yang diukur pada arah tegak lurus terhadap gaya yang bekerja, in. (mm)

d = diameter sendi, in. (mm)

t = ketebalan pelat, in. (mm)

2) Persyaratan Dimensi

Komponen struktur terhubung-sendi harus memenuhi persyaratan berikut:

(a) Dalam arah yang tegak lurus terhadap gaya yang diterapkan, lubang kecil

harus ditempatkan di tengah antara tepi komponen struktur.

- (b) Diameter lubang sendi tidak boleh melebihi 1/32 in ketika sendi diharapkan memberikan gerakan relatif antara bagian yang terhubung di bawah beban total. (1 mm) lebih besar dari diameter sambungan.
- (c) Perpanjangan minimum, a , di luar ujung bantalan lubang pin, sejajar dengan sumbu komponen struktur, tidak boleh kurang dari $1,33be$. Lebar pelat lubang pin tidak boleh kurang dari $2be+d$.
- (d) Jika luas neto di luar lubang jarum pada bidang yang tegak lurus terhadap potongan tidak kurang dari kebutuhan lubang jarum luar yang sejajar dengan sumbu komponen struktur, sudut lubang jarum luar dapat dipotong pada sudut 45° terhadap sumbu komponen struktur.

2.6.3. Menghitung Kuat Tekan Rencana ϕP_n

A. Klasifikasi penampang (Tabel B4.1a SNI 2020)

- **Elemen Sayap Profile**

$$\text{Rasio} = \frac{b}{t_f} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{Batas} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Jika rasio < batas maka termasuk klasifikasi elemen sayap profil tidak langsing.

- **Elemen Badan Profile**

$$\text{Rasio} = \frac{h}{t_w} \dots\dots\dots(2.15)$$

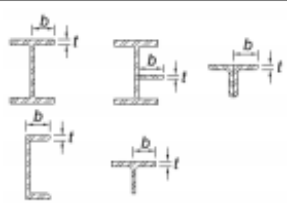
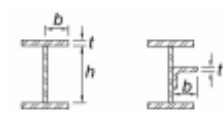
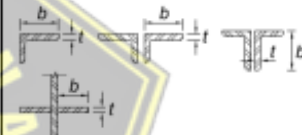



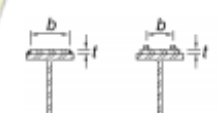


$$\text{Batas} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Jika rasio < batas maka termasuk klasifikasi elemen badan profil tidak langsing.

Perhitungan tersebut diatas menunjukkan bahwa profil yang digunakan merupakan profil yang tidak langsing, sehingga tidak terjadi masalah *local*

buckling. Jika klasifikasi profil baja adalah penampang tidak langsing maka kuat tekan rencana harus ditinjau menurut tekuk lentur dan tekuk puntir.

Tabel 2.6. Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan
Komponen Struktur yang Mengalami Aksial Tekan

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal λ_r (nonlangsing / langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap Profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elemen diperkaku	5	Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	PSR bulat	D/t	$0,11 \frac{E}{F_y}$	

[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.

Sumber : SNI 1729:2020

B. Tegangan Kritis Tekuk Lentur (SNI 2020 Bab E3)

→ Bila $\frac{KL}{r_{\min}} < \lambda = 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ tidak terjadi tekuk inelastis

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \dots\dots\dots(2.17)$$

→ Bila $\frac{KL}{r_{\min}} > \lambda = 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ terjadi tekuk inelastis

$$F_{cr} = 0,877F_y \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana nilai F_e (tegangan tekuk kritis elastis) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

C. Tegangan Kritis Tekuk Puntir (SNI 2020 Bab E4)

Tekuk puntir untuk profil simetri ganda, maka F_{cr} dihitung berdasarkan bab E3 akan tetapi F_e dihitung berdasarkan Bab E4.

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \dots\dots\dots(2.20)$$

→ $F_e = \frac{F_y}{F_e} < 2,25$ berarti terjadi tekuk inelastis

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \dots\dots\dots(2.21)$$

→ Jika $F_e = \frac{F_y}{F_e} > 2,25$ berarti tdk terjadi tekuk inelastis

$$F_{cr} = 0,877F_y \dots\dots\dots(2.22)$$

2.6.4. Menghitung Kuat Lentur Nominal

A. Klasifikasi Penampang

- Elemen sayap profil

$$\text{Rasio} = \frac{0,5B}{t_f} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\text{Batas, } 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.24)$$

Jika rasio < batas maka termasuk klasifikasi elemen sayap profil kompak

- Elemen badan profil

$$\text{Rasio} = \frac{H}{t_w} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\text{Batas} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Jika rasio < batas maka termasuk klasifikasi elemen badan profil kompak. Jika sebuah profil IWF memiliki klasifikasi elemen sayap dan badan profil kompak maka kuat lentur nominal menggunakan Bab F2 SNI 1729 2015. Pada Bab F2 SNI 1729 2015, kuat lentur nominal ditentukan oleh batasan leleh dan batasan tekuk torsi lateral. Berikut penjelasannya :

B. Kuat lentur nominal pada batasan leleh arah Y

Kuat batas leleh dihitung menggunakan persamaan:

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana M_p = Kuat lentur nominal batasan leleh (kNm)

F_y = Tegangan leleh mutu baja (MPa)

Kuat lentur batasan leleh arah y bisa disimbolkan dengan M_{cy}

C. Kuat lentur nominal pada batasan leleh arah X

Kuat batas leleh dihitung menggunakan persamaan:

$$M_p = F_y \times Z_x \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana M_p = Kuat lentur nominal batasan leleh (kNm)
 F_y = Tegangan leleh mutu baja (MPa)

Kuat lentur batasan leleh arah x bisa disimbolkan dengan M_{cx} .

D. Kuat Lentur Nominal Pada Batasan Tekuk Torsi Lateral

Tekuk torsi lateral ditentukan oleh nilai L_b (jarak antar pengaku lateral) yang mengikuti panduan batas jarak L_p dan L_r . Untuk menghitung L_p dan L_r menggunakan rumus sebagai berikut :

- Menghitung nilai batas jarak L_p

$$L_p = 1,76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{dimana} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \dots \dots \dots (2.29)$$

- Menghitung nilai batas jarak L_r

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J \times c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \times c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \dots \dots \dots (2.30)$$

➤ Untuk profil IWF simetri ganda, maka nilai $c = 1,0$

➤ Mencari nilai r_{ts} , $r_{ts} = \sqrt{0,5I_y \frac{h_0}{S_x}} \dots \dots \dots (2.31)$

- Menentukan besarnya L_b dan menghitung nilai kuat lentur nominal

Ada tiga kondisi untuk menentukan besar L_b , dimana masing-masing memiliki konsekuensi besarnya kuat lentur balok. Besarnya L_b ditentukan oleh perencana sendiri. Kondisi di bawah ini dapat dipilih hanya salah satu saja, yaitu:

1) Kondisi pertama, $L_b < L_p$

Maka besarnya kuat lentur dihitung berdasarkan persamaan :

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x \dots\dots\dots(2.32)$$

Pada kondisi pertama, Bab F2 menghasilkan kuat lentur batasan leleh (M_p) dan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n) dengan hasil yang sama, sehingga:

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \text{ terkecil} \dots\dots\dots(2.33)$$

2) kondisi kedua, $L_p < L_b < L_r$

Maka besarnya kuat lentur dihitung berdasarkan persamaan :

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \dots\dots\dots(2.34)$$

Mencari nilai C_b

$$C_b = \frac{12.5|M_{max}|}{2.5|M_{max}|+3|M_A|+4|M_B|+3|M_C|} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$M_A = \frac{1}{4} L_b \dots\dots\dots(2.36)$$

$$M_B = M_{max} = \frac{1}{2} L_b \dots\dots\dots(2.37)$$

$$M_C = \frac{3}{4} L_b \dots\dots\dots(2.38)$$

Pada kondisi kedua, Bab F2 menghasilkan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n). Kemudian dibandingkan kuat lentur batasan leleh (M_p) dengan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n), cari nilai kuat lentur yang terkecil.

$$\phi M_n = 0,9 \times r_n \text{ terkecil} \dots\dots\dots(2.39)$$

3) Kondisi ketiga, $L_b = L_r$

Maka perhitungan kuat lentur nominal akibat batas tekuk torsi lateral adalah sebagai berikut:

$$M_n = 0.7S_x F_y \dots\dots\dots(2.40)$$

Pada kondisi ketiga, Bab F2 menghasilkan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n). Kemudian dibandingkan kuat lentur batasan leleh (M_p) dengan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n), cari nilai kuat lentur yang terkecil, kemudian :

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \text{ terkecil} \dots\dots\dots(2.41)$$

4) Kondisi keempat, $L_b > L_r$

Maka perhitungan kuat lentur nominal akibat batas tekuk torsi lateral adalah sebagai berikut:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \dots\dots\dots(2.42)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \dots\dots\dots(2.43)$$

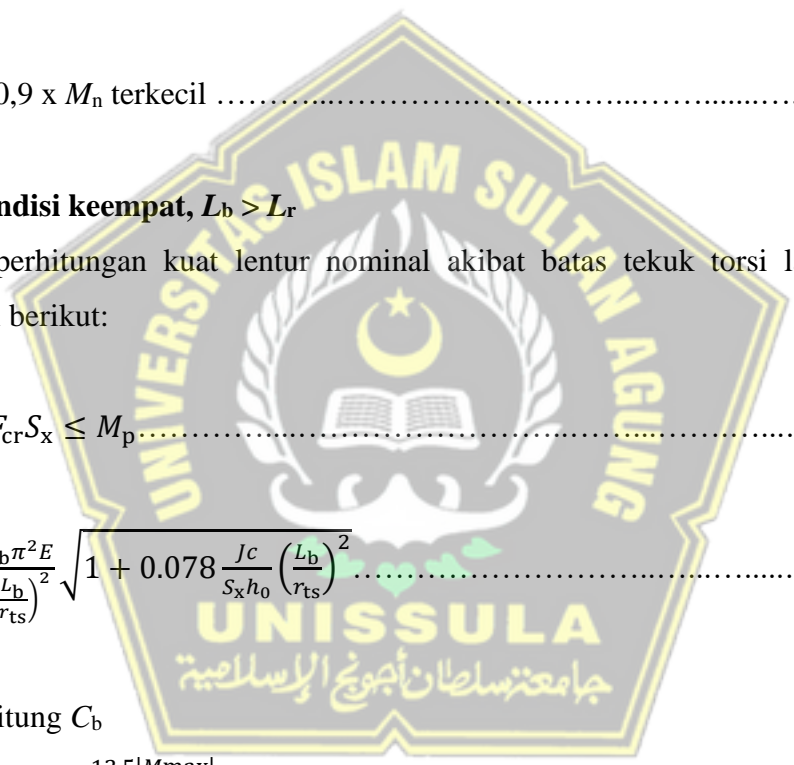
Menghitung C_b

$$C_b = \frac{12.5|M_{max}|}{2.5|M_{max}|+3|M_A|+4|M_B|+3|M_C|} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$M_A = \frac{1}{4} L_b \dots\dots\dots(2.45)$$

$$M_B = M_{max} = \frac{1}{2} L_b \dots\dots\dots(2.46)$$

$$M_C = \frac{3}{4} L_b \dots\dots\dots(2.47)$$



Pada kondisi keempat, Bab F2 menghasilkan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n). Kemudian dibandingkan kuat lentur batasan leleh (M_p) dengan kuat lentur batasan tekuk torsi lateral (M_n), cari nilai kuat lentur yang terkecil.

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \text{ terkecil} \dots \dots \dots (2.48)$$

Persamaan Interaksi gaya aksial dan momen lentur.

2.6.5. Menghitung perbandingan momen kuat tekan

→ Bila $\frac{P_r}{P_c} > 0,2$ maka

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.49)$$

→ Bila $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$ maka

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.50)$$

Keterangan :

P_r = kekuatan aksial perlu

P_c = kekuatan aksial tersedia

2.6.6. Perencanaan Sambungan Baut

Struktur baja dihubungkan melalui pengencang. Baut adalah pengencang yang paling sering digunakan dalam konstruksi sehari-hari. Baut adalah alat penghubung dengan badan silinder berulir dan kepala yang biasanya memiliki penampang heksagonal dan lebih kecil dari kepala. Baut dengan mutu tinggi adalah baut yang paling umum digunakan dalam konstruksi baja.

A. Persyaratan Pemasangan Baut

1) Spasi Minimum

Jarak minimum antar lubang baut adalah jarak antar sumbu. Biasanya, ruang minimum diwakili oleh huruf s; misalnya, jarak baut minimum adalah $s \geq 2,67 d$;

Namun, disarankan agar nilai $s \approx 3d$ digunakan. sedangkan s adalah jarak bersih antar baut, dimana $d \geq$ adalah diameter baut.

2) Jarak Tepi Minimum

Jarak minimum antar lubang baut adalah jarak antar sumbu. Biasanya, ruang minimum diwakili oleh huruf s ; misalnya, jarak baut minimum adalah $s \geq 2,67 d$; Namun, disarankan agar nilai $s \approx 3d$ digunakan. sedangkan s adalah jarak bersih antar baut, dimana $d \geq$ adalah diameter baut.

Tabel 2.7. Jarak Tepi Minimum Baut

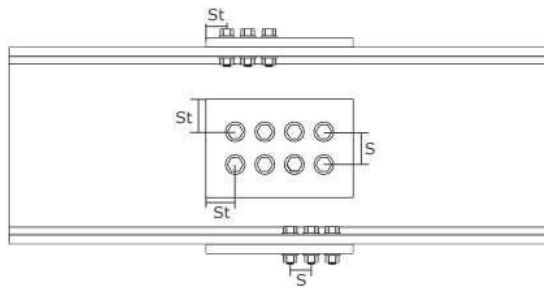
Diameter Baut	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

3) Spasi Maksimum dan Jarak Tepi

Jarak maksimum antara sumbu baut dengan tepi sambungan adalah 12 kali tebal pelat yang disambung (t). Untuk batasan nilai jarak terbesar dari baut hub ke tepi harus ≤ 150 mm (6 inci).

Ketentuan yang digunakan dalam keadaan yang berhubungan dengan korosi adalah:

- pada bagian struktural, dicat atau tidak dicat, yang tidak berkarat dan memiliki ketebalan pelat tertipis 24 atau 300 mm (12 inci)
- $s \leq 14$ ketebalan pelat tertipis, atau 180 mm, pada komponen struktural yang tidak dicat, lapuk, atau berkarat.



Gambar 2.3. Notasi Jarak dan Spasi Baut

B. Kuat Tekan

Ketentuan suatu baut dapat memikul gaya terfaktor berdasar SNI 1729:2020 adalah sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots(2.51)$$

Keterangan :

- R_u : gaya terfaktor yang terjadi pada baut (N)
- ϕ : faktor ketahanan baut, berbeda di setiap kasus
- R_n : kekuatan nominal baut (N)

C. Kuat Geser

Berikut perhitungan gaya geser yang dipikul oleh satu buah baut :

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b \dots\dots\dots(2.52)$$

Keterangan :

- R_n = kekuatan nominal baut (N)
- F_{nv} = tegangan geser nominal baut (MPa)
- A_b = luas bruto penampang baut (mm²)
- ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

D. Kuat Tarik

Berikut perhitungan gaya geser yang dipikul oleh satu buah baut sesuai dengan SNI 1729:2020 :

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b \dots \dots \dots (2.53)$$

Keterangan :

- R_n = kekuatan nominal baut (N)
- F_{nt} = tegangan tarik nominal baut (MPa)
- A_b = luas bruto penampang baut (mm²)
- ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

E. Kombinasi Geser dan Tarik

Pelat penghubung, yang membawa gaya tarik atau gaya tarik serta gaya geser yang ditimbulkan oleh gaya vertikal *P*, dihitung dengan menggunakan kombinasi gaya ini. Dalam SNI 1729:2020, gaya tarik pada baut dihitung dengan menggunakan kombinasi gaya geser dan tegangan yang dipengaruhi oleh gaya geser baut secara bersamaan. Dengan menggunakan acuan SNI 1729:2020, gaya geser yang diberikan oleh satu baut dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b \dots \dots \dots (2.54)$$

Keterangan :

- R_n = kekuatan nominal baut (N)
- F'_{nt} = tegangan tarik nominal baut yang dimodifikasi (MPa)
- $F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} F_{rv} \leq F_{nt}$
- A_b = luas bruto penampang baut (mm²)
- ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya

F. Kuat Tumpu

Pada perhitungan tahanan tumpu, diambil nilai kekuatan terlemah dari baut dan kekuatan terlemah pelat penyambung.

- a) Jika yang menjadi tinjauan desain merupakan deformasi di lubang baut pada beban layan, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \dots \dots \dots (2.55)$$

Keterangan :

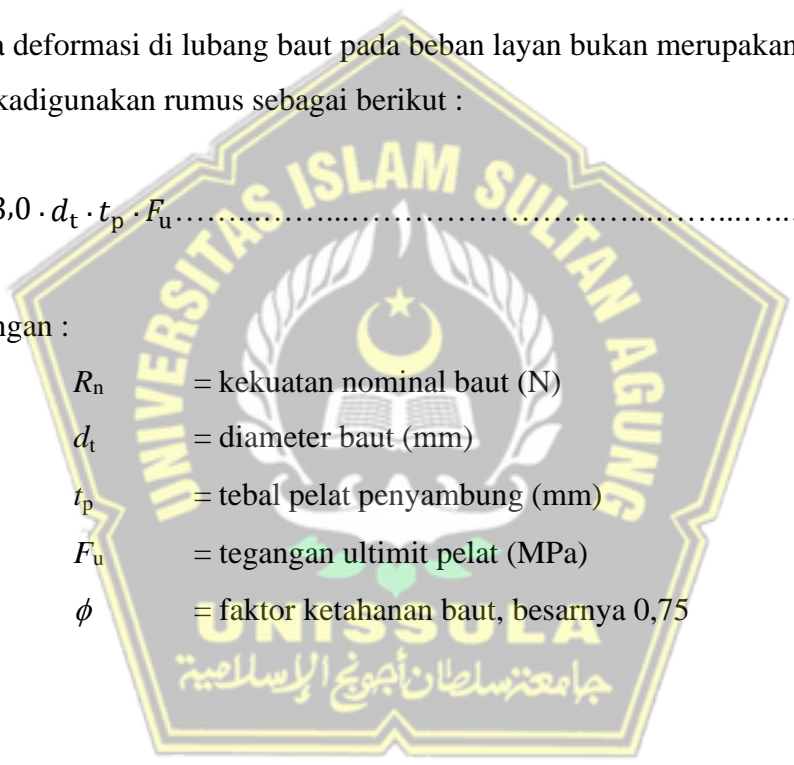
- R_n = kekuatan nominal baut (N)
- d_b = diameter baut (mm)
- t_p = tebal pelat penyambung (mm)
- F_u = tegangan ultimit pelat (MPa)
- ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75

b) Jika deformasi di lubang baut pada beban layan bukan merupakan tinjauan, makadigunakan rumus sebagai berikut :

$$R_n = 3,0 \cdot d_t \cdot t_p \cdot F_u \dots \dots \dots (2.56)$$

Keterangan :

- R_n = kekuatan nominal baut (N)
- d_t = diameter baut (mm)
- t_p = tebal pelat penyambung (mm)
- F_u = tegangan ultimit pelat (MPa)
- ϕ = faktor ketahanan baut, besarnya 0,75



BAB III

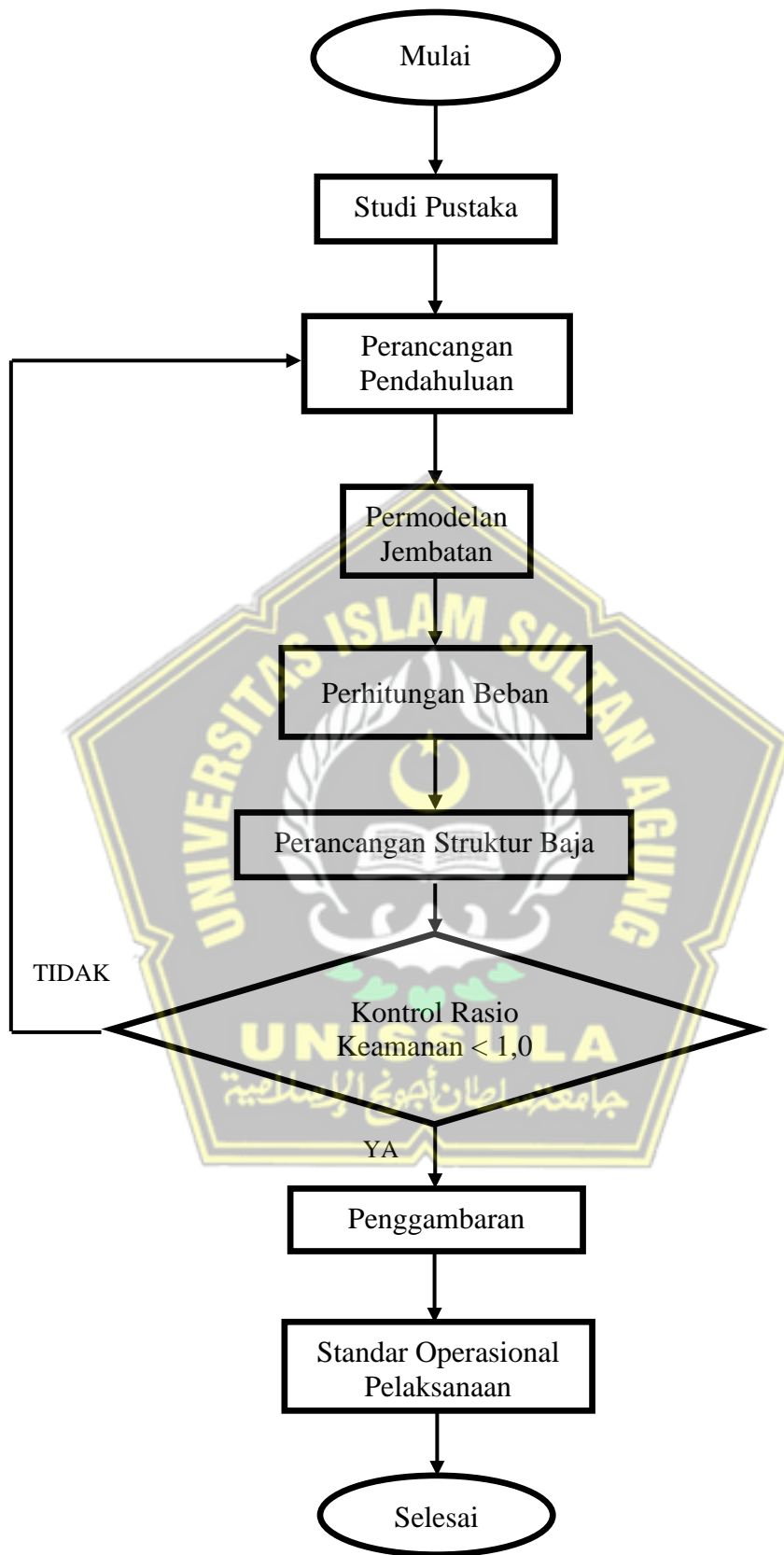
METODE PERANCANGAN

3.1 Metode Perancangan

Metode perancangan ini ditulis untuk menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan untuk merancang Jembatan angkat girder baja. Bagian pertama adalah *preliminary design* yaitu menentukan desain awal jembatan dan data spesifikasi teknis yang digunakan. Bagian kedua adalah merancang atau menghitung struktur bangunan atas yang meliputi pelat lantai jembatan, gelagar memanjang dan gelagar melintang. Setiap bagian akan dideskripsikan secara detail pada sub-sub bab berikut. Bagan alur perancangan jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2 Preliminary Design

Preliminary Design adalah rancangan awal yang meliputi estimasi jenis bahan, kualitas bahan dan dimensi bahan yang akan digunakan untuk membuat suatu struktur. Penentuan jenis, kualitas dan dimensi bahan mengacu pada penilaian teknis yang dilakukan oleh seorang perencana. Spesifikasi material struktur dalam perancangan awal bukanlah spesifikasi yang dilakukan di lapangan, melainkan spesifikasi struktur yang akan dimodelkan dengan *software* SAP2000 untuk di tes atau dicoba dengan pembebanan yang telah diidentifikasi sebelumnya.



Gambar 3.1. Bagan Alir Perancangan Prototipe Jembatan Angkat

3.3 Pemodelan Jembatan

Pemodelan struktur Prototipe Jembatan Angkat untuk Pelintas Alur Kapal yang berupa Jembatan Angkat Gelagar Baja digambar kembali sesuai dengan ukuran yang direncanakan menggunakan program *software* SAP2000 dan selanjutnya dianalisis.

3.4 Menghitung Pembebanan

Pelat lantai, balok dan kolom berdampak pada perhitungan beban bangunan atas jembatan. Pembebanan yang dihitung dari analisis ini adalah:

1. Berat Sendiri (MS)

Berat Sendiri adalah berat komponen struktur dan non-struktur jembatan yang ditambahkan pada berat sendiri jembatan. Berat sendiri hasilnya dihitung secara otomatis menggunakan *software* SAP 2000.

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat semua material yang mengakibatkan beban pada jembatan yang ialah elemen non-struktural.

3. Beban Angin (EWL)

Beban yang berasal dari arah horizontal yang sejajar dengan lantai jembatan karena angin yang bertiup.

3.5 Perhitungan Struktur

Dalam perancangan Jembatan Angkat Gelagar Baja ini, struktur yang akan dihitung yaitu pelat lantai jembatan, gelagar memanjang dan gelagar melintang serta pelengkung rangka baja.

3.5.1. Perancangan Pelat Lantai Jembatan

Pelat adalah komponen yang dirancang untuk menyalurkan beban sepanjang bentang jembatan dan terintegrasi dengan sistem struktur lainnya. Fungsi utama pelat lantai sebagai salah satu komponen jembatan adalah menyalurkan beban melintasi penampang melintang jembatan.

3.5.2. Perancangan Gelagar Memanjang dan Melintang

Pada Jembatan Angkat ini terdapat 2 perancangan gelagar yaitu :

A. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang adalah gelagar yang memiliki fungsi untuk menahan beban dari pelat lantai, lapis perkerasan dan beban air hujan, kemudian disalurkan ke gelagar melintang.

B. Gelagar Melintang

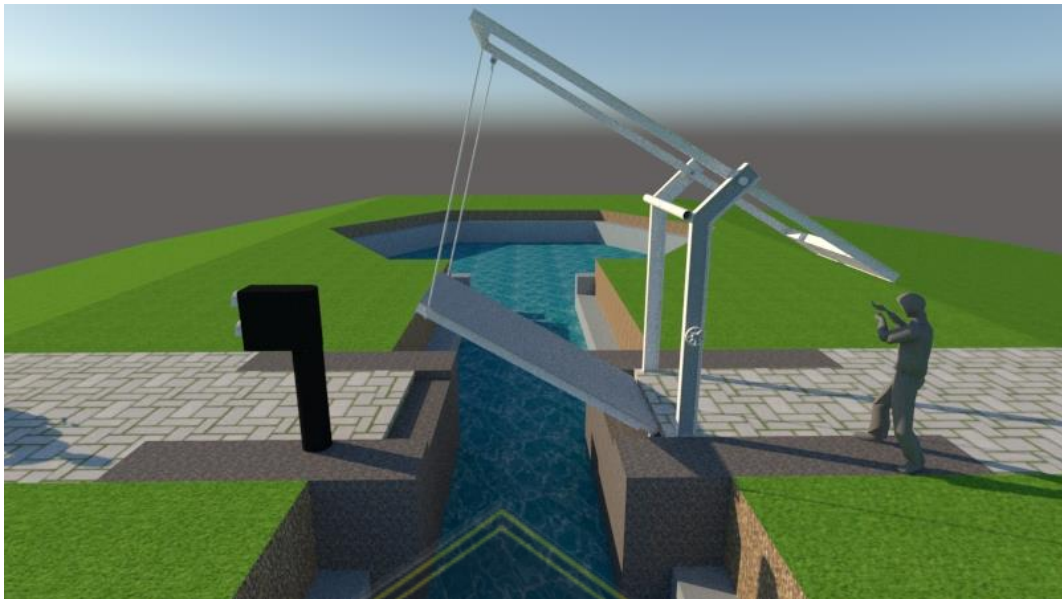
Gelagar melintang berfungsi untuk menerima limpahan beban dari gelagar memanjang kemudian menyalurkan ke rangka baja jembatan.

3.6 Metode Operasional Jembatan Angkat

Metode operasional Jembatan Angkat adalah langkah-langkah atau cara untuk mengoperasikan Jembatan Angkat. Metode pengoperasiannya cukup sederhana yaitu melepas kunci pada ujung jembatan sehingga *counter weight* yang terdapat di ujung lain dapat sedikit mengangkat jembatan secara vertikal yang selanjutnya ditambahkan sedikit tarikan pada bagian *counter weight* untuk menjadikan jembatan dapat tegak lurus dengan permukaan jalan.



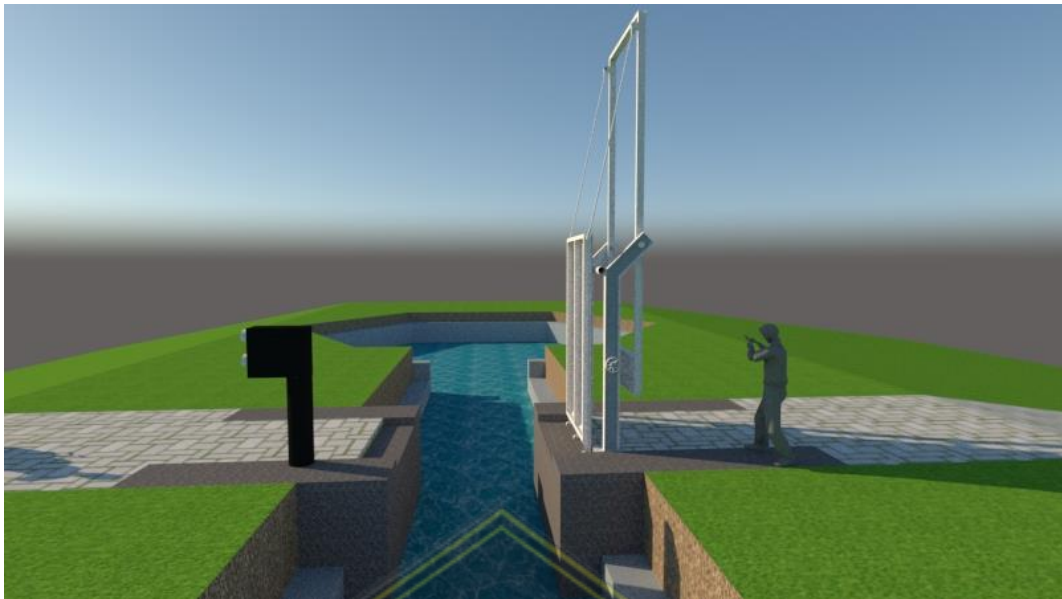
Gambar 3.2. Jembatan Angkat Keadaan Normal



Gambar 3.3. Jembatan Angkat Keadaan Diangkat 30 Derajat



Gambar 3.4. Jembatan Angkat Keadaan Diangkat 60 Derajat



Gambar 3.5. Jembatan Angkat Keadaan Diangkat 90 Derajat



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Bab ini disusun berdasarkan langkah-langkah perancangan yang dibuat pada Bab III. Di dalam bab ini perhitungan perancangan akan dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah *preliminary design* yang meliputi desain awal dan penetapan spesifikasi teknis yang digunakan dalam perancangan Jembatan Angkat. Bagian kedua yaitu perhitungan dan perancangan struktur bangunan atas Jembatan Angkat.

4.2. Preliminary Design

Sebelum menghitung struktur atas bangunan Jembatan Angkat, dibutuhkan spesifikasi, data perancangan dan desain penampang jembatan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

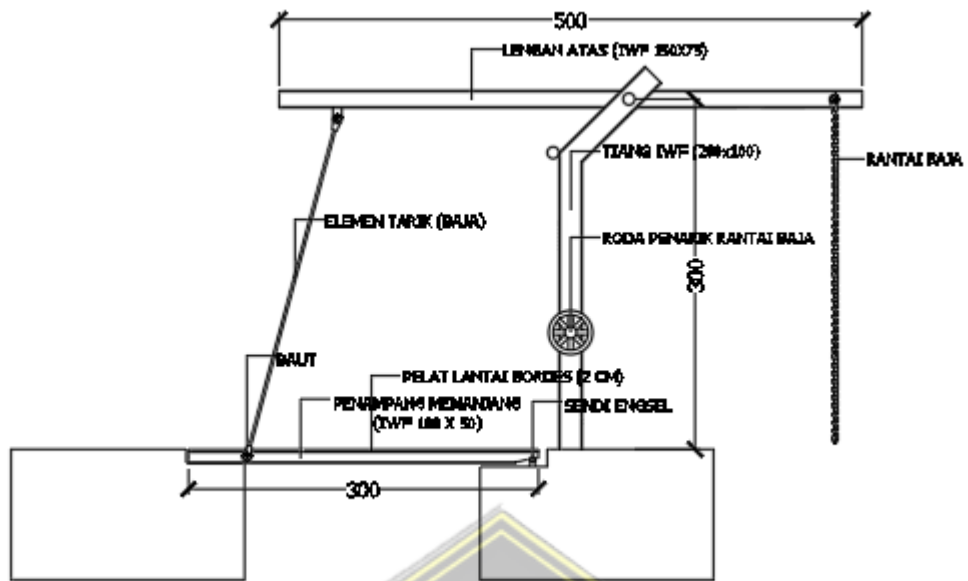
4.2.1. Data Perancangan Jembatan

Direncanakan jembatan dengan data seperti berikut :

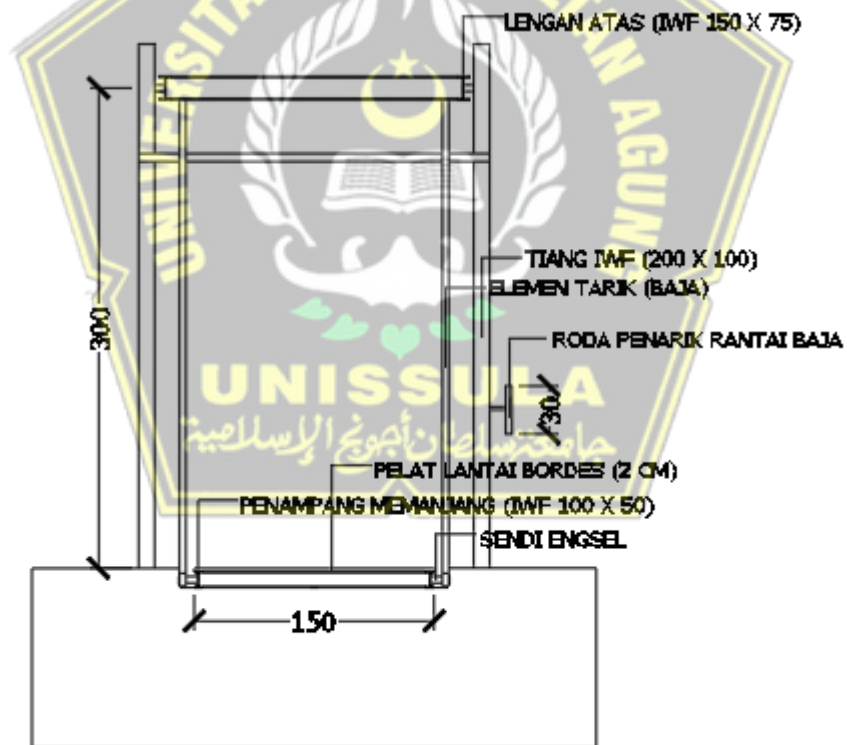
- Bentang jembatan = 3 m
- Lebar jembatan = 1,5 m
- Tinggi jembatan = 3 m
- Mutu baja = BJ 37 ($F_u = 370$ MPa dan $F_y = 240$ MPa)
- Berat jenis baja = $7,85 \text{ t/m}^3 = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Tebal pelat lantai (bordes) = 2 cm = 0,02 m

4.3. Permodelan Jembatan Angkat

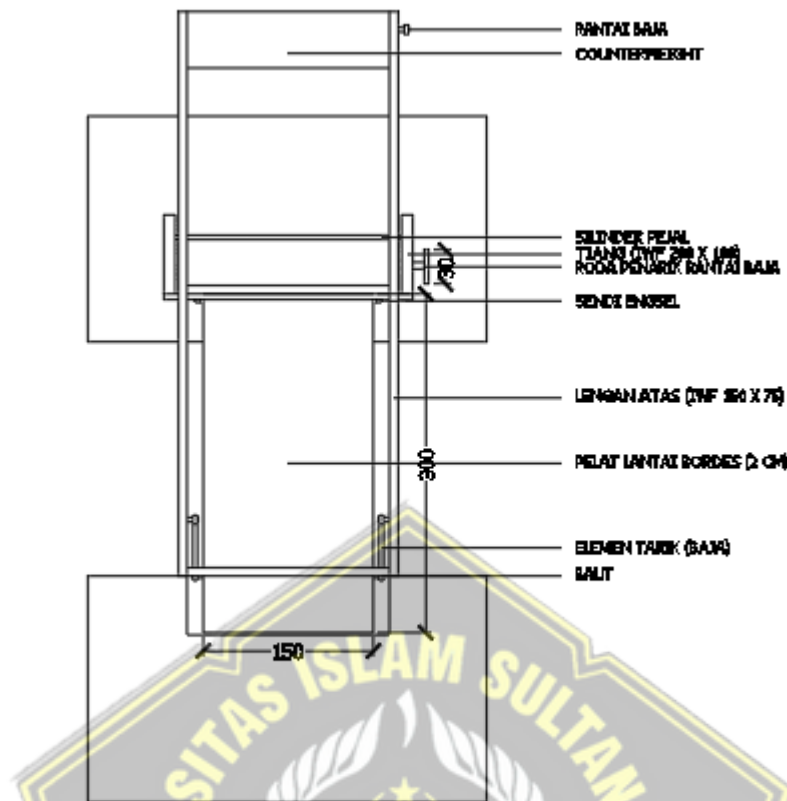
Pada perancangan Jembatan Angkat, permodelan pada jembatan ini dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.



Gambar 4.1. Jembatan Angkat Tampak Samping



Gambar 4.2. Jembatan Angkat Tampak Depan



Gambar 4.3. Jembatan Angkat Tampak Atas

4.4. Pembebanan Jembatan Angkat

4.4.1 Beban Vertikal

a. Berat Sendiri

Berat Sendiri adalah berat komponen struktur dan non-struktur jembatan yang ditambahkan pada berat sendiri jembatan. Berat sendiri hasilnya dihitung secara otomatis menggunakan aplikasi SAP 2000.

Didapat dari program SAP 2000, berat sendiri dari profil-profil jembatan yaitu 1,2052 ton.

b. Beban Hidup Sepeda Motor dan Pejalan Kaki

Dalam jembatan ini hanya diperuntukkan bagi sepeda motor dan pejalan kaki. Menurut Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan

Konstruksi Jembatan Gantung untuk beban pejalan kaki dan sepeda motor yaitu 5 kPa atau 500 kg/m².

Tabel 4.1. Beban Pejalan Kaki dan Sepeda Motor

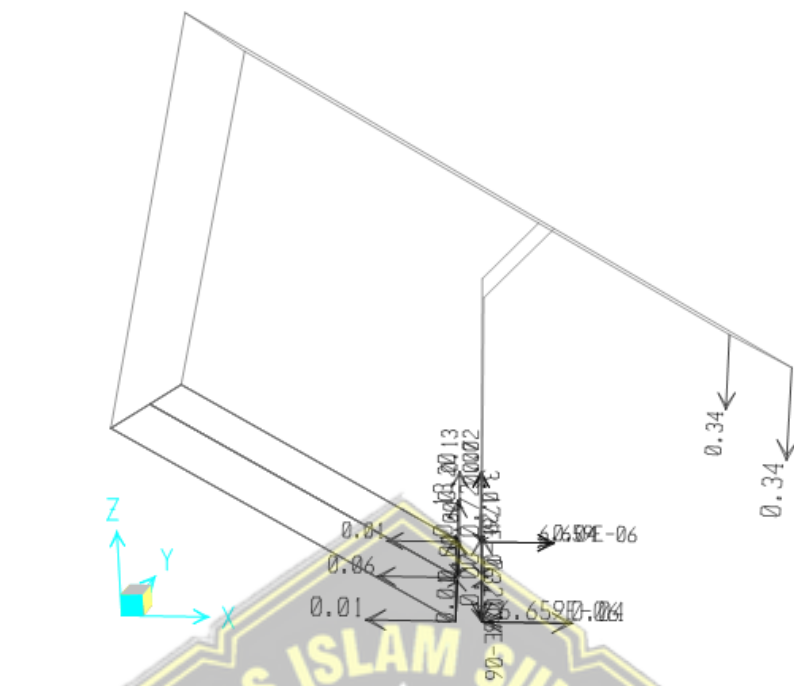
Kelas pengguna	Lebar	Beban terpusat	Beban terdistribusi merata	Lendutan izin $\bar{\Delta}$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas I (beban hidup maksimum sampai dengan kendaraan ringan)	1,8 m	20 kN (hanya ada satu kendaraan bermotor ringan pada satu bentang jembatan)	5 kPa	$\frac{1}{200}L$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas II (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,4 m	-	4 kPa	$\frac{1}{100}L$
Keterangan: L adalah bentang utama jembatan				

4.5. Perancangan Penyeimbang Jembatan Angkat (*Counter Weight*)

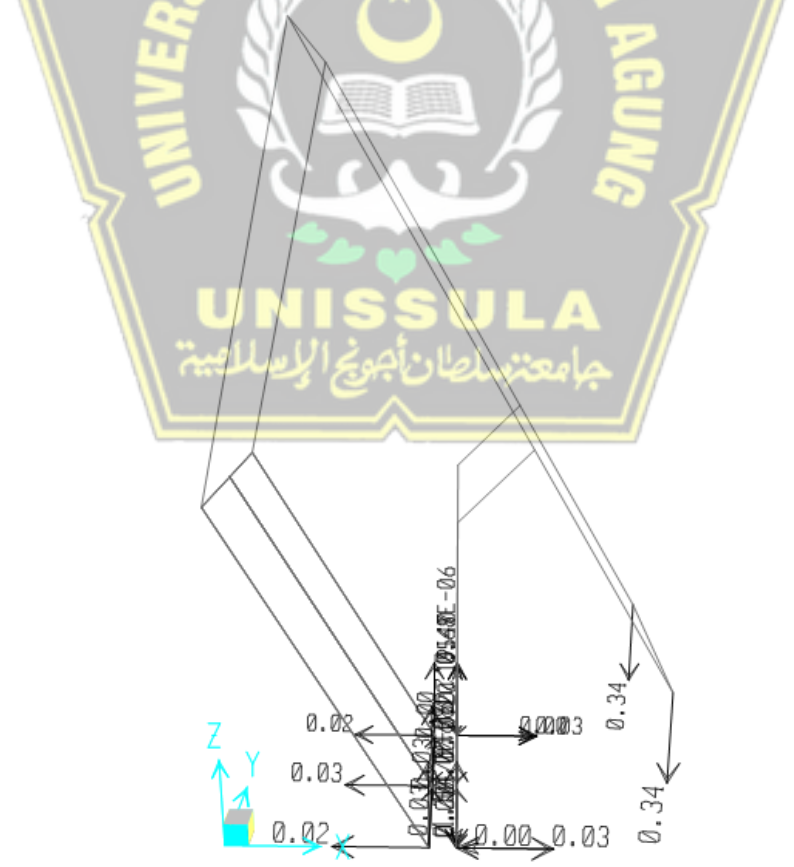
Pada perancangan penyeimbang jembatan menggunakan program SAP 2000 seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.4. Penyeimbang pada keadaan 0 derajat



Gambar 4.5. Penyeimbang pada keadaan 30 derajat



Gambar 4.6. Penyeimbang pada keadaan 60 derajat

Dari Program *SAP 2000*, didapatkan penyeimbang atau *counter weight* untuk Jembatan Angkat sebesar 0,68 ton atau 0,34 ton pada 2 titik.

Jadi permodelan *counter weight* yang dipasang pada Jembatan Angkat yaitu:

➤ Berat *Counter Weight* Perancangan : 680 kg

➤ Model *Counter Weight*

Jenis *Counter weight* : Beton

Berat Isi Beton : 2400 kg/m³

Tebal : 150 mm

Lebar : 1500 mm

➤ Perhitungan Volume *Counter Weight*

$$\text{Volume} = \frac{2400}{1} = \frac{680}{x}$$

$$\text{Volume} = x = \frac{680}{2400} = 0,28 \text{ m}^3$$

➤ Perhitungan Panjang *Counter Weight* untuk dipasang pada Jembatan Angkat

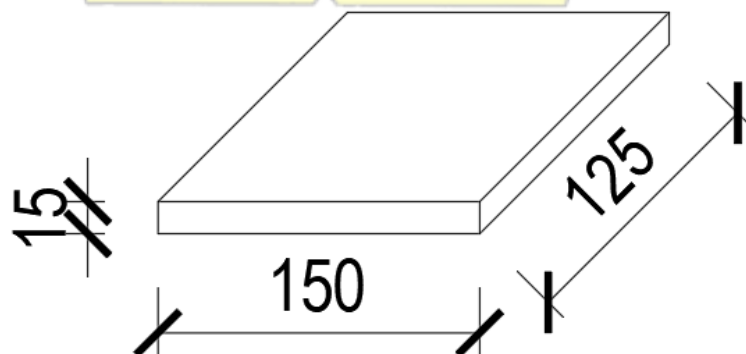
$$\text{Volume} = p \times l \times t$$

$$0,28 \text{ m}^3 = p \times 1,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$$

$$0,28 \text{ m}^3 = p \times 0,225 \text{ m}^2$$

$$p = 0,28 \text{ m}^3 / 0,225 \text{ m}^2$$

$$= 1,25 \text{ m}$$



Gambar 4.7. *Design Counter Weight*

4.6. Desain Struktur Atas Jembatan

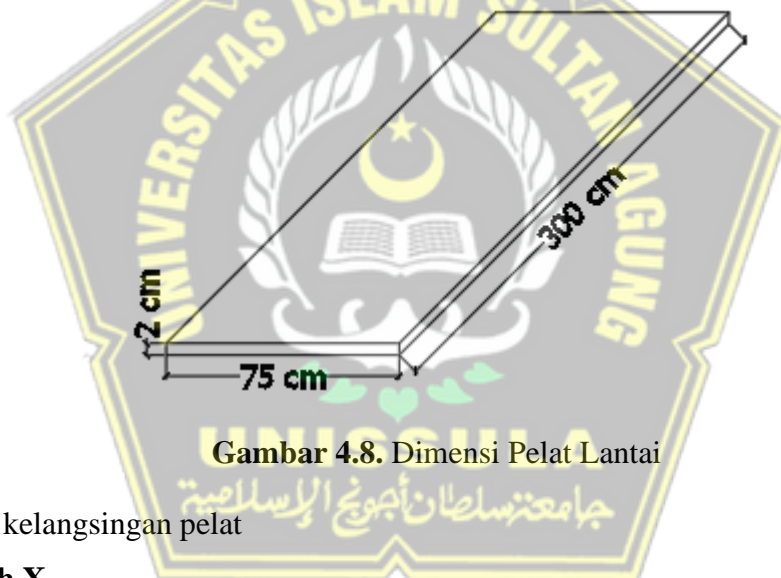
4.6.1. Desain Struktur Utama

1. Pelat Lantai

➤ Data Pelat Lantai Jembatan

Jenis pelat	: Pelat Besi Bordes
Panjang pelat	: 3m = 3000 mm
Lebar pelat	: 0,75m = 750 mm
Tebal pelat	: 2 cm = 20 mm
Mutu pelat	: BJ 37 → $F_y = 240$ MPa
Modulus elastisitas (E)	: 200000

➤ Tekuk Lokal Pelat Lantai



Gambar 4.8. Dimensi Pelat Lantai

a. Cek kelangsingan pelat

Arah X

$$\frac{b}{t} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{750}{20} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$37,5 \leq 43 \quad \text{(NON KOMPAK)}$$

Arah Y

$$\frac{b}{t} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{3000}{20} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$150 \leq 43 \quad (\text{LANGSING})$$

b. Cek rasio keamanan pelat

Arah X

Property Data

Section Name: 750x20			
Properties			
Cross-section (axial) area	15000.	Section modulus about 3 axis	50000.
Torsional constant	1990621.4	Section modulus about 2 axis	1875000.
Moment of Inertia about 3 axis	500000.	Plastic modulus about 3 axis	75000.
Moment of Inertia about 2 axis	7.031E+08	Plastic modulus about 2 axis	2812500.
Shear area in 2 direction	12500.062	Radius of Gyration about 3 axis	5.7735
Shear area in 3 direction	12500.062	Radius of Gyration about 2 axis	216.5064

OK

Gambar 4.9. Data Properties Pelat Lantai Arah X

Diketahui :

$$M_u = M_{rx} = 0,084 \text{ tm}$$

$$S = 50000 \text{ mm}^3$$

$$Z = 1,5 \times S$$

$$= 1,5 \times 50000$$

$$= 75000 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(3,57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4,0 \right) \leq M_p$$

$$M_p = F_y Z$$

Maka,

$$M_p = F_y Z$$

$$M_p = 240 \times 75000$$

$$M_p = 18000000 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(3,57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4,0 \right) \leq M_p$$

$$M_n = 18000000 - (18000000 - 240 \cdot 50000) \left(3,57 \frac{750}{20} \sqrt{\frac{240}{200000}} - 4,0 \right)$$

$$M_n = 18000000 - (6000000)(0,637566)$$

$$M_n = 14174604 \text{ Nmm} = 14 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 14 \text{ kNm} = 12,6 \text{ kNm} = 1,26 \text{ tm}$$

Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,084}{1,26} < 1$$

$$0,067 < 1$$

(AMAN)

Arah Y

Property Data

Section Name: 3000x20

Properties			
Cross-section (axial) area	60000.	Section modulus about 3 axis	200000.
Torsional constant	7997564.	Section modulus about 2 axis	30000000
Moment of Inertia about 3 axis	2000000.	Plastic modulus about 3 axis	300000.
Moment of Inertia about 2 axis	4.500E+10	Plastic modulus about 2 axis	45000000
Shear area in 2 direction	50000.25	Radius of Gyration about 3 axis	5.7735
Shear area in 3 direction	50000.25	Radius of Gyration about 2 axis	866.0254

OK

Gambar 4.10. Data Properties Pelat Lantai Arah Y

Diketahui :

$$M_u = M_{ry} = 0,028 \text{ tm}$$

$$S = 200000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} Z &= 1,5 \times S \\ &= 1,5 \times 200000 \\ &= 300000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$M_n = F_y S$$

$$M_n = 240 \times 200000$$

$$M_n = 48000000 \text{ Nmm} = 48 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 48 \text{ kNm} = 43,2 \text{ kNm} = 4,32 \text{ tm}$$

Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,028}{4,32} < 1$$

$$0,007 < 1$$

(AMAN)

2. Girder

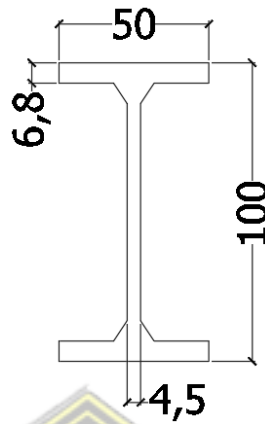
➤ Data Perancangan Girder Jembatan

Pada perancangan girder pada Jembatan Angkat menggunakan data sebagai berikut:

- Profil Gelagar Memanjang : IWF 100x50x4,5x6,8
- Panjang Profil Memanjang : 3 m
- Profil Gelagar Melintang : IWF 100x50x4,5x6,8
- Panjang Profil Melintang : 0,75 m

➤ Perhitungan Gelagar Memanjang

A. Properties Penampang Girder



Gambar 4.11. Properties Penampang Memanjang IWF 100 x 50

$$\begin{aligned}
 L_b &= 3000 \text{ mm} & S_x &= I_x / (0,5 \times H) = 34200 \text{ mm}^3 \\
 A &= 1060 \text{ mm}^2 & S_y &= I_y / (0,5 \times B) = 4800 \text{ mm}^3 \\
 I_x &= 1710000 \text{ mm}^4 & Z_x &= 4006,08 \text{ mm}^3 \\
 I_y &= 120000 \text{ mm}^4 & Z_y &= 7200 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

B. Menghitung Beban *Ultimate* Rencana

1. Menghitung kuat tekan rencana ϕP_n

a. Hitung properties geometri penampang

$$\begin{aligned}
 r_x &= \sqrt{I_x / A} = 40,16 \text{ mm} \\
 r_y &= \sqrt{I_y / A} = 10,64 \text{ mm} \\
 J &= 1/3 (2 t_f^3 b + t_w^3 h_0) \\
 &= 1/3 (2 \times 6,8^3 \times 50) + 4,5^3 \times (100 - 6,8) \\
 &= 13312 \text{ mm}^4 \\
 C_w &= 1/4 I_y \cdot h_0^2 \\
 &= 1/4 \times 120000 \times (100 - t_f)^2 \\
 &= 1/4 \times 120000 \times (100 - 6,8)^2 \\
 &= 2,61 \times 10^8 \text{ mm}^6 \\
 I_x + I_y &= 1830000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

b. Menentukan klasifikasi penampang berdasarkan Tabel B4.1a SNI 2020

$$\begin{aligned}
 \text{Sayap} &: b/t_f = 3,67 < 0,56\sqrt{E/F_y} = 16,17 \rightarrow \text{tidak langsing} \\
 \text{Badan} &: h/t_w = 19,2 < 1,49\sqrt{E/F_y} = 43,01 \rightarrow \text{tidak langsing}
 \end{aligned}$$

Klasifikasi profil I adalah penampang tidak langsing maka kuat tekan rencana harus ditinjau berdasarkan tekuk lentur dan tekuk puntir.

- c. Tegangan krisis tekuk lentur (SNI 2020 Bab E3)

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{3000}{10,64} = 281,96$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{281,96^2} = 24,8 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{24,8} = 9,68 > 2,25 ; \text{ Maka terjadi tekuk inelastic, sehingga :}$$

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e = 0,877 \times 24,8 = 21,75 \text{ MPa}$$

- d. Tegangan kritis tekuk puntir (SNI 2020 Bab E4)

Tekuk puntir untuk profil simetri ganda, maka F_{cr} dihitung berdasarkan bab E3 akan tetapi F_e dihitung berdasarkan bab E4.

$$G = 77200 \text{ MPa (SNI Bab E4)}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[\frac{3,14^2 \times 200000 \times 2,1 \times 10^8}{3000^2} + 77200 \times 13312 \right] \frac{1}{1830000}$$

$$F_e = 592,78 \text{ MPa} = 593 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{593} = 0,4 < 2,25 ; \text{ Maka tidak terjadi tekuk inelastic, sehingga:}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y = \left(0,658 \frac{240}{593}\right) \times 240 = 202,59 \text{ MPa}$$

- e. Kuat tekan nominal kolom profil I

F_{cr} tekuk puntir $\geq F_{cr}$ tekuk lentur, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk Lentur.

Perhitungan kuat tekan nominalnya adalah sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} \times A = 21,75 \times 1060 : 1000 = 23,1 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \times 23,1 = \mathbf{20,75 \text{ kN}}$$

2. Menghitung kuat lentur rencana ϕM_n Arah X

- a. Cek klasifikasi penampang Profil I

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,68 \leq 0,38 \sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 19,2 \leq 3,76 \sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{kompak}$$

b. Kuat lentur kondisi plastis

$$\begin{aligned} Z_x &= b \times t_f \times (h - t_f) + 0,25 \times t_w \times h^2 \\ &= 50 \times 6,8 \times (100 - 6,8) + 0,25 \times 4,5 \times (100 - 2 \times 6,8)^2 \\ &= 40086,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y = \mathbf{9,62 \text{ kN}}$$

c. Parameter LTB berdasarkan ketentuan bab F2

$$r_y = \sqrt{I_y/A} = 10,64 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{E/F_y} = 541 \text{ mm} = \mathbf{0,5 \text{ m}}$$

$$c = 1 \text{ dan } h_0 = 100 - 6,8 = 93,2 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{1}{4} I_y \times h_0^2 = \frac{1}{4} \times 120000 \times 93,2^2 = 2,61 \times 10^8 \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{120000 \times 2,61 \times 10^8}}{34200} = 163,51 \text{ mm} \rightarrow r_{ts} = 12,8 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} L_r &= 29684,23 \sqrt{0,0042 + \sqrt{0,0042^2 + 4,8 \times 10^{-6}}} \\ &= 2798,73 \text{ mm} = 2,8 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Hitung faktor C_b untuk memasukkan pengaruh bentuk momen antara dua pertambahan lateral



Gambar 4.12. Gambar Reaksi Gelagar Memanjang pada SAP 2000

$$M_{MAX} = 1,91 \text{ kNm}$$



Gambar 4.13. Momen Maksimum Gelagar Memanjang pada SAP 2000

$C_b = 1$ (Karena momen-momen ujung yang sama besar dan berlawanan arah)

- e. Untuk $L_b (3 \text{ m}) > L_r (2,8 \text{ m})$ maka Momen nominal adalah sebagai berikut :

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

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

$$F_{cr} = \frac{1 \times 3,14^2 \times 200000}{\left(\frac{3000}{12,8}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{13312 \times 1}{34200 \times 93,2} \left(\frac{3000}{12,8}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 155,87$$

$$M_n = F_{cr} S_x = 155,87 \times 34200 = 5330863 \text{ Nmm} = \mathbf{5,33 \text{ kNm}}$$

Karena $M_n \leq M_p$ maka nilai $M_n = \mathbf{5,33 \text{ kN}}$ (artinya tidak terjadi LTB)

- f. Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh

$$M_{cx} = \phi M_n = 0,9 \times 5,33 = \mathbf{4,8 \text{ kNm}}$$

- g. Hitung rasio struktur gaya momen

$$M_u / M_n = 1,9 / 4,8 = 0,4 < 1,0 \dots \text{Aman}$$

3. Menghitung kuat lentur nominal arah sumbu Y

- a. Cek klasifikasi penampang profil IWF

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,68 \leq 0,38 \sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 19,2 \leq 3,76 \sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{kompak}$$

- b. Kondisi Leleh (momen plastis)

$$Z_y = 1,5 \times S_y = 1,5 \times 4800 = 7200 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = Z_y \times F_y = 7200 \times 240 = 1728000 \text{ Nmm} = 1,73 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek batasan } 1,6 \times F_y \times S_y = 1,6 \times 240 \times 4800$$

$$= 1,84 \text{ kNm} > 1,73 \text{ kNm}$$

Maka = 1,73 kNm

- c. Kondisi tekuk lokal pada plat sayap

Elemen sayap yang kompak tidak terjadi tekuk lokal.

$$M_n = M_p = 1,73 \text{ kNm}$$

Maka nilai kuat lentur nominal profi IWF tersebut adalah

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \times 1,73 \text{ kNm} = 1,56 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = \mathbf{1,56 \text{ kNm}}$$

d. Menghitung persamaan interaksi gaya aksial dan momen lentur

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{0,041}{20,8} = 0,00198 \leq 0,2 \text{ maka:}$$

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

$$0,000988 + \left(\frac{3,15}{4,8} + \frac{4,3 \times 10^{-6}}{1,56} \right) = 0,65 < 1,0$$

e. Bandingkan dengan SAP 2000

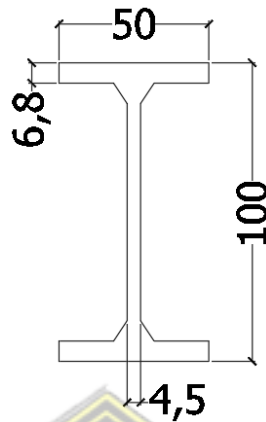
AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK						
Combo : DSTL2						
Units : KN, m, C						
Frame : 5	Design Sect: 100x50x4,5x6,8					
X Mid : 1.500	Design Type: Beam					
Y Mid : 0.000	Frame Type: Moment Resisting Frame					
Z Mid : 0.000	Sect Class: Compact					
Length : 3.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 1.500	RLLF : 1.000					
Area : 0.001	SMajor : 3.442E-05	rMajor : 0.040	AMajor : 4.500E-04			
IMajor : 1.721E-06	SMinor : 5.693E-06	rMinor : 0.012	AMinor : 5.667E-04			
IMinor : 0.000	ZMajor : 4.009E-05	E : 199947978.80				
Ixy : 0.000	ZMinor : 8.937E-06	Fy : 240000.000				
DESIGN MESSAGES						
Warning: k1/r > 200 (AISC-LRFD B7, AISC-LRFD S4M 4)						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
1.500	-0.042	3.149	4.368E-06	-1.262E-06	3.182E-06	0.000
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing	Total	P	MMajor	MMinor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
(H1-1b)	0.529	= 0.000	+ 0.528	+ 0.000	0.950	OK
AXIAL FORCE DESIGN						

Gambar 4.14. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Gelagar Memanjang Jembatan

Hasil perhitungan manual mendekati perhitungan SAP 2000 dimana hasil perhitungan SAP 2000 yaitu **0,53**.

➤ Perhitungan Gelagar Melintang

A. Properties Penampang Girder



Gambar 4.15. Properties Penampang Melintang IWF 100 x 50

$$\begin{aligned}
 L_b &= 750 \text{ mm} & S_x &= I_x / (0,5 \times H) = 34200 \text{ mm}^3 \\
 A &= 1060 \text{ mm}^2 & S_y &= I_y / (0,5 \times B) = 4800 \text{ mm}^3 \\
 I_x &= 1710000 \text{ mm}^4 & Z_x &= 40086,08 \text{ mm}^3 \\
 I_y &= 120000 \text{ mm}^4 & Z_y &= 7200 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

B. Menghitung Beban *Ultimate* Rencana

1. Menghitung kuat tekan rencana ϕP_n

a. Hitung properties geometri penampang

$$\begin{aligned}
 r_x &= \sqrt{I_x / A} = 40,16 \text{ mm} \\
 r_y &= \sqrt{I_y / A} = 10,64 \text{ mm} \\
 J &= 1/3 (2 t_f^3 b + t_w^3 h_0) \\
 &= 1/3 (2 \times 6,8^3 \times 50) + 4,5^3 \times (100 - 6,8) \\
 &= 13312 \text{ mm}^4 \\
 C_w &= 1/4 I_y .h_0^2 \\
 &= 1/4 \times 120000 \times (100 - t_f)^2 \\
 &= 1/4 \times 120000 \times (100 - 6,8)^2 \\
 &= 2,61 \times 10^8 \text{ mm}^6 \\
 I_x + I_y &= 1830000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

b. Menentukan klasifikasi penampang berdasarkan Tabel B4.1a SNI 2020

$$\text{Sayap} : b_f/t_f = 3,68 < 0,56\sqrt{(E/F_y)} = 16,17 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 19,2 < 1,49\sqrt{(E/F_y)} = 43,01 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

Klasifikasi profil I adalah penampang tidak langsing maka kuat tekan rencana harus ditinjau berdasarkan tekuk lentur dan tekuk puntir.

c. Tegangan krisis tekuk lentur (SNI 2020 Bab E3)

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{750}{10,64} = 70,5 \text{ mm}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{70,5^2} = 396,86 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{396,86} = 0,6 > 2,25 ; \text{Maka tidak terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y = \left(0,658^{\frac{240}{396,86}}\right) \times 240 = 186,33 \text{ MPa}$$

d. Tegangan kritis tekuk puntir (SNI 2020 Bab E4)

Tekuk puntir untuk profil simetri ganda, maka F_{cr} dihitung berdasarkan bab E3 akan tetapi F_e dihitung berdasarkan Bab E4.

$$G = 77200 \text{ MPa (SNI Bab E4)}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[\frac{3,14^2 \times 200000 \times 2,61 \times 10^8}{750^2} + 77200 \times 13312 \right] \frac{1}{1830000}$$

$$F_e = 1060,77 \text{ MPa} = 1061 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{1061} = 0,23 > 2,25 ; \text{Maka tidak terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y = \left(0,658^{\frac{240}{1061}}\right) \times 240 = 218,32 \text{ MPa}$$

e. Kuat tekan nominal kolom profil I

F_{cr} tekuk puntir \geq F_{cr} tekuk lentur, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk Lentur.

Perhitungan kuat tekan nominalnya adalah sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} \times A = 186,33 \times 1060 : 1000 = 197,5 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \times 197,5 = \mathbf{177,76 \text{ kN}}$$

2. Menghitung kuat lentur rencana ϕM_n Arah X

a. Cek klasifikasi penampang Profil I

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,68 \leq 0,38\sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 19,2 \leq 3,76\sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{kompak}$$

b. Kuat lentur kondisi plastis

$$\begin{aligned} Z_x &= b \times t_f \times (h - t_f) + 0,25 \times t_w \times h^2 \\ &= 50 \times 6,8 \times (100 - 6,8) + 0,25 \times 4,5 \times (100 - 2 \times 6,8)^2 \\ &= 40086,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y = \mathbf{9,6 \text{ kN}}$$

c. Parameter LTB berdasarkan ketentuan bab F2

$$r_y = \sqrt{(I_y/A)} = 10,64 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{(E/F_y)} = 541 \text{ mm} = \mathbf{0,5 \text{ m}}$$

$$c = 1 \text{ dan } h_0 = 100 - 6,8 = 93,2 \text{ mm}$$

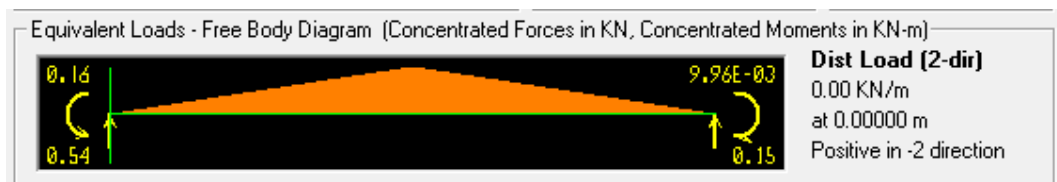
$$C_w = \frac{1}{4} I_y \times h_0^2 = \frac{1}{4} \times 120000 \times 93,2^2 = 2,61 \times 10^8 \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{120000 \times 2,61 \times 10^8}}{34200} = 163,51 \text{ mm} \rightarrow r_{ts} = 12,8 \text{ mm}$$

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

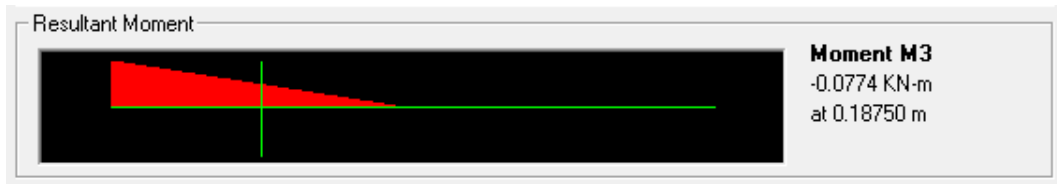
$$\begin{aligned} L_r &= 29684,23 \sqrt{29684,23 + \sqrt{0,0042^2 + 4,8 \times 10^{-6}}} \\ &= 2798,73 \text{ mm} = \mathbf{2,8 \text{ m}} \end{aligned}$$

d. Hitung faktor C_b untuk memasukkan pengaruh bentuk momen antara dua pertambatan lateral



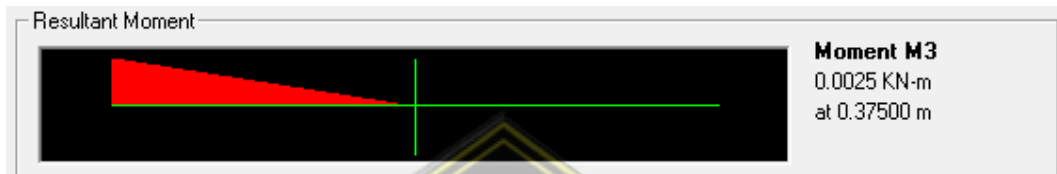
Gambar 4.16. Besar Reaksi Gelagar Melintang pada SAP 2000

$$M_A = 0,08 \text{ kNm}$$



Gambar 4.17. Besar M_A Pada Gelagar Melintang pada SAP 2000

$$M_B = 0,0025 \text{ kNm}$$



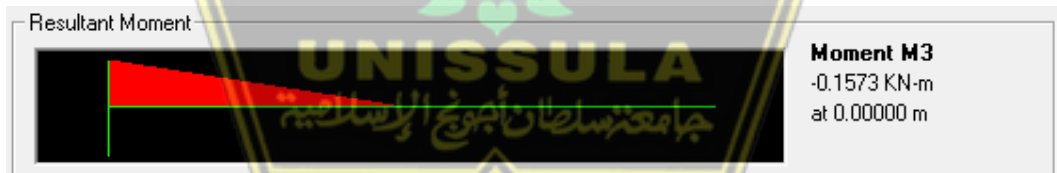
Gambar 4.88. Besar M_B Pada Gelagar Melintang pada SAP 2000

$$M_C = 0,037 \text{ kNm}$$



Gambar 4.19. Besar M_C Pada Gelagar Melintang pada SAP 2000

$$M_{MAX} = 0,16 \text{ kNm}$$



Gambar 4.20. Besar M_{MAX} Pada Gelagar Melintang

$$C_b = \frac{12,5|M_{max}|}{2,5|M_{max}| + 3|M_A| + 4|M_B| + 3|M_C|} = 2,63$$

- e. Untuk L_p (0,5 m) $<$ L_b (0,75 m) $<$ L_r (2,8 m) maka Momen nominal adalah sebagai berikut:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 2,63 (9,6 - (9,6 - 5,75) \times ((0,75 - 0,5) / (2,8 - 0,5)))$$

$$M_n = 24,34 \text{ kNm}$$

Karena $M_n \geq M_p$ maka nilai $M_n = M_p = 9,6 \text{ kNm}$ (artinya tidak terjadi LTB)

f. Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh

$$M_{cx} = \phi M_n = 0,9 \times 9,6 = \mathbf{8,66 \text{ kNm}}$$

g. Hitung rasio struktur gaya momen

$$M_u / M_n = 0,43 / 8,66 = 0,05 < 1,0 \dots \text{Aman}$$

3. Menghitung kuat lentur nominal arah sumbu Y

a. Cek klasifikasi penampang profil IWF

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,68 \leq 0,38\sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 19,2 \leq 1,49\sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{kompak}$$

b. Kondisi Leleh (momen plastis)

$$Z_y = 1,5 \times S_y = 1,5 \times 4800 = 7200 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = Z_y \times F_y = 7200 \times 240 = 1,73 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek batasan } 1,6 \times F_y \times S_y &= 1,6 \times 240 \times 4800 \\ &= 1,84 \text{ kNm} > 1,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka = 1,73 kNm

c. Kondisi tekuk lokal pada plat sayap

Elemen sayap yang kompak tidak terjadi tekuk lokal.

$$M_n = M_p = 1,73 \text{ kNm}$$

Maka nilai kuat lentur nominal profi IWF tersebut adalah

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \times 1,73 \text{ kNm} = 1,56 \text{ kNm}$$

$M_{cy} = 1,56 \text{ kNm}$

d. Menghitung persamaan interaksi gaya aksial dan momen lentur

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{0,0001}{177,76} = 0,00000056 \leq 0,2 \text{ maka:}$$

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

$$0,00000028 + \left(\frac{0,261}{8,66} + \frac{1,88 \times 10^{-5}}{1,56} \right) = \mathbf{0,027} < 1,0$$

e. Bandingkan dengan SAP 2000

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK						
Combo : DSTL2						
Units : KN, m, c						
Frame : 10	Design Sect: 100x50x4,5x6,8					
X Mid : 3.000	Design Type: Beam					
Y Mid : 0.375	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 0.000	Sect Class : Compact					
Length : 0.750	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0.000	RLLF : 1.000					
Area : 0.001	SMajor : 3.442E-05	rMajor : 0.040	AVMajor: 4.500E-04			
IMajor : 1.721E-06	SMinor : 5.693E-06	rMinor : 0.012	AVMinor: 5.667E-04			
IMinor : 0.000	ZMajor : 4.009E-05	E : 199947978.80				
Ixy : 0.000	ZMinor : 8.937E-06	Fy : 240000.000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
0.000	0.000	-0.261	-1.883E-05	-0.911	-3.752E-05	-0.006
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.030	= 0.000	+ 0.030	+ 0.000	0.950	OK

Gambar 4.21. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Gelagar Melintang Jembatan

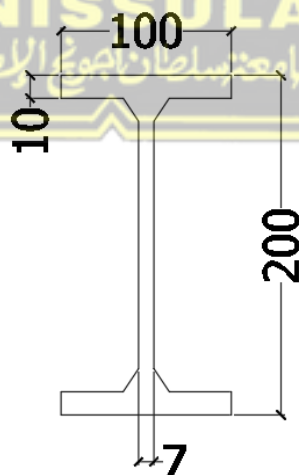
Hasil perhitungan manual mendekati perhitungan SAP 2000 dimana hasil perhitungan SAP 2000 yaitu **0,03**.

4.6.2. Desain Struktur Sekunder

1. Kolom

➤ Perhitungan Tiang Kolom Jembatan Angkat

A. Properties Penampang Kolom



Gambar 4.22. Properties Penampang Kolom IWF 200 x 100

$$\begin{aligned}
L_b &= 3000 \text{ mm} & S_x &= I_x / (0,5 \times H) = 217000 \text{ mm}^3 \\
A &= 3306 \text{ mm}^2 & S_y &= I_y / (0,5 \times B) = 27600 \text{ mm}^3 \\
I_x &= 21700000 \text{ mm}^4 & Z_x &= 246700 \text{ mm}^3 \\
I_y &= 1380000 \text{ mm}^4 & Z_y &= 41400 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

B. Menghitung Beban *Ultimate* Rencana

1. Menghitung kuat tekan rencana ϕP_n

a. Hitung properties geometri penampang

$$\begin{aligned}
r_x &= \sqrt{I_x / A} = 81,02 \text{ mm} \\
r_y &= \sqrt{I_y / A} = 20,43 \text{ mm} \\
J &= 1/3 (2 t_f^3 b + t_w^3 h_0) \\
&= 1/3 (2 \times 10^3 \times 100) + 7^3 \times (200 - 10) \\
&= 88390 \text{ mm}^4 \\
C_w &= 1/4 I_y \cdot h_0^2 \\
&= 1/4 \times 1380000 \times (200 - t_f)^2 \\
&= 1/4 \times 1380000 \times (200 - 10)^2 \\
&= 1,25 \times 10^{10} \text{ mm}^6 \\
I_x + I_y &= 23080000 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

b. Menentukan klasifikasi penampang berdasarkan Tabel B4.1a SNI 2020

$$\text{Sayap : } b/t_f = 5,0 \ll 0,56\sqrt{(E/F_y)} = 16,17 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

$$\text{Badan : } h/t_w = 25,7 \ll 1,49\sqrt{(E/F_y)} = 43,01 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

Klasifikasi profil I adalah penampang tidak langsing maka kuat tekan rencana harus ditinjau berdasarkan tekuk lentur dan tekuk puntir.

c. Tegangan krisis tekuk lentur (SNI 2020 Bab E3)

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{2400}{20,43} = 117,47$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{117,47^2} = 142,9 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{142,9} = 1,68 < 2,25 ; \text{ Maka tidak terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = (0,658^{F_y/F_e}) \times F_y = \left(0,658^{\frac{240}{142,9}}\right) \times 240 = 118,83 \text{ MPa}$$

d. Tegangan kritis tekuk puntir (SNI 2020 Bab E4)

Tekuk puntir untuk profil simetri ganda, maka F_{cr} dihitung berdasarkan Bab E3 akan tetapi F_e dihitung berdasarkan Bab E4.

$$G = 77200 \text{ MPa (SNI Bab E4)}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[\frac{3,14^2 \times 200000 \times 1,25 \times 10^{10}}{5500^2} + 77200 \times 88390 \right] \frac{1}{23080000}$$

$$F_e = 480,39 \text{ MPa} = 480 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{480} = 0,5 < 2,25 ; \text{ Maka tidak terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) \times F_y = \left(0,658 \frac{240}{480} \right) \times 240 = 194,71 \text{ MPa}$$

e. Kuat tekan nominal kolom profil I

F_{cr} tekuk puntir $\geq F_{cr}$ tekuk lentur, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk Lentur.

Perhitungan kuat tekan nominalnya adalah sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} \times A = 118,83 \times 3306 : 1000 = 392,9 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \times 392,9 = 353,57 \text{ kN}$$

2. Menghitung kuat lentur rencana ϕM_n Arah Sumbu X

a. Cek klasifikasi penampang Profil I

$$\text{Sayap : } b_f/t_f = 5,0 \leq 0,38 \sqrt{E/F_y} = 10,97 \rightarrow \text{kompak}$$

$$\text{Badan : } h/t_w = 25,7 \leq 3,76 \sqrt{E/F_y} = 108,54 \rightarrow \text{kompak}$$

b. Kuat lentur kondisi plastis

$$\begin{aligned} Z_x &= b \times t_f \times (h - t_f) + 0,25 \times t_w \times h^2 \\ &= 100 \times 10 \times (200 - 10) + 0,25 \times 7 \times (200 - 2 \times 10)^2 \\ &= 246700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y = 59,2 \text{ kN}$$

c. Parameter LTB berdasarkan ketentuan Bab F2

$$r_y = \sqrt{I_y/A} = 20,43 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{E/F_y} = 1038 \text{ mm} = 1,04 \text{ m}$$

$$c = 1 \text{ dan } h_0 = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{1}{4} I_y \times h_0^2 = \frac{1}{4} \times 1380000 \times 190^2 = 1,25 \times 10^{10} \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{1380000 \times 1,25 \times 10^{10}}}{217000} = 604,15 \text{ mm} \rightarrow r_{ts} = 24,6 \text{ mm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 57059,35 \sqrt{0,0021 + \sqrt{0,0021^2 + 4,8 \times 10^{-6}}}$$

$$= 4116,27 \text{ mm} = \mathbf{4,12 \text{ m}}$$

- d. Hitung faktor C_b untuk memasukkan pengaruh bentuk momen antara dua pertambahan lateral



Gambar 4.23. Besar Reaksi Kolom pada SAP 2000

$$M_{MAX} = 3,03 \text{ kNm}$$



Gambar 4.24. Besar M_{MAX} Kolom pada SAP 2000

$$C_b = \mathbf{1,0}$$

- e. Untuk L_p (1,04 m) $<$ L_b (3 m) $<$ L_r (4,12 m) maka Momen nominal adalah sebagai berikut:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1,0 (59,2 - (59,2 - 0,7 \times 240 \times 217000) \times ((3 - 1,04) / (4,12 - 1,04)))$$

$$= \mathbf{44,71 \text{ kN}}$$

Karena $M_n \leq M_p$ maka nilai $M_n = 44,71 \text{ kN}$ (artinya tidak terjadi LTB)

- f. Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh

$$M_{cx} = \phi M_n = 0,9 \times 44,71 = \mathbf{40,24 \text{ kNm}}$$

- g. Hitung rasio struktur gaya momen

$$M_u / M_n = 3,03 / 53,29 = 0,075 < 1,0 \dots \text{Aman}$$

3. Menghitung kuat lentur nominal arah sumbu Y

a. Cek klasifikasi penampang profil IWF

$$\text{Sayap} : b/t_f = 5,0 \leq 0,38\sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{Kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 25,7 \leq 3,76\sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{Kompak}$$

b. Kondisi Leleh (momen plastis)

$$Z_y = 1,5 \times S_y = 1,5 \times 27600 = 41400 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = Z_y \times F_y = 41400 \times 240 = 9,94 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek batasan } 1,6 \times F_y \times S_y &= 1,6 \times 240 \times 27600 \\ &= 10,6 \text{ kNm} > 9,94 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka = 9,94 kNm

c. Kondisi tekuk lokal pada plat sayap

Elemen sayap yang kompak tidak terjadi tekuk lokal.

$$M_n = M_p = 9,94 \text{ kNm}$$

Maka nilai kuat lentur nominal profi IWF tersebut adalah

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \times 9,94 \text{ kNm} = 8,94 \text{ kNm}$$

$M_{cy} = 8,94 \text{ kNm}$

d. Menghitung persamaan interaksi gaya aksial dan momen lentur

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{9,281}{353,6} = 0,03 \leq 0,2 \text{ maka:}$$

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

$$0,013 + \left(\frac{4,24}{40,24} + \frac{2,815 \times 10^{-5}}{8,94} \right) = 0,12 < 1,0$$

e. Bandingkan dengan SAP 2000

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK							
Combo	: DSTL1						
Units	: KN, m, C						
Frame	: 1	Design Sect:	200x100x7x10				
X Mid	: 3.200	Design Type:	Column				
Y Mid	: 0.000	Frame Type:	Moment Resisting Frame				
Z Mid	: 1.250	Sect Class:	Compact				
Length	: 2.500	Major Axis:	0.000 degrees counterclockwise from local 3				
Loc	: 2.500	RLLF	: 1.000				
Area	: 0.003	SMajor	: 2.147E-04	rMajor	: 0.081	AUMajor	: 0.001
IMajor	: 2.147E-05	SMinor	: 3.344E-05	rMinor	: 0.023	AUMinor	: 0.002
IMinor	: 1.672E-06	ZMajor	: 2.467E-04	E	: 199947978.80		
Ixy	: 0.000	ZMinor	: 5.221E-05	Fy	: 240000.000		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu	
2.500	-9.281	4.244	2.815E-05	-0.668	-5.624E-05	3.522E-06	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
(H1-1b)	0.093	0.013	0.080	0.000	0.950	OK	

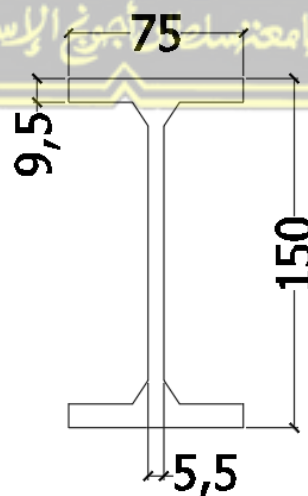
Gambar 4.25. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Kolom Jembatan Angkat

Hasil perhitungan manual mendekati perhitungan SAP 2000 dimana hasil perhitungan SAP 2000 yaitu **0,093**.

2. Lengan Atas

➤ Perhitungan Tiang Lengan Atas Jembatan Angkat

A. Properties Penampang Profil Lengan Atas



Gambar 4.26. Properties Penampang Lengan Atas IWF 200 x 150

$$\begin{aligned}
L_b &= 3000 \text{ mm} & S_x &= I_x / (0,5 \times H) = 109200 \text{ mm}^3 \\
A &= 2183 \text{ mm}^2 & S_y &= I_y / (0,5 \times B) = 15467 \text{ mm}^3 \\
I_x &= 8190000 \text{ mm}^4 & Z_x &= 123702,6 \text{ mm}^3 \\
I_y &= 580000 \text{ mm}^4 & Z_y &= 23200 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

B. Menghitung Beban *Ultimate* Rencana

1. Menghitung kuat tekan rencana ϕP_n

a. Hitung properties geometri penampang

$$\begin{aligned}
r_x &= \sqrt{I_x / A} = 61,25 \text{ mm} \\
r_y &= \sqrt{I_y / A} = 16,3 \text{ mm} \\
J &= 1/3 (2 t_f^3 b + t_w^3 h_0) \\
&= 1/3 (2 \times 9,5^3 \times 75) + 5,5^3 \times (150 - 9,5) \\
&= 50661 \text{ mm}^4 \\
C_w &= 1/4 I_y \cdot h_0^2 \\
&= 1/4 \times 580000 \times (200 - t_f)^2 \\
&= 1/4 \times 580000 \times (200 - 9,5)^2 \\
&= 2,86 \times 10^9 \text{ mm}^6 \\
I_x + I_y &= 8770000 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

b. Menentukan klasifikasi penampang berdasarkan Tabel 4B.1a SNI 2020

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,95 \ll 0,56\sqrt{E/F_y} = 16,17 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 23,8 \ll 1,49\sqrt{E/F_y} = 43,01 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

Klasifikasi profil I adalah penampang tidak langsing maka kuat tekan rencana harus ditinjau berdasarkan tekuk lentur dan tekuk puntir.

c. Tegangan krisis tekuk lentur (SNI 2020 Bab E3)

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{3000}{16,3} = 184,05 \text{ mm}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{184,05^2} = 58,21 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{58,21} = 4,12 > 2,25 ; \text{ Maka terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e = 0,877 \times 58,21 = 51,05 \text{ MPa}$$

- d. Tegangan kritis tekuk puntir (SNI 2020 Bab E4)

Tekuk puntir untuk profil simetri ganda, maka F_{cr} dihitung berdasarkan Bab E3 akan tetapi F_e dihitung berdasarkan Bab E4.

$$G = 77200 \text{ MPa (SNI Bab E4)}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[\frac{3,14^2 \times 200000 \times 2,86 \times 10^9}{3000^2} + 77200 \times 50661 \right] \frac{1}{8770000}$$

$$F_e = 517,46 \text{ MPa} = 517 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{517} = 0,46 > 2,25 ; \text{ Maka tidak terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = (0,658 \frac{F_y}{F_e}) \times F_y = \left(0,658 \frac{240}{517} \right) \times 240 = 197,65 \text{ MPa}$$

- e. Kuat tekan nominal kolom profil I

F_{cr} tekuk puntir $\geq F_{cr}$ tekuk lentur, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk Lentur.

Perhitungan kuat tekan nominalnya adalah sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} \times A = 51,05 \times 2183 : 1000 = 111,4 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \times 111,4 = \mathbf{100,3 \text{ kN}}$$

2. Menghitung kuat lentur rencana ϕM_n Arah X

- a. Cek klasifikasi penampang Profil I

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,95 \leq 0,38 \sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{Kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 23,8 \leq 3,76 \sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{Kompak}$$

- b. Kuat lentur kondisi plastis

$$\begin{aligned} Z_x &= b \times t_f \times (h - t_f) + 0,25 \times t_w \times h^2 \\ &= 7 \times 9,5 \times (150 - 9,5) + 0,25 \times 5,5 \times (150 - 2 \times 9,5)^2 \\ &= 123702,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y = \mathbf{29,7 \text{ kN}}$$

- c. Parameter LTB berdasarkan ketentuan Bab F2

$$r_y = \sqrt{(I_y/A)} = 16,3 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{(E/F_y)} = 828 \text{ mm} = \mathbf{0,8 \text{ m}}$$

$$c = 1 \text{ dan } h_0 = 150 - 9,5 = 140,5 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{1}{4} I_y \times h_0^2 = \frac{1}{4} \times 580000 \times 140,5^2 = 2,86 \times 10^9 \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{580000 \times 2,86 \times 10^9}}{109200} = 373,12 \text{ mm} \rightarrow r_{ts} = 19,3 \text{ mm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 44841,61 \sqrt{0,0033 + \sqrt{0,0033^2 + 4,8 \times 10^{-6}}}$$

$$= 3820,98 \text{ mm} = 3,82 \text{ m}$$

- d. Hitung faktor C_b untuk memasukkan pengaruh bentuk momen antara dua pertambahan lateral



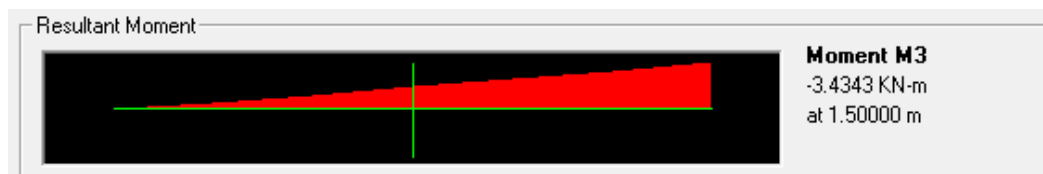
Gambar 4.27. Besar Reaksi Lengan Atas pada SAP 2000

$$M_A = -1,68 \text{ kNm}$$



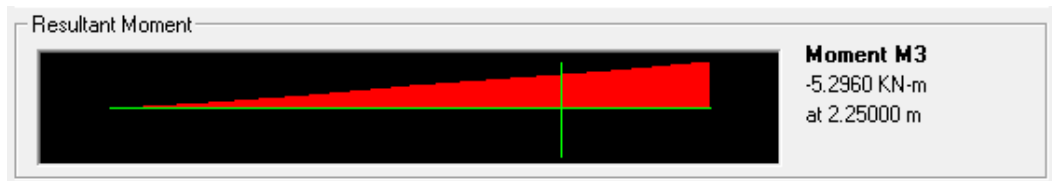
Gambar 4.28. Besar M_A Lengan Atas pada SAP 2000

$$M_B = -3,43 \text{ kNm}$$



Gambar 4.29. Besar M_B Lengan Atas pada SAP 2000

$$M_C = -5,29 \text{ kNm}$$



Gambar 4.30. Besar M_C Lengan Atas pada SAP 2000

$$M_{MAX} = -7,24 \text{ kNm}$$



Gambar 4.31. Besar M_{MAX} Lengan Atas pada SAP 2000

$$C_b = \frac{12,5|M_{max}|}{2,5|M_{max}| + 3|M_A| + 4|M_B| + 3|M_C|} = 1,75$$

- e. Untuk $L_p (0,8\text{m}) < L_b (3\text{m}) < L_r (3,82\text{m})$ maka Momen nominal adalah sebagai berikut

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

$$M_n = 1,75 (29,7 - (29,7 - 18,35) \times ((3 - 0,8) / (3,82 - 0,8)))$$

$$= \mathbf{37,51 \text{ kN}}$$

Karena $M_n \geq M_p$ maka nilai $M_n = M_p = 29,69 \text{ kN}$ (artinya tidak terjadi LTB)

- f. Kuat lentur balok ditentukan oleh kondisi leleh

$$M_{cx} = \phi M_n = 0,9 \times 29,69 = \mathbf{26,72 \text{ kNm}}$$

- g. Hitung rasio struktur gaya momen

$$M_u / M_n = 7,24 / 26,72 = 0,27 < 1,0 \dots \text{Aman}$$

3. Menghitung kuat lentur nominal arah Y

- a. Cek klasifikasi penampang profil IWF

$$\text{Sayap} : b/t_f = 3,95 \leq 0,38 \sqrt{(E/F_y)} = 10,97 \rightarrow \text{Kompak}$$

$$\text{Badan} : h/t_w = 23,8 \leq 3,76 \sqrt{(E/F_y)} = 108,54 \rightarrow \text{Kompak}$$

- b. Kondisi leleh (momen plastis)

$$Z_y = 1,5 \times S_y = 1,5 \times 15467 = 23200 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = Z_y \times F_y = 23200 \times 240 = 5,68 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek batasan } 1,6 \times F_y \times S_y &= 1,6 \times 240 \times 15467 \\ &= 5,94 \text{ kNm} > 5,68 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka = 5,68 kNm

c. Kondisi tekuk lokal pada pelat sayap

Elemen sayap yang kompak tidak terjadi tekuk lokal.

$$M_n = M_p = 5,68 \text{ kNm}$$

Maka nilai kuat lentur nominal profi IWF tersebut adalah

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \times 5,68 \text{ kNm} = 5,01 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = \mathbf{5,01 \text{ kNm}}$$

d. Menghitung persamaan interaksi gaya aksial dan momen lentur

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{0,142}{372,81} = 0,01 \leq 0,2 \text{ maka:}$$

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

$$0,003 + \left(\frac{10}{26,72} + \frac{8,08 \times 10^{-4}}{5,01} \right) = \mathbf{0,38} < 1,0$$

e. Bandingkan dengan SAP 2000

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK							
Combo : DSTL1							
Units : KN, m, C							
Frame :	12	Design Sect:	150x75x5,5x9,5				
X Mid :	2.200	Design Type:	Beam				
Y Mid :	0.000	Frame Type :	Moment Resisting Frame				
Z Mid :	3.000	Sect Class :	Compact				
Length :	3.000	Major Axis :	0.000 degrees counterclockwise from local 3				
Loc :	3.000	RLLF :	1.000				
Area :	0.002	SMajor :	1.076E-04	rMajor :	0.061	AUMajor:	8.250E-04
IMajor :	8.074E-06	SMinor :	1.786E-05	rMinor :	0.018	AUMinor:	0.001
IMinor :	0.000	ZMajor :	1.237E-04	E :	199947978.80		
Ixy :	0.000	ZMinor :	2.771E-05	Fy :	240000.000		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu	
3.000	0.647	-10.136	8.000E-04	3.726	-6.888E-04	-4.013E-04	
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0.781	= 0.000	+ 0.780	+ 0.000	0.950	OK	

Gambar 4.32. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Lengan Atas Jembatan Angkat

Hasil perhitungan manual mendekati perhitungan SAP 2000 dimana hasil perhitungan SAP 2000 yaitu **0,78**.

3. Elemen Tarik

➤ Perhitungan Tiang Elemen Tarik Jembatan Angkat

A. Properties Penampang

Property Data

Section Name		Pejal 2cm	
Properties			
Cross-section (axial) area	312.1445	Section modulus about 3 axis	775.3631
Torsional constant	15508.482	Section modulus about 2 axis	775.3631
Moment of Inertia about 3 axis	7753.6315	Plastic modulus about 3 axis	1320.5235
Moment of Inertia about 2 axis	7753.6315	Plastic modulus about 2 axis	1320.5235
Shear area in 2 direction	281.803	Radius of Gyration about 3 axis	4.984
Shear area in 3 direction	281.803	Radius of Gyration about 2 axis	4.984

Gambar 4.33 Data Properties Penampang Silinder Pejal D20

$$L_b = 3080 \text{ mm}$$

$$A = 312 \text{ mm}^2$$

$$I = 7753 \text{ mm}^4$$

$$S = 775,4 \text{ mm}^3$$

$$Z = 1320,5 \text{ mm}^3$$

B. Menghitung Beban *Ultimate* Rencana

1. Menghitung kuat tekan rencana ϕP_n

a. Hitung properties geometri penampang

$$r = \sqrt{I / A} = 4,98 \text{ mm}$$

b. Tegangan krisis tekuk lentur (SNI 2020 Bab E3)

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{3080}{4,98} = 617,98 \text{ mm}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{617,98^2} = 5,16 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{5,16} = 46,48 > 2,25 ; \text{ Maka terjadi tekuk inelastic sehingga :}$$

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e = 0,877 \times 5,16 = 4,53 \text{ MPa}$$

c. Kuat tekan nominal kolom profil Silinder

Tekuk yang terjadi adalah tekuk Lentur. Perhitungan kuat tekan nominalnya adalah sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} \times A = 4,53 \times 312,14 : 1000 = 1413,5 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \times 1413,5 = \mathbf{1272,14 \text{ kN}}$$

LELEH

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

$$M_n = M_p = 240 \times 1320,52$$

$$M_n = 316924,8 \text{ Nmm} = 0,32 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 0,32 \text{ kNm} = 0,29 \text{ kNm} = 0,029 \text{ tm}$$

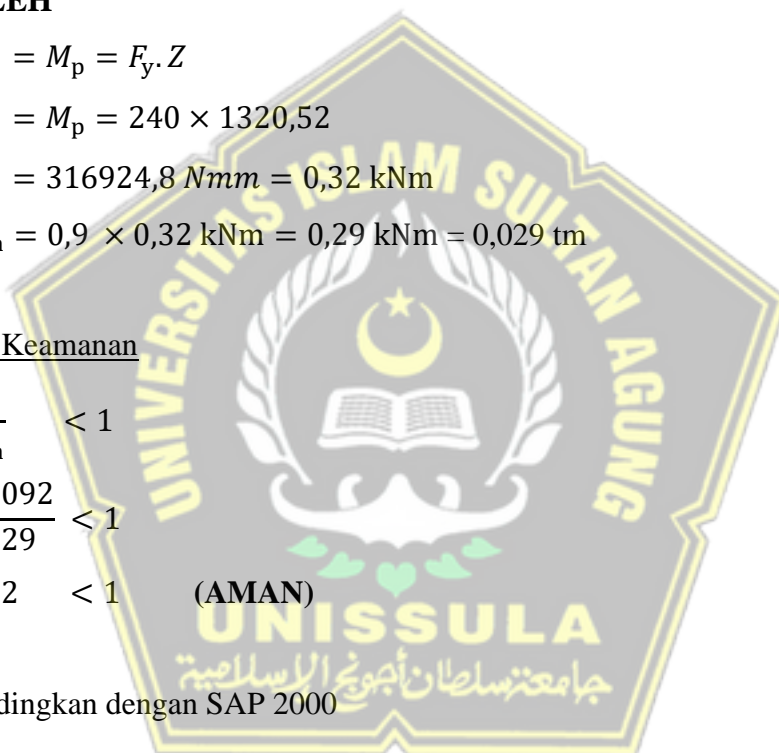
Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,00092}{0,029} < 1$$

$$0,032 < 1 \quad (\text{AMAN})$$

d. Bandingkan dengan SAP 2000

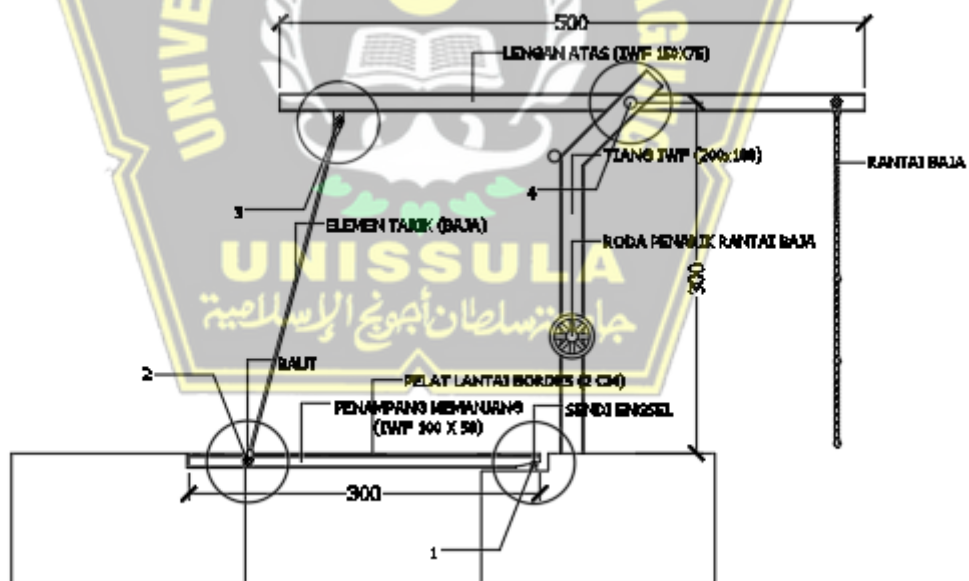


Frame : 20	Design Sect: Pejal 2cm					
X Mid : 0.350	Design Type: Brace					
Y Mid : 0.000	Frame Type: Moment Resisting Frame					
Z Mid : 1.500	Sect Class: Non-Compact					
Length : 3.081	Major Axis: 0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 1.540	RLLF : 1.000					
Area : 3.121E-04	SMajor : 0.000	rMajor : 0.005	AUMajor: 2.818E-04			
IMajor : 0.000	SMinor : 0.000	rMinor : 0.005	AUMinor: 2.818E-04			
IMinor : 0.000	ZMajor : 1.321E-06	E : 199947978.80				
Ixy : 0.000	ZMinor : 1.321E-06	Fy : 240000.000				
DESIGN MESSAGES						
Warning: $l/r > 300$ (AISC-LRFD B7, AISC-LRFD SAM 2)						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
1.540	2.866	0.009	3.465E-04	0.000	6.461E-05	7.164E-05
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.077	0.021	0.054	0.002	0.950	OK
AXIAL FORCE DESIGN						

Gambar 4.34. Hasil Perhitungan SAP 2000 pada Element Tarik Jembatan Angkat

Hasil perhitungan manual mendekati perhitungan SAP 2000 dimana hasil perhitungan SAP 2000 yaitu 0,077.

4.7. Desain Engsel



Gambar 4.35. Perletakan Engsel

4.7.1. Engsel I

➤ Data perancangan engsel

Diameter engsel : 40 mm

Property Data

Section Name: d40

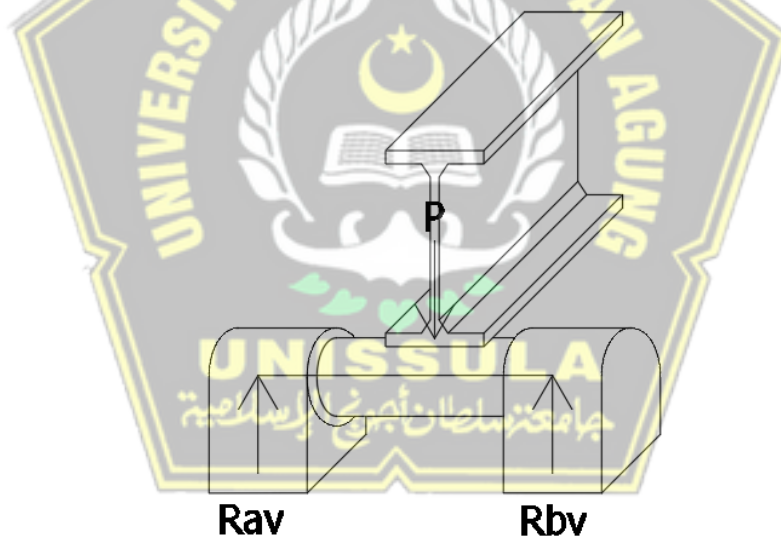
Properties

Cross-section (axial) area	1248.5781	Section modulus about 3 axis	6202.9052
Torsional constant	248118.5	Section modulus about 2 axis	6202.9052
Moment of Inertia about 3 axis	124058.1	Plastic modulus about 3 axis	10564.188
Moment of Inertia about 2 axis	124058.1	Plastic modulus about 2 axis	10564.188
Shear area in 2 direction	1127.1885	Radius of Gyration about 3 axis	9.9679
Shear area in 3 direction	1127.1885	Radius of Gyration about 2 axis	9.9679

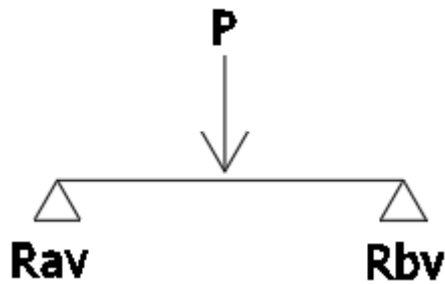
OK

Gambar 4.36. Data Properties Silinder Pejal untuk Engsel I

➤ **Perhitungan Analisa Struktur Pada Engsel**



Gambar 4.37. Desain 3D Engsel I



Gambar 4.38. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel I

a. Pada Keadaan Saat Layan

$$R_{AV} = R_{BV}$$

➤ Tepi

$$R_{AV} = \frac{P}{2} = \frac{0,21}{2} = 0,105 \text{ t}$$

$$M = 0,105 \times 0,05 = 0,00525 \text{ tm}$$

$$V = R_{AV} = 0,105 \text{ t}$$

➤ Tengah

$$R_{AV} = \frac{P}{2} = \frac{0,7}{2} = 0,35 \text{ t}$$

$$M = 0,35 \times 0,05 = 0,0175 \text{ tm}$$

$$V = R_{AV} = 0,35 \text{ t}$$

Pada Tabel 4.2 merupakan perhitungan momen dan geser pada engsel I yang dihitung pada saat jembatan layan kendaraan, sesaat diangkat dalam keadaan 0, 30, 60 dan 90 derajat.

Tabel 4.2. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel I

Keadaan	Tepi				Tengah			
	<i>P</i> (t)	<i>R_{AV}</i> (t)	<i>M</i> (tm)	<i>V</i> (t)	<i>P</i> (t)	<i>R_{AV}</i> (t)	<i>M</i> (tm)	<i>V</i> (t)
Saat layan	0,21	0,105	0,00525	0,105	0,7	0,35	0,0175	0,35
0°	0,12	0,06	0,003	0,06	0,17	0,085	0,00425	0,085

30 ⁰	0,13	0,065	0,00325	0,065	0,2	0,1	0,005	0,1
60 ⁰	0,16	0,08	0,004	0,08	0,2	0,1	0,005	0,1
90 ⁰	0,21	0,105	0,00525	0,105	0,4	0,2	0,01	0,2

Didapat momen dan geser terbesar Engsel I pada keadaan 0⁰ saat layan kendaraan yaitu:

$$M = 0,0175 \text{ tm}$$

$$V = 0,35 \text{ t}$$

Maka,

LELEH

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

$$M_n = M_p = 240 \times 10564,188$$

$$M_n = 2535405,1 \text{ Nmm} = 2,54 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2,54 \text{ kNm} = 2,28 \text{ kNm} = 0,23 \text{ tm}$$

Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,0175}{0,23} < 1$$

$$0,073 < 1$$

(AMAN)

GESER

$$V_n = F_{cr} \times A_g / 2$$

$$F_{cr} = 0,6 \times F_y$$

$$F_{cr} = 0,6 \times 240$$

$$F_{cr} = 144 \text{ MPa} = 0,0144 \text{ ton/mm}^2$$

$$V_n = 0,0144 \times 1248,58 / 2$$

$$V_n = 8,99 \text{ t}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 8,99 = 8,09 \text{ t}$$

Cek Keamanan

$$\frac{V_u}{\phi V_n} < 1$$

$$\frac{0,35}{8,09} < 1$$

$$0,043 < 1 \quad (\text{AMAN})$$



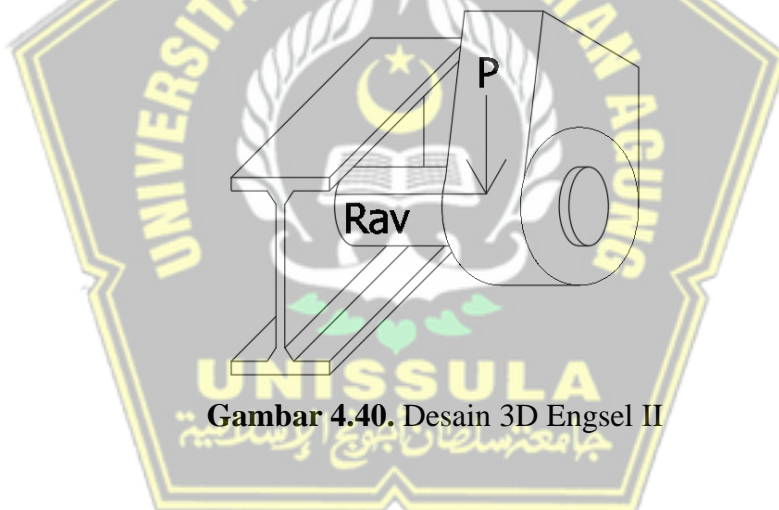
Property Data

Section Name		d30	
Properties			
Cross-section (axial) area	702.3252	Section modulus about 3 axis	2616.8506
Torsional constant	78507.43	Section modulus about 2 axis	2616.8506
Moment of Inertia about 3 axis	39252.76	Plastic modulus about 3 axis	4456.7669
Moment of Inertia about 2 axis	39252.76	Plastic modulus about 2 axis	4456.7669
Shear area in 2 direction	634.0382	Radius of Gyration about 3 axis	7.4759
Shear area in 3 direction	634.0382	Radius of Gyration about 2 axis	7.4759

OK

Gambar 4.39. Data Properties Silinder Pejal untuk engsel II

➤ **Perhitungan Analisa Struktur Engsel II**



Gambar 4.40. Desain 3D Engsel II



Gambar 4.41. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel II

- Pada Keadaan 0°

$$R_{AV} = P = 0,21 \text{ t}$$

$$M = 0,21 \times 0,2 = 0,042 \text{ tm}$$

$$V = R_{AV} = 0,21 \text{ t}$$

Pada Tabel 4.3 merupakan perhitungan momen dan geser pada engsel II yang dihitung pada saat jembatan diangkat dalam keadaan 0, 30, 60 dan 90 derajat.

Tabel 4.3. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel II

Keadaan	P (t)	R_{AV} (t)	M (tm)	V (t)
0°	0,21	0,21	0,042	0,21
30°	0,2	0,2	0,04	0,2
60°	0,19	0,19	0,038	0,19
90°	0,18	0,18	0,036	0,18

Didapat momen dan geser terbesar pada keadaan 0° yaitu sebagai berikut :

$$M = 0,042 \text{ tm}$$

$$V = 0,21 \text{ t}$$

Maka,

LELEH

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

$$M_n = M_p = 240 \times 4456,77$$

$$M_n = 1,07 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1,07 \text{ kNm} = 0,97 \text{ kNm} = 0,097 \text{ tm}$$

Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,042}{0,097} < 1$$

$$0,44 < 1 \quad \text{(AMAN)}$$

GESER

$$V_n = F_{cr} \times A_g / 2$$

$$F_{cr} = 0,6 \times F_y$$

$$F_{cr} = 0,6 \times 240$$

$$F_{cr} = 144 \text{ Mpa} = 0,0144 \text{ ton/mm}^2$$

$$V_n = 0,0144 \times 702.325 / 2$$

$$V_n = 5,06 \text{ t}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 5,06 = 4,55 \text{ t}$$

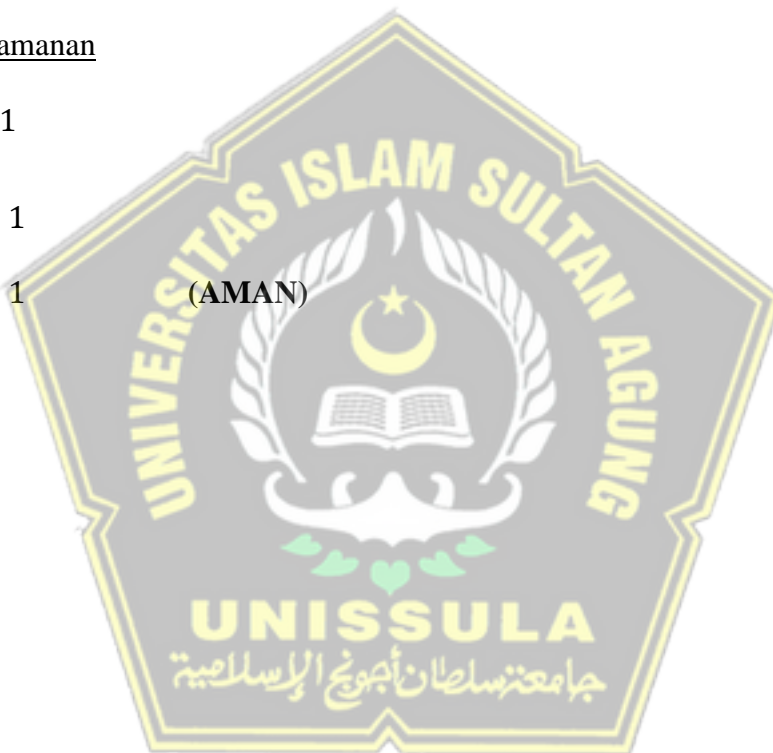
Cek Keamanan

$$\frac{V_u}{\phi V_n} < 1$$

$$\frac{0,21}{4,55} < 1$$

$$0,12 < 1$$

(AMAN)



4.7.3. Engsel III

➤ **Data perancangan engsel**

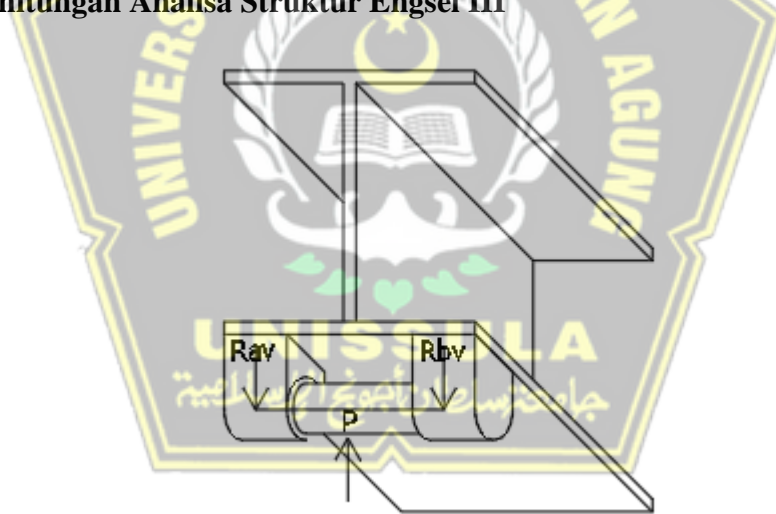
Diameter engsel : 30 mm

Property Data

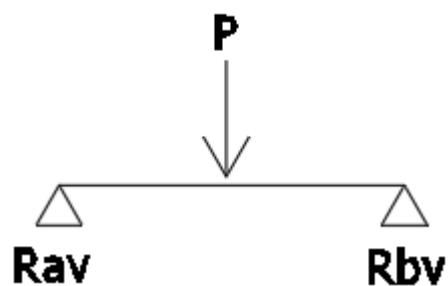
Section Name		d30	
Properties			
Cross-section (axial) area	702.3252	Section modulus about 3 axis	2616.8506
Torsional constant	78507.43	Section modulus about 2 axis	2616.8506
Moment of Inertia about 3 axis	39252.76	Plastic modulus about 3 axis	4456.7669
Moment of Inertia about 2 axis	39252.76	Plastic modulus about 2 axis	4456.7669
Shear area in 2 direction	634.0382	Radius of Gyration about 3 axis	7.4759
Shear area in 3 direction	634.0382	Radius of Gyration about 2 axis	7.4759

Gambar 4.42. Data Properties Silinder Pejal pada Engsel III

➤ Perhitungan Analisa Struktur Engsel III



Gambar 4.43. Desain 3D Engsel III



Gambar 4.44. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel III

- Pada Keadaan 0^0

$$R_{AV} = \frac{P}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ t}$$

$$M = 0,1 \times 0,1 = 0,001 \text{ tm}$$

$$V = R_{AV} = 0,1 \text{ t}$$

Pada Tabel 4.4 merupakan perhitungan momen dan geser pada engsel III yang dihitung pada saat jembatan diangkat dalam keadaan 0, 30, 60 dan 90 derajat.

Tabel 4.4. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel III

Keadaan	P (t)	R_{AV} (t)	M (tm)	V (t)
0^0	0.2	0.1	0.01	0.1
30^0	0.14	0.07	0.007	0.07
60^0	0.02	0.01	0.001	0.01
90^0	0.03	0.015	0.0015	0.015

Didapat momen dan geser terbesar pada keadaan 0^0 sebagai berikut :

$$M = 0,01 \text{ tm}$$

$$V = 0,1 \text{ t}$$

Maka,

LELEH

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

$$M_n = M_p = 240 \times 4456,78 = 1,07 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_p = 0,9 \times 1,07 = 0,97 \text{ kNm} = 0,097 \text{ tm}$$

Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,01}{0,097} < 1$$

$$0,11 < 1 \quad (\text{AMAN})$$

GESER

$$V_n = F_{cr} \times A_g / 2$$

$$F_{cr} = 0,6 \times F_y$$

$$F_{cr} = 0,6 \times 240$$

$$F_{cr} = 144 \text{ Mpa} = 0,0144 \text{ ton/mm}^2$$

$$V_n = 0,0144 \times 702,33 / 2$$

$$V_n = 5,06 \text{ t}$$

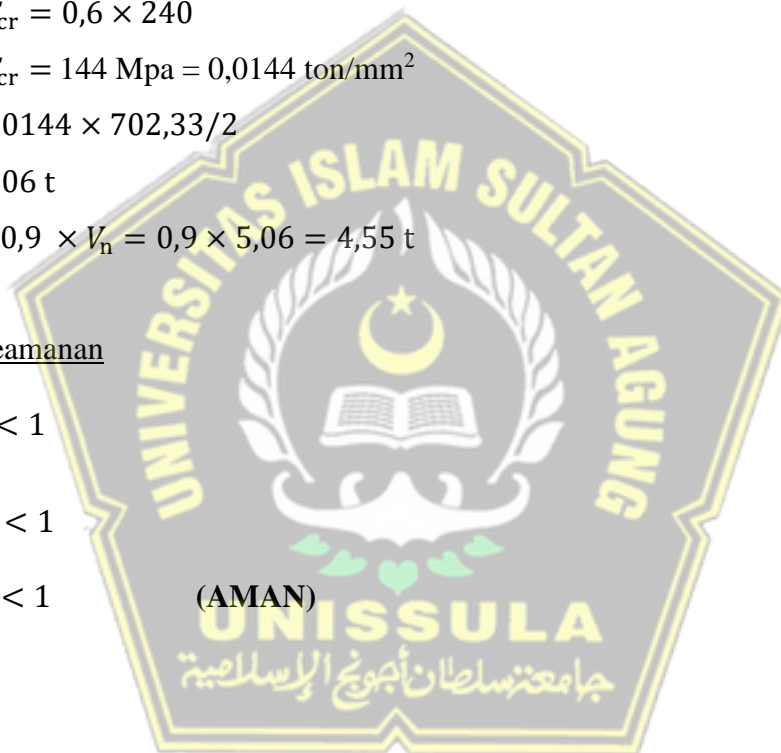
$$\phi V_n = 0,9 \times V_n = 0,9 \times 5,06 = 4,55 \text{ t}$$

Cek Keamanan

$$\frac{V_u}{\phi V_n} < 1$$

$$\frac{0,1}{4,55} < 1$$

$$0,022 < 1 \quad (\text{AMAN})$$



4.7.4. Engsel IV

➤ Data perancangan engsel

Diameter engsel : 40 mm

Property Data

Section Name: d40

Properties:

Cross-section (axial) area	1248.5781	Section modulus about 3 axis	6202.9052
Torsional constant	248118.5	Section modulus about 2 axis	6202.9052
Moment of Inertia about 3 axis	124058.1	Plastic modulus about 3 axis	10564.188
Moment of Inertia about 2 axis	124058.1	Plastic modulus about 2 axis	10564.188
Shear area in 2 direction	1127.1885	Radius of Gyration about 3 axis	9.9679
Shear area in 3 direction	1127.1885	Radius of Gyration about 2 axis	9.9679

OK

Gambar 4.45. Data Properties Silinder Pejal pada Engsel IV

➤ **Analisa Struktur Engsel IV**



Gambar 4.46. Desain 3D Engsel IV



Gambar 4.47. Permodelan 2D Analisa Struktur pada Engsel IV

- Pada Keadaan 0^0

$$R_{AV} = P = 0,67 \text{ tm}$$

$$M = 0,67 \times 0,1 = 0,067 \text{ t}$$

$$V = R_{AV} = 0,67 \text{ tm}$$

Pada Tabel 4.5 merupakan perhitungan momen dan geser pada engsel IV yang dihitung pada saat jembatan diangkat dalam keadaan $0, 30, 60$ dan 90 derajat.

Tabel 4.5. Perhitungan Momen dan Geser pada Engsel IV

Keadaan	P (t)	R_{AV} (t)	M (tm)	V (t)
0^0	0,67	0,67	0,067	0,67
30^0	0,65	0,65	0,065	0,65
60^0	0,61	0,61	0,061	0,61
90^0	0,45	0,45	0,045	0,45

Didapat momen dan geser terbesar pada keadaan 0^0 yaitu dengan

$$M = 0,067 \text{ tm}$$

$$V = 0,67 \text{ t}$$

Maka,

LELEH

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

$$M_n = M_p = 240 \times 10564,188 = 2,54 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_p = 0,9 \times 2,54 = 2,28 \text{ kNm} = 0,23 \text{ tm}$$

Cek Keamanan

$$\frac{M_u}{\phi M_n} < 1$$

$$\frac{0,067}{0,23} < 1$$

$$0,29 < 1 \quad (\text{AMAN})$$

GESER

$$V_n = F_{cr} \times A_g / 2$$

$$F_{cr} = 0,6 \times F_y$$

$$F_{cr} = 0,6 \times 240$$

$$F_{cr} = 144 \text{ MPa} = 0,0144 \text{ ton/mm}^2$$

$$V_n = 0,0144 \times 1248,58 / 2$$

$$V_n = 8,99 \text{ t}$$

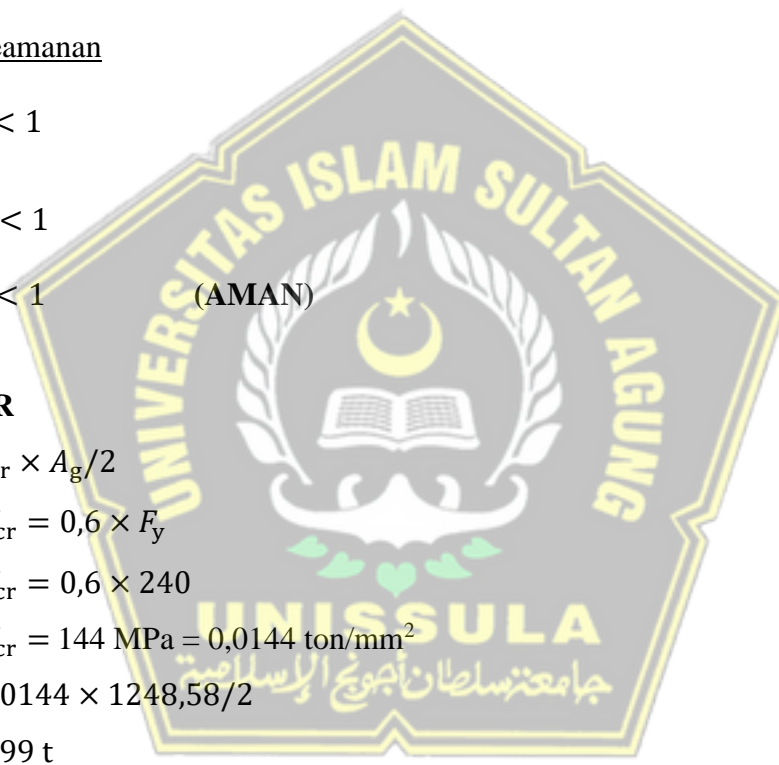
$$\phi V_n = 0,9 \times V_n = 0,9 \times 8,99 = 8,09 \text{ t}$$

Cek Keamanan

$$\frac{V_u}{\phi V_n} < 1$$

$$\frac{0,67}{8,09} < 1$$

$$0,083 < 1 \quad (\text{AMAN})$$



4.8. Pedoman Operasional Jembatan Angkat

4.8.1. Ketentuan Umum

A. Umum

Jembatan Angkat adalah sebuah jembatan yang dalam pengoperasiannya dapat digunakan untuk transportasi darat sekaligus juga dapat digunakan untuk melintas kapal pada air atau sungai dibawah jembatan tersebut.

B. Tujuan

Tujuan dari adanya jembatan ini adalah untuk tempat lalu lintas antar satu tempat ke tempat lain yang di antara kedua tempat tersebut terdapat hambatan yaitu sungai yang sekaligus pada sungai tersebut bisa digunakan untuk tempat lalu lintas untuk transportasi air.

4.8.2. Proses/Tahapan Operasional

A. Saat Operasional Transportasi Darat

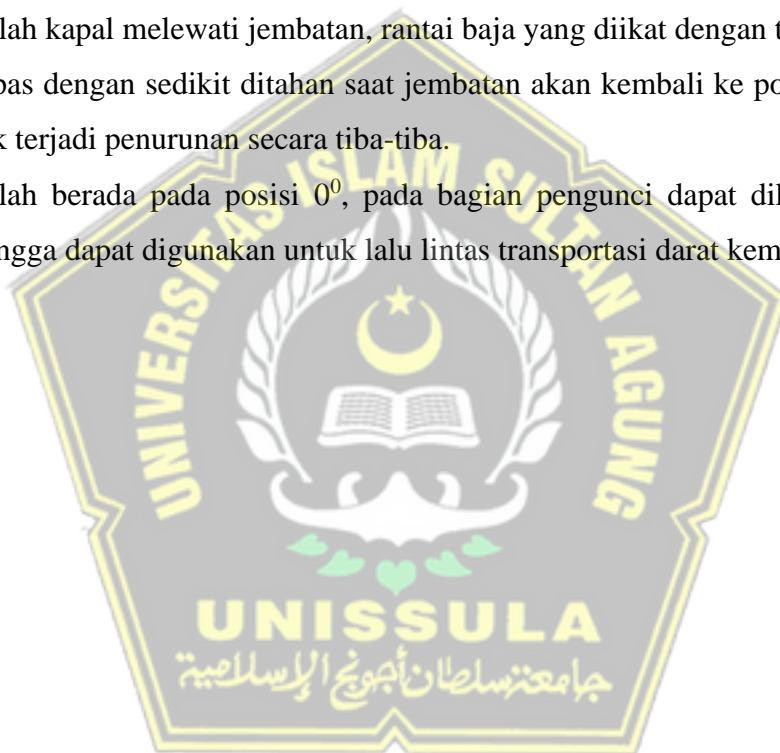
Seperti pada jembatan umumnya, yaitu jembatan ini dapat dilalui oleh kendaraan/transportasi darat untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain yang dipisahkan oleh sungai. Untuk ketentuan operasional bagi transportasi darat pada Jembatan Angkat ini maksimal adalah dilalui kendaraan roda dua atau sepeda motor.

B. Saat Operasional Transportasi Air

Selain dapat digunakan untuk lalu lintas transportasi darat, Jembatan Angkat ini juga dapat dilalui transportasi air, dengan syarat lebar transportasi air yaitu sebesar 2 m (tergantung bentang jembatan). Sistem operasionalnya cukup mudah yaitu :

1. Pada saat ada perahu atau kapal yang akan lewat, maka lampu lalu lintas untuk transportasi darat akan dihidupkan untuk menghentikan aktivitas yang akan melewati jembatan.

2. Pada saat tidak ada aktivitas yang berada di lantai jembatan, pengunci pada ujung jembatan akan dilepas dengan dilanjutkan menarik tali pada bagian *counter weight* supaya jembatan dapat terangkat.
3. Kemudian jembatan diangkat secara manual dengan menarik rantai baja yang terdapat di area *counter weight* secara perlahan-lahan agar jembatan dapat terangkat dengan seimbang.
4. Setelah jembatan diangkat dalam keadaan 90° , rantai baja diikat pada tiang, sehingga pada saat kapal melintas, jembatan tidak akan bergerak atau jatuh (kembali seperti semula).
5. Setelah kapal melewati jembatan, rantai baja yang diikat dengan tiang jembatan dilepas dengan sedikit ditahan saat jembatan akan kembali ke posisi awal agar tidak terjadi penurunan secara tiba-tiba.
6. Setelah berada pada posisi 0° , pada bagian pengunci dapat dikunci kembali sehingga dapat digunakan untuk lalu lintas transportasi darat kembali.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Hasil dari perhitungan perancangan struktur atas Jembatan Angkat untuk pelintas alur kapal yang berlokasi di saluran penghubung antara danau Fakultas Teknik dan danau Fakultas Kedokteran Gigi UNISSULA Semarang adalah sebagai berikut:

1. Perancangan Prototipe Jembatan untuk Pelintas Alur Kapal menggunakan struktur baja dengan bentang 3 m dan lebar 1,5 m. Jembatan ini menggunakan pelat lantai bordes dengan tebal 2 cm.
2. Jembatan angkat ini menggunakan beberapa profil baja yaitu IWF 100x50x4,5x6,8 untuk profil gelagar memanjang dan melintang, IWF 200x100x7x10 untuk profil kolom jembatan, IWF 150x75x5,5x9,5 untuk profil lengan atas jembatan, dan D10 untuk profil elemnet tarik.
3. Jembatan angkat ini terdapat *Counter Weight* sebagai penyeimbang dengan berat 680 kg. Perancangan *Counter Weight* dengan isian beton volume 0,15 x 1,5 x 1,25 m.
4. Pada perancangan Jembatan Angkat, terdapat empat engsel yaitu D40 untu engsel I dan IV, dan D30 untuk engsel II dan III.
5. Perhitungan pembebanan mengacu pada Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki.
6. Perhitungan perancangan profil baja mengacu pada SNI 1729-2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

5.2. Saran

1. Pada saat perhitungan manual harus lebih teliti dan sangat berhati-hati dalam menghitung dan menentukan koefisien aman atau tidak aman pada penyelesaiannya.
2. Pada perancangan selanjutnya bisa dilanjutkan untuk perancangan struktur bawah Jembatan Angkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirudin, S., & Raidi, S. (2020). *Kajian Pengaruh Kondisi Lansekap Danau Kampus 2 UMS terhadap Pola Perilaku Pengunjung*. Prosiding (SIAR) Seminar Ilmiah Arsitektur 2020.)
- Bim, T. (n.d.). *TIM BIM SAMBUNGAN BAJA*.
https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/654154/mod_resource/content/2/Modul%20Sambungan%20Baja%20Tim%20BIM_Terbaru.pdf
- Craig, R. F., & Soepandji, B. S. (1991). Mekanika tanah. *Erlangga. Jakarta*, 1-40.
- Fadhli N, M. U. H. A. M. M. A. D., & Anwar K, S. A. I. F. U. L. (2018). *Kajian Penataan Drainase Kawasan Kampus Unissula* (Doctoral Dissertation, Fakultas Teknik Unissula).
- Hakim, L. (2021, June 12). *Jembatan Petekan, Saksi Bisu Kejayaan Surabaya di Masa Kolonial Belanda*. SINDOnews.com.
<https://daerah.sindonews.com/read/453968/29/jembatan-petekan-saksi-bisu-kejayaan-surabaya-di-masa-kolonial-belanda-1623531995>
- Kencana, M. R. B. (2020, 30 Oktober). *Penggunaan Aspal Buton untuk Jalan*. Liputan6. <https://www.liputan6.com/bisnis/read/4395477/penggunaan-aspal-buton-untuk-jalan-nasional-capai-793-km>
- Ksmtour.com (2020, November). *Jembatan Kota Intan Wisata Bangunan Tua Bersejarah di Jakarta*. Ksmtour.com.
<https://ksmtour.com/informasi/tempat-wisata/jakarta/jembatan-kota-intan-wisata-bangunan-tua-bersejarah-di-jakarta.html>
- Nasional, B. S. (2015). SNI 1729-2015: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional*, 289.
- Nugraha, Y. (2015). *Variasi Penambahan Silica Fume terhadap Beton Mutu Tinggi Self Compacting Concrete (SCC)* (Disertasi Doktorat, Universitas Pendidikan Indonesia).
- Rokhman, N., & Yanuarsari, D. H. (2020). Perancangan Dan Impelementasi Sistem Pengukuran Kepuasan Mahasiswa Terhadap Sarana Prasarana Kampus Universitas Dian Nuswantoro Berbasis Web. *Jurnal Informatika Upgris*, 6

Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Prosiding Semnastek*.

Sumajouw, M. D., Dapas, S. O., & Windah, R. S. (2014). Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(4).

