

TUGAS AKHIR

EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR *HEAVY SHORING* AKIBAT BEBAN BETON BASAH PADA PEKERJAAN *PIER HEAD* MENGGUNAKAN SAP2000 DAN ANALISIS SAMBUNGAN BAUT *STRUCTURAL STRENGTH EVALUATION OF A HEAVY SHORING SYSTEM SUBJECTED TO FRESH CONCRETE LOADS DURING PIER HEAD CONSTRUCTION USING SAP2000 AND BOLTED CONNECTION ANALYSIS*

(Studi Kasus Proyek LRT Jakarta Fase 1B Lintas Velodrome–Manggarai)

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



Shafa Amalia Mumtaz
22511081

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

HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR *HEAVY SHORING* AKIBAT BEBAN BETON BASAH PADA PEKERJAAN *PIER HEAD* MENGGUNAKAN SAP2000 DAN ANALISIS SAMBUNGAN BAUT *STRUCTURAL STRENGTH EVALUATION OF A HEAVY SHORING SYSTEM SUBJECTED TO FRESH CONCRETE LOADS DURING PIER HEAD CONSTRUCTION USING SAP2000 AND BOLTED CONNECTION ANALYSIS*

(Studi Kasus Proyek LRT Jakarta Fase 1B Lintas Velodrome–Manggarai)

Disusun Oleh :

Shafa Amalia Mumtaz
22511081

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

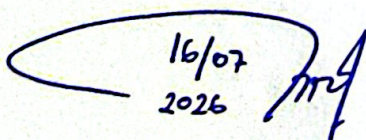
Diuji pada tanggal 17 Juni 2026
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

 15.07.26

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

Penguji I

 16/07
2026

Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIK : 185111305

Penguji II

 15/7
2026.

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

Mengesahkan,
Plt. Kepala Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana



 21/7-26
Dina Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIK : 165110105

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 20 Juli 2026
Yang membuat pernyataan,



Shafa Amalia Mumtaz
(22511081)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat pemenuhan kewajiban akademik pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan laporan ini, banyak sekali dukungan, bantuan, dan semangat yang diberikan oleh berbagai pihak. Dengan tulus ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ferdy Cahya Kalbuadi, S.T. dan Ibu Atun Maftukah, S.T., cinta pertama dalam hidup yang selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi, dan semangat yang tiada pernah surut. Ketulusan dan pengorbanan yang diberikan menjadi alasan kekuatan terbesar dalam setiap langkah hingga dapat mencapai tahap ini.
2. Azhfar Izza Mumtaz, Muzhaffar Ikmal Mumtaz, dan Shanika Alesha Mumtaz, saudara-saudara tercinta yang selalu memberikan keceriaan, dukungan emosional, dan semangat, serta menjadi bagian dari setiap perjalanan yang telah dilalui penulis selama menempuh pendidikan.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan perhatian telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan yang berharga.
4. Bapak Endra Dwi Cahyo, S.S.T., yang telah berkenan memberikan arahan, saran, dan berbagai informasi yang mendukung penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Iqbal, Andin, Sasa, Nevy, dan Dika, sahabat-sahabat yang selalu hadir memberikan dukungan, semangat, bantuan, serta kebersamaan yang berharga selama masa perkuliahan hingga proses penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga setiap tantangan dan perjalanan yang dilalui menjadi lebih bermakna.
6. Teman-teman seperjuangan, yang walaupun tidak bisa disebutkan satu persatu, telah selalu hadir dengan semangat, dukungan, dan kebersamaan yang tak ternilai, serta menjadi bagian berharga dalam perjalanan yang penuh cerita dan pengalaman.

7. Pogo, yang tanpa memahami apa itu perkuliahan maupun Tugas Akhir, namun telah menjadi sumber keceriaan dan kebahagiaan sederhana yang memberikan warna tersendiri selama perjalanan ini.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan sangat berarti demi penyempurnaan di masa mendatang. Harapannya, laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi yang membutuhkan.

Yogyakarta, 20 Juli 2026

Penulis,



Shafa Amalia Mumtaz
(22511081)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Tinjauan Umum	8
2.2 Penelitian Terdahulu	8
2.3 Penelitian Sekarang	12
2.4 Keaslian Penelitian	13
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Konsep Umum Struktur	17
3.1.1 Prinsip Kerja Elemen Struktur	17
3.1.2 Kekakuan Struktur	18
3.1.3 Kekuatan Material	19
3.1.4 Kestabilan Struktur	19

3.1.5 Potensi Kegagalan Struktur	21
3.2 Struktur Sementara dalam Kontruksi	21
3.3 Pembebanan pada Struktur	22
3.3.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	22
3.3.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	24
3.3.3 Beban Angin (<i>Wind Load</i>)	24
3.3.4 Beban Beton Basah	24
3.3.5 Kombinasi Pembebanan	26
3.4 Kriteria Desain	27
3.4.1 Batas Tegangan Lentur	27
3.4.2 Batas Tegangan Geser	29
3.4.3 Batas Tegangan Tarik	30
3.4.4 Batas Tegangan Tekan	31
3.4.5 Batas Lendutan	31
3.4.6 Klasifikasi Penampang	31
3.4.7 Desain Tekan	33
3.5 Respon Struktur	34
3.5.1 Momen Lentur	34
3.5.2 Tegangan Lentur	37
3.5.3 Tegangan Geser	37
3.5.4 Regangan Elastis	38
3.5.5 Lendutan (Defleksi)	38
3.5.6 Reaksi Tumpuan	39
3.6 Sambungan Baut pada Struktur Baja	39
3.6.1 Jenis Sambungan Baut	39
3.6.2 Tipe Lubang Baut dan Ketentuan	40
3.6.3 Mode Kegagalan Sambungan Baut	41
3.6.4 Kapasitas Geser Baut	41
BAB IV METODE ANALISIS	44
4.1 Lokasi Penelitian	44
4.2 Data Struktur	44

4.3	Alat Bantu Analisis	47
4.4	Tahap Analisis	48
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		50
5.1	Data Teknis Jembatan	50
5.2	Analisis Pembebanan	51
5.2.1	Beban Mati	51
5.2.2	Beban Hidup	51
5.2.3	Beban Angin	53
5.3	Analisis Elemen Bekisting	53
5.3.1	Analisis Kekuatan <i>Lite Wall</i>	53
5.3.2	Analisis Kekuatan <i>Tie Rod</i>	55
5.4	Analisis Struktur Penopang Tahap 1	56
5.4.1	Analisis Kapasitas Platform	56
5.4.2	Analisis Balok Pendukung	59
5.4.3	Analisis Kapasitas <i>Pipe Support</i>	62
5.4.4	Analisis Struktur Rangka <i>Truss</i>	65
5.5	Analisis Struktur Penopang Tahap 2	71
5.5.1	Pembebanan pada Struktur Rangka <i>Tower Shoring</i>	71
5.5.2	Cek Kapasitas dan Defleksi	75
5.5.3	Analisis Kelangsingan Kolom	92
5.6	Analisis Sambungan dan Komponen Kecil	96
5.6.1	Analisis <i>Pin Rod</i>	96
5.6.2	Analisis Pelat Sambung	99
5.6.3	Analisis Sambungan <i>Upper Truss</i>	101
5.6.4	Analisis Sambungan Baut <i>Tower Shoring</i>	102
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		104
6.1	Kesimpulan	104
6.2	Saran	105
DAFTAR PUSTAKA		106
LAMPIRAN		108

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	14
Tabel 4.1 Berat Isi Material untuk Beban Mati menurut SNI 1725-2016	23
Tabel 4.2 Koefisien Kimia Semen (Cc) Berdasarkan ACI 347-14	25
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan <i>Lite Wall</i>	55
Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan <i>Tie Rod</i>	56
Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Platform	58
Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Balok Pendukung	61
Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas <i>Pipe Support</i>	65
Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Rasio Maksimum Struktur Rangka <i>Truss</i>	70
Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur Rangka <i>Truss</i>	70
Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Struktur <i>Tower Shoring</i>	87
Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur <i>Tower Shoring</i>	88
Tabel 5.10 Rekapitulasi Verifikasi Manual Geser	91
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Analisis Kelangsingan Kolom	96
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Analisis <i>Pin Rod</i>	99
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Pelat Sambung	101
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Analisis Sambungan <i>Upper Truss</i>	102
Tabel 5.15 Rekapitulasi Analisis Sambungan Baut <i>Tower Shoring</i>	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Konfigurasi Sistem <i>Heavy Shoring</i>	1
Gambar 3.1 Nilai K Berdasarkan Kondisi Tumpuan Kolom	20
Gambar 3.2 Skema Sistem <i>Shoring</i> pada Pekerjaan <i>Pier Head</i>	22
Gambar 3.3 Ilustrasi Balok Dua Tumpuan dengan Beban Merata	34
Gambar 3.4 Ilustrasi Balok Dua Tumpuan dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang	35
Gambar 3.5 Ilustrasi Balok Kantilever dengan Beban Terpusat di Ujung	35
Gambar 3.6 Ilustrasi Balok Kantilever dengan Beban Merata	35
Gambar 3.7 Ilustrasi Balok Dua Tumpuan dengan Beban Terpusat Tidak Simetris	36
Gambar 3.8 Ilustrasi Balok Jepit-Jepit dengan Beban Merata	36
Gambar 3.9 Ilustrasi Balok Jepit-Jepit dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang	36
Gambar 3.10 Ilustrasi Jenis Sambungan Baut pada Struktur Baja	40
Gambar 3.11 Ilustrasi Tipe Lubang Baut pada Struktur Baja	40
Gambar 3.12 Jarak Tepi Minimum Baut Menurut SNI 1729:2015	41
Gambar 3.13 Kekuatan Nominal Baut Menurut SNI 1729:2015	43
Gambar 4.1 Gambaran Lokasi Penelitian	44
Gambar 4.2 <i>Layout Shoring Pier P107B Tahap 1</i>	45
Gambar 4. 3 <i>Layout Shoring Pier P107B Tahap 2</i>	45
Gambar 4.4 <i>Cross Section Pier P107B</i>	46
Gambar 4.5 <i>Long Section Pier P107B Kiri</i>	46
Gambar 4.6 <i>Long Section Pier P107B Kanan</i>	47
Gambar 4.7 <i>Flowchart</i> Penelitian	49
Gambar 5.1 Beban Hidup Berdasarkan SNI 1727:2020	52
Gambar 5.2 Data Teknis dan Parameter Perhitungan <i>Lite Wall EFCO Lite & Super Stud</i>	53
Gambar 5.3 Detail Penampang Pengecoran	54
Gambar 5.4 Hasil Uji Tarik <i>Tie Rod</i> Diameter 17 mm	55

Gambar 5.5 Kapasitas Desain Panel <i>Platform</i>	57
Gambar 5.6 Ilustrasi Peletakan CNP pada Platform	57
Gambar 5.7 Ilustrasi Peletakan IWF pada Platform	59
Gambar 5.8 Data Penampang Profil CNP 100x50 mm	60
Gambar 5.9 Ilustrasi Posisi <i>Pipe Support</i>	62
Gambar 5.10 Model Struktur Rangka <i>Truss</i> pada SAP2000	65
Gambar 5.11 Ilustrasi Rangka <i>Truss</i> pada Pengecoran <i>Pier Head</i>	66
Gambar 5.12 Pemodelan Beban Mati pada <i>Truss</i>	66
Gambar 5.13 Pemodelan Beban Hidup pada <i>Truss</i>	67
Gambar 5.14 Distribusi Rasio Kapasitas Elemen pada Arah XY	67
Gambar 5.15 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur <i>Truss</i> Arah XY	68
Gambar 5.16 Hasil Pengecekan Tegangan Geser <i>Truss</i> Arah XY	68
Gambar 5.17 Hasil Pengecekan Lendutan <i>Truss</i> Arah XY	68
Gambar 5.18 Distribusi Rasio Kapasitas Elemen pada Arah XZ	69
Gambar 5.19 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur <i>Truss</i> Arah XZ	69
Gambar 5.20 Hasil Pengecekan Tegangan Geser <i>Truss</i> Arah XZ	69
Gambar 5.21 Hasil Pengecekan Lendutan <i>Truss</i> Arah XZ	70
Gambar 5.22 Model Struktur Rangka <i>Tower Shoring</i> pada SAP2000	71
Gambar 5. 23 Hasil Analisis Reaksi Struktur <i>Truss</i>	72
Gambar 5.24 Ilustrasi Rangka <i>Tower Shoring</i> pada Pengecoran <i>Pier Head</i>	72
Gambar 5.25 Pemodelan Beban Mati pada <i>Tower Shoring</i>	73
Gambar 5.26 Pemodelan Beban Hidup pada <i>Tower Shoring</i>	74
Gambar 5.27 Pemodelan Beban Angin pada <i>Tower Shoring</i>	74
Gambar 5.28 Pemodelan Beban Horizontal pada <i>Tower Shoring</i>	75
Gambar 5.29 Reaksi Tumpuan Struktur <i>Tower Shoring</i>	76
Gambar 5.30 Konfigurasi Batang pada Arah XY	76
Gambar 5.31 Konfigurasi Batang pada Arah YZ	77
Gambar 5.32 Distribusi Rasio Kapasitas Batang 2 x IWF 700x300	77
Gambar 5.33 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang 2 x IWF 700x300	77
Gambar 5.34 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang 2 x IWF 700x300	78
Gambar 5.35 Hasil Pengecekan Lendutan Batang 2 x IWF 700x300	78

Gambar 5.36 Distribusi Rasio Kapasitas Batang IWF 700x300	79
Gambar 5.37 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang IWF 700x300	79
Gambar 5.38 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang IWF 700x300	80
Gambar 5.39 Distribusi Rasio Kapasitas Batang IWF 200x100	80
Gambar 5.40 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang IWF 200x100	81
Gambar 5.41 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang IWF 200x100	81
Gambar 5.42 Distribusi Rasio Kapasitas Batang H 300x300	81
Gambar 5.43 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang H 300x300	82
Gambar 5.44 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang H 300x300	82
Gambar 5.45 Distribusi Rasio Kapasitas Batang 2 x H 300	83
Gambar 5.46 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang 2 x H 300x300	83
Gambar 5.47 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang 2 x H 300x300	83
Gambar 5.48 Hasil Pengecekan Lendutan Batang 2 x H 300x300	84
Gambar 5.49 Distribusi Rasio Kapasitas Batang L 100x100 Horizontal	84
Gambar 5.50 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang L 100x100 Horizontal	85
Gambar 5.51 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang L 100x100 Horizontal	85
Gambar 5.52 Hasil Pengecekan Lendutan Batang L 100x100 Horizontal	85
Gambar 5.53 Distribusi Rasio Kapasitas Batang L 100x100 Diagonal	86
Gambar 5.54 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang L 100x100 Diagonal	86
Gambar 5.55 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang L 100x100 Diagonal	87
Gambar 5.56 Hasil Pengecekan Lendutan Batang L 100x100 Diagonal	87
Gambar 5.57 Gaya Geser Maksimum IWF 700x300 Berdasarkan SAP2000	90
Gambar 5.58 Gaya Geser Maksimum IWF 200x100 Berdasarkan SAP2000	91
Gambar 5.59 Data Penampang Profil H 300x300 mm	93
Gambar 5.60 Ilustrasi Detail <i>Tower Shoring</i>	94
Gambar 5.61 Ilustrasi Peletakan <i>Pin Rod</i>	97
Gambar 5.62 Hasil Analisis Gaya Aksial <i>Bottom Truss</i>	97
Gambar 5.63 Hasil Analisis Gaya Geser <i>Bottom Truss</i>	98
Gambar 5.64 Hasil Analisis Gaya Geser <i>Upper Truss</i>	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Layout Shoring Pier P107B Tahap 1</i>	109
Lampiran 2 <i>Layout Shoring Pier P107B Tahap 2</i>	110
Lampiran 3 <i>Cross Section Pier P107B</i>	111
Lampiran 4 <i>Long Section Pier P107B Kiri</i>	112
Lampiran 5 <i>Long Section Pier P107B Kanan</i>	113

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

LRT	= <i>Light Rail Transit</i>
ASD	= <i>Allowable Stress Design</i>
k	= kekakuan aksial (N/mm)
E	= modulus elastisitas (N/mm ²)
A	= luas penampang (mm ²)
L	= panjang elemen (mm)
I	= momen inersia penampang (mm ⁴)
r	= jari-jari girasi penampang (mm)
d _{pipa}	= diameter luar pipa (mm)
t _{pipa}	= tebal pipa (mm)
Fe	= tegangan kritis elastis (N/mm ²)
K	= faktor panjang efektif
CW _{baja}	= <i>warping constant</i> (mm ⁶)
G	= modulus geser material (N/mm ²)
J	= <i>torsional constant</i> (mm ⁴)
I _x , I _y	= momen inersia sumbu x dan y (mm ⁴)
DL	= beban mati (N/m)
γ	= berat jenis material (N/mm ³)
f' _c	= kuat tekan silinder (N/mm ²)
K _{beton}	= mutu beton (N/mm ²)
CW _{beton}	= koefisien berat beton
w _{beton}	= berat jenis beton (N/mm ³)
Cc	= koefisien kimia semen
R	= kecepatan penempatan beton (mm/jam)
T	= temperature beton saat pengecoran (°C)
FL	= beban fluida dengan tekanan dan tinggi permukaan yang terdefinisi
HL	= beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah, atau tekanan material curah
LL	= beban hidup

TL	= gaya akibat perubahan bentuk sendiri (<i>self-straining force</i>)
Lr	= beban hidup atap
SL	= beban salju
RL	= beban hujan
WL	= beban angin
EL	= beban gempa
Fb	= tegangan lentur izin (N/mm^2)
Fy	= tegangan leleh baja (N/mm^2)
b _f	= lebar <i>flange</i> (mm)
t _f	= tebal <i>flange</i> (mm)
Cb	= faktor modifikasi lateral–torsional <i>buckling</i>
l	= panjang tanpa <i>bracing</i> (mm)
r _T	= jari-jari girasi terhadap torsi/lateral (mm)
d	= tinggi penampang (mm)
A _f	= luas <i>flange</i> (mm^2)
Fv	= tegangan geser izin (N/mm^2)
Cv	= faktor reduksi tegangan geser
k _v	= koefisien <i>buckling</i> geser yang bergantung pada rasio kekangan
h	= tinggi bersih badan balok (mm)
t _w	= tebal badan balok (mm)
V _n	= kuat geser nominal penampang (N)
a	= jarak antar <i>stiffener</i> (mm)
Ft	= tegangan tarik izin (N/mm^2)
Fu	= tegangan ultimit baja (N/mm^2)
Fp	= tegangan tekan izin (N/mm^2)
b	= lebar sayap (mm)
t	= tebal elemen (mm)
D	= diameter luar pipa (mm)
F _{cr}	= tegangan kritis tekan (N/mm^2)
P _n	= kapasitas tekan nominal (N)
A _g	= luas penampang bruto (mm^2)

M	= momen lentur (Nmm)
w	= berat total (N/mm)
P	= panjang bentang (mm)
a_{kiri}	= jarak beban ke tumpuan kiri (mm)
b_{kanan}	= jarak beban ke tumpuan kanan (mm)
σ	= tegangan lentur (N/mm ²)
Z	= modulus penampang (mm ³)
SS	= tegangan geser rata-rata (N/mm ²)
W	= beban total yang bekerja (N)
V	= gaya geser yang bekerja (N)
ε	= regangan elastis (%)
P_{aksial}	= gaya aksial (N)
Def	= lendutan maksimum (mm)
R_n	= kapasitas geser nominal baut (N)
F_{nv}	= tegangan nominal geser baut (N/mm ²)
A_b	= luas penampang baut (mm ²)
d_{baut}	= diameter baut (mm)
R_{total}	= kapasitas geser nominal baut total (N)
n	= jumlah baut
R_n	= kapasitas geser nominal baut (N)

ABSTRAK

Pekerjaan pengecoran *pier head* pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B memerlukan sistem *heavy shoring* sebagai struktur sementara yang berfungsi menahan beban selama proses konstruksi. Mengingat besarnya beban yang bekerja serta pentingnya keamanan struktur sementara terhadap keberhasilan pekerjaan pengecoran, diperlukan evaluasi untuk memastikan kapasitas dan kinerja sistem *heavy shoring* memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keamanan sistem *heavy shoring* pada pekerjaan *pier head*.

Objek penelitian yang ditinjau adalah Portal P107B yang memiliki kondisi pembebanan paling kritis. Analisis dilakukan terhadap elemen bekisting, platform, balok pendukung, *pipe support*, rangka *truss*, *tower shoring*, dan sambungan baut dengan mempertimbangkan beban mati, beban hidup, beban angin, beban horizontal, serta beban beton basah. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan SAP2000 berdasarkan metode *Allowable Stress Design* (ASD), sedangkan verifikasi kapasitas elemen dan sambungan dilakukan melalui perhitungan manual dengan mengacu pada AISC ASD-1989, SNI 1725:2016, SNI 1727:2020, SNI 1729:2015, ACI 347-14, dan ASCE 7-02.

Hasil analisis menunjukkan sebagian besar elemen memenuhi persyaratan kekuatan dan lendutan yang diizinkan. Nilai rasio kapasitas maksimum pada rangka *truss* sebesar 0,89 dan pada *tower shoring* sebesar 0,633, yang masih berada di bawah batas izin. Namun, hasil analisis SAP2000 menunjukkan profil IWF 700x300 dan IWF 200x100 memiliki rasio geser melebihi batas izin. Hasil verifikasi manual menunjukkan kapasitas geser kedua profil masih lebih besar dibandingkan gaya geser yang bekerja sehingga tetap memenuhi persyaratan keamanan. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, sistem *heavy shoring* pada pekerjaan *pier head* Proyek LRT Jakarta Fase 1B dinyatakan aman serta mampu memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas selama proses pengecoran berlangsung.

Kata kunci: *Heavy shoring, Pier head, Allowable Stress Design, Rasio kapasitas*

ABSTRACT

The pier head casting work in the Jakarta LRT Phase 1B Project requires a heavy shoring system as a temporary structure to support construction loads during the casting process. Considering the magnitude of the applied loads and the importance of temporary structure safety to the successful execution of the casting work, an evaluation is necessary to ensure that the capacity and performance of the heavy shoring system meet the required strength and stability criteria. Therefore, this study aims to evaluate the safety of the heavy shoring system used in pier head construction.

The object of this study is Portal P107B, which represents the most critical loading condition among the investigated portals. The analysis was conducted on the formwork system, platform, supporting beams, pipe supports, truss structure, tower shoring, and bolted connections by considering dead loads, live loads, wind loads, horizontal loads, and wet concrete loads. Structural modeling and analysis were performed using SAP2000 based on the Allowable Stress Design (ASD) method, while the capacities of structural elements and connections were verified through manual calculations in accordance with AISC ASD-1989, SNI 1725:2016, SNI 1727:2020, SNI 1729:2015, ACI 347-14, and ASCE 7-02.

The analysis results indicate that most structural elements satisfy the allowable strength and deflection requirements. The maximum capacity ratios obtained for the truss structure and tower shoring were 0.89 and 0.633, respectively, which remain below the allowable limit. However, the SAP2000 analysis showed that the IWF 700x300 and IWF 200x100 sections exceeded the allowable shear ratio. Manual verification demonstrated that the shear capacities of both sections were greater than the applied shear forces, indicating that they still satisfied the required safety criteria. Based on these evaluation results, the heavy shoring system used for the pier head construction of the Jakarta LRT Phase 1B Project can be considered safe and capable of meeting the required strength, stiffness, and stability requirements throughout the casting process.

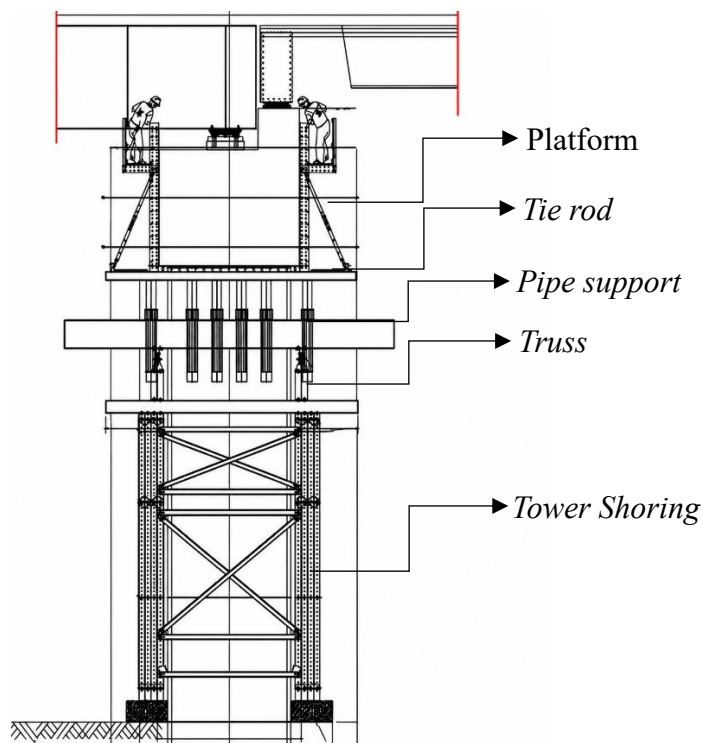
Keywords: *Heavy shoring, Pier head, Allowable Stress Design, Capacity ratio*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan LRT Jakarta Fase 1B merupakan proyek strategis yang bertujuan meningkatkan konektivitas kawasan perkotaan antara Velodrome dan Manggarai. Pada pekerjaan struktur atas, *pier head* menjadi elemen penting karena berfungsi sebagai dudukan *girder* serta penghubung beban dari superstruktur ke *pier*. Selama pengecoran berlangsung, *pier head* belum memiliki kapasitas struktural sehingga seluruh beban beton segar, peralatan, material, dan aktivitas pekerja harus ditahan oleh struktur sementara. Kondisi ini menempatkan sistem *heavy shoring* sebagai elemen teknis yang krusial dalam menjamin keamanan dan kelancaran pelaksanaan konstruksi.



Gambar 1.1 Konfigurasi Sistem *Heavy Shoring*

Berat jenis beton segar sekitar 23–25 kN/m³ membuat satu segmen pengecoran *pier head* dapat menghasilkan beban vertikal yang signifikan. Selain itu, ACI 347-14 mengatur adanya tekanan lateral beton yang dapat meningkat apabila kecepatan pengecoran bertambah atau suhu beton tinggi. Pada kondisi lapangan seperti pekerjaan di *Underpass* Pramuka, faktor-faktor ini menjadi penting karena area sempit dan elevasi konstruksi membuat alur pembebanan harus benar-benar terkendali.

Pengalaman lapangan memperlihatkan bahwa stabilitas *shoring* sangat dipengaruhi oleh persiapan dasar pemasangannya. Studi Nur & Mulya (2024) menunjukkan bahwa tahapan seperti pemasangan *sleeper*, *leg sleeper*, dan *jack screw* bukan hanya pekerjaan awal, tetapi menjadi bagian dari sistem yang menentukan kestabilan *shoring* secara keseluruhan. Ketika tumpuan bawah tidak merata atau tidak kaku, gaya yang bekerja pada *tower shoring* bisa berubah dan menyebabkan distribusi beban tidak lagi sesuai desain. Temuan ini relevan dengan kondisi portal P104B–P109B yang memerlukan perletakan stabil agar *tower shoring* dapat bekerja efektif.

Di proyek LRT Jakarta Fase 1B, khususnya pada pekerjaan di *Underpass* Pramuka, kondisi lapangan menuntut sistem *heavy shoring* yang mampu bekerja pada ruang terbatas dengan elevasi dan beban yang bervariasi. Munthe & Noegroho (2020) mengamati bahwa kegagalan *shoring* dapat dipicu oleh deformasi yang melebihi batas, distribusi beban yang tidak merata, serta ketidakcukupan kapasitas elemen baja. Mereka menekankan perlunya pemeriksaan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas secara menyeluruh sebelum pengecoran dimulai.

Pemahaman ini diperkuat oleh penelitian Kim dkk. (2023) melalui penelitian eksperimental dan numerik menemukan bahwa respons global sistem *shoring* sangat dipengaruhi oleh kekakuan sambungan, *bracing*, serta kontinuitas hubungan antar elemen. Dalam beberapa konfigurasi, gaya internal pada batang vertikal dapat meningkat hingga lebih dari 20–30% ketika kekakuan lateral tidak mencukupi. Hal ini menunjukkan bahwa analisis *shoring* harus memperhitungkan perilaku sistem secara keseluruhan, bukan hanya kekuatan tiap batang secara individual. Temuan tersebut menguatkan kebutuhan evaluasi pada portal P104B–

P109B yang memiliki jarak antar tower, variasi bentang *main beam*, serta kondisi tumpuan yang berbeda.

Potensi kegagalan pada *heavy shoring* dapat muncul dalam berbagai bentuk. Tekuk (*buckling*) pada elemen vertikal seperti *tower shoring* dapat terjadi bila rasio kelangsingannya tinggi atau ketika gaya aksial yang diterima melampaui kapasitas stabilitas. Lendutan berlebih pada *main beam* dan *cross beam* dapat mengakibatkan perubahan elevasi bekisting dan memengaruhi kualitas pengecoran. Sambungan baut yang menerima gaya geser dan tarik bersamaan juga dapat mengalami tumpu (*bearing failure*) atau geser apabila kapasitasnya tidak sesuai standar SNI 1729:2015. Di lapangan, masalah seperti ketidaksejajaran penempatan, kurangnya *bracing* horizontal, atau perubahan posisi akibat vibrasi pengecoran dapat memperbesar risiko ini.

Untuk memastikan seluruh elemen bekerja dalam batas aman, *heavy shoring* pada portal P104B–P109B perlu dianalisis secara global menggunakan perangkat lunak seperti SAP2000 agar gaya dalam, deformasi, dan reaksi tumpuan dapat divisualisasikan dengan tepat. Analisis manual pada sambungan baut dilakukan sebagai verifikasi kapasitas koneksi ketika menerima kombinasi beban. Pendekatan evaluatif ini menjadi penting karena sistem *shoring* bekerja hanya dalam periode sementara, tetapi kegagalannya dapat berdampak langsung terhadap keselamatan pekerja dan kelancaran pekerjaan *pier head* pada proyek LRT Jakarta Fase 1B.

Pada penelitian ini, analisis difokuskan pada Portal 107 yang memiliki kondisi pembebanan paling besar dibandingkan portal lainnya di sepanjang segmen pekerjaan. Pemilihan portal dengan beban dan konfigurasi paling kritis dilakukan untuk memastikan bahwa evaluasi yang dihasilkan mampu mewakili kondisi struktur pada portal-portal sekitarnya. Pendekatan ini umum digunakan dalam analisis struktur sementara, di mana peninjauan dilakukan pada titik dengan risiko tertinggi untuk memperoleh batas aman yang lebih konservatif. Dengan demikian, apabila Portal 107 terbukti memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas, maka portal dengan dimensi dan beban yang lebih kecil dapat dinyatakan berada dalam kondisi yang lebih aman secara struktural.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kapasitas sistem *shoring* dalam menahan beban yang bekerja berdasarkan hasil analisis kekuatan dan lendutan, serta kesesuaiannya terhadap ketentuan dan standar perencanaan yang berlaku?
2. Bagaimana kondisi keamanan sistem *shoring* secara keseluruhan berdasarkan hasil analisis struktur sementara dalam mendukung pekerjaan pengecoran *pier head* pada lokasi penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kemampuan sistem *shoring* dalam menahan beban yang bekerja, dengan meninjau respons struktur berupa gaya dalam, tegangan, dan lendutan pada setiap elemen penyusun *shoring*. Hasil analisis tersebut digunakan untuk mengevaluasi apakah kapasitas elemen struktur telah memenuhi batas izin kekuatan dan lendutan sesuai dengan ketentuan dan standar perencanaan yang berlaku.
2. Menilai kondisi keamanan sistem *shoring* secara keseluruhan berdasarkan hasil analisis struktur sementara yang dilakukan. Penilaian ini bertujuan untuk memastikan bahwa konfigurasi dan kinerja sistem *shoring* yang digunakan berada dalam kondisi aman dan stabil dalam mendukung pelaksanaan pekerjaan pengecoran *pier head* pada lokasi penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan keilmuan di bidang teknik sipil, khususnya terkait analisis struktur sementara pada pekerjaan konstruksi. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan teknis dalam pelaksanaan pekerjaan di lapangan serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Secara keseluruhan, manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
 - a. Peningkatan pengetahuan

Penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman peneliti mengenai sistem *heavy shoring* sebagai struktur sementara yang berfungsi menahan beban beton basah pada pekerjaan *pier head*. Melalui penelitian ini, dapat memahami perilaku struktur, distribusi beban, serta respons elemen struktur dan sambungan baut terhadap pembebanan yang bekerja.

b. Pengembangan kemampuan analisis

Penelitian ini menjadi sarana penerapan teori yang diperoleh selama perkuliahan ke dalam permasalahan nyata di lapangan, khususnya dalam analisis struktur baja menggunakan pemodelan SAP2000 dan perhitungan manual berdasarkan standar perencanaan yang berlaku.

c. Kontribusi akademis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa atau peneliti lain yang membahas topik serupa, terutama yang berkaitan dengan evaluasi kekuatan dan stabilitas struktur sementara pada pekerjaan konstruksi infrastruktur.

2. Bagi Pelaksana Proyek

a. Evaluasi keamanan struktur sementara

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi teknis terhadap sistem *heavy shoring* yang digunakan pada pekerjaan pengecoran *pier head*, khususnya dalam meninjau kecukupan kapasitas elemen struktur dan sambungan baut dalam menahan beban yang bekerja.

b. Peningkatan kualitas pelaksanaan konstruksi

Dengan adanya analisis struktur yang lebih terperinci, penelitian ini dapat membantu pelaksana proyek dalam memahami aspek-aspek penting yang memengaruhi kinerja struktur sementara, sehingga pelaksanaan pekerjaan dapat dilakukan dengan lebih tertib dan sesuai dengan ketentuan teknis.

c. Pengurangan risiko kegagalan

Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengurangi potensi kegagalan struktur sementara selama proses pengecoran, sehingga aspek keselamatan kerja dan kelancaran pelaksanaan konstruksi dapat lebih terjaga.

1.5 Batasan Penelitian

Agar pembahasan dalam penelitian ini tetap terarah dan sesuai dengan fokus kajian, maka ditetapkan batasan penelitian yang disesuaikan dengan lingkup analisis dan data yang tersedia. Berikut adalah batasan yang diterapkan pada penelitian ini.

1. Penelitian difokuskan pada sistem *heavy shoring* portal yang digunakan untuk mendukung pekerjaan pengecoran *pier head* pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.
2. Analisis struktur dibatasi pada portal dengan kondisi pembebanan paling kritis, yaitu Portal P107B. Portal lain dengan dimensi dan beban yang lebih kecil tidak dianalisis secara terpisah, dengan asumsi bahwa apabila kondisi paling kritis dinyatakan aman, maka portal lainnya juga berada dalam kondisi aman secara struktural.
3. Beban yang dianalisis meliputi beban mati, beban hidup konstruksi, beban horizontal, beban beton basah, dan beban angin sesuai dengan kondisi perencanaan struktur sementara, tanpa mempertimbangkan variasi beban di luar kondisi perencanaan.
4. Analisis dilakukan berdasarkan kombinasi pembebanan metode *Allowable Stress Design* (ASD) yang digunakan dalam perencanaan struktur sementara, tanpa dilakukan perbandingan dengan metode desain lainnya.
5. Analisis struktur *heavy shoring* mengacu pada ketentuan dan standar sebagai berikut:
 - a. AISC ASD-1989 = pedoman perencanaan dan analisis kekuatan baja.
 - b. SNI 1727:2020 = ketentuan pembebanan minimum.
 - c. SNI 1725:2016 = ketentuan pembebanan tetap (*dead load*).
 - d. SNI 1729:2015 = perencanaan sambungan baut baja.
 - e. ACI 347-14 = panduan perancangan *formwork*, tekanan lateral beton, dan sistem *shoring*.
 - f. ASCE 7-02 = acuan kombinasi pembebanan dalam analisis struktur *shoring*.

6. Elemen struktur yang dianalisis meliputi bekisting, balok pendukung, *pipe support*, *truss support*, *tower shoring*, sambungan baut, sesuai dengan konfigurasi sistem *shoring* yang tercantum pada gambar kerja.
7. Analisis struktur dilakukan menggunakan perhitungan analitis dan pemodelan struktur, dengan bantuan perangkat lunak analisis struktur, tanpa melakukan uji eksperimental atau pengujian lapangan.
8. Parameter material yang digunakan mengikuti data, meliputi mutu baja, mutu beton, serta properti material lainnya, tanpa mempertimbangkan variasi mutu material di lapangan.
9. Penelitian ini tidak membahas metode pelaksanaan konstruksi secara rinci, manajemen proyek, jadwal pekerjaan, maupun aspek biaya, dan hanya difokuskan pada evaluasi kekuatan struktur sementara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan umum berisi penelaahan terhadap berbagai literatur dan hasil penelitian yang berkaitan dengan topik yang dikaji. Melalui bagian ini, diperoleh dasar teori dan pemahaman mengenai konsep serta perkembangan penelitian yang relevan dengan evaluasi kekuatan struktur *heavy shoring* akibat beban beton basah pada pekerjaan *pier head*. Selain itu, tinjauan ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan saat ini guna menunjukkan keaslian dan kontribusi penelitian.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai struktur sementara, khususnya sistem *heavy shoring* dan sambungan baut pada struktur baja, telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan dan ruang lingkup pembahasan. Sebagian besar membahas cara kerja struktur penopang sementara bekerja dalam menahan beban beton segar selama proses pengecoran, serta membahas aspek pelaksanaan sistem *shoring* di lapangan dan kekuatan sambungan baut yang digunakan pada rangka baja. Dari berbagai hasil penelitian tersebut, diperoleh gambaran umum mengenai perilaku dan fungsi struktur sementara pada pekerjaan *pier head* yang menjadi dasar dalam analisis penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan diantaranya sebagai berikut.

1. Analisis Baut *Dynabolt* pada *Shoring* Proyek Jembatan Rangka Baja Simpang Joglo Surakarta

Penelitian yang dilakukan oleh Mukti dkk. (2023) membahas analisis penggunaan baut *dynabolt* pada sistem *shoring* di proyek jembatan rangka baja Simpang Joglo Surakarta. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara baut *dynabolt* yang menghubungkan *sleeper* beton dengan struktur

shoring terhadap kekuatan dan perilaku strukturnya. Parameter yang dikaji meliputi kekuatan tarik, tumpu, dan geser, serta penentuan panjang baut yang aman menggunakan metode *punching shear*. Pendekatan yang digunakan mengacu pada metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dengan acuan SNI 1729:2015, serta didukung oleh analisis numerik menggunakan SAP2000 untuk memperoleh nilai reaksi tumpuan dan gaya internal yang bekerja pada elemen *shoring*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa baut *dynabolt* dengan diameter 22 mm memiliki kapasitas yang cukup tinggi terhadap beban yang diterapkan pada sistem *shoring*, baik terhadap gaya tarik, tumpu, maupun geser. Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan manual, diperoleh nilai *safety factor* yang menunjukkan bahwa sambungan masih berada dalam batas aman. Selain itu, metode *punching shear* digunakan untuk menentukan panjang baut optimum agar mampu menahan gaya tarik pada beton *sleeper* tanpa menyebabkan keruntuhan geser. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan pemahaman mengenai perilaku sambungan baut pada struktur *shoring* yang berfungsi menjaga stabilitas struktur sementara selama pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

2. Analisis Struktur Beton Pelat Lantai dan Balok dengan Metode Bekisting *Fix Shoring System*

Penelitian yang dilakukan oleh Arisyi dkk. (2024) meneliti penerapan sistem *fix shoring* pada pekerjaan pelat lantai dan balok beton bertulang untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan beban beton basah selama proses pengecoran hingga waktu pelepasan bekisting yang aman. Analisis dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 dengan mutu beton $f'_c = 30$ Mpa dan baja tulangan BJTD40 ($f_y = 420$ Mpa). Perhitungan meliputi momen lentur, lendutan, serta kebutuhan tulangan dengan mempertimbangkan beban mati, beban hidup, dan tambahan beban dari bekisting serta material di atasnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur beton hari ke-2, struktur masih mengalami lendutan namun masih di bawah batas izin, sedangkan pada hari ke-3 seluruh parameter kekuatan dan lendutan telah memenuhi syarat keamanan sehingga pembongkaran bekisting dapat dilakukan tanpa dilakukan tanpa mempengaruhi kestabilan struktur. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan

bahwa sistem *fix shoring* mampu menahan beban beton basah secara efektif hingga beton mencapai kekuatan yang cukup untuk berdiri sendiri.

3. *Analysis of Strength, Stiffness, and Stability the Formwork Construction in LRT Jabodetabek Project*

Penelitian yang dilakukan oleh Munthe dan Noegroho (2020) membahas analisis kekuatan, kekakuan, dan stabilitas sistem bekisting serta *shoring* pada pekerjaan pengecoran *Upper Longitudinal Beam* Proyek LRT Jabodebek. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kemampuan elemen bekisting dalam menahan beban selama proses pengecoran agar memenuhi persyaratan keamanan konstruksi. Analisis dilakukan terhadap beberapa komponen utama, yaitu *plywood*, *girder* GT 24, *steel wale* SRZ, dan *shoring Peri Up*. Parameter yang dikaji meliputi tegangan lentur, tegangan geser, lendutan, serta kapasitas dukung *shoring* dengan mempertimbangkan beban beton basah, beban hidup pekerja dan peralatan, serta beban kejut saat pengecoran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh elemen bekisting dan *shoring* memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas. Nilai tegangan lentur, tegangan geser, dan lendutan yang terjadi pada *plywood*, *girder* GT 24, serta *steel wale* SRZ masih berada di bawah batas izin yang ditentukan. Selain itu, kapasitas *shoring Peri Up* mampu menahan seluruh beban yang bekerja pada berbagai variasi dimensi balok sehingga sistem bekisting dinyatakan aman digunakan selama proses pengecoran. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *shoring* dan bekisting yang digunakan memiliki kapasitas yang memadai untuk mendukung beban konstruksi sementara pada proyek LRT Jabodebek.

4. Analisis Struktur Rangka Baja pada Proyek Pembangunan Gedung Olahraga Unimuda Sorong

Penelitian yang dilakukan oleh Kifly dkk. (2026) membahas evaluasi struktur rangka baja pada proyek pembangunan Gedung Olahraga Unimuda Sorong dengan menggunakan metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan bantuan perangkat lunak SAP2000. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur, menghitung beban ultimate yang bekerja pada setiap elemen struktur, menganalisis deformasi yang terjadi, serta mengevaluasi kekuatan

sambungan baut pada struktur baja. Analisis dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan PPURG 1987 dengan mempertimbangkan beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi menggunakan SAP2000 untuk memperoleh gaya dalam, deformasi, serta respons struktur terhadap kombinasi pembebanan yang bekerja.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 20 elemen struktur berupa balok dan rafter yang mengalami kondisi *overstressed* dengan nilai rasio kapasitas lebih dari 1,00, sehingga memerlukan perbaikan desain pada beberapa elemen. Analisis beban *ultimate* menunjukkan bahwa elemen kolom menerima beban terbesar dengan gaya aksial tekan sebesar 64,617 kN, gaya geser 32,126 kN, dan momen 99,3886 kN.m. Deformasi maksimum akibat kombinasi beban *ultimate* mencapai 0,259 m dan terjadi pada bagian tengah bentang struktur. Evaluasi sambungan baut menunjukkan bahwa sambungan rafter-kolom dan rafter-rafter masih memenuhi persyaratan kekuatan dengan nilai rasio masing-masing sebesar 0,635 dan 0,685, sedangkan kuat tumpu pelat sebesar 1.234,4 kN lebih besar dibandingkan gaya yang bekerja. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sambungan baut memiliki kapasitas yang memadai, meskipun beberapa elemen struktur utama memerlukan evaluasi lebih lanjut akibat kondisi *overstressed*.

5. Evaluasi Kekuatan dan Kekakuan Bekisting Dinding Geser Akibat Tekanan Lateral Beton Segar pada Proyek Podomoro City Deli Medan

Penelitian yang dilakukan oleh Simaibang dkk. (2023) membahas evaluasi kekuatan dan kekakuan bekisting dinding geser akibat tekanan lateral beton segar pada Proyek Podomoro City Deli Medan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan bekisting dalam menahan tekanan beton segar selama proses pengecoran agar memenuhi persyaratan keamanan konstruksi. Analisis dilakukan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 dengan meninjau syarat kekuatan, kekakuan, dan tegangan geser pada elemen bekisting. Parameter yang dikaji meliputi jarak tiang vertikal, jarak tiang perangkat, jarak pen pusat, lendutan, serta tegangan geser yang terjadi pada elemen bekisting.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh elemen bekisting memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan tegangan geser yang diizinkan. Jarak tiang vertikal, tiang perangkai, dan pen pusat yang digunakan masih berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, sedangkan nilai tegangan geser yang terjadi juga lebih kecil dibandingkan tegangan geser izin material. Dengan demikian, sistem bekisting dinding geser dinyatakan aman untuk menahan tekanan lateral beton segar selama proses pengecoran berlangsung.

2.3 Penelitian Sekarang

Hasil dari tinjauan umum dan penelitian terdahulu menjadi dasar dalam penyusunan tugas akhir. Adapun ruang lingkup penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Struktur sementara yang diteliti merupakan sistem *heavy shoring* pada pekerjaan *pier head* di proyek LRT Jakarta Fase 1B, yang berfungsi menahan beban beton basah, bekisting, serta beban pekerja selama proses pengecoran. Analisis difokuskan pada kekuatan dan kestabilan elemen utama, yaitu *main beam*, *cross beam*, *tower shoring*, *pipe support*, dan sambungan baut antar elemen baja.
2. Acuan perencanaan dan pembebanan struktur menggunakan beberapa standar yang berlaku, antara lain AISC ASD-1989 sebagai pedoman perencanaan dan analisis kekuatan baja pada sistem *shoring*, SNI 1727:2020 untuk ketentuan pembebanan minimum meliputi beban hidup dan beban angin, SNI 1725:2016 untuk beban tetap (*dead load*) pada elemen jembatan dan konstruksi beton, SNI 1729:2015 untuk perencanaan sambungan baut baja, ACI 347R-14 sebagai panduan perancangan *formwork*, tekanan lateral beton, dan sistem *shoring*, serta ASCE 7-02 sebagai acuan kombinasi pembebanan dalam analisis struktur *shoring*.
3. Proses analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000, sedangkan perhitungan kapasitas sambungan baut disusun secara manual menggunakan *Microsoft Excel*.

2.4 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisis sistem *shoring*, perancangan ulang struktur sementara, serta evaluasi kekuatan sambungan baut pada struktur baja, penelitian ini memiliki fokus pada analisis kekuatan dan kestabilan sistem *heavy shoring pier head* pada proyek LRT Jakarta Fase 1B. Struktur *heavy shoring* berfungsi sebagai penyangga sementara selama proses pengecoran *pier head*, yang menahan beban beton basah, bekisting, serta beban pekerja dan peralatan di atasnya.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kapasitas struktur baja *shoring* serta sambungan baut sebagai sistem pendukung utama. Pendekatan dilakukan melalui analisis perhitungan manual dan pemodelan dengan program SAP2000, kemudian diverifikasi menggunakan acuan peraturan dan standar teknis yang digunakan secara resmi.

1. AISC ASD-1989 sebagai pedoman perencanaan dan analisis kekuatan baja pada sistem *shoring*.
2. SNI 1727:2020 untuk ketentuan pembebanan minimum meliputi beban hidup dan beban angin.
3. SNI 1725:2016 untuk beban tetap (*dead load*) pada elemen jembatan dan konstruksi beton.
4. SNI 1729:2015 untuk perencanaan sambungan baut baja.
5. ACI 347-14 sebagai panduan perancangan *formwork*, tekanan lateral beton, dan sistem *shoring*.
6. ASCE 7-02 sebagai acuan kombinasi pembebanan dalam analisis struktur *shoring*.

Sebagai bukti keaslian penelitian ini, disajikan Tabel 2.1 yang memperlihatkan perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan saat ini, yang menyoroti perbedaan ruang lingkup, metode, serta kebaruan analisis terhadap struktur *heavy shoring pier head*.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Nama Peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
	Munthe dan Nugroho, 2020	Simaibang dkk., 2023	Mukti dkk., 2023	Arisyi dkk., 2024	Kifly dkk., 2026	Mumtaz, 2026
Judul	<i>Analysis of Strength, Stiffness, and Stability the Formwork Construction in LRT Jabodetabek Project</i>	Evaluasi Kekuatan dan Kekakuan Bekisting Dinding Geser Akibat Tekanan Lateral Beton Segar pada Proyek Podomoro City Deli Medan	Analisis Baut <i>Dynabolt</i> pada <i>Shoring</i> Proyek Jembatan Rangka Baja Simpang Joglo Surakarta	Analisis Struktur Beton Pelat Lantai dan Balok dengan Metode Bekisting <i>Fix Shoring System</i>	Analisis Struktur Rangka Baja pada Proyek Pembangunan Gedung Olahraga Unimuda Sorong	Evaluasi Kekuatan Struktur <i>Heavy Shoring</i> Akibat Beban Beton Basah Pada Pekerjaan <i>Pier head</i> Menggunakan SAP2000 dan Analisis Sambungan Baut
Tujuan	Menganalisis kekuatan, kekakuan, dan stabilitas konstruksi bekisting pada pekerjaan pengecoran <i>Upper Longitudinal Beam</i> LRT Jabodebek untuk memastikan bekisting aman terhadap tegangan	Mengevaluasi kekuatan dan kekakuan bekisting dinding geser akibat tekanan lateral beton segar saat proses pengecoran berlangsung.	Menganalisis perilaku baut <i>dynabolt</i> yang menghubungkan <i>sleeper</i> beton dengan struktur <i>shoring</i> terhadap gaya tarik, tumpu, dan geser.	Menilai kemampuan sistem <i>fix shoring</i> dalam menahan beban beton basah hingga waktu pelepasan bekisting yang aman.	Mengevaluasi tingkat keamanan struktur baja, menghitung beban <i>ultimate</i> pada setiap elemen, menganalisis deformasi struktur, serta mengevaluasi kekuatan sambungan baut.	Mengevaluasi kapasitas elemen <i>heavy shoring</i> dan sambungan baut dalam menahan beban beton basah pada pekerjaan <i>pier head</i> , serta memastikan kestabilan sistem selama pengecoran.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Nama Peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
	Munthe dan Nugroho, 2020	Simaibang dkk., 2023	Mukti dkk., 2023	Arisyi dkk., 2024	Kifly dkk., 2026	Mumtaz, 2026
Tujuan	lentur, lendutan, dan tegangan lentur, lendutan, dan tegangan geser.					
Metode dan Acuan	Analisis perhitungan manual terhadap tegangan lentur, lendutan, dan tegangan geser berdasarkan metode F. Wigbout (1997), menggunakan data beban beton segar, beban hidup, dan beban kejut pada sistem bekisting dan <i>shoring</i> .	Metode kuantitatif dengan observasi lapangan dan studi literatur. Analisis dilakukan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 melalui pemeriksaan kekuatan, kekakuan, dan tegangan geser bekisting.	<i>Load and Resistance Factor Design</i> (LRFD), SNI 1729:2015, pemodelan SAP2000, perhitungan <i>punching shear</i> .	Perhitungan manual berbasis SNI 2847:2019, analisis momen, lendutan, dan kebutuhan tulangan.	Metode kuantitatif dengan pemodelan SAP2000 menggunakan metode LRFD. Acuan yang digunakan yaitu SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan PPURG 1987.	Pemodelan SAP2000 dan perhitungan manual yang mengacu pada AISC ASD-1989, SNI 1727:2020, SNI 1725:2016, SNI 1729:2015, ACI 347-14, dan ASCE 7-02.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Nama Peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
	Munthe dan Nugroho, 2020	Simaibang dkk., 2023	Mukti dkk., 2023	Arisyi dkk., 2024	Kifly dkk., 2026	Mumtaz, 2026
Hasil Penelitian	Bekisting <i>Upper Longitudinal Beam</i> memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, dan stabilitas. Seluruh nilai tegangan lentur, lendutan, dan tegangan geser berada di bawah nilai izin, serta shoring mampu menahan seluruh beban pengecoran sehingga dinyatakan aman.	Bekisting dinding geser memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, dan tegangan geser. Jarak tiang vertikal, tiang perangkai, dan pen pusat masih berada di bawah batas izin, sehingga konstruksi bekisting dinyatakan aman digunakan saat pengecoran.	Baut diameter 22 mm aman terhadap tarik, tumpu, dan geser; panjang baut optimum mencegah keruntuhan geser pada sleeper.	Lendutan hari ke-2 masih aman, hari ke-3 seluruh parameter memenuhi syarat untuk pembongkaran bekisting.	Terdapat 20 elemen struktur yang mengalami <i>overstressed</i> . Deformasi maksimum sebesar 0,259 m. Sambungan baut memenuhi persyaratan kekuatan dengan rasio 0,635 pada sambungan rafter-kolom dan 0,685 pada sambungan rafter-rafter, sehingga sambungan dinyatakan aman.	Analisis menunjukkan bahwa elemen <i>lite wall</i> , <i>tie rod</i> , <i>pipe support</i> , <i>pin rod</i> , dan pelat sambung memiliki kapasitas yang mencukupi terhadap beban beton basah yang bekerja. Pemeriksaan sambungan baut juga memenuhi persyaratan kekuatan, sehingga sistem <i>heavy shoring</i> dinyatakan layak digunakan untuk mendukung pekerjaan pengecoran <i>pier head</i> .

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Umum Struktur

Struktur merupakan susunan elemen yang saling terhubung dan bekerja untuk menyalurkan beban dari bagian atas ke pondasi berdasarkan prinsip keseimbangan gaya. Tujuan utama struktur adalah memastikan seluruh beban yang diterima dapat dialirkan dengan aman ke tanah tanpa menimbulkan kegagalan pada elemen penyusunnya. Struktur bekerja dengan menahan gaya tekan, tarik, geser, serta momen yang muncul akibat pembebanan.

Elemen dasar penyusun struktur meliputi balok, kolom, serta sambungan yang menghubungkan setiap elemen. Pada struktur sementara seperti *shoring*, konfigurasi elemen tersebut digunakan untuk menopang beban konstruksi sampai struktur permanen terbentuk.

3.1.1 Prinsip Kerja Elemen Struktur

Elemen struktur bekerja menahan dan menyalurkan gaya yang timbul akibat pembebanan, seperti gaya tekan, tarik, geser, dan momen lentur. Kolom berfungsi sebagai elemen penahan gaya tekan vertikal, balok menahan momen dan mendistribusikan beban secara horizontal, sedangkan *bracing* menjaga kestabilan struktur terhadap gaya lateral serta membantu mencegah terjadinya *buckling* pada elemen vertikal. Hubungan antar elemen terjadi melalui sambungan yang memungkinkan transfer gaya dan momen secara kontinu sehingga struktur dapat bekerja sebagai satu kesatuan.

Prinsip kerja elemen struktur berkaitan dengan konsep *load path*, yaitu jalur aliran beban yang menggambarkan bagaimana gaya berpindah dari titik aplikasinya menuju tumpuan. Beban yang diterima elemen atas akan diteruskan ke balok, dialirkan menuju kolom, dan selanjutnya menuju pondasi sebagai tumpuan akhir. Mekanisme transfer gaya ini sejalan dengan penelitian Sulandari dkk. (2023) yang menjelaskan bahwa gaya pada struktur baja dapat ditransfer melalui kombinasi mekanisme geser, friksi, dan momen pada sambungan.

3.1.2 Kekakuan Struktur

Kekakuan (*stiffness*) merupakan kemampuan elemen struktur menahan deformasi saat menerima beban. Pada elemen batang, kekakuan dipengaruhi oleh sifat material dan geometri penampang. Secara umum, kekakuan aksial elemen dapat dinyatakan melalui hubungan:

$$k = \frac{E \times A}{L} \quad (3.1)$$

Keterangan notasi:

k = kekakuan aksial (N/mm)

E = modulus elastisitas (N/mm²)

A = luas penampang (mm²)

L = panjang elemen (mm)

Sedangkan kekakuan lentur suatu elemen dapat dinyatakan dengan rumus:

$$k_{\text{lentur}} = E \times I \quad (3.2)$$

Keterangan notasi:

E = modulus elastisitas (N/mm²)

I = momen inersia penampang (mm⁴)

Untuk menerapkan konsep kekakuan pada elemen baja berbentuk pipa, analisis dihitung berdasarkan geometri penampang pipa menggunakan persamaan:

$$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - (d - 2t)^2) \quad (3.3)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (d^4 - (d - 2t)^4) \quad (3.4)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.5)$$

Keterangan notasi:

- A = luas penampang (mm^2)
 I = momen inersia penampang (mm^4)
 r = jari-jari girasi penampang (mm)
 d_{pipa} = diameter luar pipa (mm)
 t_{pipa} = tebal pipa (mm)

3.1.3 Kekuatan Material

Kekuatan material menggambarkan kemampuan elemen dalam menahan beban sebelum mencapai kondisi kegagalan. Pada baja struktural, dua parameter yang digunakan sebagai acuan utama adalah tegangan leleh (f_y) dan tegangan maksimum (f_u). Tegangan leleh menandai batas ketika material mulai mengalami deformasi plastis, sedangkan tegangan maksimum merupakan kapasitas tertinggi yang dapat dicapai material sebelum mengalami keruntuhan. Nilai f_y dan f_u digunakan sebagai dasar untuk menilai kemampuan elemen dalam menahan beban tekan, tarik, maupun lentur.

3.1.4 Kestabilan Struktur

Kestabilan struktur berkaitan dengan kemampuan elemen untuk mempertahankan bentuk keseimbangannya ketika menerima beban. Pada elemen tekan seperti kolom, ketidakstabilan dapat muncul dalam dua bentuk utama, yaitu tekuk lentur (*flexural buckling*) dan tekuk torsi (*torsional buckling*).

Tekuk lentur terjadi ketika elemen kehilangan kestabilan melalui perpindahan lateral atau melendut pada salah satu sumbu utamanya. Sedangkan tekuk torsi terjadi ketika elemen mengalami puntiran bersamaan dengan perpindahan lateral, sehingga bentuk ketidakstabilannya melibatkan Gerakan puntir dan geser sekaligus.

1. Tekuk lentur

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \quad (3.6)$$

2. Tekuk torsi

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 \times E \times C_{w_{baja}}}{(K \times L)^2} + G \times J \right) \times \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.7)$$

Keterangan notasi:

F_e = tegangan kritis elastis (N/mm²)

E = modulus elastisitas (N/mm²)

K = faktor panjang efektif

L = panjang elemen (mm)

r = jari-jari girasi penampang (mm)

$C_{w_{baja}}$ = *warping constant* (mm⁶)

G = modulus geser material (N/mm²)

J = *torsional constant* (mm⁴)

I_x, I_y = momen inersia sumbu x dan y (mm⁴)

Berdasarkan AISC ASD-89 nilai K ditentukan berdasarkan kondisi perletakan pada kedua ujung elemen tekan. Perbedaan kondisi tumpuan akan memengaruhi bentuk tekuk serta panjang efektif elemen. Semakin kaku kondisi tumpuan, maka nilai K akan semakin kecil, sehingga kapasitas terhadap tekuk menjadi lebih besar.

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code		Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free				

Gambar 3.1 Nilai K Berdasarkan Kondisi Tumpuan Kolom

3.1.5 Potensi Kegagalan Struktur

Potensi kegagalan pada struktur sementara dapat muncul apabila elemen tidak memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, maupun kestabilan selama menahan beban kerja. Beberapa bentuk kegagalan yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Lendutan berlebih

Terjadinya deformasi yang melampaui batas layanan pada elemen seperti *main beam* atau *cross beam*, yang dapat menyebabkan perubahan bentuk bekisting dan ketidakrataan permukaan beton.

2. *Buckling* elemen vertikal

Risiko tekuk pada elemen tekan seperti *pipe support* atau *tower shoring* akibat kelangsingan yang tinggi atau pembebanan yang melebihi kapasitas stabilitas tekan elemen.

3. Kegagalan sambungan

Kerusakan pada sambungan, seperti geser pada baut, terlepasnya sambungan akibat ketidaksempurnaan pemasangan, atau kegagalan *bearing* pada pelat sambung.

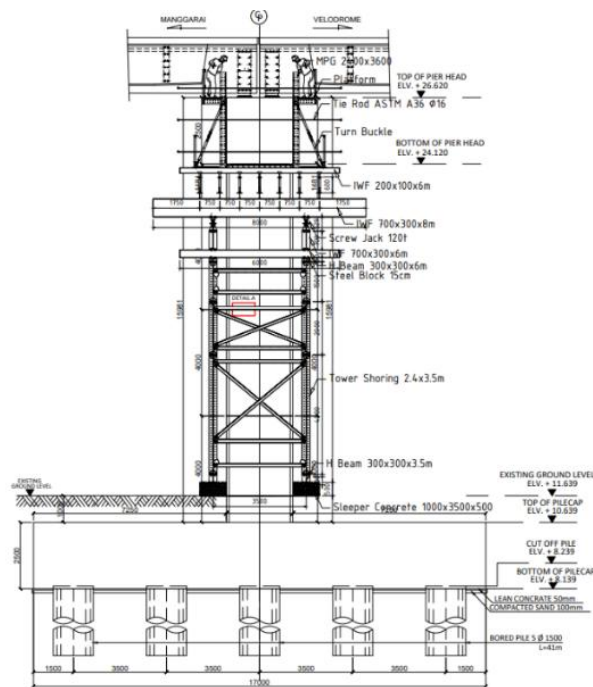
4. Kegagalan tumpuan

Ketidakstabilan pada *jack base*, *base plate*, atau *sleeper*, baik akibat kondisi tanah yang lunak, penurunan diferensial, maupun distribusi beban yang tidak merata.

3.2 Struktur Sementara dalam Kontruksi

Struktur sementara merupakan elemen penopang non-permanen yang digunakan selama proses konstruksi untuk menjaga kestabilan serta keamanan struktur sebelum elemen permanen mampu memikul beban sendiri. Sistem ini dirancang untuk menahan beban sementara, seperti berat beton segar, beban bekisting, aktivitas tenaga kerja, serta peralatan konstruksi. Struktur sementara yang umum digunakan antara lain *formwork* sebagai cetakan beton, *scaffolding* sebagai sarana kerja pada elevasi tinggi, dan *shoring* yang berfungsi sebagai penopang vertikal untuk mendukung beban selama tahap pengecoran.

Salah satu bentuk *shoring* adalah *heavy shoring*, yaitu sistem penopang berkapasitas besar yang digunakan ketika beban konstruksi sementara bersifat signifikan, seperti pada pengecoran elemen struktur berukuran besar.



Gambar 3.2 Skema Sistem *Shoring* pada Pekerjaan *Pier Head*

3.3 Pembebanan pada Struktur

3.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati dihitung berdasarkan berat jenis material dan dimensi penampang elemen struktur. Perhitungan beban mati menggunakan persamaan:

$$DL = \gamma \times A \quad (3.8)$$

Keterangan konotasi:

DL = beban mati (N/m)

γ = berat jenis material (N/mm³)

A = luas penampang (mm²)

Nilai berat isi material diperoleh dari tabel berat isi pada SNI 1725-2016, yang memuat daftar material seperti aspal, tanah, beton normal, beton ringan, baja, dan kayu.

Tabel 4.1 Berat Isi Material untuk Beban Mati menurut SNI 1725-2016

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,00	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,00	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	22,0 – 25,0	2320
	Beton $35 < f'c < 105$ 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

Mutu beton yang digunakan dalam perhitungan dikonversi dari mutu nominal “ K_{beton} ” menjadi kuat tekan silinder ($f'c$). Nilai $f'c$ kemudian digunakan untuk menentukan kategori beton yang sesuai dalam tabel berat isi menggunakan rumus:

$$f'c = 0,83 \times K_{\text{beton}} \quad (3.9)$$

Keterangan konotasi:

$f'c$ = kuat tekan silinder (N/mm²)

K_{beton} = mutu beton (N/mm^2)

3.3.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban tidak tetap yang bekerja pada struktur selama proses konstruksi dan nilainya dapat berubah sesuai aktivitas di lokasi kerja. Penentuan beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020 yang menetapkan kategori beban hidup sesuai jenis penggunaan struktur.

Beban hidup pada struktur sementara mencakup:

1. Beban pekerja,
2. Beban alat kerja ringan (vibrator, gerobak, alat manual),
3. Beban getaran proses pengecoran, dan
4. Beban penumpukan material sementara.

3.3.3 Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin merupakan beban lateral yang bekerja secara horizontal pada struktur sesuai ketentuan SNI 1727:2020. Tekanan angin dapat berasal dari berbagai arah sehingga perlu diperhitungkan sebagai gaya lateral yang memengaruhi respons struktur.

Selain beban angin, standar *formwork* dan *scaffolding* menetapkan beban horizontal minimum sebesar 3% dari beban vertikal sebagai kontrol stabilitas. Beban ini digunakan untuk mewakili pengaruh getaran, deviasi pelaksanaan, pergerakan pekerja, dan efek dinamis lain yang berpotensi menghasilkan gaya lateral pada struktur.

3.3.4 Beban Beton Basah

Beban beton basah merupakan beban yang muncul saat pengecoran ketika beton masih dalam kondisi plastis. Beban ini terdiri dari beban vertikal akibat berat sendiri beton segar dan tekanan lateral yang bekerja pada bekisting.

1. Koefisien Berat Beton (C_w)

Koefisien ini dipakai untuk menyesuaikan besarnya tekanan lateral berdasarkan kategori berat jenis beton yang digunakan pada pengecoran sesuai dengan spesifikasi yang tercantum dalam ACI 347-14.

- a. Massa jenis beton kurang dari 2240 kg/m^3

$$C_{w_{\text{beton}}} = 0,5 \times \left(1 + \left(\frac{w}{2320 \text{ kg/m}^3}\right)\right), \text{ tetapi tidak kurang dari } 0,80 \quad (3.10)$$

b. Massa jenis beton 2240 – 2400 kg/m³

$$C_{w_{\text{beton}}} = 1,0 \quad (3.11)$$

c. Massa jenis beton lebih dari 2240 kg/m³

$$C_{w_{\text{beton}}} = \frac{w}{2320 \text{ kg/m}^3} \quad (3.12)$$

Keterangan konotasi:

$C_{w_{\text{beton}}}$ = koefisien berat beton

w_{beton} = berat jenis beton (N/mm³)

2. Koefisien Kimia Semen (Cc)

Cc adalah faktor koreksi yang digunakan dalam perhitungan tekanan lateral beton segar. Nilai Cc menggambarkan pengaruh tipe semen dan bahan tambahan terhadap kecepatan hidrasi dan kemampuan beton untuk mempertahankan kondisi plastis selama pengecoran. Penentuan nilai Cc mengacu pada spesifikasi yang tercantum dalam ACI 347-14.

Tabel 4.2 Koefisien Kimia Semen (Cc) Berdasarkan ACI 347-14

<i>Cement type or blend</i>	Cc
<i>Type I, II, and III without retarders</i>	1.0
<i>Type I, II, and III with retarder</i>	1.2
<i>Other types or blends containing less than 70% slag or 40% fly ash without retarders</i>	1.2
<i>Other types or blends containing less than 70% slag or 40% fly ash with retarder</i>	1.4
<i>Blends containing more than 70% slag or 40% fly ash</i>	1.4

3. Tekanan Lateral Beton Basah

Tekanan lateral beton segar dihitung menggunakan ketentuan ACI 347-14 dengan pemilihan persamaan disesuaikan dengan kondisi lapangan.

- a. Dinding dengan laju penempatan kurang dari 2,1 m/jam dan tinggi tidak melebihi 4,2 m

$$P_{\max} = C_{W_{\text{beton}}} \times C_c \times \left(7,2 + \frac{785 \times R}{T + 17,8} \right) \quad (3.13)$$

- b. Dinding dengan laju penempatan kurang dari 2,1 m/jam dimana tinggi melebihi 4,2 m dan dinding dengan laju penempatan 2,1 – 4,5 m/jam

$$P_{\max} = C_{W_{\text{beton}}} \times C_c \times \left(7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{245 \times R}{T + 17,8} \right) \quad (3.14)$$

Keterangan konotasi:

$P_{\max}$ = tekanan lateral maksimum beton basah (N/mm²)

$C_{W_{\text{beton}}}$ = koefisien berat beton

C_c = koefisien kimia semen

R = kecepatan penempatan beton (mm/jam)

T = temperature beton saat pengecoran (°C)

4. Tekanan Vertikal Beton Basah

ACI 347-14 menyatakan bahwa beban vertikal pada *formwork* terdiri dari beban mati dan beban hidup. Beban mati meliputi berat *formwork*, tulangan, dan beton segar, sedangkan beban hidup berasal dari pekerja, peralatan, dan material sementara. Standar ini juga mensyaratkan penggunaan beban hidup minimum serta kombinasi beban mati dan hidup minimum sebagai dasar perancangan *formwork* agar tetap aman selama pengecoran.

3.3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan digunakan untuk menentukan kondisi beban yang perlu ditinjau dalam analisis. Setiap kombinasi memadukan berbagai beban sesuai

kebutuhan analisis dan dipilih untuk mewakili kondisi paling kritis yang mungkin terjadi.

Kombinasi beban yang mengacu pada ASCE 7 adalah sebagai berikut:

1. $DL + FL$
2. $DL + HL + FL + LL + TL$
3. $DL + HL + FL + (Lr \text{ or } SL \text{ or } RL)$
4. $DL + HL + FL + 0,75(LL + TL) + 0,75(Lr \text{ or } SL \text{ or } RL)$
5. $DL + HL + FL + (WL \text{ or } 0,7EL)$
6. $DL + HL + FL + 0,75(WL \text{ or } 0,7EL) + 0,7LL + 0,75(Lr \text{ or } SL \text{ or } RL)$
7. $0,6DL + WL + HL$
8. $0,6DL + 0,7EL + HL$

Keterangan konotasi:

DL = beban mati

FL = beban fluida dengan tekanan dan tinggi permukaan yang terdefinisi

HL = beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah, atau tekanan material curah

LL = beban hidup

TL = gaya akibat perubahan bentuk sendiri (*self-straining force*)

Lr = beban hidup atap

SL = beban salju

RL = beban hujan

WL = beban angin

EL = beban gempa

3.4 Kriteria Desain

3.4.1 Batas Tegangan Lentur

Berdasarkan AISC ASD-1989, batas tegangan lentur ditentukan menurut tipe penampang dan kondisi *bracing*.

1. Penampang *compact*

Untuk penampang yang tergolong *compact*, tegangan lentur izin ditetapkan dengan rumus:

$$F_b = 0,66 \times F_y \quad (3.15)$$

2. Penampang *non-compact*

Untuk penampang yang tergolong *non-compact*, tegangan lentur izin ditetapkan dengan rumus:

$$F_b = F_y \times (0,79 - 0,002 \left(\frac{b_f}{2t_f}\right) \times \sqrt{F_y} \quad (3.16)$$

3. Penampang *compact* atau *non-compact* dengan panjang tanpa *bracing* melebihi L_c

Untuk penampang *compact* atau *non-compact* dengan panjang tanpa *bracing* melebihi L_c , tegangan lentur izin ditentukan dengan nilai rasio kelangsingan berdasarkan persamaan berikut:

a. Jika $\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_y}} \leq \frac{l}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$, maka:

$$F_b = \left(\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{l}{r_T}\right)^2}{1530 \times 10^3 C_b}\right) \times F_y \leq 0,60 \times F_y \quad (3.17)$$

b. Jika $\frac{l}{r_T} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$, maka:

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{\left(\frac{l}{r_T}\right)^2} \leq 0,60 \times F_y \quad (3.18)$$

c. Untuk nilai lainnya:

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 C_b}{l d / A_f} \leq 0,60 \times F_y \quad (3.19)$$

Keterangan konotasi:

- F_b = tegangan lentur izin (N/mm^2)
 F_y = tegangan leleh baja (N/mm^2)
 b_f = lebar *flange* (mm)
 t_f = tebal *flange* (mm)
 C_b = faktor modifikasi lateral–torsional *buckling*
 l = panjang tanpa *bracing* (mm)
 r_T = jari-jari girasi terhadap torsi/lateral (mm)
 d = tinggi penampang (mm)
 A_f = luas *flange* (mm^2)

3.4.2 Batas Tegangan Geser

Berdasarkan AISC ASD-1989, batas tegangan geser ditentukan menurut kelangsingan badan balok (h/t_w) dan kondisi jarak antar *flange*.

1. Kelangsingan badan balok lebih kecil atau sama dengan $\sqrt{F_y}$

$$F_v = 0,40 \times F_y \quad (3.20)$$

2. Kelangsingan badan balok lebih besar dari $\sqrt{F_y}$

$$F_v = \frac{F_y}{2,89} \times C_v \leq 0,40 \times F_y \quad (3.21)$$

Penentuan faktor C_v sebagai berikut:

- a. $C_v = \frac{45.000 k_v}{F_y \times \left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$, ketika C_v kurang dari 0,8

- b. Jika hasil C_v lebih dari 0,8, maka menggunakan rumus $C_v = \frac{190}{h/t_w} \times \sqrt{\frac{k_v}{F_y}}$

Penentuan faktor k_v sebagai berikut:

- a. $k_v = 4,00 + \frac{5,34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$, ketika a/h kurang dari 1,0

- b. Jika hasil a/h lebih dari 1,0, maka menggunakan rumus $k_v = 5,34 + \frac{4,00}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$

Selain berdasarkan tegangan geser izin, kapasitas geser penampang juga dapat ditinjau menggunakan kuat geser nominal. Kuat geser nominal penampang dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A \times C_v \quad (3.22)$$

Keterangan konotasi:

- F_v = tegangan geser izin (N/mm^2)
- F_y = tegangan leleh baja (N/mm^2)
- C_v = faktor reduksi tegangan geser
- k_v = koefisien *buckling* geser yang bergantung pada rasio kekangan
- h = tinggi bersih badan balok (mm)
- t_w = tebal badan balok (mm)
- a = jarak antar *stiffener* (mm)
- V_n = kuat geser nominal penampang (N)
- A = luas penampang (mm^2)

3.4.3 Batas Tegangan Tarik

Berdasarkan AISC ASD-1989, batas tegangan tarik ditentukan berdasarkan kondisi luas penampang dan jenis sambungan yang digunakan.

1. Tegangan tarik pada luas bruto

$$F_t = 0,60 \times F_y \quad (3.23)$$

2. Tegangan tarik pada luas netto

$$F_t = 0,50 \times F_u \quad (3.24)$$

3. Tegangan tarik pada sambungan pin

$$F_t = 0,45 \times F_y \quad (3.25)$$

4. Tegangan tarik pada *eyebars*

$$F_t = 0,60 \times F_y \quad (3.26)$$

Keterangan konotasi:

- F_t = tegangan tarik izin (N/mm^2)
 F_y = tegangan leleh baja (N/mm^2)
 F_u = tegangan ultimit baja (N/mm^2)

3.4.4 Batas Tegangan Tekan

Berdasarkan AISC ASD-1989, batas tegangan tekan dirumuskan sebagai:

$$F_p = 0,90 \times F_y \quad (3.27)$$

Keterangan konotasi:

- F_p = tegangan tekan izin (N/mm^2)
 F_y = tegangan leleh baja (N/mm^2)

3.4.5 Batas Lendutan

Batas lendutan maksimum pada sistem struktur sementara mengacu pada ACI 347-14, yaitu sebesar $L/240$ dari panjang bentang. Ketentuan tersebut dihitung berdasarkan berat total beton pada penampang superstruktur, dengan asumsi seluruh pengecoran dilakukan dalam satu tahap, sehingga lendutan aktual selama konstruksi tidak melampaui nilai batas lendutan yang ditetapkan.

3.4.6 Klasifikasi Penampang

Klasifikasi penampang dalam ditetapkan berdasarkan kelangsingan pada elemen badan dan sayap (*non-slender* dan *slender*) serta kelangsingan global elemen tekan (inelastis dan elastis).

1. Batas kelangsingan elemen badan
 - a. *Non-slender* apabila

$$\frac{h}{t} < 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.28)$$

b. *Slender* apabila

$$\frac{h}{t} \geq 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.29)$$

2. Batas kelangsingan elemen sayap

a. *Non-slender* apabila

$$\frac{b}{t} < 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.30)$$

b. *Slender* apabila

$$\frac{b}{t} \geq 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.31)$$

3. Batas kelangsingan elemen pipa

a. *Non-slender* apabila

$$\frac{D}{t} < 0,11 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.32)$$

b. *Slender* apabila

$$\frac{D}{t} \geq 0,11 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.33)$$

4. Klasifikasi kelangsingan global

a. Inelastis apabila

$$\frac{K \times L}{r} < 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.34)$$

b. Elastis apabila

$$\frac{K \times L}{r} \geq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.35)$$

Keterangan notasi:

- h = tinggi bersih badan balok (mm)
- b = lebar sayap (mm)
- t = tebal elemen (mm)
- D = diameter luar pipa (mm)
- K = faktor panjang efektif
- L = panjang elemen (mm)
- r = jari-jari girasi penampang (mm)
- E = modulus elastisitas (N/mm²)
- F_y = tegangan leleh baja (N/mm²)

3.4.7 Desain Tekan

Desain tekan ditentukan dengan mempertimbangkan perilaku material, yang secara umum dibedakan menjadi dua kondisi.

1. Inelastis

Tegangan kritis dapat dihitung dengan rumus:

$$F_{cr} = \left(0,658^{\left(\frac{F_y}{F_e}\right)}\right) \times F_y \quad (3.36)$$

2. Elastis

Tegangan kritis dapat dihitung dengan rumus:

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e \quad (3.37)$$

Setelah nilai F_{cr} diperoleh, kapasitas tekan nominal elemen dapat ditentukan menggunakan rumus:

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.38)$$

Keterangan notasi:

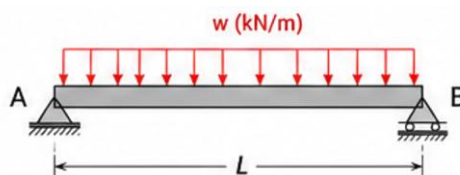
- F_{cr} = tegangan kritis tekan (N/mm^2)
- F_y = tegangan leleh baja (N/mm^2)
- F_e = tegangan kritis elastis (N/mm^2)
- P_n = kapasitas tekan nominal (N)
- A_g = luas penampang bruto (mm^2)

3.5 Respon Struktur

3.5.1 Momen Lentur

Momen lentur adalah gaya dalam yang muncul ketika elemen struktur menerima beban tegak lurus sumbunya sehingga elemen tersebut melengkung. Untuk balok dua tumpuan dengan beban merata, momen maksimum terjadi di tengah bentang dan dihitung dengan rumus:

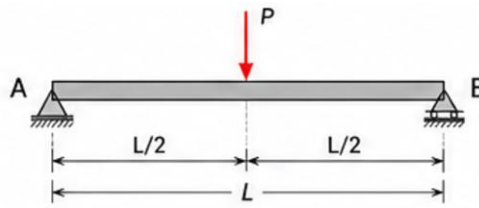
1. Balok dua tumpuan dengan beban merata



Gambar 3.3 Ilustrasi Balok Dua Tumpuan dengan Beban Merata

$$M = \frac{w \times L^2}{8} \quad (3.39)$$

2. Balok dua tumpuan dengan beban terpusat di tengah bentang



Gambar 3.4 Ilustrasi Balok Dua Tumpuan dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang

$$M = \frac{P \times L}{4} \quad (3.40)$$

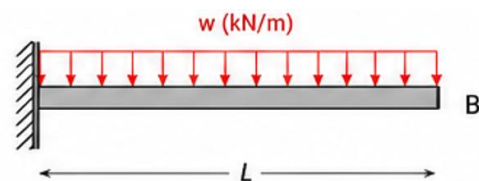
3. Balok kantilever dengan beban terpusat di ujung



Gambar 3.5 Ilustrasi Balok Kantilever dengan Beban Terpusat di Ujung

$$M = P \times L \quad (3.41)$$

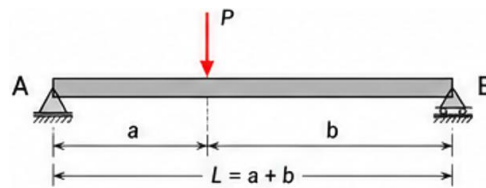
4. Balok kantilever dengan beban merata



Gambar 3.6 Ilustrasi Balok Kantilever dengan Beban Merata

$$M = \frac{w \times L^2}{2} \quad (3.42)$$

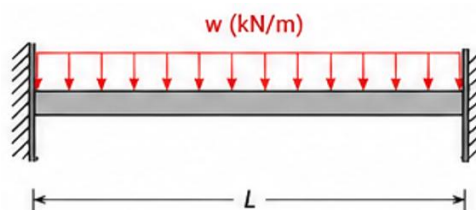
5. Balok dua tumpuan dengan beban terpusat tidak simetris



Gambar 3.7 Ilustrasi Balok Dua Tumpuan dengan Beban Terpusat Tidak Simetris

$$M = \frac{P \times a \times b}{L} \quad (3.43)$$

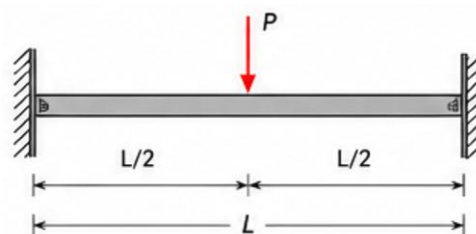
6. Balok jepit-jepit dengan beban merata



Gambar 3.8 Ilustrasi Balok Jepit-Jepit dengan Beban Merata

$$M = \frac{w \times L^2}{12} \quad (3.44)$$

7. Balok jepit-jepit dengan beban terpusat di tengah bentang



Gambar 3.9 Ilustrasi Balok Jepit-Jepit dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang

$$M = \frac{P \times L}{8} \quad (3.45)$$

Keterangan notasi:

M = momen lentur (Nmm)

w = berat total (N/mm)

L = panjang elemen (mm)

P = panjang bentang (mm)

a_{kiri} = jarak beban ke tumpuan kiri (mm)

b_{kanan} = jarak beban ke tumpuan kanan (mm)

3.5.2 Tegangan Lentur

Tegangan lentur adalah tegangan yang timbul pada penampang ketika elemen menerima momen lentur. Besarnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (3.46)$$

Keterangan konotasi:

σ = tegangan lentur (N/mm²)

M = momen lentur (Nmm)

Z = modulus penampang (mm³)

3.5.3 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi akibat transfer gaya geser di dalam penampang. Pada elemen dengan beban merata, tegangan geser dapat dihitung dengan rumus:

$$SS = \frac{0,5 \times W}{A} \quad (3.47)$$

Selain itu, tegangan geser juga dapat dihitung berdasarkan gaya geser yang bekerja pada elemen, yaitu:

$$SS = \frac{V}{A} \quad (3.48)$$

Keterangan notasi:

SS = tegangan geser rata-rata (N/mm²)

W = beban total yang bekerja (N)

A = luas penampang (mm²)

V = gaya geser yang bekerja (N)

3.5.4 Regangan Elastis

Regangan elastis merupakan perubahan panjang yang terjadi pada elemen ketika menerima gaya tarik atau tekan selama material masih berada dalam kondisi elastis. Regangan elastis dapat dihitung dengan rumus:

$$\epsilon = \frac{P \times L}{E \times A} \quad (3.49)$$

Keterangan notasi:

ϵ = regangan elastis (%)

P_{aksial} = gaya aksial (N)

L = panjang elemen (mm)

E = modulus elastisitas (N/mm²)

A = luas penampang (mm²)

3.5.5 Lendutan (Defleksi)

Lendutan adalah penurunan atau perpindahan vertikal pada elemen struktur ketika menerima beban. Untuk balok dua tumpuan yang menerima beban merata, lendutan maksimum dapat dihitung dengan:

$$\text{Def} = \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (3.50)$$

Keterangan notasi:

Def = lendutan maksimum (mm)

w = berat total (N/mm)

L = panjang elemen (mm)

E = modulus elastisitas (N/mm²)

I = momen inersia penampang (mm^4)

3.5.6 Reaksi Tumpuan

Reaksi tumpuan adalah gaya yang muncul pada perletakan sebagai respon struktur terhadap beban yang bekerja. Gaya ini timbul untuk menjaga keseimbangan dan menyalurkan beban dari elemen struktur ke elemen pendukung di bawahnya.

Reaksi dapat berupa gaya vertikal, gaya horizontal, maupun momen tumpuan, tergantung arah beban dan tipe perletakan yang digunakan. Nilai reaksi ini menjadi dasar untuk menentukan beban yang harus ditahan oleh elemen pendukung seperti balok penyangga, kolom *shoring*, dan fondasi.

3.6 Sambungan Baut pada Struktur Baja

3.6.1 Jenis Sambungan Baut

Sambungan baut pada struktur baja berfungsi untuk meneruskan gaya antar komponen struktur, seperti balok, kolom, maupun *bracing*. Dalam pelaksanaannya, sambungan baut dapat bekerja dalam tiga mekanisme utama, yaitu:

1. Sambungan geser (*shear connection*)

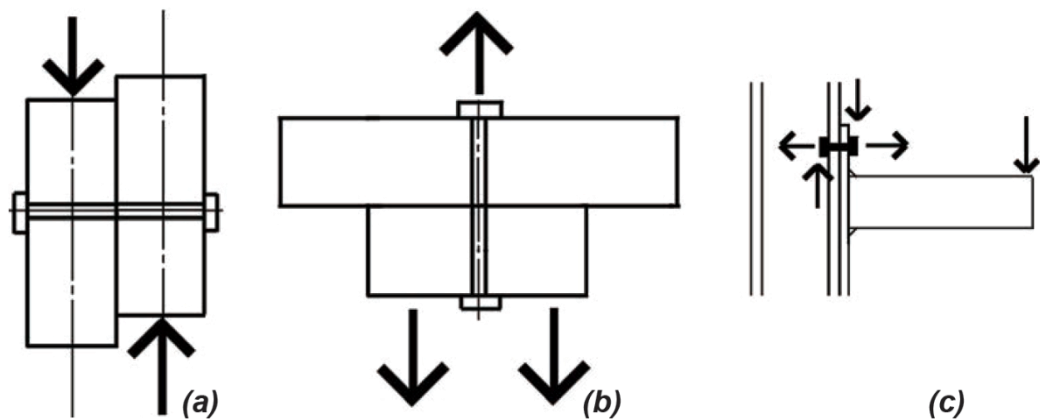
Sambungan geser adalah sambungan baut yang direncanakan untuk menahan gaya yang bekerja sejajar terhadap bidang sambungan. Beban utama yang diteruskan merupakan gaya geser, sehingga batang baut bekerja memikul geser sebagai mekanisme utamanya.

2. Sambungan tarik (*tension connection*)

Sambungan tarik merupakan sambungan baut yang menerima gaya aksial searah batang baut. Gaya yang ditransfer berupa gaya tarik, sehingga kapasitasnya ditentukan oleh kekuatan tarik baut dan ketahanan pelat di sekitarnya.

3. Sambungan kombinasi (*combined shear-tension connection*)

Sambungan kombinasi adalah sambungan baut yang secara bersamaan menerima gaya geser dan tarik. Kondisi ini terjadi ketika gaya bekerja tidak terpusat, sehingga baut menahan dua komponen gaya secara bersamaan.



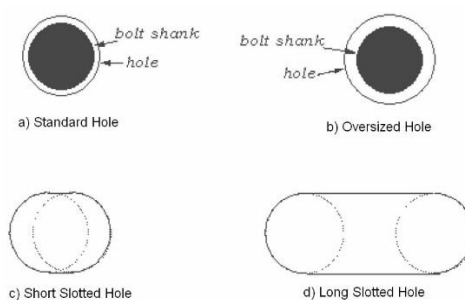
Gambar 3.10 Ilustrasi Jenis Sambungan Baut pada Struktur Baja
(a) Sambungan Geser; (b) Sambungan Tarik; (c) Sambungan Kombinasi

3.6.2 Tipe Lubang Baut dan Ketentuan

Lubang baut memiliki pengaruh terhadap kapasitas sambungan dan mode kegagalannya. Pemilihan tipe lubang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi, kemudahan instalasi, dan ketentuan desain pada SNI 1729:2015.

Fungsi utama lubang baut adalah:

1. Mempermudah pemasangan di lapangan
2. Mengakomodasi toleransi fabrikasi
3. Mengontrol deformasi sambungan
4. Menghindari konsentrasi tegangan berlebih pada baut



Gambar 3.11 Ilustrasi Tipe Lubang Baut pada Struktur Baja
(a) *Standard Hole*; (b) *Oversized Hole*; (c) *Short Slotted Hole*;
(d) *Long Slotted Hole*

Selain tipe lubang, jarak tepi baut juga perlu diperhatikan untuk mencegah terjadinya kegagalan sobek pada pelat (*tear-out failure*). Ketentuan jarak tepi minimum ditentukan berdasarkan diameter baut yang digunakan sesuai dengan spesifikasi SNI 1729:2015.

Tabel J3.4M – Jarak Tepi Minimum, ^[a] dari Pusat Lubang Standar^[b] ke Tepi dari Bagian yang Disambung

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

^[a]Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diizinkan asalkan ketentuan yang sesuai Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diizinkan tanpa persetujuan dari Insinyur yang memiliki izin bekerja sebagai perencana.
^[b]Untuk ukuran-berlebih atau lubang-lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

Gambar 3.12 Jarak Tepi Minimum Baut Menurut SNI 1729:2015

3.6.3 Mode Kegagalan Sambungan Baut

Kegagalan sambungan baut bisa muncul dari cara gaya bekerja pada sambungan. Beberapa jenis kegagalan yang umum dijumpai pada sambungan baut antara lain sebagai berikut:

1. Kegagalan geser baut (*shear failure*), yaitu kegagalan baut yang terjadi ketika tegangan geser pada batang baut melebihi kapasitas gesernya.
2. Kegagalan luluh pada pelat (*bearing failure*), yaitu kegagalan akibat tekanan lokal yang berlebih di sekitar lubang baut.
3. Putus tarik baut (*tensile rupture*), yaitu kegagalan tarik pada baut yang terjadi ketika tegangan tarik melampaui kapasitas tarik nominal baut.
4. Sobek pada pelat (*tear-out failure*), yaitu kegagalan pelat berupa robekan dari tepi lubang menuju tepi pelat akibat gaya geser atau tarik yang melampaui kapasitas tepi pelat.

3.6.4 Kapasitas Geser Baut

Kapasitas geser baut digunakan untuk menilai kemampuan sambungan dalam menahan gaya horizontal yang bekerja pada elemen struktur. Secara umum, kapasitas geser nominal dirumuskan sebagai berikut:

$$R_n = F_{nv} \times A_b \quad (3.51)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \times d^2 \quad (3.52)$$

Keterangan konotasi:

R_n = kapasitas geser nominal baut (N)

F_{nv} = tegangan nominal geser baut (N/mm²)

A_b = luas penampang baut (mm²)

d_{baut} = diameter baut (mm)

Apabila sambungan menggunakan lebih dari satu baut, kapasitas geser total dinyatakan sebagai:

$$R_{\text{total}} = n \times R_n \quad (3.53)$$

Keterangan konotasi:

R_{total} = kapasitas geser nominal baut total (N)

n = jumlah baut

R_n = kapasitas geser nominal baut (N)

Sesuai dengan ketentuan desain SNI 1729:2015, nilai nominal geser baut ditentukan berdasarkan jenis baut, mutu baut, serta kondisi ulir terhadap bidang geser.

Tabel J3.2 – Kekuatan Nominal Pengencang dan Bagian yang Berulir, ksi (MPa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_u ksi (MPa) ^[a]	Kekuatan Geser Nominal dalam Sambungan Tipe-Tumpu, F_u ksi (MPa) ^[b]
Baut A307	45 (310)	27 (188) ^[c]
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	90 (620)	68 (457)
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	113 (780)	68 (457)
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	113 (780)	84 (579)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

^[a] untuk baut kekuatan tinggi yang menahan beban fatik tarik, lihat Lampiran 3
^[b] Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (965 mm), F_u harus direduksi sampai 83,3 % dari nilai tabulasi. Panjang pola pengencang merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut-baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan lekatan.
^[c] Untuk baut A307 nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1 persen untuk setiap 1/16 in. (2 mm) di atas diameter 5 dari panjang pada pegangan/grip tersebut.
^[d] Ulir diizinkan pada bidang geser.

Gambar 3.13 Kekuatan Nominal Baut Menurut SNI 1729:2015

BAB IV

METODE ANALISIS

4.1 Lokasi Penelitian

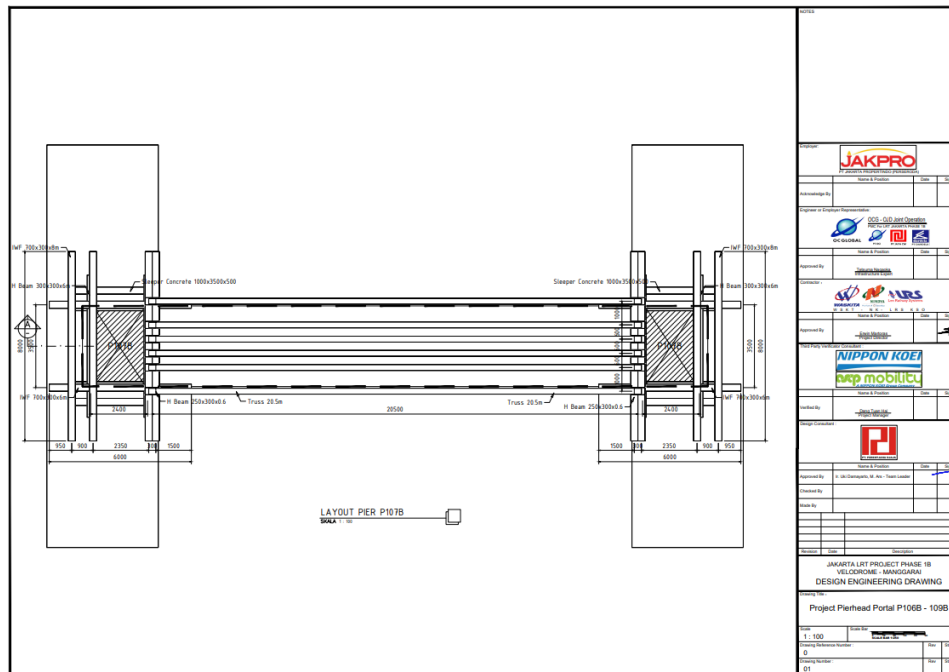
Struktur *heavy shoring* yang dianalisis pada tugas akhir ini terletak di *Underpass* Pramuka, Jl. Pramuka No.3 2, RT.3/RW.2, Rawasari, Kec. Cemp. Putih, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Gambaran lokasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



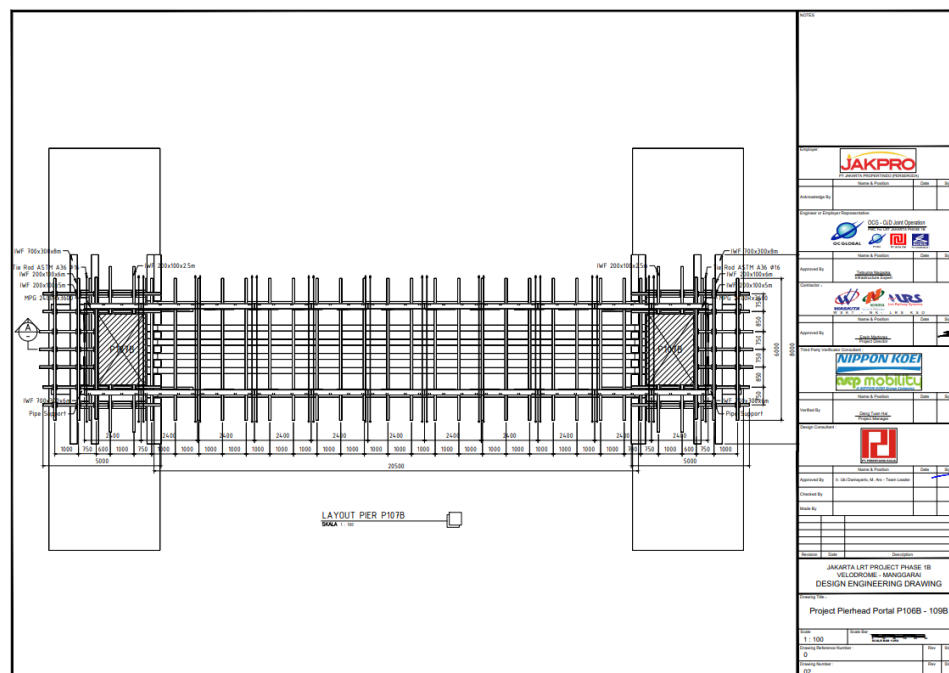
Gambar 4.1 Gambaran Lokasi Penelitian

4.2 Data Struktur

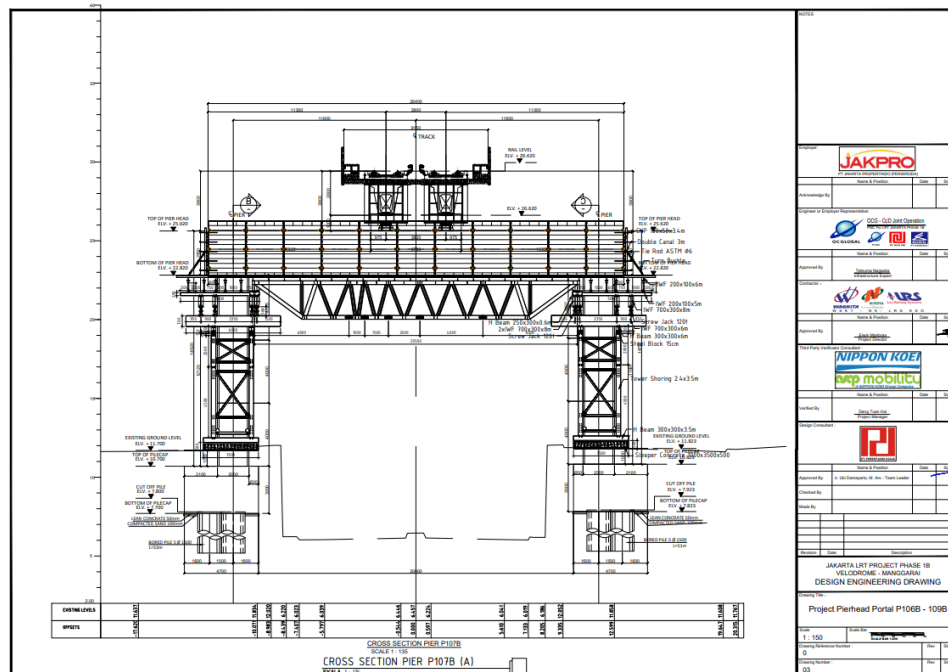
Sistem *shoring* pada *pier* P107B terdiri dari rangka utama berupa *truss*, *cross beam*, *tower shoring*, *H-Beam*, dan *IWF* yang berfungsi menahan serta menyalurkan beban beton basah selama pekerjaan ke elemen penopang di bawahnya. Gambar menunjukkan susunan rangka *shoring* sepanjang bentang *pier* dengan total enam deret (*row*) *truss* sebagai pemikul beban utama. Potongan melintang dan potongan memanjang memperlihatkan konfigurasi elevasi, tinggi *tower shoring*, posisi platform kerja, serta hubungan antara *pier existing*, pilecap, dan pondasi boredpile.



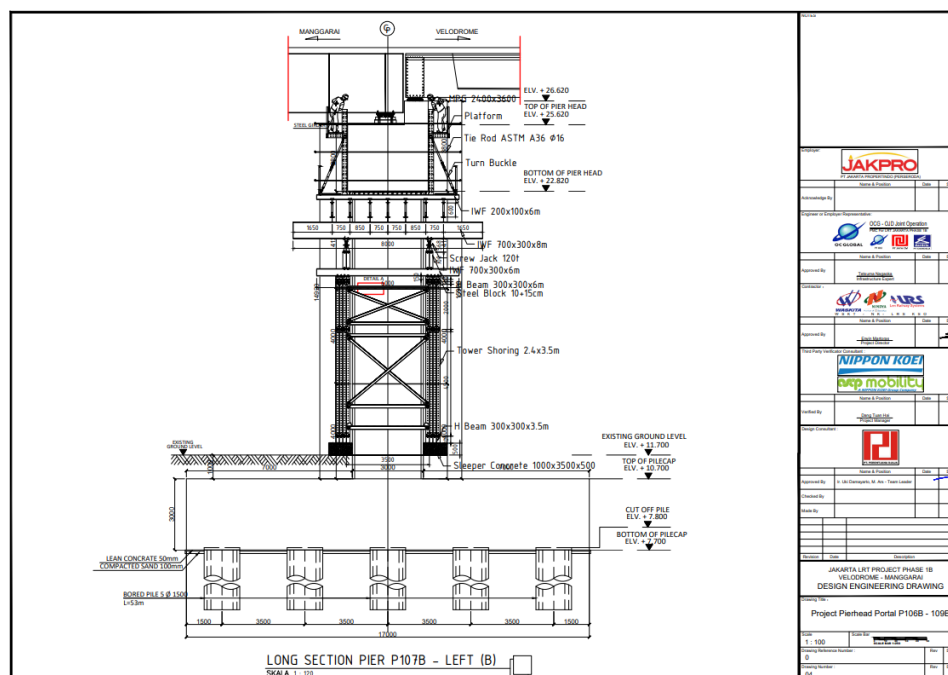
Gambar 4.2 Layout Shoring Pier P107B Tahap 1



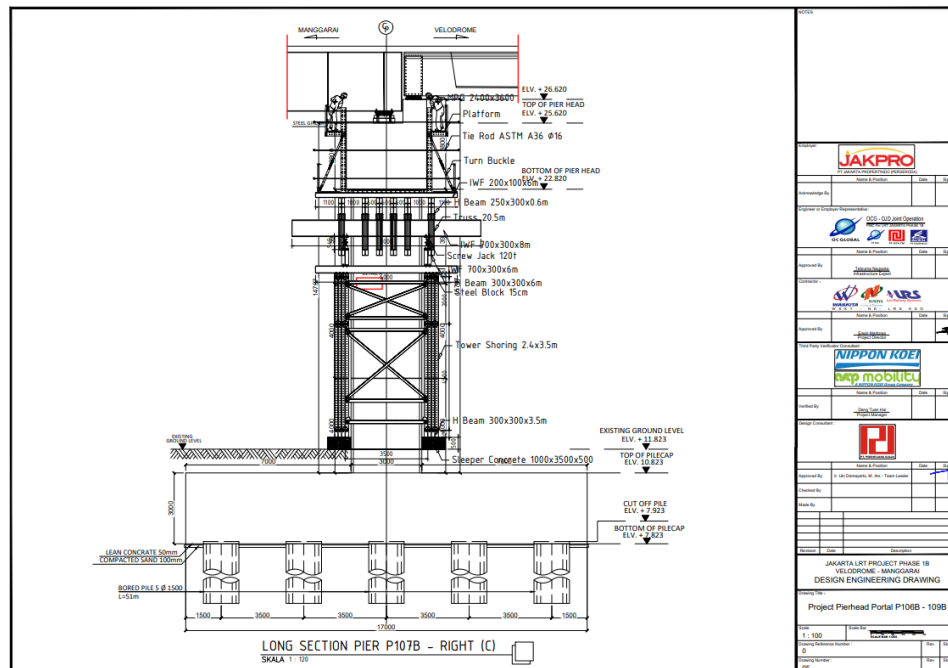
Gambar 4.3 Layout Shoring Pier P107B Tahap 2



Gambar 4.4 Cross Section Pier P107B



Gambar 4.5 Long Section Pier P107B Kiri



Gambar 4.6 Long Section Pier P107B Kanan

4.3 Alat Bantu Analisis

Alat bantu analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Microsoft Excel

Microsoft Excel digunakan untuk mengelola data numerik, melakukan perhitungan manual, serta menyusun tabel hasil analisis. Fitur formula dan pengolahan data yang tersedia mempermudah proses verifikasi nilai dan penyajian hasil analisis secara sistematis.

2. Perangkat Lunak SAP2000

SAP2000 merupakan perangkat lunak analisis dan desain struktur yang umum digunakan oleh akademisi maupun praktisi teknik sipil untuk memodelkan elemen struktur, menganalisis respons beban statik dan dinamik, serta mengevaluasi kapasitas elemen berdasarkan standar perencanaan yang berlaku. Penggunaan SAP2000 dalam penelitian ini didasarkan pada kemampuannya memberikan hasil analisis yang akurat dan komprehensif, khususnya pada struktur rangka baja, sistem shoring, dan komponen pendukung sementara, sehingga proses evaluasi struktur dapat dilakukan dengan lebih terkontrol.

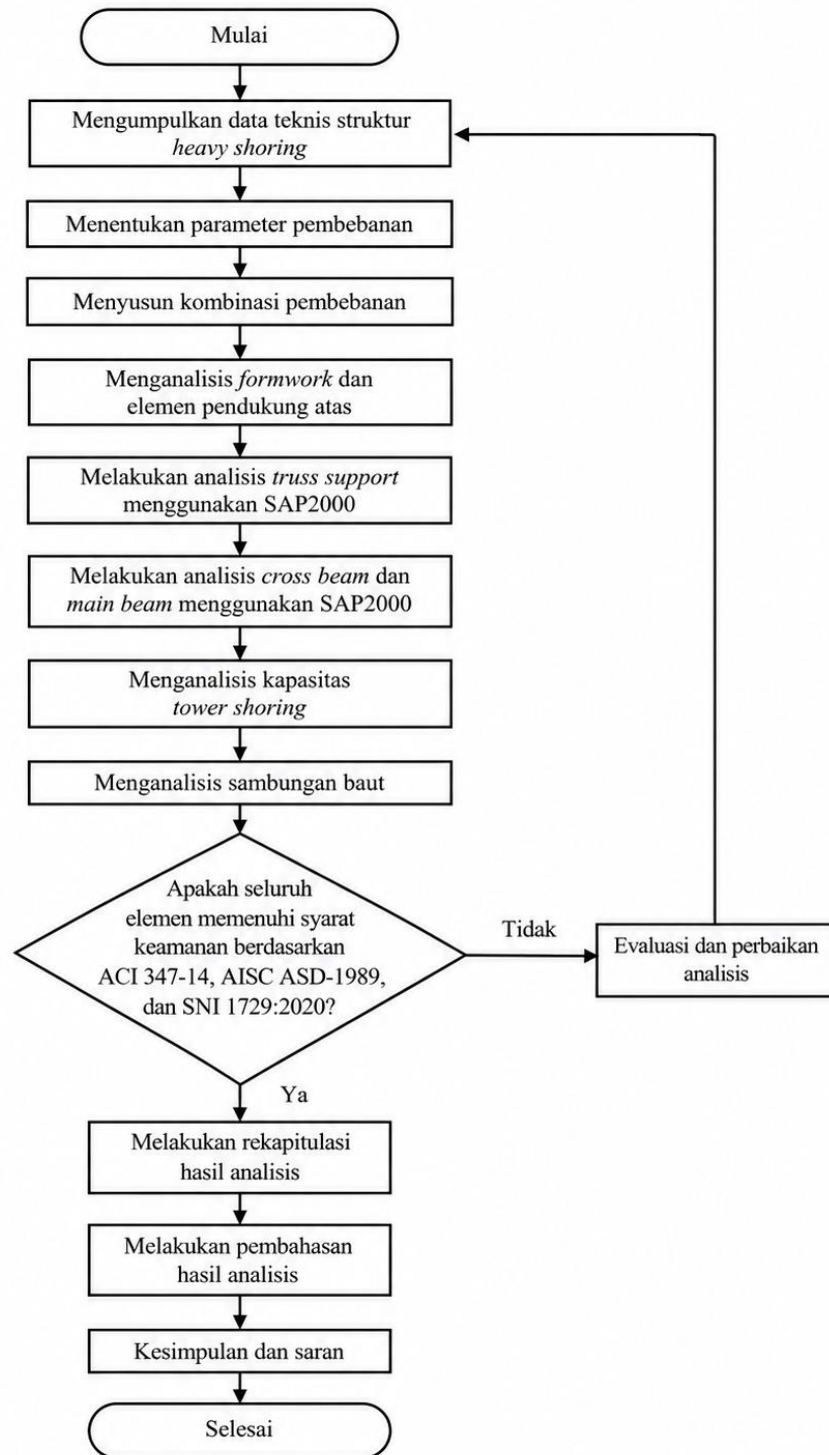
Relevansi penggunaan SAP2000 juga diperkuat oleh temuan penelitian oleh Nabil dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa SAP2000 mampu menghasilkan pemodelan dan perilaku struktur yang konsisten dengan ketentuan desain.

4.4 Tahap Analisis

Analisis dilakukan berdasarkan data teknis struktur sementara yang digunakan pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B, dengan mengacu pada standar AISC ASD-1989, SNI 1727:2020, SNI 1725:2016, SNI 1729:2015, serta ACI 347-14. Tahapan analisis adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data teknis struktur *heavy shoring*,
2. Menentukan parameter pembebanan,
3. Menyusun kombinasi pembebanan,
4. Menganalisis *formwork* dan elemen pendukung atas,
5. Melakukan analisis *truss support* menggunakan SAP2000,
6. Melakukan analisis *cross beam* dan *main beam* menggunakan SAP2000,
7. Menganalisis kapasitas *tower shoring*,
8. Menganalisis sambungan baut,
9. Melakukan rekapitulasi hasil analisis,
10. Melakukan pembahasan hasil analisis.

Adapun bagan alir (*flowchart*) tahapan analisis kapasitas struktur *heavy shoring* pada pekerjaan *pier head* akibat beban beton basah dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.7 Flowchart Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Teknis Jembatan

Berikut merupakan data teknis jembatan yang mengacu pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B lintas Velodrome–Manggarai (P104B - P109B). Adapun gambar struktur sistem *shoring* pada *pier* P107B dipaparkan pada Subbab 4.2.

Data dan parameter yang digunakan dalam perhitungan *shoring pier* P107B adalah sebagai berikut:

1. Profil IWF dan *H-Beam*
 - a. Mutu baja = BJ 41
 - b. Tegangan leleh (F_y) = 250 N/mm^2
 - c. Tegangan maksimum (F_u) = 410 N/mm^2
 - d. Modulus geser material (G) = 77200 N/mm^2
 - e. *Torsional constant* (J) = 770000 mm^4
 - f. *Warping constant* (C_w) = $1,37 \times 10^{12} \text{ mm}^4$
2. Balok pendukung
 - a. Tegangan leleh CNP (F_y) = 240 N/mm^2
 - b. Berat CNP = $0,0055 \text{ ton/m}$
 - c. Berat panel = $0,0011 \text{ ton/m}$
3. Modulus elastisitas baja (E)
= $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
= $2,1 \times 10^7 \text{ ton/m}^2$
4. Diameter *Tie rod* = 17 mm
5. Pipa *shoring*
 - a. Diameter luar (D_1) = 6 cm
 - b. Diameter dalam (D_2) = 5,22 cm
 - c. Tinggi (L) = 60 cm
 - d. Tegangan leleh (F_y) = 318 N/mm^2
6. Sambungan pada *Truss*
 - a. Jenis material = SCM440
 - b. Diameter (d) = 7 cm

- c. Tegangan geser izin (F_v) = 1700 kg/cm²
- d. Tegangan lentur izin (F_b) = 5100 kg/cm²
- 7. Pelat sambungan
 - a. Jenis material = A572
 - b. Tebal (t) = 4 cm
 - c. Lebar plat (b) = 25 cm
 - d. Diameter lubang (d_0) = 7,1 cm
 - e. Jarak tepi arah memanjang (a) = 8,45 cm
 - f. Jarak tepi arah melintang (c) = 6,45 cm
 - g. Tegangan leleh (F_y) = 3500 kg/cm²
- 8. Sambungan pada *Tower Shoring*
 - a. Jenis material = A325
 - b. Diameter = 22 mm

5.2 Analisis Pembebanan

5.2.1 Beban Mati

Beban mati yang bekerja pada sistem *shoring* berasal dari berat beton segar yang ditahan selama proses pengecoran. Beton yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beton mutu K-350.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 0,83 \times K \\
 &= 0,83 \times 350 \\
 &= 290,5 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 29,05 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai kuat tekan beton rencana tersebut, beton termasuk kedalam kategori $f'_c < 35 \text{ N/mm}^2$. Mengacu pada SNI 1725:2016 mengenai berat isi untuk beban mati, berat jenis beton untuk kategori tersebut diambil sebesar 2320 kg/m³. Untuk keperluan perencanaan dan mempertimbangkan faktor keamanan, berat jenis beton digunakan sebesar 2500 kg/m³.

5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020 khususnya pada Tabel 4.3-1 mengenai beban hidup terdistribusi merata minimum (L_0) dan beban hidup terpusat

minimum. Untuk kategori semua konstruksi lainnya digunakan nilai minimum beban hidup sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$ atau setara dengan 96 kg/m^2 .

Tabel 4.3-1 (Lanjutan) - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup dizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak dizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penutup layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributan dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap bima, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaannya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan				300 (1,33)	

Gambar 5.1 Beban Hidup Berdasarkan SNI 1727:2020

Nilai 96 kg/m^2 tersebut merupakan beban minimum, sehingga dalam perencanaan ini digunakan beban hidup sebesar 200 kg/m^2 sebagai nilai pertimbangan kondisi aktual di lapangan saat konstruksi, di mana terdapat tambahan beban dari pekerja, peralatan, serta material yang tidak selalu terdistribusi merata.

5.2.3 Beban Angin

Beban angin bekerja sebagai beban lateral yang arahnya dapat berasal dari berbagai arah sesuai dengan kondisi lingkungan. Berdasarkan SNI 1727:2020, nilai beban angin digunakan sebesar 0,77 kPa atau setara dengan 0,079 ton/m².

5.3 Analisis Elemen Bekisting

5.3.1 Analisis Kekuatan *Lite Wall*

Kapasitas maksimum tekanan *lite wall* mengacu pada data spesifikasi *EFCO Lite & Super Stud*. Berdasarkan spesifikasi tersebut, *lite wall* memiliki kapasitas maksimum tekanan pengecoran sebesar 57 kN/m² atau setara dengan 5,7 ton/m², yang selanjutnya digunakan sebagai acuan kapasitas izin dalam pengecekan terhadap tekanan lateral beton.

LATERAL POUR PRESSURE ON WALLS

Service Contact: _____

EFCO
A Super Service Company
Systems for Concrete Construction

Pour Pressure Formulas based on ACI 347R-03 (for concrete with a slump ≤ 175 mm and a normal internal vibration depth ≤ 1,2 m)

$$P_{max} = Cw \times Cc \times \left(7,2 + \frac{785 \times R}{T + 17,8} \right)$$

For walls with $R < 2,1$ m/hr and $H \leq 4,2$ m

$$P_{max} = Cw \times Cc \times \left(7,2 + \frac{1.156}{T + 17,8} + \frac{244 \times R}{T + 17,8} \right)$$

For walls with $R < 2,1$ m/hr and $H > 4,2$ m, or for all walls with $2,1 \leq R \leq 4,5$ m/hr

where: P_{max} ⇒ maximum lateral pressure, kPa
 Cw, Cc ⇒ unit weight and chemistry coefficients
 R ⇒ rate of placement (pour rate), m/hr
 T ⇒ temperature of concrete during placing, °C
 H ⇒ wall or pour height, m
 w ⇒ density of concrete, kg/m³

Density of Concrete (w in kg/m ³)	Unit Weight Coefficient (Cw)
< 2.240	$Cw = 0,5 \times \left[1 + \left(\frac{w}{2.320} \right) \right]$ but not less than 0.80
2.240 to 2.400	1.00
> 2.400	$Cw = \frac{w}{2.320}$

Cement Type or Blend	Chemistry Coefficient (Cc)
Types I, II, and III without retarders *	1.0
Types I, II, and III with a retarder *	1.2
Other types or blends containing less than 70% slag or 40% fly ash without retarders *	1.2
Other types or blends containing less than 70% slag or 40% fly ash with a retarder *	1.4
Blends containing more than 70% slag or 40% fly ash	1.4

* Retarders include any admixture, such as a retarder, retarding water reducer, retarding mid-range water-reducing admixture, or high-range water-reducing admixture (super plasticizer), that delays setting of concrete.

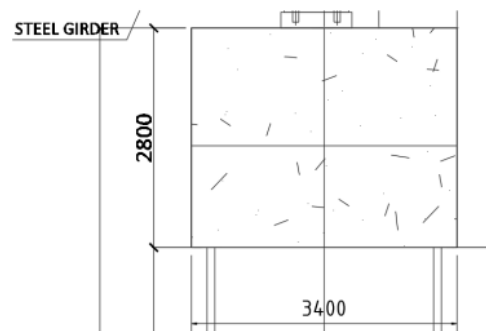
EFCO Wall Form System	Rated Capacity of Form (kPa)
Hand-E-Form®	57
Hand-E-Form® and Super Stud® as Stiffback	48
Plate Girder® Form 600R to 1800R	67
Plate Girder® Form 2100R	57
Plate Girder® Form 2400R	67
Plate Girder® Form 2700R	62
Plate Girder® Form 3000R	57
Plate Girder® Form 3600R	48
EFCO LITE® Wall Form	57
HP 2400®	115
Redi-Radius® 600R to 1200R (≥ 6 m Radius)	72
Redi-Radius® 1500R (≥ 6 m Radius)	57
Redi-Radius® 1800R (≥ 6 m Radius)	48
Small Redi-Radius® (3 m to 6 m Radius)	38
E-Beam® and Super Stud®	Varies

Wall or Pour Height (m)	Unit Weight Coefficient (Cw)	Pour Pressure (kPa)	Pour Pressure (psf)
5.85	1.00	57.0	1,190

Gambar 5.2 Data Teknis dan Parameter Perhitungan *Lite Wall* EFCO Lite & Super Stud

Proses pengecoran diasumsikan menggunakan 2 unit *truck mixer* dengan kapasitas masing-masing 7 m³, sehingga total volume beton yang dicor adalah 14 m³ dalam waktu 15 menit.

$$\begin{aligned}\text{Produktivitas (Q)} &= \frac{14}{15} \times 60 \\ &= 56 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$



Gambar 5.3 Detail Penampang Pengecoran

$$\begin{aligned}\text{Tinggi pengecoran} &= 2,8 \text{ m} \\ \text{Lebar pengecoran} &= 3,4 \text{ m} \\ \text{Panjang pengecoran} &= 26,4 \text{ m} \\ \text{Kenaikan cor (R)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{56}{(3,4 \times 26,4)} \\ &= 0,6239 \text{ m/jam, namun untuk perhitungan}\end{aligned}$$

struktur digunakan nilai yang lebih konservatif, yaitu $R = 1,2 \text{ m/jam}$.

Sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, kapasitas *lite wall* terhadap tekanan lateral beton dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Tekanan lateral izin (P izin)} &= 5,7 \text{ ton/m}^2 \\ \text{Berat jenis beton} &= 2500 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Sub-subbab 5.2.1}) \\ \text{Suhu beton (T)} &= 30^\circ \text{ C} \\ \text{Cw} &= \frac{w}{2320} \\ &= \frac{2500}{2320}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,078 \\
 C_c &= 1,2 \quad (\text{ACI 347-14}) \\
 \text{Tekanan lateral beton (P)} &= C_w \times C_c \times \left(7,2 + \frac{785 \times R}{T + 17,8}\right) \\
 &= 1,078 \times 1,2 \times \left(7,2 + \frac{785 \times 1,2}{30 \times 17,8}\right) \\
 &= 34,872 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 3,4872 \text{ ton/m}^2 < 5,7 \text{ ton/m}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan *Lite Wall*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Tekanan lateral	ton/m ²	3,4872	5,7	Memenuhi

Nilai tekanan lateral yang terjadi lebih kecil dari nilai kapasitas tekanan lateral izin, sehingga sistem *lite wall* pada bekisting dinyatakan aman terhadap tekanan lateral beton saat pengecoran.

5.3.2 Analisis Kekuatan *Tie Rod*

Table : Tension Load Test

Sample Reference	Ø 17mm Tie Rod Assembly
Nominal Dia. (mm) #	17
Maximum Load Applied (kN)	145.0
Position of Failure	Failure of the threaded portion. (Refer to the Photographs attached)

– Based on client's sample reference.

Gambar 5.4 Hasil Uji Tarik *Tie Rod* Diameter 17 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas tarik ultimit (Pu)} &= 14,5 \text{ ton} \\
 \text{Kapasitas tarik izin (P izin)} &= \frac{Pu}{SF} \\
 &= \frac{14,5}{2} \\
 &= 7,25 \text{ ton} \\
 \text{Jarak tie rod} &= 1,2 \text{ m} \\
 \text{Tekanan lateral beton (P)} &= 3,4872 \text{ ton/m}^2 \quad (\text{Sub-subbab 5.3.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban tarik 1 tie rod} &= 1,2 \times 1,2 \times 3,4872 \\ &= 5,022 \text{ ton} < 7,25 \text{ ton (memenuhi)}\end{aligned}$$

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan Tie Rod

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Tekanan lateral	ton	5,022	7,25	Memenuhi

Berdasarkan hasil perhitungan, beban tarik yang bekerja pada satu *tie rod* sebesar 5,022 ton, sedangkan kapasitas tarik izinnya sebesar 7,25 ton. Maka *tie rod* dinyatakan aman terhadap kapasitas tarik.

5.4 Analisis Struktur Penopang Tahap 1

5.4.1 Analisis Kapasitas Platform

Analisis platform dilakukan berdasarkan beban mati dan beban hidup yang bekerja selama proses konstruksi, serta mengevaluasi respon struktur terhadap beban yang bekerja.

$$\begin{aligned}\text{Beban hidup (L)} &= 200 \text{ kg/m}^2 && (\text{Sub-subbab 5.2.2}) \\ &= 0,2 \text{ ton/m}^2 \\ \text{Berat jenis beton} &= 2500 \text{ kg/m}^3 && (\text{Sub-subbab 5.2.1}) \\ &= 2,5 \text{ ton/m}^3 \\ \text{Tinggi pengecoran} &= 2,8 \text{ m} \\ \text{Beban mati (D)} &= 2,5 \times 2,8 \\ &= 7 \text{ ton/m}^2 \\ \text{Total beban} &= \text{LL} + \text{DL} \\ &= 0,2 + 7 \\ &= 7,2 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pembebanan, diperoleh total beban sebesar 7,2 ton/m². Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap kapasitas yang diizinkan, meliputi daya dukung, momen lentur, dan lendutan.

Plasform Panel Design Data	
Allowable Bending ⁽¹⁾ =	0.45kNm/m
Allowable Shear ⁽¹⁾ =	13.6kN/m
Flexural Rigidity, EI =	2.10kNm ² /m
Allowable Bearing Load on Panel ⁽¹⁾ =	500kN/m ²
Allowable Shear in Pin ⁽¹⁾ =	0.68kN

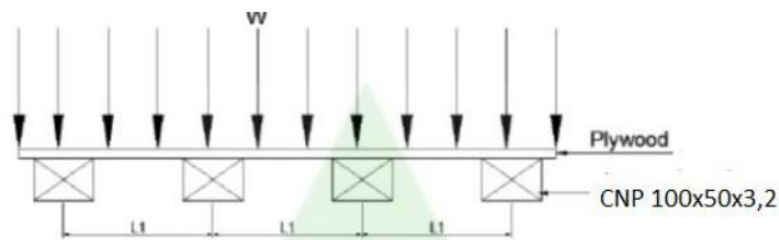
(1) Factor of Safety (FoS) = 2.5

Gambar 5.5 Kapasitas Desain Panel *Platform*

1. Daya dukung

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas platform (Pa)} &= 500 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 50 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Total beban} &= 7,2 \text{ ton/m}^2 < 50 \text{ ton/m}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

2. Momen lentur



Gambar 5.6 Ilustrasi Peletakan CNP pada Platform

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar CNP (L1)} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Kapasitas momen lentur} &= 0,45 \text{ kNm/m} \\
 \text{Momen lentur izin} &= 0,45 \times 0,2 \\
 &= 0,09 \text{ kNm} \\
 &= 0,009 \text{ ton.m} \\
 \text{Total beban merata} &= 7,2 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Berat total (w)} &= 0,2 \times 7,2 \\
 &= 1,44 \text{ ton/m} \\
 \text{Momen lentur (M)} &= \frac{w \times L^2}{8} \\
 &= \frac{1,44 \times 0,2^2}{8} \\
 &= 0,007 \text{ ton.m} < 0,009 \text{ ton.m (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

3. Lendutan (Defleksi)

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar CNP (L1)} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Defleksi izin} &= \frac{L}{240} \\
 &= \frac{0,2}{240} \\
 &= 0,0008 \text{ m} \\
 \text{Berat total (w)} &= 1,44 \text{ ton/m} \\
 EI &= 2,10 \text{ kNm}^2/\text{m} \\
 EI \text{ pakai} &= 2,10 \times 0,2 \\
 &= 0,42 \text{ kNm}^2 \\
 &= 0,042 \text{ ton.m}^2 \\
 \text{Defleksi} &= \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} \\
 &= \frac{5 \times 1,44 \times 0,2^4}{384 \times 0,042} \\
 &= 0,0007 \text{ m} < 0,0008 \text{ m (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

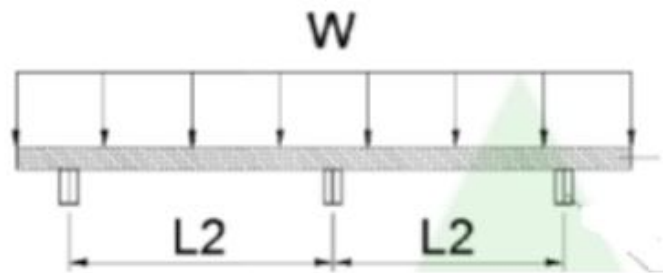
Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Platform

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Daya dukung	ton/m ²	7,2	50	Memenuhi
Momen lentur	ton.m	0,007	0,009	Memenuhi
Lendutan	m	0,0007	0,0008	Memenuhi

Berdasarkan hasil kapasitas platform, diperoleh total pembebanan sebesar 7,2 ton/m² yang berasal dari kombinasi 2 yaitu total dari beban mati dan beban hidup selama proses pengecoran. Hasil pemeriksaan terhadap kapasitas yang diizinkan, meliputi daya dukung dan momen lentur menunjukkan bahwa seluruh nilai yang bekerja masih berada di bawah batas izin yang ditentukan. Sehingga platform dinyatakan aman dan memenuhi persyaratan kekuatan dan kekakuan selama proses konstruksi.

5.4.2 Analisis Balok Pendukung

Pada perencanaan ini, profil CNP 100x50 mm digunakan sebagai elemen balok penyangga pertama. Di bawahnya, profil IWF 200x100 mm digunakan sebagai elemen balok penyangga kedua yang berfungsi menumpu profil CNP dan meneruskan beban ke struktur di bawahnya.



Gambar 5.7 Ilustrasi Peletakan IWF pada Platform

Jarak antar CNP (L1)	= 0,2 m	
Tinggi pengecoran	= 2,8 m	
Berat jenis beton	= 2500 kg/m ³	(Sub-subbab 5.2.1)
	= 2,5 ton/m ³	
Beban mati (DL)	= 2,5 x 0,2 x 2,8	
	= 1,4 ton/m	
Beban hidup (LL)	= 0,2 x 0,2	
	= 0,04 ton/m	
Berat panel	= 0,0011 ton/m	(Subbab 5.1)
Berat CNP	= 0,0055 ton/m	(Subbab 5.1)
Total Beban merata	= 1,4 + 0,0011 + 0,0055 + 0,04	
	= 1,4466 ton/m	
	= 14,466 kg/cm	
Jarak antar IWF (L2)	= 1 m	
	= 100 cm	
Total beban (W)	= 1,4466 x 1	
	= 1,4466 ton	

$$= 1446,6 \text{ kg}$$

Data penampang profil CNP yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada katalog profil baja ringan yang memuat parameter geometri dan sifat mekanika penampang.

METRIC SIZE

DIMENSION H x B x C	THICK- NESS t	UNIT WEIGHT	SECTION AREA		CENTER OF GRAVITY		CENTER OF SHEAR		MOMENT OF INERTIA		RADIUS OF GYRATION		MODULUS OF SECTION	
			A	C _x	C _y	S _x	S _y	I _x	I _y	r _x	r _y	Z _x	Z _y	
mm	mm	kg/m	cm ²	cm	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	
C 100 x 50 x 20	2.3	4.06	5.17	0	1.86	4.4	0	81	19	3.95	1.92	16.1	6.06	
	2.8	4.87	6.21	0	1.88	4.3	0	100	23	3.96	1.91	20.0	7.44	
	3.2	5.50	7.01	0	1.86	4.4	0	107	25	3.90	1.87	21.3	7.81	

Gambar 5.8 Data Penampang Profil CNP 100x50 mm

$$\text{Luas penampang (A)} = 7,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Momen inersia (I)} = 107 \text{ cm}^4$$

$$\text{Modulus penampang (Z)} = 21,3 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tegangan leleh (Fy)} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Momen (M)} = \frac{w \times L^2}{8}$$

$$= \frac{1,4466 \times 1^2}{8}$$

$$= 0,1808 \text{ ton.m}$$

$$= 1808,25 \text{ kg.cm}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja (E)} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Subbab 5.1})$$

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap tegangan lentur, tegangan geser, dan lendutan.

1. Tegangan lentur

$$\text{Tegangan lentur izin} = 0,66 \times F_y$$

$$= 0,66 \times 2400$$

$$\begin{aligned}
 &= 1584 \text{ kg/cm}^2 \\
 \text{Tegangan lentur} &= \frac{M}{Z} \\
 &= \frac{1808,25}{21,3} \\
 &= 84,894 \text{ kg/cm}^2 < 1584 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

2. Tegangan geser

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan geser izin} &= 0,4 \times F_y \\
 &= 0,4 \times 2400 \\
 &= 960 \text{ kg/cm}^2 \\
 \text{Tegangan geser} &= \frac{0,5 \times W}{A} \\
 &= \frac{0,5 \times 1446,6}{10 \times 0,32} \\
 &= 226,031 \text{ kg/cm}^2 < 960 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

3. Lendutan (defleksi)

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi izin} &= \frac{L}{240} \\
 &= \frac{100}{240} \\
 &= 0,4167 \text{ cm} \\
 \text{Defleksi} &= \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} \\
 &= \frac{5 \times 14,466 \times 100^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 107} \\
 &= 0,0838 \text{ cm} < 0,4167 \text{ cm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Balok Pendukung

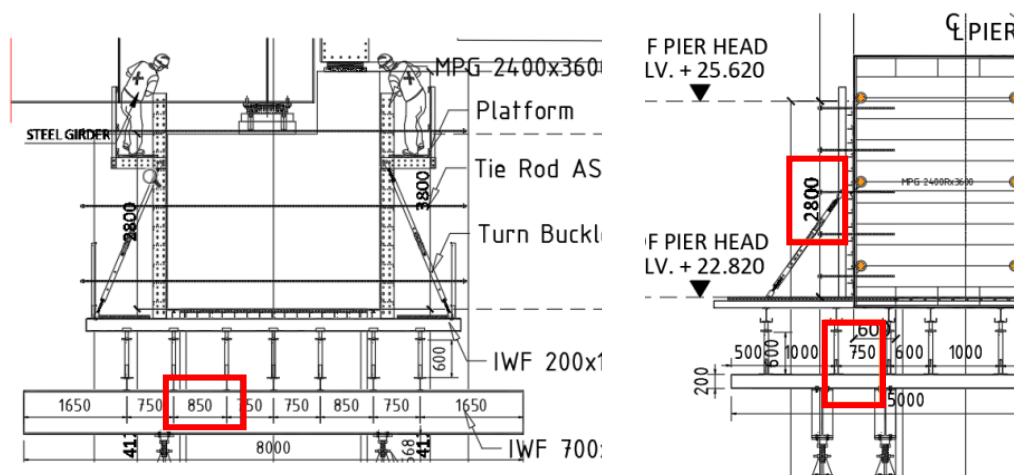
Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Tegangan lentur	kg/cm ²	84,894	1584	Memenuhi
Tegangan geser	kg/cm ²	226,031	960	Memenuhi
Lendutan	cm	0,0838	0,4167	Memenuhi

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, penggunaan profil CNP dengan jarak antar 0,2 m dan balok IWF dengan jarak antar 1 m memenuhi

persyaratan kekuatan dan lendutan, sehingga dinyatakan aman untuk digunakan sebagai sistem penopang pada struktur.

5.4.3 Analisis Kapasitas *Pipe Support*

Pipe support berfungsi sebagai penyangga pada bagian bawah platform *pier head* untuk menahan dan menyalurkan beban menuju *tower shoring* pada bagian bawah.



Gambar 5.9 Ilustrasi Posisi *Pipe Support*

Berat jenis beton = 2500 kg/m³ (Sub-subbab 5.2.1)

$$= 2,5 \text{ ton/m}^3$$

Beban beton terbesar = (2,8 x 0,85 x 0,75) x 2,5

$$= 4,4625 \text{ ton}$$

$$= 4462,5 \text{ kg}$$

Diameter luar pipa (D1) = 6 cm (Subbab 5.1)

$$= 60 \text{ mm}$$

Diameter dalam pipa (D2) = 5,22 cm (Subbab 5.1)

$$= 52,2 \text{ mm}$$

Tebal pipa (t) = $\frac{D1-D2}{2}$

$$= \frac{6-5,22}{2}$$

$$= 0,39 \text{ cm}$$

$$= 3,9 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja (E)} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Subbab 5.1})$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh pipa (Fy)} &= 318 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Subbab 5.1}) \\ &= 3180 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan penentuan klasifikasi penampang pipa sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1729:2015 berdasarkan rasio tebal terhadap lebar.

$$\begin{aligned} \text{Batas rasio} &= 0,11 \times \frac{E}{F_y} \\ &= 0,11 \times \frac{200000}{318} \\ &= 69,182 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \frac{D}{t} \\ &= \frac{60}{3,9} \\ &= 15,385 < 69,182 \text{ (non-slender)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis, *pipe support* memiliki rasio diameter terhadap tebal yang masih berada di bawah batas yang disyaratkan sehingga penampang pipa tergolong *non-slender*.

Perhitungan tekuk *pipe support* dilakukan menggunakan metode Euler untuk menentukan kapasitas tekan kritis. Mengacu pada Sub-subbab 3.1.4, nilai faktor panjang efektif (K) diambil sebesar 1, dengan kondisi peletakan *pipe support* berupa sendi-sendi.

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= \frac{\pi}{64} (d^4 - (d - (2t))^4) \\ &= \frac{\pi}{64} (6^4 - (6 - (2 \times 0,39))^4) \\ &= 27,171 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D1^2 - D2^2) \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (6^2 - 5,22^2) \\ &= 6,873 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari girasi (r)} &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{27,171}{6,873}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,9882 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi pipa} &= 60 \text{ cm} \\
 \text{Batas rasio} &= 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 4,71 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{3180}} \\
 &= 121,037 \\
 \text{Rasio} &= \frac{K \times L}{r} \\
 &= \frac{1 \times 60}{1,9882} \\
 &= 30,178 < 121,037 \text{ (inelastis)}
 \end{aligned}$$

Nilai kelangsingan elemen menunjukkan bahwa perilaku tekuk yang terjadi pada elemen pipa tergolong inelastis, maka tegangan kritis tekan dihitung menggunakan persamaan kondisi inelastis sesuai ketentuan AISD ASD-1989.

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan kritis inelastis (Fe)} &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \times 2,1 \times 10^6}{\left(\frac{1 \times 60}{1,9882}\right)^2} \\
 &= 22758,629 \text{ kg/cm}^2 \\
 \text{Tegangan kritis tekan (Fcr)} &= 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \times F_y \\
 &= 0,658^{\frac{3180}{22758,629}} \times 3180 \\
 &= 2999,358 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas tekan nominal (P)} &= F_{cr} \times A \\
 &= 2999,358 \times 6,873 \\
 &= 20605,609 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban beton terbesar} = 4462,5 \text{ kg} < 20605,609 \text{ kg (memenuhi)}$$

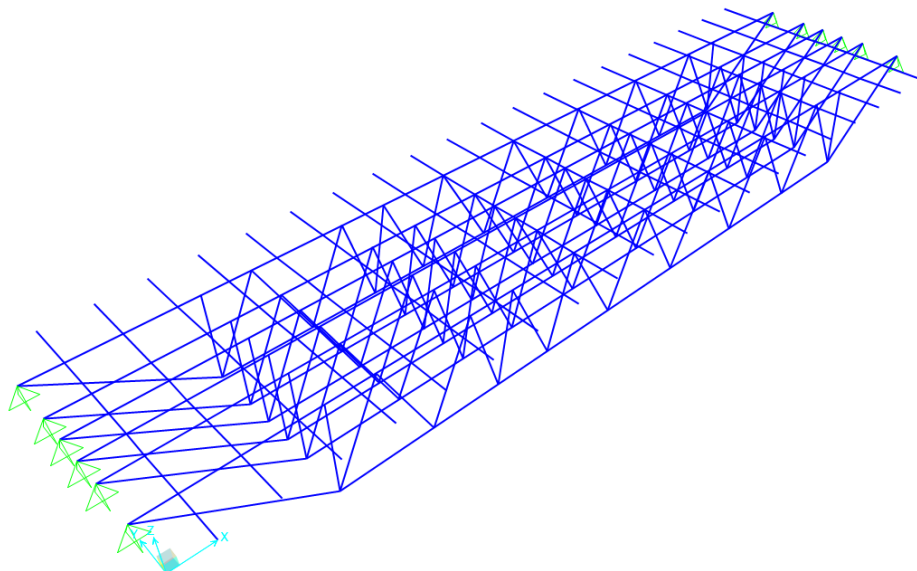
Didapatkan nilai kapasitas tekan yang jauh lebih besar dibandingkan beban beton yang diterima, sehingga *pipe support* dinyatakan mampu menyalurkan beban dari platform *pier head* ke sistem *tower shoring* dengan aman.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas *Pipe Support*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Kapasitas tekan	kg	4462,5	20605,609	Memenuhi

5.4.4 Analisis Struktur Rangka *Truss*

Struktur rangka *truss* dimodelkan menggunakan perangkat lunak SAP2000 sebagai elemen batang. Pemodelan dilakukan dengan mengacu pada kondisi geometri rangka aktual di lapangan. Penyusun rangka terdiri dari batang atas, batang bawah, dan batang diagonal yang saling terhubung pada titik *joint*.

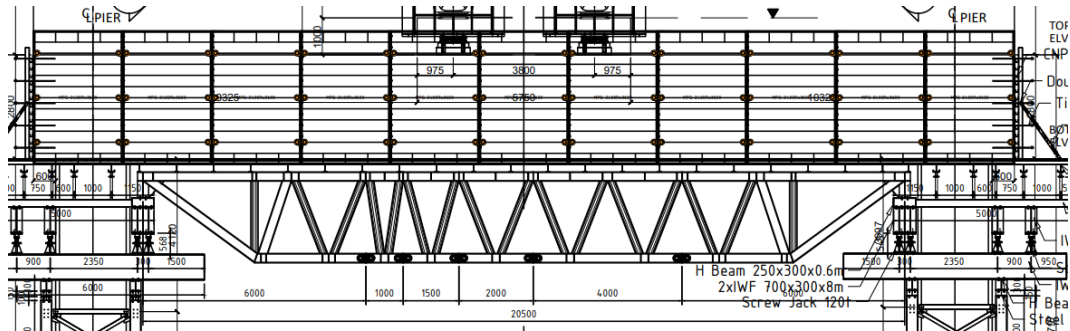
**Gambar 5.10 Model Struktur Rangka *Truss* pada SAP2000**

Pembebanan yang bekerja pada struktur *truss* meliputi beban mati dan beban hidup selama proses pengecoran. Beban tersebut dimodelkan dalam bentuk beban merata pada batang atas *truss* yang merepresentasikan beban dari elemen konstruksi di atasnya.

1. Beban mati

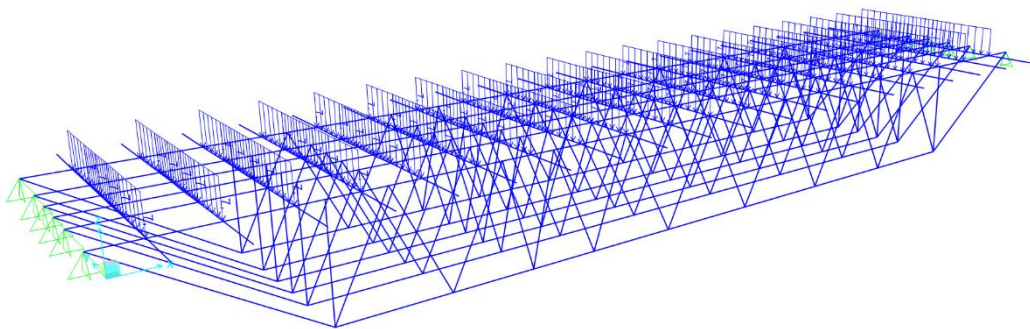
Beban permukaan yang bekerja pada area pengecoran terlebih dahulu ditransfer ke balok IWF sebagai elemen penumpu sekunder, kemudian

dikonversi dari beban area menjadi beban garis berdasarkan jarak antar balok IWF (*spacing*) yang digunakan pada perencanaan.



Gambar 5.11 Ilustrasi Rangka *Truss* pada Pengecoran *Pier Head*

Tinggi pengecoran	= 2800 mm	
	= 2,8 m	
Jarak antar balok IWF	= 1 m	
Berat jenis beton	= 2500 kg/m ³	(Sub-subbab 5.2.1)
	= 2,5 ton/m ³	
Beban mati	= 2,8 x 1 x 2,5	
	= 7 ton/m	

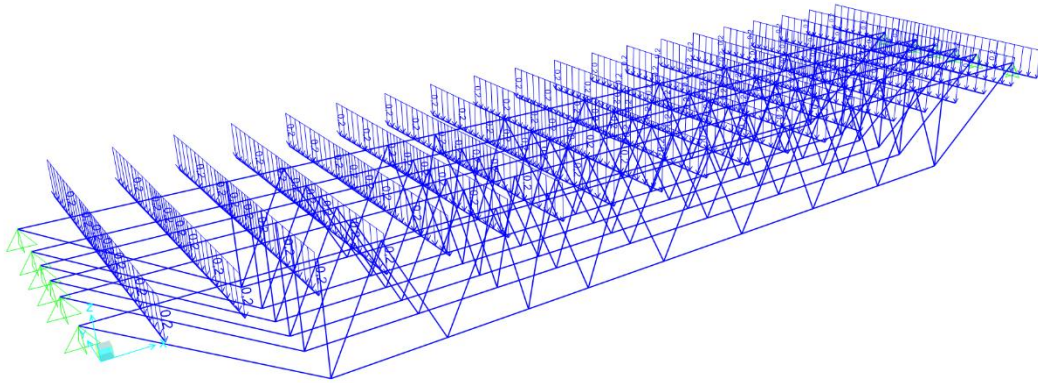


Gambar 5.12 Pemodelan Beban Mati pada *Truss*

2. Beban hidup

Beban hidup	= 200 kg/m ²	(Sub-subbab 5.2.2)
	= 0,2 ton/m ²	

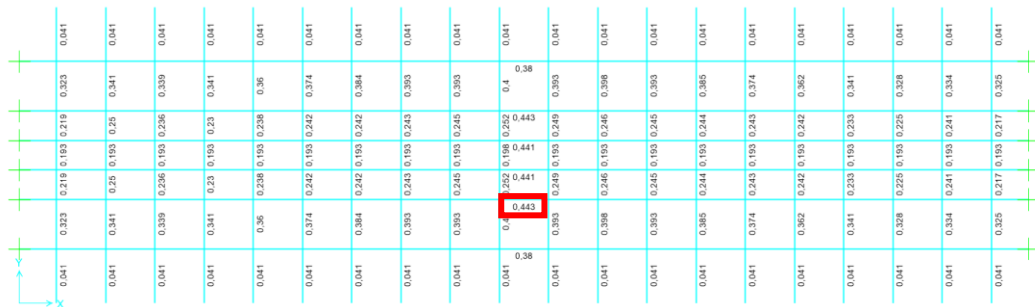
Jarak antar balok IWF = 1 m
 Beban hidup permeter = $0,2 \times 1$
 = 0,2 ton/m



Gambar 5.13 Pemodelan Beban Hidup pada Truss

Selanjutnya, pengecekan tegangan lentur, tegangan geser, dan lendutan menggunakan kombinasi pembebanan kedua yaitu jumlah total dari beban mati dan beban hidup. Distribusi gaya dalam pada struktur rangka *truss* ditinjau pada dua arah, yaitu arah bidang horizontal (arah XY) dan vertikal (arah XZ).

1. Arah bidang horizontal (arah XY)



Gambar 5.14 Distribusi Rasio Kapasitas Elemen pada Arah XY

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,443 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN								
	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	3,916	4626,9	16825,317	120542,568	1,	1,	0,156	1,814
Minor Moment	0,003	9,44	19119,679	425560,131	1,	1,	0,049	

Gambar 5.15 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur *Truss* Arah XY

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = 16825,317 ton/m²

Tegangan lentur = 4626,9 ton/m² < 16825,317 ton/m² (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN							
	V	fv	Fv	Stress	Status	T	
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion	
Major Shear	1,441	640,298	10197,162	0,063	OK	0,	
Minor Shear	0,004	0,751	10197,162	7,367E-05	OK	0,	

Gambar 5.16 Hasil Pengecekan Tegangan Geser *Truss* Arah XY

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = 10197,162 ton/m²

Tegangan geser = 640,298 ton/m² < 10197,162 ton/m² (memenuhi)

c. Lendutan

DEFLECTION CHECK (Combo DSTL4)						
Type	Consider	Deflection	Limit	Ratio	Status	
Dead Load	Yes	0,02	0,171	0,115	OK	
Super DL+LL	Yes	0,001	0,171	0,006	OK	
Live Load	Yes	0,001	0,057	0,019	OK	
Total Load	Yes	0,021	0,085	0,243	OK	
Total-Camber	Yes	0,021	0,085	0,243	OK	

Gambar 5.17 Hasil Pengecekan Lendutan *Truss* Arah XY

Diperoleh lendutan sebagai berikut:

Lendutan izin = 0,085 m

Lendutan maks. = 0,021 m < 0,085 m (memenuhi)

2. Arah bidang vertikal (arah XZ)



Gambar 5.18 Distribusi Rasio Kapasitas Elemen pada Arah XZ

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,89 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN								
	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	0,975	1151,781	8062,505	293719,429	1,	1,	0,14	1,
Minor Moment	-0,038	131,168	19119,679	1982,831	1,	1,	1,	1,

Gambar 5.19 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur *Truss* Arah XZ

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = $8062,505 \text{ ton/m}^2$

Tegangan lentur = $1151,781 \text{ ton/m}^2 < 8062,505 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi)

b. Tegangan izin

SHEAR DESIGN						
	V	fv	Fv	Stress	Status	T
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	0,056	24,707	10197,162	0,002	OK	0,
Minor Shear	0,01	1,764	10197,162	0,	OK	0,

Gambar 5.20 Hasil Pengecekan Tegangan Geser *Truss* Arah XZ

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = $10197,162 \text{ ton/m}^2$

Tegangan geser = $24,707 \text{ ton/m}^2 < 10197,162 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi)

c. Lendutan

DEFLECTION CHECK (Combo DSTL4)						
Type	Consider	Deflection	Limit	Ratio	Status	
Dead Load	Yes	0,01	0,122	0,078	OK	
Super DL+LL	Yes	0,001	0,122	0,009	OK	
Live Load	Yes	0,001	0,041	0,027	OK	
Total Load	Yes	0,011	0,061	0,175	OK	
Total-Camber	Yes	0,011	0,061	0,175	OK	

Gambar 5.21 Hasil Pengecekan Lendutan *Truss* Arah XZ

Diperoleh lendutan sebagai berikut:

Lendutan izin = 0,061 m

Lendutan maks. = 0,011 m < 0,061 m (memenuhi)

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Rasio Maksimum Struktur Rangka *Truss*

Parameter	Rasio Kapasitas Maksimum
Arah XY	0,443
Arah XZ	0,89

Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur Rangka *Truss*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Arah XY				
Tegangan lentur	ton/m ²	4626,9	16825,317	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	640,298	10197,162	Memenuhi
Lendutan	m	0,021	0,085	Memenuhi
Arah XZ				
Tegangan lentur	ton/m ²	1151,781	8062,505	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	24,707	10197,162	Memenuhi
Lendutan	m	0,011	0,061	Memenuhi

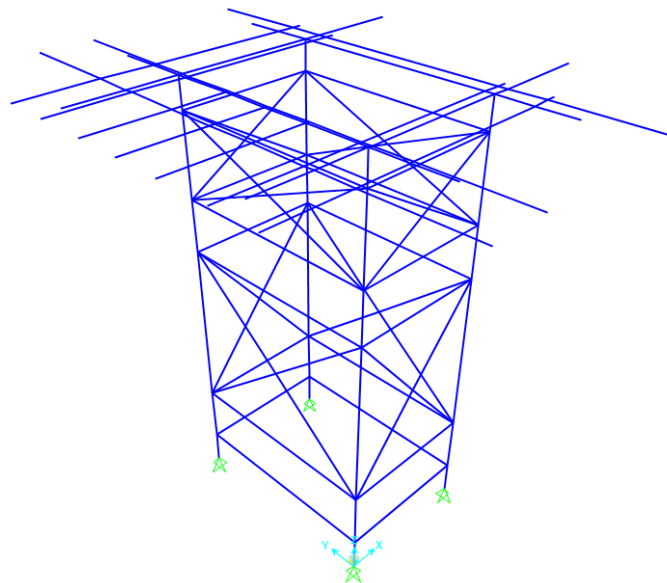
Hasil analisis struktur rangka *truss* menunjukkan respons terbesar pada arah XY karena pembebanan utama bekerja pada bidang horizontal rangka akibat distribusi beban pengecoran pada batang atas *truss*. Seluruh nilai tegangan lentur, tegangan geser, dan lendutan yang terjadi masih berada di bawah batas izin,

sehingga menunjukkan bahwa struktur dapat dinyatakan aman dari segi kekakuan dan kapasitasnya dalam menahan beban selama proses pengecoran berlangsung.

5.5 Analisis Struktur Penopang Tahap 2

5.5.1 Pembebanan pada Struktur Rangka *Tower Shoring*

Pemodelan struktur rangka *tower shoring* dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP 2000 untuk menganalisis respon perilaku struktur terhadap gaya vertikal maupun lateral secara menyeluruh. Pada pemodelan ini, elemen kolom vertikal berfungsi sebagai penyalur utama beban menuju dasar struktur, sedangkan batang horizontal dan diagonal berfungsi sebagai elemen pengaku untuk meningkatkan kekakuan struktur.



Gambar 5.22 Model Struktur Rangka *Tower Shoring* pada SAP2000

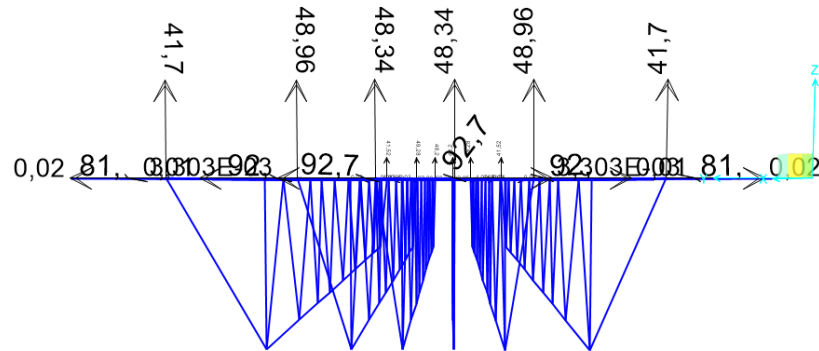
Pembebanan yang bekerja pada struktur *truss* meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban horizontal sesuai dengan kondisi pelaksanaan konstruksi di lapangan.

1. Beban mati

Beban mati yang bekerja pada struktur *tower shoring* berasal dari beban reaksi struktur *truss* dan beban pengecoran beton.

a. Beban reaksi struktur *truss*

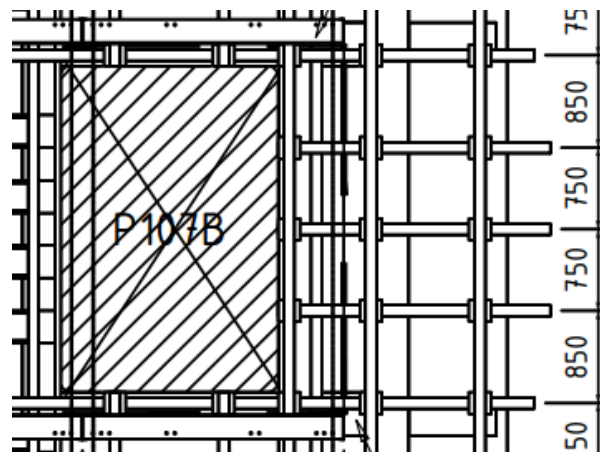
Hasil analisis struktur *truss* menunjukkan nilai reaksi yang selanjutnya digunakan sebagai beban mati pada struktur *tower shoring*.



Gambar 5. 23 Hasil Analisis Reaksi Struktur *Truss*

b. Beban pengecoran beton

Perhitungan beban pengecoran beton didasarkan pada jarak antar balok IWF sehingga diperoleh perbedaan beban antara area *outside pier* dan *inside pier*.

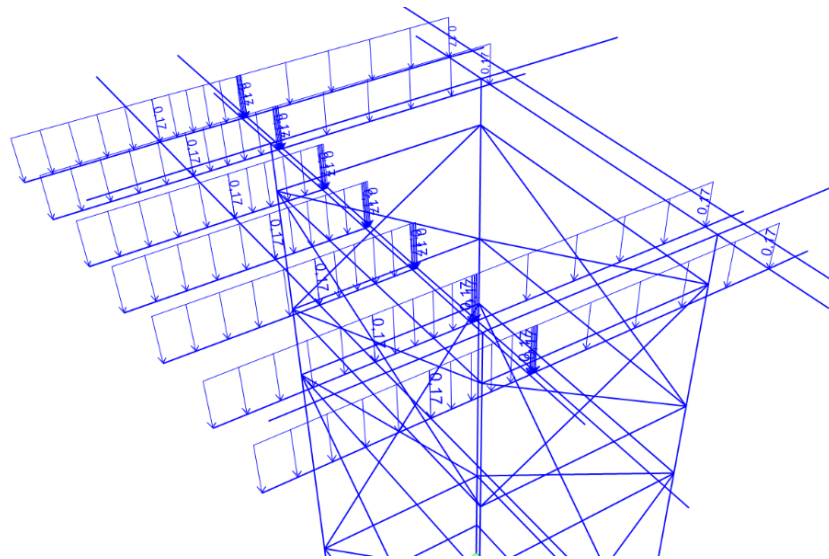


Gambar 5.24 Ilustrasi Rangka *Tower Shoring* pada Pengecoran *Pier Head*

Tinggi pengecoran = 2800 mm

= 2,8 m

Berat jenis beton = 2500 kg/m³



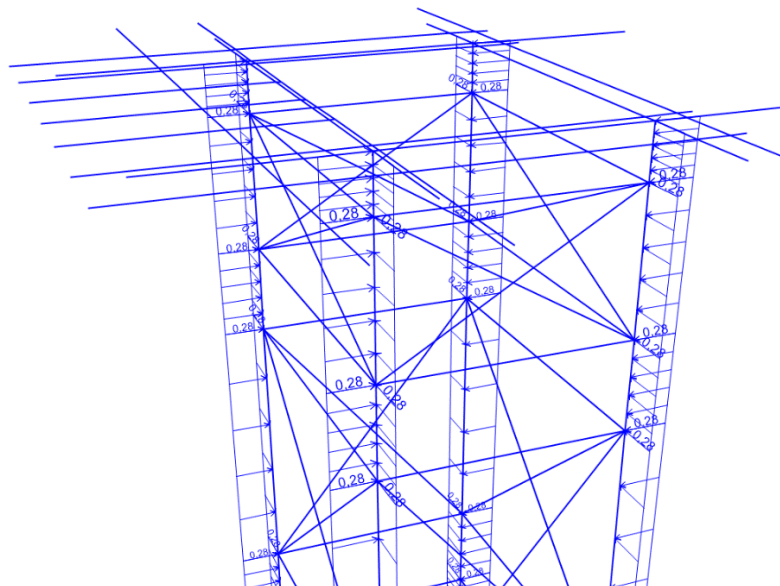
Gambar 5.26 Pemodelan Beban Hidup pada *Tower Shoring*

3. Beban angin

Beban angin = $0,079 \text{ ton/m}^2$ (Sub-subbab 5.2.3)

Jarak kolom terbesar = $3,5 \text{ m}$

Beban angin = $0,28 \text{ ton/m}$



Gambar 5.27 Pemodelan Beban Angin pada *Tower Shoring*

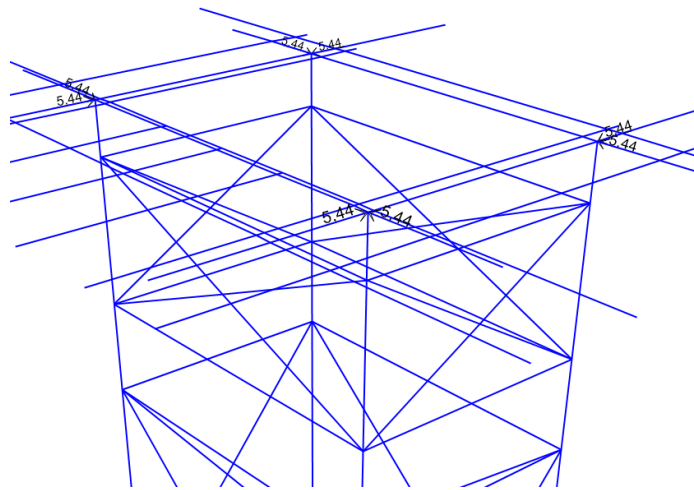
4. Beban horizontal

Beban horizontal diasumsikan sebesar 3% dari beban vertikal maksimum untuk untuk memperhitungkan kemungkinan ketidakstabilan lateral selama pelaksanaan konstruksi.

Beban vertikal terbesar = 181,48 ton

Beban horizontal = 3% x 181,48

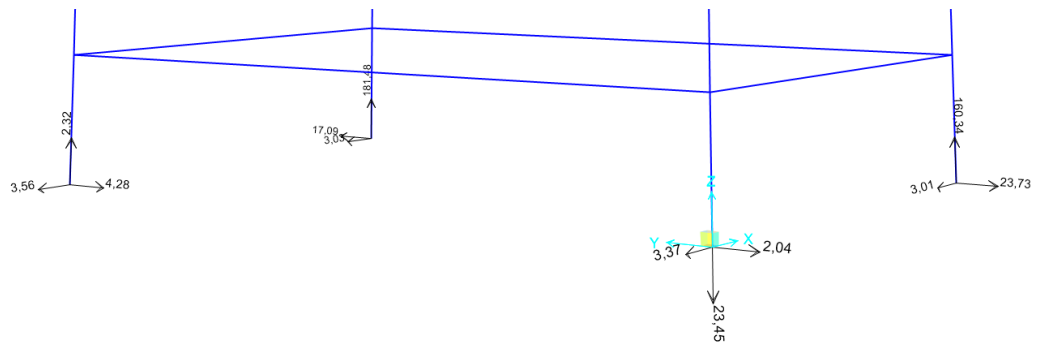
= 5,44 ton



Gambar 5.28 Pemodelan Beban Horizontal pada *Tower Shoring*

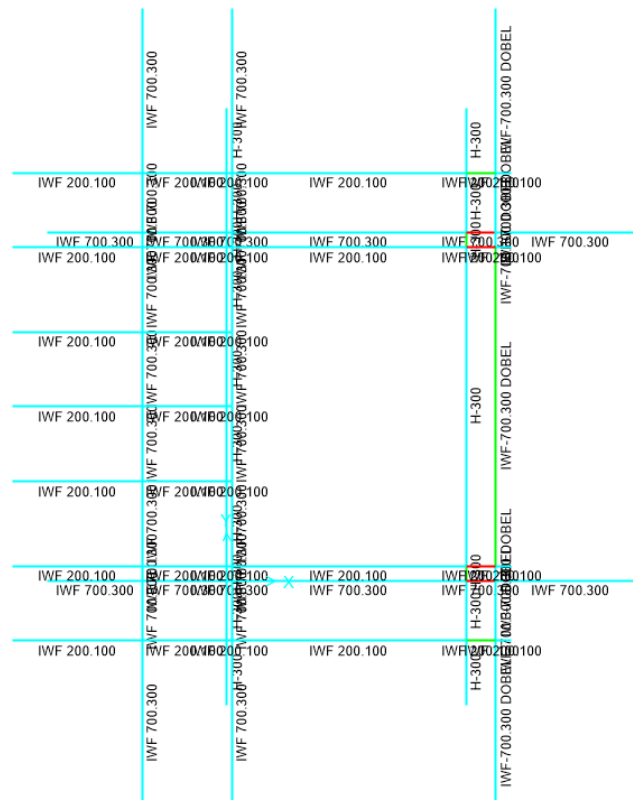
5.5.2 Cek Kapasitas dan Defleksi

Berdasarkan hasil analisis SAP2000, kombinasi pembebanan paling kritis terjadi pada COMB 6 yaitu 1D + 1H + 0,75W + 0,75L. Dari kombinasi tersebut diperoleh reaksi vertikal maksimum sebesar 181,48 ton dan reaksi horizontal maksimum sebesar 23,73 ton pada struktur *tower shoring*.

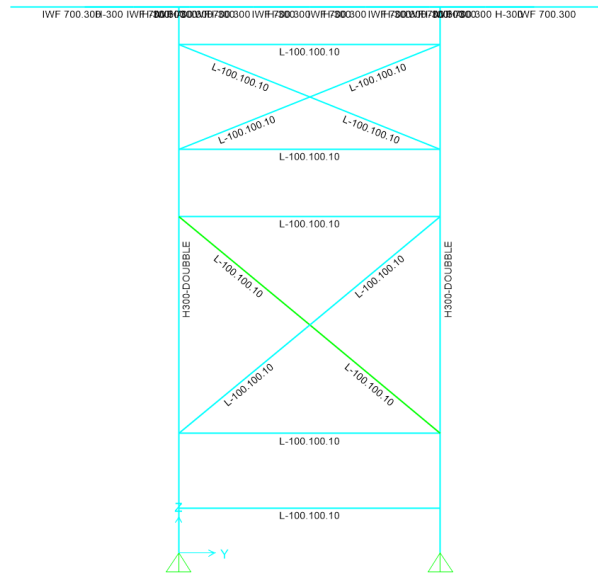


Gambar 5.29 Reaksi Tumpuan Struktur *Tower Shoring*

Diperoleh nilai rasio pada masing-masing batang yang digunakan untuk mengetahui kinerja struktur terhadap beban kerja.



Gambar 5.30 Konfigurasi Batang pada Arah XY



Gambar 5.31 Konfigurasi Batang pada Arah YZ

1. Kapasitas 2 x IWF 700x300



Gambar 5.32 Distribusi Rasio Kapasitas Batang 2 x IWF 700x300

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,545 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN								
	M	f _b	F _b	F _e	C _m	K	L	C _b
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	-27,826	2502,206	15295,743	872223,706	0,85	1,	1,	1,
Minor Moment	3,884	938,522	15295,743	279150,576	0,986	1,	1,	1,

Gambar 5.33 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang 2 x IWF 700x300

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = 15295,743 ton/m²

Tegangan lentur = 2505,206 ton/m² < 15295,743 ton/m² (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN						
	V	fv	Fv	Stress	Status	T
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	100,158	5559,456	10197,162	0,545	OK	0,
Minor Shear	0,042	1,887	10197,162	0,	OK	0,

Gambar 5.34 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang 2 x IWF 700x300

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

$$\text{Tegangan izin} = 10197,162 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Tegangan geser} = 5559,456 \text{ ton/m}^2 < 10197,162 \text{ ton/m}^2 \text{ (memenuhi)}$$

c. Lendutan



Gambar 5.35 Hasil Pengecekan Lendutan Batang 2 x IWF 700x300

Diperoleh lendutan sebagai berikut:

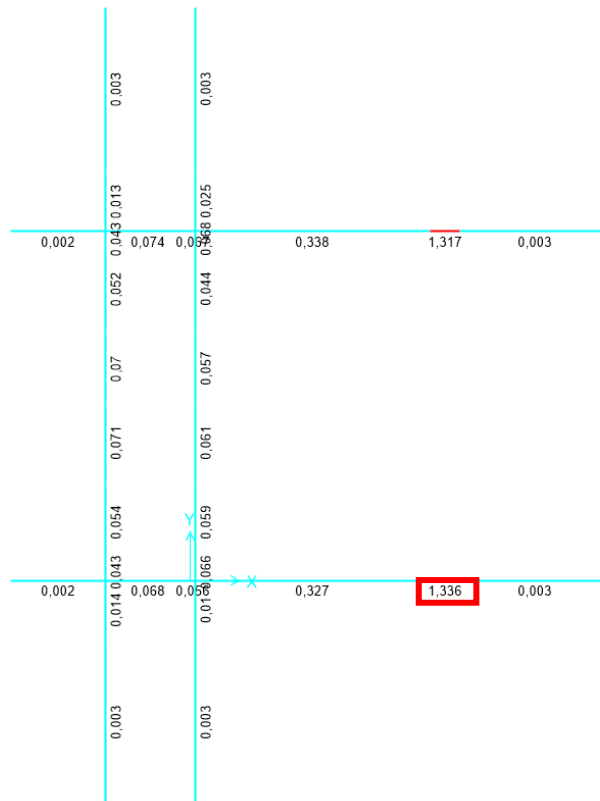
$$\text{Lendutan izin} = \frac{L}{240}$$

$$= \frac{3,2}{240}$$

$$= 0,013 \text{ m}$$

$$\text{Lendutan maks.} = 0,00088 \text{ m} < 0,013 \text{ m (memenuhi)}$$

2. Kapasitas IWF 700 x 300



Gambar 5.36 Distribusi Rasio Kapasitas Batang IWF 700x300

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 1,336 dinyatakan tidak aman karena melebihi batas izin sebesar 1, sehingga elemen struktur perlu dilakukan perkuatan atau perubahan dimensi profil agar memenuhi kapasitas yang disyaratkan.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN								
	M	f _b	F _b	F _e	C _m	K	L	C _b
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	-18,145	3263,438	16825,317	99239675,	0,219	1,	1,	2,3
Minor Moment	2,75	3815,878	19119,679	5513538,352	0,486	1,	1,	

Gambar 5.37 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang IWF 700x300

Diperoleh tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = 16825,317 ton/m²

Tegangan lentur = 3263,438 ton/m² < 16825,317 ton/m² (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN						
	V	Fv		Stress	Status	T
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	123,938	13619,586	10197,162	1,336	Overstress	0,
Minor Shear	41,32	3443,3	10197,162	0,338	OK	0,

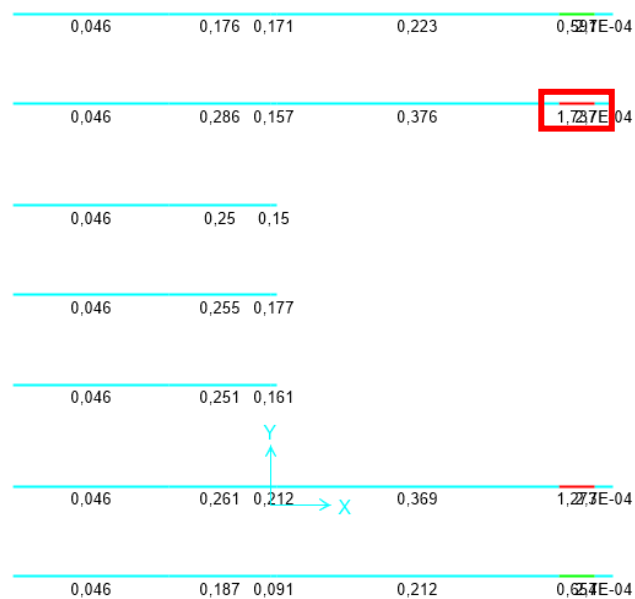
Gambar 5.38 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang IWF 700x300

Diperoleh tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = 10197,162 ton/m²

Tegangan geser = 13619,586 ton/m² > 10197,162 ton/m² (tidak memenuhi)

3. Kapasitas IWF 200x100



Gambar 5.39 Distribusi Rasio Kapasitas Batang IWF 200x100

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 1,737 dinyatakan tidak aman karena melebihi batas izin sebesar 1, sehingga elemen struktur perlu dilakukan perkuatan atau perubahan dimensi profil agar memenuhi kapasitas yang disyaratkan.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN

	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	-2,271	12894,149	16825,317	7864596,736	0,214	1,	1,	2,3
Minor Moment	-0,495	18513,182	19119,679	596626,709	0,249	1,	1,	

Gambar 5.40 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang IWF 200x100

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = $16825,317 \text{ ton/m}^2$

Tegangan lentur = $12894,149 \text{ ton/m}^2 < 16825,317 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN

	V	fv	Fv	Stress	Status	T
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	14,869	13516,897	10197,162	1,326	Overstress	0,
Minor Shear	3,094	2320,452	10197,162	0,228	OK	0,

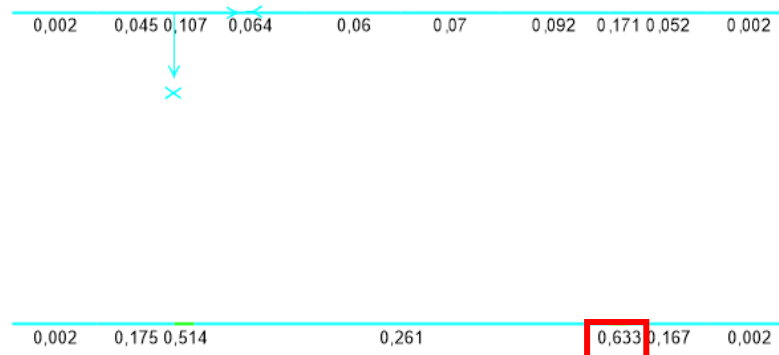
Gambar 5.41 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang IWF 200x100

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = $10197,162 \text{ ton/m}^2$

Tegangan geser = $13516,897 \text{ ton/m}^2 > 10197,162 \text{ ton/m}^2$ (tidak memenuhi)

4. Kapasitas H 300x300



Gambar 5.42 Distribusi Rasio Kapasitas Batang H 300x300

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,633 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN									
	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb	
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	-7,525	5663,051	16825,317	146014,087	1,	1,	23,333	1,186	
Minor Moment	1,134	2518,783	19119,679	26929582,66	1,	1,	1,		

Gambar 5.43 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang H 300x300

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = 168252,317 ton/m²

Tegangan lentur = 5663,051 ton/m² < 16825,317 ton/m² (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN							
	V	fv	Fv	Stress	Status	T	
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion	
Major Shear	16,942	5647,34	10197,162	0,554	OK	0,	
Minor Shear	0,862	114,91	10197,162	0,011	OK	0,	

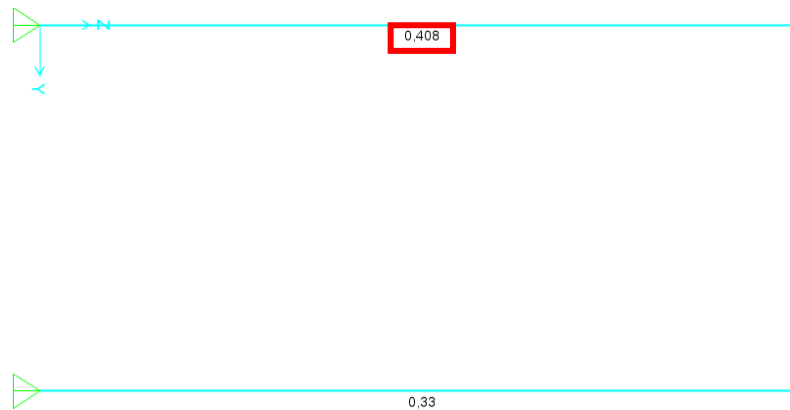
Gambar 5.44 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang H 300x300

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = 10197,162 ton/m²

Tegangan geser = 5647,34 ton/m² < 10197,162 ton/m² (memenuhi)

5. Kapasitas 2 x H 300x300



Gambar 5.45 Distribusi Rasio Kapasitas Batang 2 x H 300

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,408 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN									
	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb	
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	-4,946	1874,403	15295,743	212792,49	1,	1,	0,397	2,14	
Minor Moment	-7,328	3348,409	15295,743	353027,017	1,	1,	0,397		

Gambar 5.46 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang 2 x H 300x300

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = 15295,743 ton/m²

Tegangan lentur = 1874,403 ton/m² < 15295,743 ton/m² (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN							
	V	fv	Fv	Stress	Status	T	
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion	
Major Shear	2,859	482,437	10197,162	0,047	OK	0,	
Minor Shear	2,513	173,812	10197,162	0,017	OK	0,	

Gambar 5.47 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang 2 x H 300x300

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = 10197,162 ton/m²

Tegangan geser = 482,437 ton/m² < 10197,162 ton/m² (memenuhi)

c. Lendutan



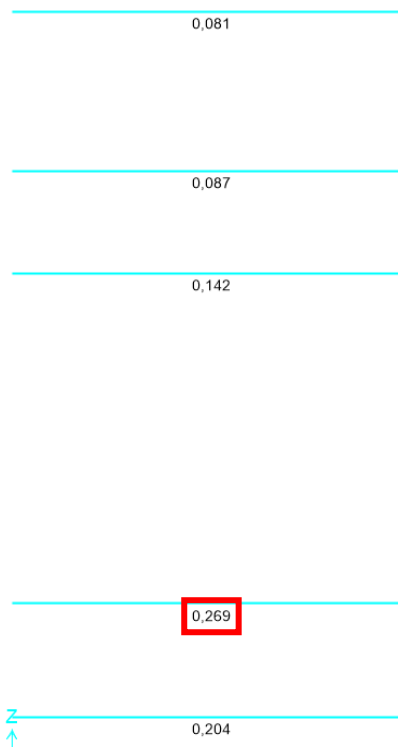
Gambar 5.48 Hasil Pengecekan Lendutan Batang 2 x H 300x300

Diperoleh lendutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Lendutan izin} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{7,3}{240} \\ &= 0,030 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan maks.} = 0 \text{ m} < 0,030 \text{ m (memenuhi)}$$

6. Kapasitas L 100 x 100 (*bracing* horizontal)



Gambar 5.49 Distribusi Rasio Kapasitas Batang L 100x100 Horizontal

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,269 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN									
	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb	
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	0,016	370,77	15674,98	8119,754	1,	1,	1,	1,	
Minor Moment	-0,016	873,893	16828,317	3312,122	1,	1,	1,	1,	

Gambar 5.50 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang L 100x100 Horizontal

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

Tegangan izin = 15674,98 ton/m²

Tegangan lentur = 370,77 ton/m² < 15674,98 ton/m² (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN							
	V	fv	Fv	Stress	Status	T	
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion	
Major Shear	0,004	3,728	10197,162	0,	OK	0,	
Minor Shear	1,109E-17	1,109E-14	10197,162	0,	OK	0,	

Gambar 5.51 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang L 100x100 Horizontal

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = 10197,162 ton/m²

Tegangan geser = 3,728 ton/m² < 10197,162 ton/m² (memenuhi)

c. Lendutan



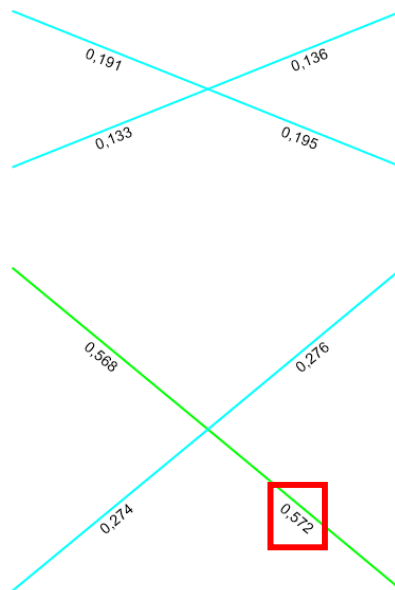
Gambar 5.52 Hasil Pengecekan Lendutan Batang L 100x100 Horizontal

Diperoleh lendutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Lendutan izin} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{3,5}{240} \\ &= 0,015 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Lendutan maks.} = 0,0007 \text{ m} < 0,015 \text{ m (memenuhi)}$$

7. Kapasitas L 100 x 100 (*bracing diagonal*)



Gambar 5.53 Distribusi Rasio Kapasitas Batang L 100x100 Diagonal

Nilai rasio kapasitas elemen maksimum sebesar 0,572 dinyatakan aman karena nilai tersebut masih lebih kecil dari batas izin sebesar 1.

a. Tegangan lentur

MOMENT DESIGN									
	M	fb	Fb	Fe	Cm	K	L	Cb	
	Moment	Stress	Allowable	Allowable	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	0,005	122,884	16825,317	19257,888	1,	1,	1,	1,	
Minor Moment	-0,005	289,634	16825,317	7855,469	1,	1,	1,	1,	

Gambar 5.54 Hasil Pengecekan Tegangan Lentur Batang L 100x100 Diagonal

Diperoleh hasil tegangan lentur sebagai berikut:

$$\text{Tegangan izin} = 16825,317 \text{ ton/m}^2$$

Tegangan lentur = $122,884 \text{ ton/m}^2 < 16825,317 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi)

b. Tegangan geser

SHEAR DESIGN						
	V	fv	Fv	Stress	Status	T
	Force	Stress	Allowable	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	9,075E-18	9,075E-15	10197,162	0,	OK	0,
Minor Shear	4,836E-18	4,836E-15	10197,162	0,	OK	0,

Gambar 5.55 Hasil Pengecekan Tegangan Geser Batang L 100x100 Diagonal

Diperoleh hasil tegangan geser sebagai berikut:

Tegangan izin = $10197,162 \text{ ton/m}^2$

Tegangan geser = $9,1 \times 10^{-18} \text{ ton/m}^2 < 10197,162 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi)

c. Lendutan



Gambar 5.56 Hasil Pengecekan Lendutan Batang L 100x100 Diagonal

Diperoleh lendutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan izin} &= \frac{L}{240} \\
 &= \frac{2,3}{240} \\
 &= 0,00958 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lendutan maks. = $0,000087 \text{ m} < 0,00958 \text{ m}$ (memenuhi)

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Struktur *Tower Shoring*

Parameter	Rasio Kapasitas Maksimum
2 x IWF 700x300	0,545
IWF 700x300	1,336
IWF 200x100	1,737
H 300x300	0,633
2 x H 300x300	0,408

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Struktur *Tower Shoring*

Parameter	Rasio Kapasitas Maksimum
L 100x100 (<i>bracing</i> horizontal)	0,269
L 100 x 100 (<i>bracing</i> diagonal)	0,572

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur *Tower Shoring*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
2 x IWF 700x300				
Tegangan lentur	ton/m ²	2505,206	15295,743	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	5559,546	10194,162	Memenuhi
Lendutan	m	0,00088	0,013	Memenuhi
IWF 700x300				
Tegangan lentur	ton/m ²	3263,438	16825,317	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	13619,586	10197,132	Tidak memenuhi
Lendutan	m	-	-	-
IWF 200x100				
Tegangan lentur	ton/m ²	12894,149	16825,317	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	13516,897	10197,162	Tidak memenuhi
Lendutan	m	-	-	-
H 300x300				
Tegangan lentur	ton/m ²	5663,051	168252,317	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur *Tower Shoring*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Tegangan geser	ton/m ²	5647,34	10197,162	Memenuhi
Lendutan	m	-	-	-
2 x H 300x300				
Tegangan lentur	ton/m ²	1874,403	15295,743	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	482,437	10197,162	Memenuhi
Lendutan	m	0	0,030	Memenuhi
L 100x100 (<i>bracing horizontal</i>)				
Tegangan lentur	ton/m ²	370,77	15674,98	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	3,728	10197,162	Memenuhi
Lendutan	m	0,0007	0,015	Memenuhi
L 100 x 100 (<i>bracing diagonal</i>)				
Tegangan lentur	ton/m ²	122,884	16825,317	Memenuhi
Tegangan geser	ton/m ²	9,1 x 10 ⁻¹⁸	10197,162	Memenuhi
Lendutan	m	0,000087	0,00958	Memenuhi

Hasil pengecekan pada SAP2000 menunjukkan batang IWF 700x300 dan IWF 200x100 tidak memenuhi persyaratan tegangann geser, dilakukan verifikasi ulang secara manual menggunakan kuat geser nominal penampang untuk mengetahui kapasitas geser aktual elemen.

Faktor reduksi C_v diambil sebesar 1 dengan asumsi profil tidak mengalami pengaruh tekuk geser sehingga kapasitas geser nominal dihitung berdasarkan kondisi leleh geser.

$$\text{Reduksi tegangan geser } (C_v) = 1$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan leleh } (F_y) &= 250 \text{ N/mm}^2 && (\text{Subbab 5.1}) \\ &= 25000 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

1. Verifikasi batang IWF 700x300x13x24

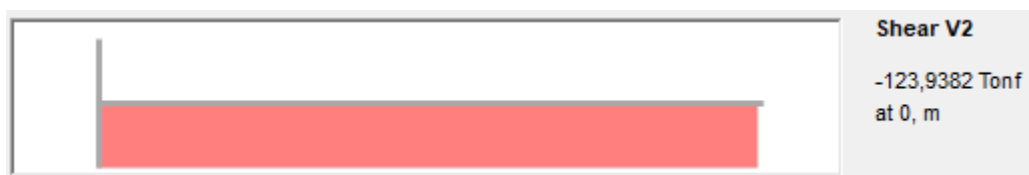
$$\text{Tinggi bersih badan balok } (h) = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Tebal badan balok } (t_w) = 0,013 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan } (A) &= h \times t_w \\ &= 0,7 \times 0,013 \\ &= 0,0091 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser nominal } (V_n) &= 0,6 \times F_y \times A \times C_v \\ &= 0,6 \times 25000 \times 0,0091 \times 1 \\ &= 136,5 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan geser nominal} &= \frac{V_n}{A} \\ &= \frac{136,5}{0,0091} \\ &= 15000 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$



Gambar 5.57 Gaya Geser Maksimum IWF 700x300 Berdasarkan SAP2000

$$\text{Gaya geser maksimum } (V_u) = 123,938 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan geser aktual} &= \frac{V_u}{A} \\ &= \frac{123,938}{0,0091} \\ &= 13619,560 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

2. Verifikasi batang IWF 200x100x5,5x8

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih badan balok (h)} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Tebal badan balok (t}_w\text{)} &= 0,0055 \text{ m} \\
 \text{Luas permukaan (A)} &= h \times t_w \\
 &= 0,2 \times 0,0055 \\
 &= 0,0011 \text{ m}^2 \\
 \text{Kuat geser nominal (V}_n\text{)} &= 0,6 \times F_y \times A \times C_v \\
 &= 0,6 \times 25000 \times 0,0011 \times 1 \\
 &= 16,5 \text{ ton} \\
 \text{Tegangan geser nominal} &= \frac{V_n}{A} \\
 &= \frac{16,5}{0,0011} \\
 &= 15000 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5.58 Gaya Geser Maksimum IWF 200x100 Berdasarkan SAP2000

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya geser maksimum (V}_u\text{)} &= 14,869 \text{ ton} \\
 \text{Tegangan geser aktual} &= \frac{V_u}{A} \\
 &= \frac{14,869}{0,0011} \\
 &= 13517,273 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.10 Rekapitulasi Verifikasi Manual Geser

Profil	Tegangan Geser Nominal	Tegangan Geser Izin	Tegangan Geser Aktual	Tegangan Geser Terjadi
	ton/m ²			
IWF 700x300	15000	10197,132	13619,560	13619,586
IWF 200x100	15000	10197,162	13517,273	13516,897

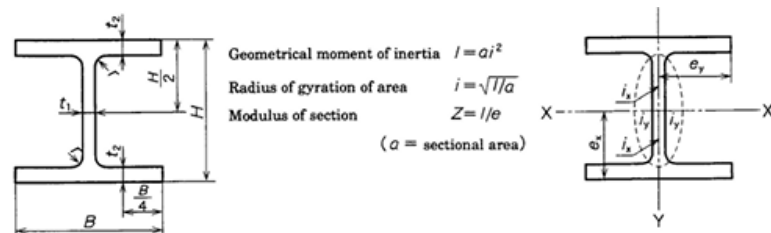
Nilai tegangan geser aktual di kedua profil sangat mendekati hasil tegangan geser SAP2000 sehingga dapat menunjukkan bahwa hasil analisis SAP2000 sesuai dengan perhitungan manual.

Perbedaan nilai pada tegangan geser nominal dan tegangan geser izin terjadi karena pada perhitungan manual menggunakan kuat geser sebesar $0,6 \times F_y$ berdasarkan SNI 1729:2020, sedangkan pemeriksaan pada SAP2000 menggunakan kuat geser sebesar $0,4 \times F_y$ berdasarkan AISC ASD-89. Akibatnya, nilai tegangan izin yang ditampilkan SAP2000 lebih kecil dan bersifat lebih konservatif dibandingkan hasil perhitungan kapasitas nominal penampang. Berdasarkan hasil verifikasi tersebut, kapasitas geser nominal kedua profil masih lebih besar dibandingkan gaya geser yang bekerja sehingga kedua profil masih mampu menahan beban geser yang terjadi.

5.5.3 Analisis Kelangsingan Kolom

Kolom pada *tower shoring* menggunakan profil baja H 300x300 yang direncanakan menerima beban tekan aksial sehingga perlu dilakukan pemeriksaan terhadap tekuk lentur dan tekuk torsi. Nilai kapasitas terkecil digunakan sebagai penentu kapasitas nominal kolom.

Data penampang profil H 300x300 yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada katalog profil baja ringan yang memuat parameter geometri dan sifat mekanika penampang.

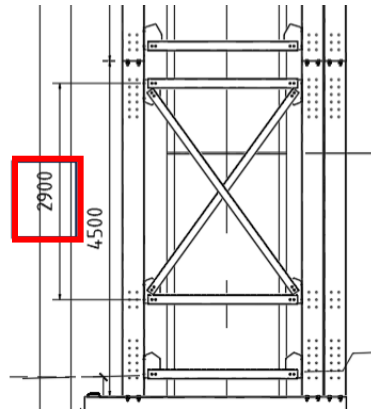


Series ^{a)} (depth × width)	Standard sectional dimension ^{b)} mm				Sectional area cm ²	Unit mass kg/m	Informative					
	$H \times B$ ^{c)}	t_1	t_2	r			Geometrical moment of inertia cm ⁴		Radius of gyration of area cm		Modulus of section cm ³	
							I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
100 × 50	100 × 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 × 100	100 × 100	6	8	8	21.59	16.9	378	134	4.18	2.49	75.6	26.7
125 × 60	125 × 60	6	8	8	16.69	13.1	409	29.1	4.95	1.32	65.5	9.71
125 × 125	125 × 125	6.5	9	8	30.00	23.6	839	293	5.29	3.13	134	46.9
150 × 75	150 × 75	5	7	8	17.85	14.0	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
150 × 100	148 × 100	6	9	8	26.35	20.7	1 000	150	6.17	2.39	135	30.1
150 × 150	150 × 150	7	10	8	39.65	31.1	1 620	563	6.40	3.77	216	75.1
175 × 90	175 × 90	5	8	8	22.90	18.0	1 210	97.5	7.26	2.06	138	21.7
175 × 175	175 × 175	7.5	11	13	51.43	40.4	2 900	984	7.50	4.37	331	112
200 × 100	*198 × 99	4.5	7	8	22.69	17.8	1 540	113	8.25	2.24	156	22.9
	200 × 100	5.5	8	8	26.67	20.9	1 810	134	8.23	2.24	181	26.7
200 × 150	194 × 150	6	9	8	38.11	29.9	2 630	507	8.30	3.65	271	67.6
200 × 200	200 × 200	8	12	13	63.53	49.9	4 720	1 600	8.62	5.02	472	160
250 × 125	*248 × 124	5	8	8	31.99	25.1	3 450	255	10.4	2.82	278	41.1
	250 × 125	6	9	8	36.97	29.0	3 960	294	10.4	2.82	317	47.0
250 × 175	244 × 175	7	11	13	55.49	43.6	6 040	984	10.4	4.21	495	112
250 × 250	250 × 250	9	14	13	91.43	71.8	10 700	3 650	10.8	6.32	860	292
300 × 150	*298 × 149	5.5	8	13	40.80	32.0	6 320	442	12.4	3.29	424	59.3
	300 × 150	6.5	9	13	46.78	36.7	7 210	508	12.4	3.29	481	67.7
300 × 200	294 × 200	8	12	13	71.05	55.8	11 100	1 600	12.5	4.75	756	160
300 × 300	300 × 300	10	15	13	118.5	93.0	20 200	6 750	13.1	7.55	1 350	450
350 × 175	*346 × 174	6	9	13	52.45	41.2	11 000	791	14.0	3.66	588	94.8
	350 × 175	7	11	13	62.91	49.4	13 500	984	14.6	3.96	771	112

Gambar 5.59 Data Penampang Profil H 300x300 mm

Momen inersia (I_x)	= 20200 cm ⁴
Momen inersia (I_y)	= 6750 cm ⁴
$I_x + I_y$	= 26950 cm ⁴
Luas penampang (A)	= 118,5 cm ²
	= 11850 mm ²
Radius girasi (r)	= 7,55 cm
	= 75,5 mm
Lebar sayap (B)	= 300 mm
Tebal badan (t_1)	= 10 mm

Tebal sayap (t_2)	= 15 mm	
Modulus geser material (G)	= 77200 N/mm ²	(Subbab 5.1)
<i>Torsional constant</i> (J)	= 770000 mm ⁴	(Subbab 5.1)
<i>Warping constant</i> (C _w)	= 1,37 x 10 ¹² mm ⁴	(Subbab 5.1)
Tegangan leleh (F _y)	= 250 N/mm ²	(Subbab 5.1)
Modulus elastisitas baja (E)	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²	(Subbab 5.1)
	= 210000 N/mm ²	



Gambar 5.60 Ilustrasi Detail *Tower Shoring*

Panjang batang (L)	= 2900 mm	
K	= 1	(AISC ASD-89)

1. Penentuan klasifikasi penampang

a. Sayap

$$\begin{aligned}
 \text{Batas rasio} &= 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 0,56 \times \sqrt{\frac{210000}{250}} \\
 &= 16,2303 \\
 \text{Rasio} &= \frac{b}{t} \\
 &= \frac{300 \times 0,5}{15} \\
 &= 10 < 16,2303 \text{ (non-slender)}
 \end{aligned}$$

b. Badan

$$\begin{aligned}
 \text{Batas rasio} &= 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,49 \times \sqrt{\frac{210000}{250}} \\
 &= 43,1843 \\
 \text{Rasio} &= \frac{h}{t} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 15)}{10} \\
 &= 27 < 43,1843 \text{ (non-slender)}
 \end{aligned}$$

2. Kapasitas tegangan kritis tekuk lentur

$$\begin{aligned}
 \text{Batas rasio} &= 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 4,71 \times \sqrt{\frac{210000}{250}} \\
 &= 136,5088 \\
 \text{Rasio} &= \frac{K \times L}{r} \\
 &= \frac{1 \times 2900}{75,5} \\
 &= 38,4106 < 136,5033 \text{ (inelastis)} \\
 \text{Tegangan kritis elastis (Fe)} &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \times 210000}{\left(\frac{1 \times 2900}{75,5}\right)^2} \\
 &= 1404,8079 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Tegangan kritis tekan (Fcr)} &= \left(0,658^{\left(\frac{F_y}{F_e}\right)}\right) \times F_y \\
 &= \left(0,658^{\left(\frac{250}{1404,8079}\right)}\right) \times 250 \\
 &= 232,055 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

3. Kapasitas tegangan kritis tekuk torsi

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan kritis elastis (Fe)} &= \left(\frac{\pi^2 \times E \times C_w}{(K \times L)^2} + G \times J\right) \times \frac{1}{I_x + I_y} \\
 &= \frac{\left(\frac{\pi^2 \times 210000 \times 1,37 \times 10^{12}}{(1 \times 2900)^2} + 77200 \times 770000\right)}{26950}
 \end{aligned}$$

$$= 14733803,632 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan kritis tekan (Fcr)} &= \left(0,658^{\left(\frac{F_y}{F_e}\right)}\right) \times F_y \\ &= \left(0,658^{\left(\frac{250}{14733803,632}\right)}\right) \times 250 \\ &= 249,998 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Kuat tekan nominal

Nilai tegangan kritis tekan yang digunakan dalam perhitungan kuat tekan nominal diambil dari hasil terkecil antara tekuk lentur dan tekuk torsi, karena merupakan kondisi paling kritis terhadap kapasitas tekan kolom.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan nominal (Pn)} &= F_{cr} \times A \\ &= 232,055 \times 11850 \\ &= 2749854,972 \text{ N} \\ &= 274,986 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Beban vertikal terbesar} = 181,48 \text{ ton} < 274,986 \text{ ton (memenuhi)}$$

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Analisis Kelangsingan Kolom

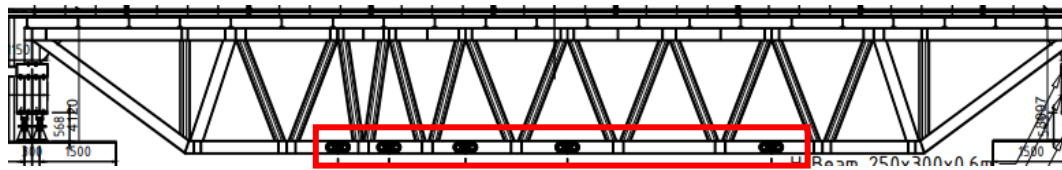
Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Kuat tekan nominal	ton	181,48	274,986	Memenuhi

Berdasarkan hasil analisis kolom pada *tower shoring* profil baja H 300x300, diperoleh bahwa penampang kolom termasuk kategori *non-slender*. Beban vertikal yang bekerja masih berada di bawah kapasitas tekan nominal kolom, sehingga kolom dinyatakan aman terhadap kemungkinan terjadinya tekuk.

5.6 Analisis Sambungan dan Komponen Kecil

5.6.1 Analisis *Pin Rod*

Pin rod digunakan sebagai elemen sambungan titik pertemuan antar batang bawah pada struktur *truss*. Data material dan dimensi *pin rod* diperoleh dari data perencanaan proyek pembangunan LRT Jakarta Fase 1B.



Gambar 5.61 Ilustrasi Peletakan *Pin Rod*

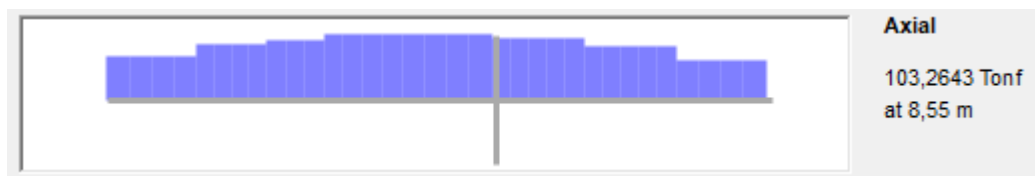
Jenis material = SCM440

Panjang efektif *pin rod* (L) = 6,4 cm

Diameter (d) = 7 cm (Subbab 5.1)

1. Kapasitas tegangan lentur

Tegangan lentur izin (Fb) = 5100 kg/cm² (Subbab 5.1)



Gambar 5.62 Hasil Analisis Gaya Aksial *Bottom Truss*

Hasil analisis menunjukkan pada *bottom truss*, diperoleh gaya aksial tarik maksimum (N) sebesar 103,2643 ton.

$$\begin{aligned}\text{Gaya aksial tarik (N)} &= 103,264 \text{ ton} \\ &= 103264 \text{ kg}\end{aligned}$$

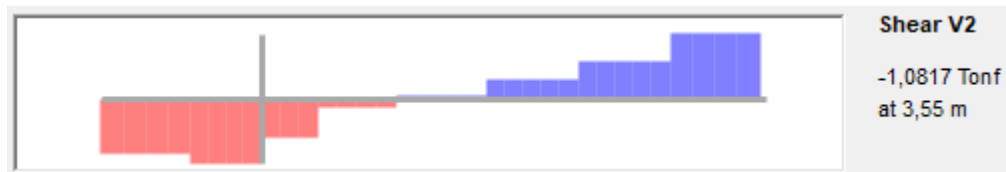
Gaya aksial kemudian diteruskan ke sambungan *pin rod* yang menggunakan dua buah pin, sehingga beban diasumsikan terbagi merata pada masing-masing pin.

$$\begin{aligned}\text{Gaya aksial pada pin (P}_{\text{aksial}}) &= \frac{1}{2} \times N \\ &= \frac{1}{2} \times 103264 \\ &= 51632 \text{ kg} \\ \text{Momen lentur pin (M)} &= \frac{P \times L}{4} \\ &= \frac{51632 \times 6,4}{4} \\ &= 82611,2 \text{ kg.cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus penampang (Z)} &= \frac{\pi \times d^3}{32} \\
 &= \frac{\pi \times 7^3}{32} \\
 &= 33,674 \text{ cm}^3 \\
 \text{Tegangan lentur} &= \frac{M}{Z} \\
 &= \frac{82611,2}{33,674} \\
 &= 2453,27 \text{ kg/cm}^2 < 5100 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

2. Kapasitas tegangan geser

$$\text{Tegangan geser izin (Fv)} = 1700 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Subbab 5.1})$$



Gambar 5.63 Hasil Analisis Gaya Geser *Bottom Truss*

Berdasarkan hasil analisis SAP2000, diperoleh gaya geser maksimum (V) sebesar 1,0817 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya geser (V)} &= 1,082 \text{ ton} \\
 &= 1082 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya geser pada pin (P)} &= \frac{1}{2} \times V \\
 &= \frac{1}{2} \times 1082 \\
 &= 541 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 7^2 \\
 &= 38,485 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan geser} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{541}{38,485} \\
 &= 14,057 \text{ kg/cm}^2 < 1700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Analisis *Pin Rod*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Tegangan lentur	kg/cm ²	2453,27	5100	Memenuhi
Tegangan geser	kg/cm ²	14,057	1700	Memenuhi

Berdasarkan hasil analisis, *pin rod* menerima gaya tarik dari *bottom truss* yang kemudian menimbulkan momen lentur pada *pin rod*. Tegangan lentur yang terjadi masih berada di bawah tegangan izin material, sehingga *pin rod* masih aman dalam menahan pengaruh lentur akibat transfer gaya antar batang truss. Selain itu, gaya geser yang bekerja pada *pin rod* menghasilkan tegangan geser yang relatif kecil, sehingga pengaruh geser terhadap kapasitas pin rod masih dalam batas aman.

5.6.2 Analisis Pelat Sambung

Pelat sambung digunakan sebagai elemen penghubung antar batang struktur *truss* pada sambungan *pin rod*.

Jenis material	= A572	
Tebal plat (t)	= 4 cm	(Subbab 5.1)
Lebar plat (b)	= 25 cm	(Subbab 5.1)
Diameter (d)	= 7 cm	(Subbab 5.1)
Diameter lubang (d ₀)	= 7,1 cm	(Subbab 5.1)
Tegangan leleh (F _y)	= 3500 kg/cm ²	(Subbab 5.1)
Beban pada pin (P)	= 51632 kg	(Sub-subbab 5.5.1)

1. Jarak tepi minimum

Berdasarkan SNI 1729:2015, jarak tepi minimum baut berdiameter lebih dari 36 mm atau 3,6 cm dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak tepi minimum} &= 1,25 \times d \\
 &= 1,25 \times 7 \\
 &= 8,75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi} = \frac{b - d_0}{2}$$

$$= \frac{25-7,1}{2}$$

$$= 8,95 \text{ cm} > 8,75 \text{ cm (memenuhi)}$$

Jarak tepi antara tepi lubang dan tepi lebih besar dari nilai minimum, maka desain pelat sambung dinyatakan aman untuk mencegah terjadinya kegagalan sobek pada tepi pelat akibat tegangan di sekitar lubang baut.

2. Kapasitas tegangan kritis tarik

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik izin} &= 0,45 \times F_y \\ &= 0,45 \times 3500 \\ &= 1575 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan kritis tarik (Fcr)} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{P}{(b-d_0) \times t} \\ &= \frac{51632}{(25-7,1) \times 4} \\ &= 721,117 \text{ kg/cm}^2 < 1575 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, pelat sambung menerima gaya tarik yang diteruskan dari *pin rod* sehingga bagian pelat di sekitar lubang baut menjadi daerah yang paling kritis terhadap kemungkinan terjadinya putus tarik. Adanya lubang pada pelat menyebabkan luas penampang efektif berkurang, namun tegangan tarik yang terjadi masih berada di bawah tegangan tarik izin material.

3. Kapasitas tegangan kritis tekan

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tekan izin} &= 0,9 \times F_y \\ &= 0,9 \times 3500 \\ &= 3150 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas kritis tekan (Fcr)} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{P}{d \times t} \\ &= \frac{51632}{7 \times 4} \\ &= 1844 \text{ kg/cm}^2 < 3150 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Pelat Sambung

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Jarak tepi minimum	cm	8,95	8,75	Memenuhi
Tegangan kritis tarik	kg/cm ²	721,17	1575	Memenuhi
Tegangan kritis tekan	kg/cm ²	1844	3150	Memenuhi

Gaya yang bekerja pada pin menimbulkan tekanan tumpu pada area kontak antara pin dan pelat sambung. Tegangan tekan yang terjadi pada area tersebut masih lebih kecil dari tegangan tekan izin material, sehingga pelat sambung dinyatakan aman dalam menahan gaya yang diteruskan oleh pin tanpa mengalami kerusakan pada daerah lubang maupun area tumpuan.

5.6.3 Analisis Sambungan *Upper Truss*

Sambungan pada *upper truss* menggunakan baut mutu M-30 dengan jumlah baut sebanyak 4 buah.

**Gambar 5.64 Hasil Analisis Gaya Geser *Upper Truss***

Berdasarkan hasil analisis SAP2000, diperoleh gaya geser maksimum (V) sebesar 6,1797 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas 1 baut} &= 9,9 \text{ ton (mengacu pada data lapangan)} \\
 \text{Jumlah baut (n)} &= 4 \text{ buah} \\
 \text{Gaya geser (V)} &= 6,1797 \text{ ton} \\
 \text{Gaya geser 1 baut} &= \frac{V}{n} \\
 &= \frac{6,1797}{4} \\
 &= 1,545 \text{ ton} < 9,9 \text{ ton (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Analisis Sambungan *Upper Truss*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Gaya geser	ton	1,545	9,9	Memenuhi

Pembagian gaya pada masing-masing baut menunjukkan bahwa kapasitas baut masih lebih besar dibandingkan gaya geser yang bekerja, sehingga sambungan dapat dinyatakan aman dalam menahan beban yang diterima.

5.6.4 Analisis Sambungan Baut *Tower Shoring*

Sambungan pada *tower shoring* dan *sleeper beam* digunakan untuk menahan gaya reaksi horizontal yang terjadi akibat pembebanan. Pada setiap kolom digunakan sebanyak 4 buah baut dengan mutu A325. Berdasarkan SNI 1729:2015, tegangan geser nominal baut A325 diambil sebesar 372 N/mm².

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter baut} &= 22 \text{ mm} && (\text{Subbab 5.1}) \\
 F_{nv} &= 372 \text{ N/mm}^2 && (\text{SNI 1729:2015}) \\
 \text{Beban horizontal terbesar} &= 23,73 \text{ ton} && (\text{Sub-subbab 5.5.2}) \\
 \text{Jumlah baut (n)} &= 4 \text{ buah} \\
 \text{Luas penampang (A}_b\text{)} &= \frac{\pi}{4} \times d^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\
 &= 380,133 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kapasitas geser nominal (R}_n\text{)} &= F_{nv} \times A_b \\
 &= 372 \times 380,133 \\
 &= 141409,369 \text{ N} \\
 &= 14,141 \text{ ton/baut} \\
 R_{\text{total}} &= n \times R_n \\
 &= 4 \times 14,141 \\
 &= 56,564 \text{ ton} \\
 \text{Gaya reaksi horizontal} &= 23,73 \text{ ton} < 56,564 \text{ ton (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Rekapitulasi Analisis Sambungan Baut *Tower Shoring*

Parameter	Satuan	Nilai Terjadi	Batas Izin	Keterangan
Gaya reaksi horizontal	ton	23,73	56,564	Memenuhi

Kapasitas geser nominal baut yang digunakan masih lebih besar dibandingkan gaya horizontal yang bekerja, sehingga sambungan baut pada *tower shoring* masih aman dalam menahan gaya geser akibat beban lateral pada struktur.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kekuatan struktur *heavy shoring* akibat beban beton basah pada pekerjaan *pier head* Proyek LRT Jakarta Fase 1B, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas sistem *shoring* berdasarkan hasil analisis kekuatan dan lendutan menunjukkan bahwa elemen bekisting, platform, balok pendukung, *pipe support*, rangka *truss*, *tower shoring*, *pin rod*, pelat sambung, dan sambungan baut mampu menahan beban yang bekerja serta memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar perencanaan yang digunakan. Hasil analisis menggunakan SAP2000 menunjukkan bahwa profil IWF 700x300 dan IWF 200x100 tidak memenuhi kriteria geser berdasarkan ketentuan AISC ASD-89. Namun, hasil verifikasi manual berdasarkan ketentuan SNI 1729:2020 menunjukkan bahwa kapasitas geser kedua profil tersebut masih lebih besar dibandingkan gaya geser yang bekerja sehingga tetap memenuhi persyaratan kekuatan. Selain itu, hasil pemeriksaan lendutan menunjukkan bahwa seluruh elemen yang ditinjau masih berada dalam batas lendutan yang diizinkan.
2. Kondisi keamanan sistem *shoring* secara keseluruhan dinyatakan aman untuk mendukung pekerjaan pengecoran *pier head*. Hal ini ditunjukkan oleh hasil evaluasi rasio kapasitas elemen struktur yang secara umum masih berada di bawah batas yang disyaratkan. Meskipun hasil analisis menggunakan SAP2000 menunjukkan bahwa profil IWF 700x300 dan IWF 200x100 memiliki rasio geser di atas 1, hasil verifikasi manual berdasarkan ketentuan SNI 1729:2020 menunjukkan bahwa kedua elemen tersebut masih memiliki kapasitas geser yang lebih besar dibandingkan gaya geser yang bekerja sehingga tetap memenuhi persyaratan kekuatan. Analisis dilakukan

menggunakan kombinasi pembebanan yang merepresentasikan kondisi paling kritis selama proses pengecoran, sehingga sistem *shoring* masih memiliki tingkat keamanan yang memadai terhadap kondisi aktual di lapangan. Hasil evaluasi ini sejalan dengan pelaksanaan pekerjaan di lapangan, di mana sistem *shoring* dapat berfungsi dengan baik dan mampu mendukung proses pengecoran *pier head* hingga pekerjaan selesai dilaksanakan tanpa indikasi kegagalan struktur. Dengan demikian, sistem *heavy shoring* yang digunakan mampu memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan keamanan yang berlaku.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Menggunakan variasi kombinasi pembebanan yang lebih beragam pada penelitian selanjutnya untuk memperoleh gambaran perilaku struktur *heavy shoring* yang lebih komprehensif.
2. Melakukan analisis pada portal selain P107B sehingga dapat diketahui tingkat keamanan sistem *heavy shoring* pada seluruh area pekerjaan *pier head*.
3. Melakukan validasi hasil analisis SAP2000 dengan data pengukuran lapangan, seperti lendutan atau deformasi aktual selama proses pengecoran.
4. Menggunakan metode desain lain, seperti LRFD, sebagai pembanding terhadap metode ASD yang digunakan pada penelitian ini.
5. Memperhitungkan pengaruh faktor pelaksanaan konstruksi, seperti ketidaksempurnaan pemasangan, eksentrisitas beban, dan variasi kondisi tumpuan terhadap respons struktur.

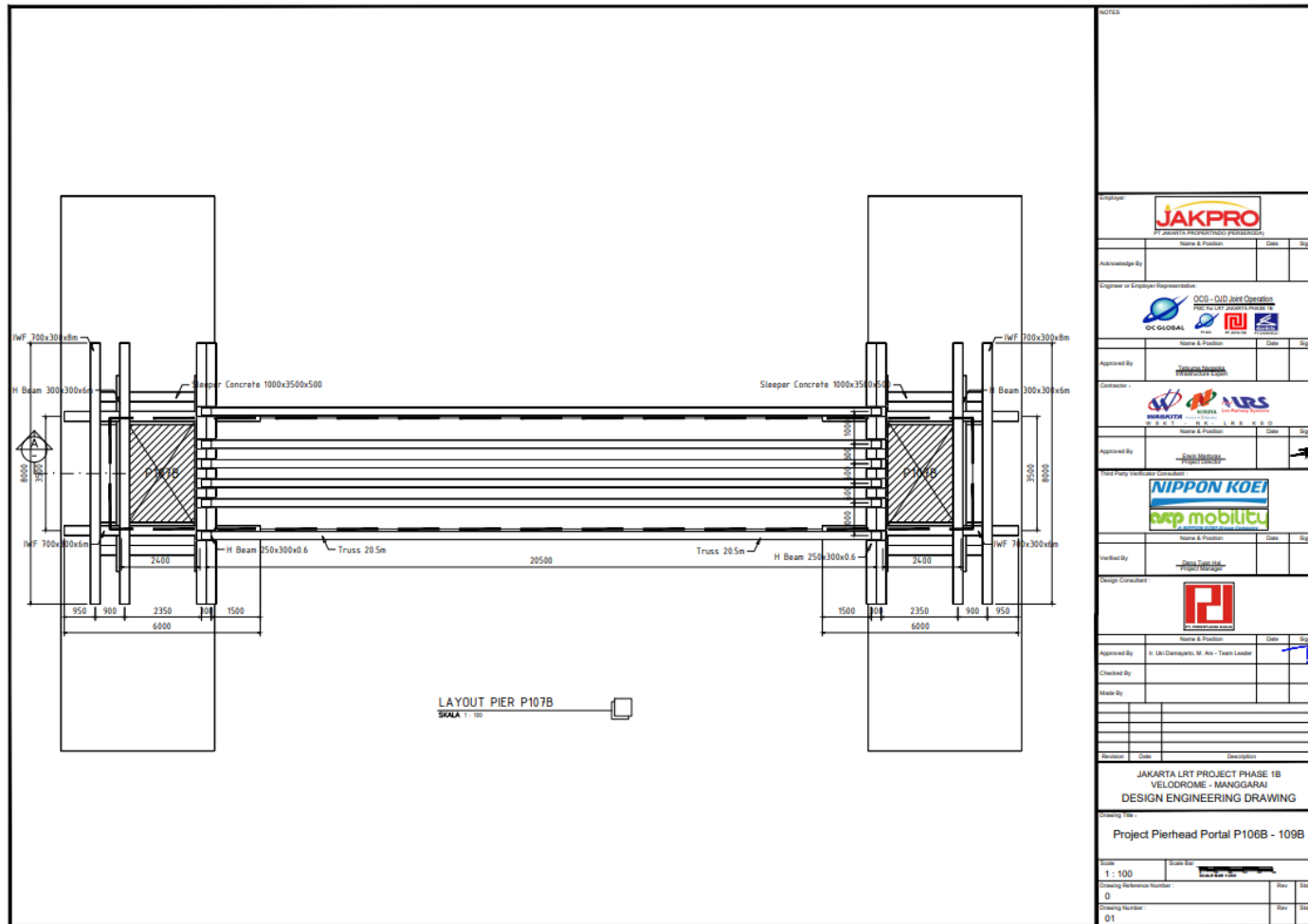
DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2014). ACI 347-14: Guide to Formwork for Concrete. ACI Committee 347.*
- American Institute of Steel Construction. (1989). Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design (ASD). American Institute of Steel Construction.*
- American Society of Civil Engineers. (2002). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-02). American Society of Civil Engineers.*
- Arisyi, L., Dewita, H., & Sembiring, K. (2024). Analisis Struktur Beton Pelat Lantai dan Balok dengan Metode Bekisting Sistem Fix Shoring. *Jurnal Komposit*, 8(2), 399–410. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15598>
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 1729:2015: Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016: Pembebanan untuk jembatan. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020: Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. BSN
- Kifly, Z., Rahmat, A., & Tamsih, I. J. T. R. (2026). *Analisis Struktur Rangka Baja pada Proyek Pembangunan Gedung Olahraga Unimuda Sorong.*
- Kim, H., Lee, Y., Won, J., Jeong, S., & Kim, S. (2023). *Prefabricated Shoring System Considering Structural Details.*
- Mukti, F. A., Firdaus, A. Z. G., & Hardawati, A. (2023). Analisis Baut Dynabolt pada Shoring Proyek Jembatan Rangka Baja Simpang Joglo Surakarta. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1), 22–30. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/45508%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/45508/29>. Naskahh Mukti dkk - Analisis Baut.pdf?sequence=1
- Munthe, A. T., & Noegroho, M. A. (2020). *Analysis of Strength , Stiffness , and Stability The Formwork Construction in LRT Jabodebek Project*. 2(2), 170–183.

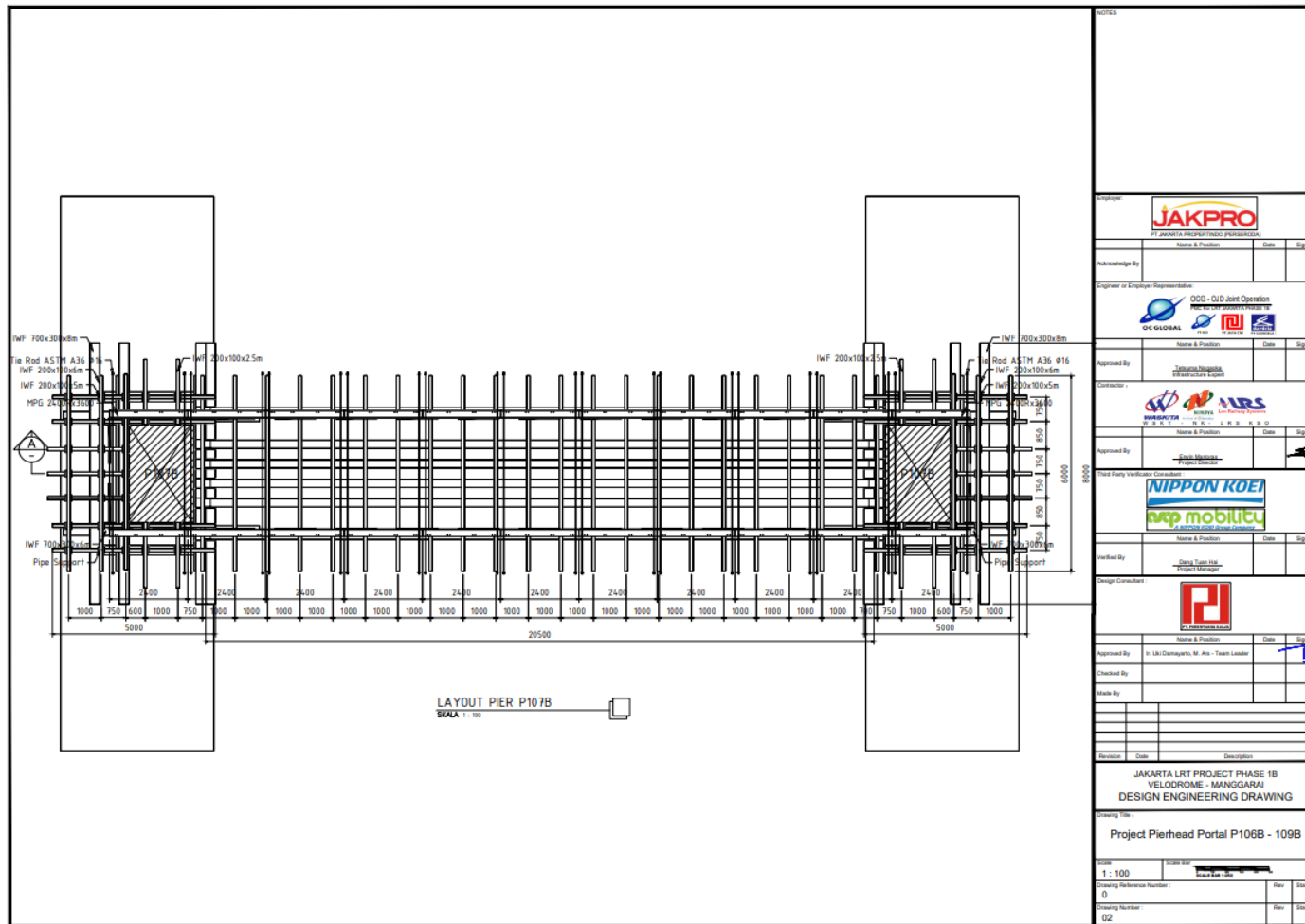
- Nabil, F., Baskoro, M., Nurdiana, A., & Setiabudi, B. (2023). *Penerapan Software SAP 2000 pada Re-design Struktur Gedung Terpadu Psikologi Olahraga Universitas Negeri Surabaya*. 1(2), 23–35.
- Nur, A. R. F., & Mulya, E. S. (2024). Pelaksanaan Perancah Pierhead Sistem Shoring pada Tol Ancol Timur - Pluit. *Agustus*.
- Simaibang, E. M., Irwan, Lubis, K., Mahda, N., & Hutaeruk, D. M. (2023). *EVALUASI KEKUATAN DAN KEKAKUAN BEKISTING DINDING GESER AKIBAT TEKANAN LATERAL BETON SEGAR PADA PROYEK PODOMORO CITY DELI MEDAN*. 3814, 209–211.
- Sulandari, N., Pranata, Y. A., & Kristianto, A. (2023). Studi Analitis dan Eksperimental Mekanisme Slip-Kritis Sambungan Struktural Baut Baja. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(1), 158–173. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i1.5755>

LAMPIRAN

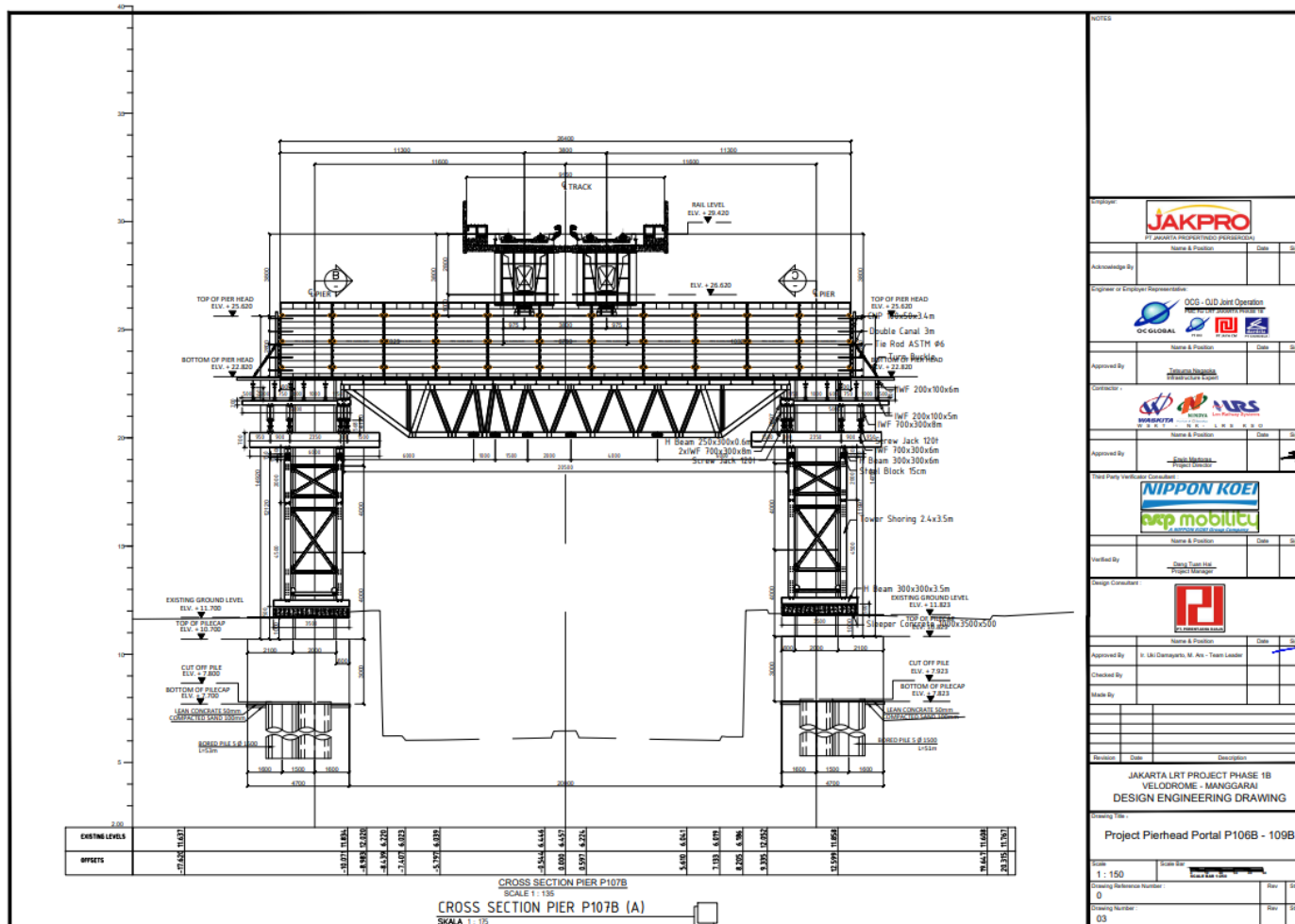
Lampiran 1 *Layout Shoring Pier P107B Tahap 1*



Lampiran 2 Layout Shoring Pier P107B Tahap 2

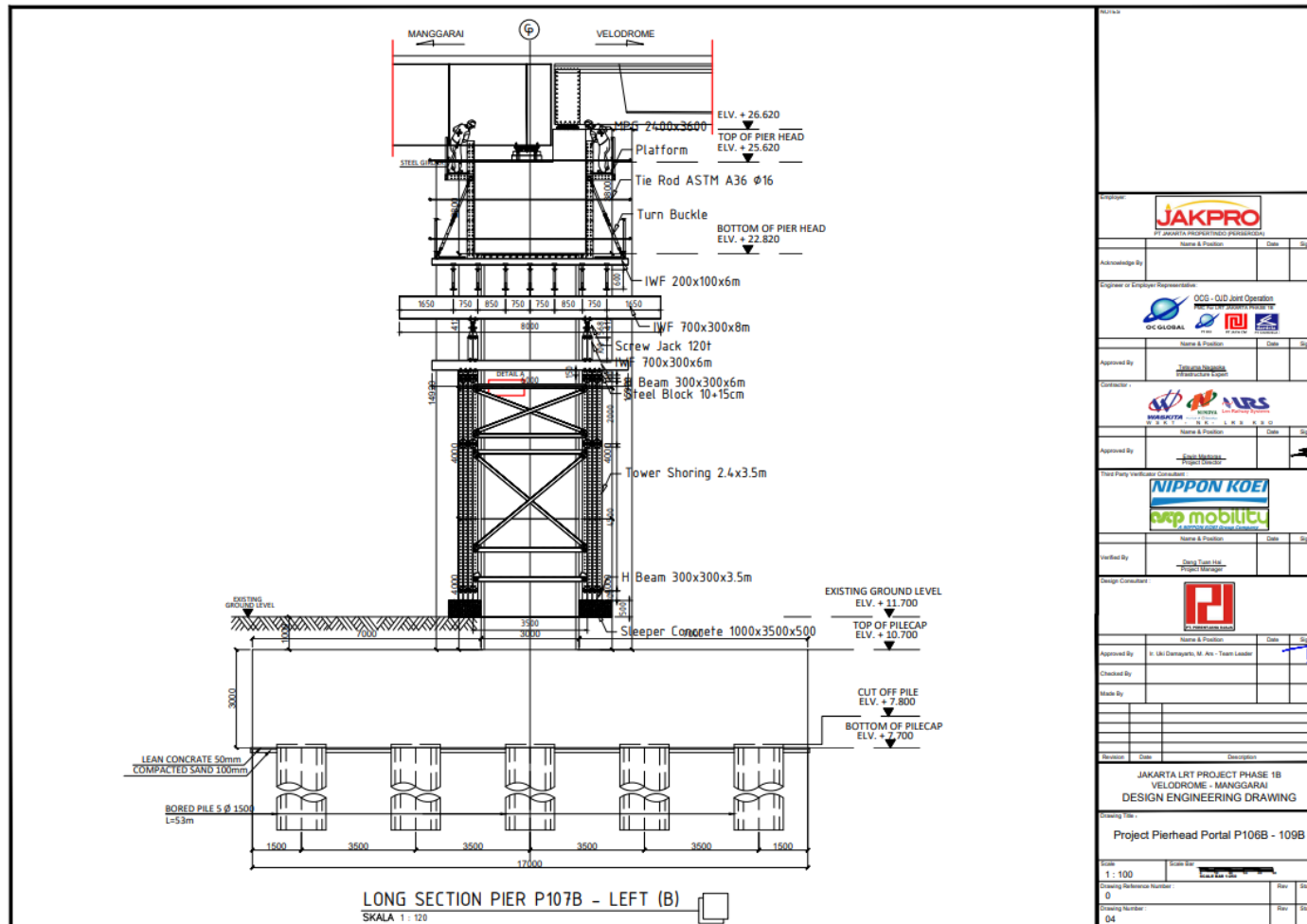


Lampiran 3 Cross Section Pier P107B



NOTES			
Approved By	Name & Position	Date	Sign
Engineer or Engineer Representative			
Approved By	Name & Position	Date	Sign
Contractor			
Approved By	Name & Position	Date	Sign
Third Party Institution Consultant			
Verified By	Name & Position	Date	Sign
Design Consultant			
Approved By	Name & Position	Date	Sign
Checked By	Name & Position	Date	Sign
Made By	Name & Position	Date	Sign
Revision	Date	Description	
JAKARTA LRT PROJECT PHASE 1B VELODROME - MANGGARAI DESIGN ENGINEERING DRAWING			
Project Pierhead Portal P106B - 109B			
Scale	Scale Bar	Rev	Status
1 : 150		0	0
Drawing Reference Number		Rev	Status
0		0	0
Drawing Number		Rev	Status
03		0	0

Lampiran 4 Long Section Pier P107B Kiri



LONG SECTION PIER P107B - RIGHT (C)
SKALA 1 : 120