

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA
PADA TANAH LUNAK**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun oleh :

Ashfa Taqiya

NIM : 3.02.017.00031

Isnah Nur Aenin

NIM : 3.02.0170.0088

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2021

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA PADA TANAH LUNAK

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun oleh :

Ashfa Taqiya

Isnah Nur Aenin

NIM : 3.02.017.00031

NIM : 3.02.0170.0088

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2021

USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR

PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA PADA TANAH LUNAK

Yang diajukan oleh :

NAMA : Ashfa Taqiya
NIM : 3.02.017.00031

NAMA : Isnah Nur Aenin
NIM : 3.02.017.00088

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.

Tanggal : 14 April 2021

Pembimbing Pendamping

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Tanggal : 14 April 2021



Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Ruli Ahyar, ST., M.Eng.



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA
PADA TANAH LUNAK

Oleh :



Ashfa Taqiya

NIM : 3.02.017.00031



Isnah Nur Aenin

NIM : 3.02.017.00088

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Juli 2021

Tim Penguji

1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.
2. Lisa Fitriyana, ST. M., Eng.
3. Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng.

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Ketua,



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng.



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 03 / A.2 / SA – T / III / 2021

Pada hari ini tanggal Juli 2021 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing II

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

NAMA : Ashfa Taqiya

NAMA : Isnah Nur Aenin

NIM : 3.02.017.00031

NIM : 3.02.017.00088

Judul : Perencanaan Bangunan Gudang Dengan Struktur Baja Pada Tanah Lunak.

Dengan tahap sebagai berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan dosen pembimbing	08 April 2021	ACC
2.	Proposal	14 April 2021	ACC
3.	Pengumpulan data	24 Mei 2021	ACC
4.	Analisis data	12 Juni 2021	ACC
5.	Penyusunan laporan	30 Juni 2021	ACC
6.	Selesai laporan	20 Juli 2021	ACC

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Buli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Ashfa Taqiya

NIM : 3.02.017.00031

NAMA : Isnah Nur Aenin

NIM : 3.02.017.00088

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA PADA TANAH LUNAK” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Dengan surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Semarang, Juli 2021

Yang Membuat Pernyataan



Ashfa Taqiya

Yang Membuat Pernyataan



Isnah Nur Aenin



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan di bawah ini :

Nama : Ashfa Taqiya

NIM : 3.02.017.00031

Nama : Isnah Nur Aenin

NIM : 3.02.017.00088

Judul : **PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR**

BAJA PADA TANAH LUNAK.

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Juli 2021

Yang membuat pernyataan


Ashfa Taqiya

Yang membuat pernyataan


Isnah Nur Aenin

MOTTO

“Apapun, kapanpun, dimanapun, yang kamu lakukan selalu taburkanlah Sholawat”

(Bapak, Ibu)

“Sesungguhnya Allah SWT., tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan mereka sendiri. Dan apabila Allah SWT., menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya dan tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia”

(Q.S. Ar-Ra'd Ayat 11)

“Experience is the BEST teacher do you have”

(Ashfa Taqiya)

“USAHA Keren, HASIL Keren”

(Ashfa Taqiya)

“Aku dan Kamu dilahirkan dengan setara. Yang membedakan kita adalah besaran usaha yang kita keluarkan untuk mencapai kesuksesan”

(Dimashsk)

“Terus bersyukur dengan apa yang aku dan kamu miliki. Apapun latarbelakangmu, siapapun kamu, kita berharga”

(Dimashsk)

Ashfa Taqiya

3.02.017.00031

MOTTO

“Saya harus sukses karena jika saya sukses saya akan bahagia, dan saya bisa membahagiakan banyak orang lainnya”

(Isnah)

“Kuliah bukan untuk cari kerja tapi biar kamu pintar dan jadi manusia yang lebih baik. Kerja bisa apa saja tapi nggak ada salahnya kalau kamu belajar”

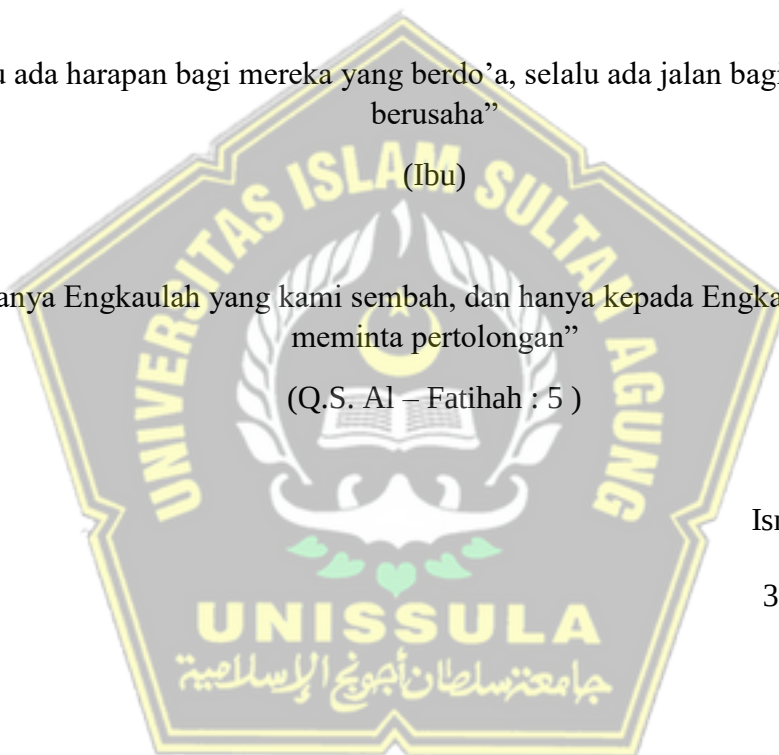
(Bapak)

“Selalu ada harapan bagi mereka yang berdo’a, selalu ada jalan bagi mereka yang berusaha”

(Ibu)

“Hanya Engkaulah yang kami sembah, dan hanya kepada Engkaulah kami meminta pertolongan”

(Q.S. Al – Fatihah : 5)



Isnah Nur Aenin

3.02.017.00088

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Murtadho dan Ibu Nailil Muna yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Adik – adik saya tercinta Tsurayya Munifa dan Wafda Qonita yang selalu memberikan do'a dan dukungan.
3. Nenek, Kakek, Atok Khalim, Atok Fandi, Atok Jamin, dan keluarga tercinta, yang selalu memberikan semangat dan mendo'akan serta memberikan dorongan motivasi.
4. Bapak Dr. Ir. Sumirin, MS., yang telah memberikan pengalaman berharga selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudari Isnah Nur Aenin rekan Tugas Akhir dan teman seperjuangan.
6. Sahabat – sahabat saya Ardefian, Imam, Syeikhi, Alfian, Amanullah, Riko, Fiko, Brillyan, Jimbo, Dera dan Arriski yang telah membantu dan memberikan saya dorongan motivasi selama ini.
7. *Roommates* saya Kakak Ulfie dan Isye yang telah memberikan semangat, do'a, masukan, dan mendengarkan cerita saya selama ini.
8. Sepupu saya Arina Nur Laili yang selalu mendo'akan, memberikan motivasi, dan selalu berbagi pengalaman kepada saya.
9. Tim liburan dadakan saya Bayu Ardian, Bowo, April, Alma yang telah memberikan saya waktu luang untuk menikmati indahnya Indonesia dan kenangan yang tak terlupakan.
10. Teman sedosen pembimbing saya Adi, Rizaldhy, Anang, Alvina yang telah membantu dan memberikan semangat kepada saya.
11. Teman – teman Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil 2017 terkhusus Kelas A dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Ashfa Taqiya

3.02.017.00031

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua tercinta bapak Poniman dan ibu Puji Astuti atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran dan doa.
2. Risky Adhi Sundawa, adik saya tercinta yang selalu memberikan dukungan.
3. Ashfa Taqiya rekan tugas, teman sepermainan, dan saudara seiman
4. Panatullah Ishomudin yang selalu membantu dan memberi semangat selama mengerjakan.
5. R. Abimata Daniswara, kakak tingkat saya yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Fadila, Dede, Lora, Lusy, Liza, Ghina, Hesti, Alam, Ikbal, Irwan, Lana, Isna, yang selalu menghibur dan membantu selama ini.
7. Teman – teman teknik sipil B 2017 yang selalu mendukung dan memberi semangat.
8. Teman teknik sipil seperjuangan 2017 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
9. Teman – teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Isnah Nur Aenin

3.02.017.00088

KATA PENGANTAR

Asslamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah – Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA PADA TANAH LUNAK” tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Penyelesaian laporan ini dimaksudkan untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

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

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Ruli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, Juli 2021

Ashfa Taqiya

(3.02.017.00031)

Isnah Nur Aenin

(3.02.017.00088)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xxi
ABSTRAK	xxv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Tinjauan Umum.....	5
2.2 Material Baja	5
2.2.1 Karakteristik Mekanis Baja.....	6
2.2.2 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Material Baja	10
2.2.3 Karakteristik Tarik Baja.....	11
2.2.4 Karakteristik Geser Baja	18

2.2.5	Karakteristik Tekan Baja.....	18
2.2.6	Kurva <i>True Stress</i> dan <i>True Strain</i>	25
2.2.7	Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	25
2.3	Persyaratan Peraturan Gempa SNI 1726:2019	25
2.3.1	Kategori Resiko Struktur Bangunan	25
2.3.2	Kategori Desain Seismik.....	28
2.3.3	Wilayah Gempa dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa	29
2.3.4	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain	31
2.3.5	Spektrum Respon Gempa.....	31
2.3.6	Kombinasi Sistem Perangkai Arah yang Berbeda	32
2.3.7	Batasan Periode Fundamental Struktur.....	33
2.3.8	Geser Dasar Seismik	33
2.3.9	Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai	33
2.3.10	Analisis Spektrum Respon Ragam.....	34
2.4	Konsep Pembebanan.....	35
2.4.1	Beban Mati	35
2.4.2	Beban Hidup	35
2.4.3	Beban Angin	36
2.4.4	Kombinasi Pembebanan.....	36
2.5	Perencanaan Struktur Atas.....	36
2.5.1	Perencanaan Elemen Lentur.....	37
2.5.2	Perencanaan Elemen Tekan	49
2.5.3	Perencanaan Pelat Lantai	52
2.5.4	Perencanaan Atap.....	53
2.6	Perencanaan Struktur Bawah.....	54

2.6.1	Fondasi Tiang Pancang	54
2.6.2	<i>Pile Cap</i>	57
BAB III METODE PENELITIAN		61
3.1	Pendahuluan	61
3.2	Tahap Perencanaan.....	61
3.2.1	Pengumpulan Data.....	61
3.2.2	Perhitungan Pembebanan	62
3.2.3	Permodelan Struktur	62
3.2.4	Analisa Struktur.....	63
3.2.6	Perhitungan Dimensi	63
3.3	Penyajian Laporan dan Format Penggambaran	63
3.4	Diagram Alir Perencanaan	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		65
4.1	Tinjauan Umum	65
4.2	Data dan Konfigurasi Bangunan Gudang	66
4.2.1	Data Umum.....	66
4.2.2	Data Teknis.....	66
4.3	Permodelan Struktur.....	85
4.4	Perencanaan Struktur Atas.....	87
4.4.1	Perencanaan Atap	87
4.4.2	Perencanaan Pelat	99
4.4.3	Perencanaan Balok	115
4.4.4	Perencanaan Kolom.....	120
4.5	Perencanaan Sambungan.....	126
4.5.1	Sambungan Pada Atap.....	126
4.5.2	Sambungan Tumpuan Kuda – Kuda Pada Kolom.....	134
4.5.3	Sambungan Pada Kolom-Balok.....	137
4.5.4	Sambungan Pada Kolom-Base Plate	139
4.6	Hasil Analisis Menggunakan SAP2000v20.....	145

4.7 Perencanaan Struktur Bawah	149
4.7.1 Perencanaan Fondasi Tiang Pancang	149
4.7.2 Perencanaan Poer.....	155
4.7.3 Perencanaan Penulangan <i>Pile Cap</i>	157
4.7.4 Analisa Penurunan Fondasi Tiang Pancang (<i>Allpile</i>).....	162
BAB V PENUTUP	168
5.1 Kesimpulan.....	168
5.2 Saran	169

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Mekanis Baja Struktural Berdasarkan Mutu Baja	6
Tabel 2.2	Karakteristik Mekanis Baja Struktural Secara Umum	7
Tabel 2.3	Sifat Mekanis Beberapa Baja Stuktural Berdasarkan ASTM untuk Profil Struktur Gilas Panas (<i>Hot – Rolled</i>).....	7
Tabel 2.4	Faktor Panjang Efektif atau Faktor Panjang Tekuk (K).....	19
Tabel 2.5	Rasio Tebal terhadap Lebar Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial (Tabel B4. Ia. SNI 1729:2020)	22
Tabel 2.6	Kategori resiko Bangunan Gedung dan non Gedung untuk Beban Gempa	26
Tabel 2.7	Faktor Keutamaan Gempa.....	28
Tabel 2.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	28
Tabel 2.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	29
Tabel 2.10	Koefisien Situs, F_a (SNI 1726:2019).....	30
Tabel 2.11	Koefisien Situs, F_v (SNI 1726:2019).....	30
Tabel 2.12	Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	32
Tabel 2.13	Klasifikasi Elemen Tekan Komponen Struktur yang Memikul Lentur Pada Elemen yang Tidak Diperkaku (Tabel B4. Ib. AISC 2016)	43
Tabel 2.14	Langkah Perencanaan Balok Lentur (Berdasarkan Tabel F1. 1)	45
Tabel 4.1	Nilai Beban Angin Pada Atap	71
Tabel 4.2	Nilai Beban Angin Pada Dinding.....	72

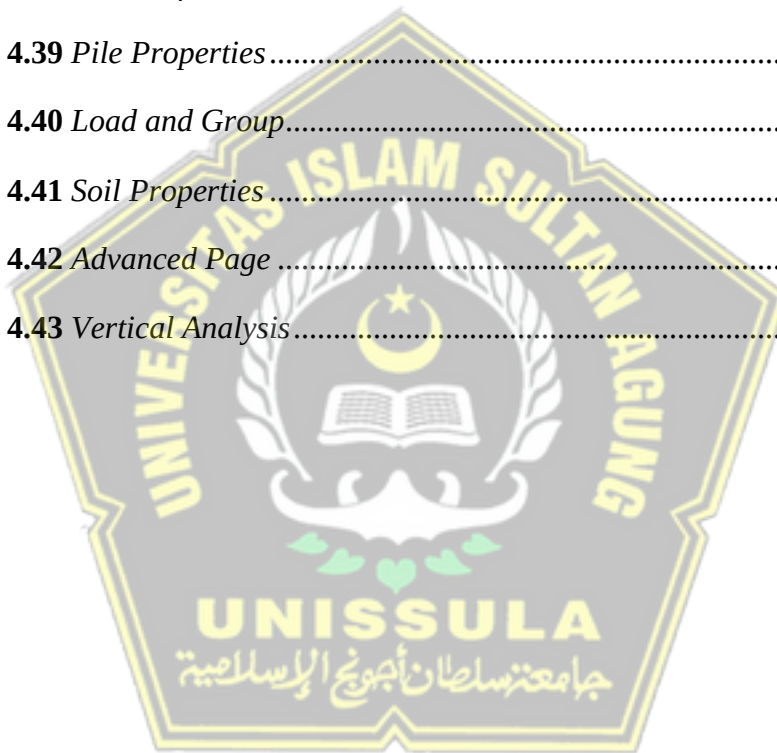
Tabel 4.3	Kategori Resiko Gempa	73
Tabel 4.4	Faktor Keutamaan Gempa.....	73
Tabel 4.5	Data N-SPT	74
Tabel 4.6	Klasifikasi Situs.....	75
Tabel 4.7	Nilai Respons Spektra Desain	78
Tabel 4.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}	80
Tabel 4.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}	80
Tabel 4.10	Sistem Pemikul Gaya Seismik	81
Tabel 4.11	Nilai Parameter Periode Pendekatan	82
Tabel 4.12	Koefisien Batas Atas pada Periode yang dihitung	83
Tabel 4.13	Berat Struktur	84
Tabel 4.14	Tabel Efektif Minimum dari Las Tumpul Penetrasi- <i>Joint</i> -Sebagian	128
Tabel 4.15	Dimensi Lubang Nominal, mm.....	130
Tabel 4.16	Tabel Efektif Minimum dari Las Tumpul Penetrasi- <i>Joint</i> -Sebagian	133
Tabel 4.17	Spesifikasi <i>Prestressed Spun Pile</i> PT. WIKA Beton	150
Tabel 4.18	Data N-SPT	151
Tabel 4.19	<i>Joint Reaction</i>	152
Tabel 4.20	<i>Allpile Result</i>	166

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Tegangan – Regangan Baja Tipikal untuk Baja Struktural dengan Kadar Karbon rendah pada Temperatur Ruang.....	12
Gambar 2.2 Grafik Tegangan – Regangan Baja Getas (<i>Brittle Steel</i>) Tipikal	13
Gambar 2.3 Nomogram Penentuan K pada Komponen Struktur Bergoyang	20
Gambar 2.4 Nomogram Penentuan K pada Komponen Stuktur Tak Bergoyang.....	20
Gambar 2.5 Spektrum Respons Desain	32
Gambar 2.6 Penentuan Simpangan Antar Tingkat.....	34
Gambar 2.7 Dimensi Balok dan Perilakunya	37
Gambar 2.8 Variasi dari Tegangan Lentur Akibat Penambahan Momen pada Sumbu X	38
Gambar 2.9 Perilaku Penampung Profil Baja Berdasarkan Jenis Pelakunya	42
Gambar 2.10 Lokasi Tulangan Dipelat.....	53
Gambar 2.11 Penempatan Tulangan pada Pelat	53
Gambar 2.12 Grafik Hubungan μ_u dan μ_n untuk Tiang Pancang	57
Gambar 3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>) Perencanaan Struktur Gudang.....	64
Gambar 4.1 Koefisien Angin untuk Gedung	69
Gambar 4.2 Spektal Percepatan.....	79
Gambar 4.3 <i>Test Result</i> Desain Spektra Indonesia.....	79
Gambar 4.4 Permodelan Struktur 3D Tampak Depan.....	86
Gambar 4.5 Permodelan Struktur 3D Tampak Samping.....	86
Gambar 4.6 <i>Stress Ratio</i>	87
Gambar 4.7 Data Propertis Pipa 4 in	88

Gambar 4.8 Data Propertis Pipa 2 in	91
Gambar 4.9 Data Propertis Gording.....	97
Gambar 4.10 Tipe Pelat 5,5 x 6 m.....	99
Gambar 4.11 Sketsa Penulangan Pelat Lantai	107
Gambar 4.12 Tipe Pelat 9 x 6 m.....	107
Gambar 4.13 Sketsa Penulangan Pelat Lantai	115
Gambar 4.14 Data Properties Balok.....	115
Gambar 4.15 <i>Ouput SAP2000v20</i> M_{max}	117
Gambar 4.16 <i>Ouput SAP2000v20</i>	119
Gambar 4.17 <i>Ouput SAP2000v20</i>	120
Gambar 4.18 Data Properties Kolom	120
Gambar 4.19 <i>Ouput SAP2000v20</i>	125
Gambar 4.20 <i>Ouput SAP2000v20</i>	126
Gambar 4.21 Batang dengan Sambungan Las.....	126
Gambar 4.22 Batang dengan Sambungan Baut.....	129
Gambar 4.23 Desain Sambungan Baut.....	129
Gambar 4.24 Desain Sambungan Baut.....	137
Gambar 4.25 Desain Base Plate Arah Y.....	141
Gambar 4.26 Desain Base Plate Arah X.....	143
Gambar 4.27 Tampak XY	145
Gambar 4.28 Tampak XZ1	145
Gambar 4.29 Tampak XZ2	146
Gambar 4.30 Tampak Samping	146
Gambar 4.31 <i>Moment-Envelope(Output SAP2000v20)</i>	147

Gambar 4.32 Lintang-Envelope (Output SAP2000v20)	147
Gambar 4.33 Gaya Normal-Envelope (Output SAP2000v20)	148
Gambar 4.34 Stress Ratio (Ouput SAP2000v20).....	148
Gambar 4.35 Denah Fondasi	161
Gambar 4.36 Tampak Atas Pile Cap.....	162
Gambar 4.37 Pile Type	163
Gambar 4.38 Pile Profile.....	163
Gambar 4.39 Pile Properties	164
Gambar 4.40 Load and Group.....	165
Gambar 4.41 Soil Properties	165
Gambar 4.42 Advanced Page	166
Gambar 4.43 Vertical Analysis.....	167



DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

β	= Rasio sisi panjang dan pendek kolom
λ	= Rasio lebar terhadap tebal
λ_r, λ_p	= Batas rasio lebar terhadap tebal λ_r (non langsing/langsing)
ρ_{min}	= Rasio tulangan minimum yang diijinkan dalam beton
ρ_{perlu}	= Rasio tulangan yang diperlukan dalam beton
ρ_b	= Rasio tulangan beton bertulang pada kondisi <i>balance</i>
δ_e	= Lendutan akibat beban yang terjadi (mm atau cm)
δ_{ijin}	= Harga lendutan yang diijinkan terjadi (mm atau cm)
A_b	= Luas penampang pada baut (mm ² atau cm ²)
A_c	= Luas penampang pada beton (mm ² atau cm ²)
A_r	= Luas tulangan baja dalam beton (mm ² atau cm ²)
A_s	= Luas tulangan baja (mm ² atau cm ²)
A_p	= Luas bidang geser <i>Pons</i> (mm ² atau cm ²)
A_{sc}	= Luas tulangan geser beton bertulang (mm ² atau cm ²)
A_w	= luas badan = d.t _w (in ² atau mm ²)
B	= Lebar penampang beton bertulang (mm atau cm)
b_{eff}	= bentang efektif pelat beton (mm atau cm)
b_p	= Lebar bidang geser <i>Pons</i> (mm atau cm)
B_x	= Lebar bidang geser <i>Pons</i> arah X (mm atau cm)
B_y	= Lebar bidang geser <i>Pons</i> arah y (mm atau cm)
c	= 1 (profil I simetris ganda) dan $c = h_0/2 \sqrt{I_y/C_w}$ (profil kanal)

C_b	= 1,0 digunakan jika momen – momen ujung yang sama besar dan berlawanan arah (momen beragam).
C_w	= Konstanta <i>warping</i> (in ⁶ atau mm ⁶), untuk profil I nilainya sebesar $C_w = I_y \cdot h_0^2 / 4$
D_b	= Diameter baut (mm atau cm)
E_c	= Modulus elastisitas penampang beton (MPa)
E_s	= Modulus elastisitas penampang baja (MPa)
E_{ff}	= Efisiensi kelompok tiang
f'_c	= Mutu beton bertulang (MPa)
F_{cr}	= Tegangan kritis (ksi atau MPa)
f_y	= kuat leleh minimum yang nilainya tergantung dari mutu baja (MPa)
f_p	= Tegangan geser <i>Pons</i> (f_p) diambil nilai terkecil (MPa)
f_u	= Kuat Tarik ultimate baja (MPa)
G	= Perbandingan kekakuan rangka portal
h_o	= Jarak antara titik berat elemen sayap penampang (in atau mm)
I_x	= Momen <i>Inersia</i> pada sumbu utama x (in ⁴ atau mm ⁴)
J	= Konstanta torsi (in ⁴ atau mm ⁴) dengan ($J = 1/3 \times (2tf^3 \times b + tw^3 \times h_0)$)
MA	= Momen seperempat bentang (<i>absolut</i>) pada bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).
MB	= Momen tengah bentang (<i>absolut</i>) pada bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).
MC	= Momen tiga-perempat bentang (<i>absolut</i>) pada bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).
M_p	= Momen lentur maksimum yang terjadi pada sendi plastis (MPa atau Kn/m)

M_{maks}	= Momen terbesar (absolut) terhadap bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N- mm).
R	= Faktor reduksi gempa
$P_{all\ grup}$	= Daya dukung kelompok tiang (kN/m)
P_{max}	= Beban maksimum setiap tiang pada kelompok tiang (kN/m)
Q_{ult}	= Daya dukung <i>ultimate</i> fondasi (kN/m)
Q_{all}	= Daya dukung <i>allowable</i> fondasi (Q_{all}) (kN/m)
S	= Jarak antar penghubung geser atau tulangan pada pelat beton (mm atau cm)
S_1	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik yang ditinjau pada peta
S_{D1}	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik dengan redaman 5 persen
S_{Ds}	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode pendek dengan redaman 5 persen
S_{M1}	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs
S_{Ms}	= Parameter percepatan respon spectra pada periode pendek yang sudah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs
S_s	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode pendek yang ditinjau pada peta
S_x	= Modulus penampang elastis terhadap sumbu x (in ³ atau mm ³)
S_y	= Modulus penampang elastis terhadap sumbu y (in ³ atau mm ³)
T	= Periode fundamental bangunan

t_w	= Tebal pelat badan (mm)
t_f	= Tebal plat sayap (mm)
V	= Nilai gaya geser dasar hasil akumulasi pembebanan gempa pada bangunan (kN atau Kg)
V_h	= Tegangan geser horizontal (kN atau Kg)
W_i	= Berat lantai bangunan (kN/m atau Kg/m)
W_c	= Berat beton (kN/m atau Kg/m)
Z_x	= Modulus penampang plastis terhadap sumbu x (cm ³)
Z_y	= Modulus penampang plastis terhadap sumbu y (cm ³)



PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA PADA TANAH LUNAK

Ashfa Taqiya¹⁾, Isnah Nur Aenin¹⁾, Antonius²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang sedang gencar – gencarnya melakukan pembangunan nasional. Semakin hari pembangunan infrastruktur meningkat pesat. Kebutuhan manusia dalam menopang kegiatan sehari – hari bergantung pada infrastruktur yang memadai. Salah satunya kebutuhan akan bangunan dalam pengembangan pasar *retail* yang ada diberbagai kota, yaitu bangunan yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan barang sebelum didistribusikan kepada konsumen yang biasa dikenal dengan nama gudang penyimpanan khusus. Gudang penyimpanan khusus dengan struktur material baja saat ini banyak diminati para pengembang infrastruktur bangunan. Sifat baja yang stabil, kuat, mampu layan, awet, pengerjaan mudah serta ringan memiliki kelebihan khusus dibandingkan material bangunan lainnya, khususnya bangunan yang berada pada tanah lunak. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini adalah melakukan perencanaan Gudang dengan Struktur Baja yang disesuaikan pada SNI 1729:2020, SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019 dengan berbasis *software SAP2000v20* untuk analisis struktur atas dan *software Allpile* untuk analisis daya dukung serta penurunan fondasi pada tanah lunak. Perencanaan ini menggunakan desain struktur baja dengan Sistem Rangka Baja Pemikul Momen Biasa. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menggunakan *SAP2000v20* mendapatkan hasil atap lengkung dengan pipa 4 in., dan 2 in., untuk *truss* atap lengkung, gording C 150 x 75 x 12,5 x 9, balok I/WF 400 x 200 x 8 x 13, kolom I/WF 400 x 400 x 13 x 21 serta menggunakan mutu baja *ASTM A36/36M*. Analisis penurunan fondasi pada tanah lunak menggunakan *Allpile* menunjukkan hasil *settlement* sebesar 0,465 cm dengan beban jenis *single pile* diameter 500 mm sebesar 466,024 kN.

Kata Kunci: *Perencanaan Gudang, Struktur Baja, Tanah Lunak, Sistem Rangka Baja Pemikul Momen Biasa, SAP2000v20, Allpile*

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

²⁾ Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

DESIGN OF WAREHOUSE BUILDING USING STEEL STRUCTURE ON SOFT SOIL

Ashfa Taqiya¹⁾, Isnah Nur Aenin¹⁾, Antonius²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

Abstract

Indonesia is a country that is intensively carrying out national development. Every day infrastructure development is increasing rapidly. Human needs to support daily activities on adequate infrastructure. One of them is the need for buildings in retail markets that exist in various cities, namely buildings that function as storage areas for goods before they are developed for consumers, commonly known as special storage warehouses. Special storage warehouses with steel material structures are currently in great demand by building infrastructure developers. The properties of steel which are stable, strong, serviceable, durable, easy to work with and light in weight have special advantages over other building materials, especially buildings located on soft soil. Therefore, this final project is to plan a warehouse with a steel structure that is adapted to SNI 1729:2020, SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, and SNI 2847:2019 based on SAP2000v20 software for superstructure analysis and Allpile software for analysis. bearing capacity and settlement of the foundation on soft soils. This plan uses a steel structure design with an Ordinary Moment Resistant Steel Frame System. Based on the results of the analysis carried out using SAP2000v20, the results obtained are curved roofs with 4 in., and 2 in. pipes, for curved roof truss, gording C 150 x 75 x 12.5 x 9, I/WF beams 400 x 200 x 8 x 13, column I/WF 400 x 400 x 13 x 21 and using ASTM A36/36M steel quality. Analysis of foundation settlement on soft soil using Allpile shows settlement results of 0,465 cm with a single pile type load of 500 mm diameter of 466,024 kN.

Keywords: Warehouse Planning, Steel Structure, Soft Soil, Ordinary Moment Resistant Steel Frame System, SAP2000v20, Allpile.

¹⁾ Students of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Study Program

²⁾ Lecturer of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Study Program

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur bangunan di Indonesia semakin hari semakin meningkat. Pengaruh pentingnya suatu infrastruktur bangunan bagi umat manusia didasarkan pada kebutuhan berbagai macam kegiatan dalam menopang kehidupan sehari-hari. Agar didapatkan suatu infrastruktur bangunan yang efisien perlu adanya perencanaan struktur yang matang serta perencanaan struktur yang stabil, kuat, mampu layan, awet dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti halnya bangunan yang ekonomis dan kemudahan dalam pengerjaannya. Langkah utama dalam perencanaan suatu struktur bangunan adalah penentuan jenis material yang akan digunakan. Jenis-jenis material dalam dunia konstruksi antara lain baja, beton bertulang serta kayu. Material baja sebagai bahan konstruksi telah lama digunakan serta memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan material konstruksi lainnya.

Pada berakhirnya abad ke-18 dan dimulainya abad ke-19 baja pertama kali digunakan sebagai material penyusun struktur utama pada bangunan. Saat itu pengolahan baja dikembangkan dengan skala luas. Hingga saat ini, baja masih menjadi bahan konstruksi yang diminati para pengembang infrastruktur bangunan. Karakteristik baja yang mempunyai kekuatan yang tinggi dapat mengurangi ukuran struktur serta mengurangi berat sendiri dari struktur. Hal ini cukup menguntungkan untuk bangunan gudang yang berada pada kondisi tanah yang lunak.

Tanah lunak merupakan suatu jenis tanah ketika tidak dikenali dan diselidiki menimbulkan ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang mungkin tidak dapat ditoleransi. Sehingga perlu direncanakan suatu struktur yang mampu menahan kemungkinan buruk yang akan terjadi.

Di dalam Tugas Akhir ini, penulis merencanakan bangunan gudang dengan struktur baja pada tanah lunak dengan menggunakan *software SAP2000v20* untuk bagian struktur atas serta *software Allpile* untuk bagian struktur bawah. Dilakukan juga perhitungan secara manual. Perencanaan gudang pada tanah lunak ini disesuaikan dalam Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI

1729:2020), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019), Penjelasan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya (SNI 2847:2019), dan Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020).

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai penjabaran latar belakang di atas, didapat rumusan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini, adalah:

1. Bagaimana hasil perencanaan bangunan gudang menggunakan struktur baja pada tanah lunak dengan *software* SAP2000v20 dan dikontrol menggunakan perhitungan manual yang disesuaikan pada Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2020), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019), Penjelasan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya (SNI 2847:2019), dan Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020) ?
2. Bagaimana hasil perencanaan fondasi pada bangunan gudang struktur baja pada tanah lunak dengan perhitungan manual serta pengecekan daya dukung dan penurunan fondasi dengan *software* Allpile ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan akademik yang wajib ditempuh oleh Mahasiswa jenjang S-1 Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung sedangkan tujuan dari penulisan laporan ini, adalah:

1. Perencanaan struktur atas bangunan gudang menggunakan struktur baja pada tanah lunak, yang meliputi kolom, balok, sambungan serta struktur atap.
2. Perencanaan struktur bawah bangunan gudang, yang meliputi fondasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut,

1. Perhitungan perencanaan meliputi struktur bangunan gudang menggunakan struktur baja pada tanah lunak dengan profil baja Pipa, Kanal C (*Channel*), dan I/WF (*Wide Flange*).

2. Perencanaan gudang ini disesuaikan dengan peraturan-peraturan sebagai berikut :
 - a. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2020).
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019).
 - c. Penjelasan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya (SNI 2847:2019).
 - d. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020).
3. Pada perencanaan struktur bangunan gudang ini tidak melakukan perbaikan pada tanah lunak.
4. Pada perencanaan gudang ini tidak melakukan perhitungan terhadap analisa biaya dan waktu pekerjaannya.
5. Analisa perhitungan pembebanan dilakukan dengan metode perhitungan manual dan permodelan struktur atas menggunakan *software* SAP2000v20 serta pada bagian struktur bawah menggunakan *software* Allpile.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan ini menggunakan sistematika yang baku supaya memudahkan dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Rincian sistematika penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan perencanaan, batasan masalah dalam perencanaan, dan sistematika penulisan Tugas Akhir dari perencanaan yang direncanakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjabarkan tentang teori yang berhubungan dengan perencanaan ini. Teori yang digunakan adalah topik dasar perencanaan struktur atas menggunakan struktur baja, dan perencanaan struktur bawah (fondasi) pada tanah lunak.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjabarkan data struktur perencanaan, metode pengumpulan data, metode perencanaan, metode pengolahan data dan sistematika perencanaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat tentang permodelan struktur, pembebanan yang bekerja pada struktur, dan kombinasi pembebanan yang digunakan. Serta menyajikan hasil perhitungan manual dan analisis hasil struktur yang telah dimodelkan dengan program komputer numerik serta pembahasan mengenai intraksi tanah dan struktur.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari perencanaan dan saran dari penulis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Gudang merupakan sebuah ruangan yang tidak bergerak dan tidak dapat dipindah-pindahkan dengan tujuan tidak dikunjungi oleh umum, tetapi untuk dipakai khusus sebagai tempat penyimpanan barang yang dapat diperdagangkan secara umum dan memenuhi syarat-syarat lain yang telah ditetapkan oleh peraturan menteri (PERMENDAG RI Nomor 42 Tahun 2020 Pasal 1 Ayat 2).

Pada saat ini kebutuhan akan gudang semakin meningkat. Salah satu penyebabnya yaitu adanya perkembangan pasar retail yang semakin bertambahnya waktu semakin pesat terutama di berbagai kota yang merupakan induk suatu provinsi. Gudang juga merupakan sebagai tempat penyimpanan berbagai komoditas sebelum akhirnya didistribusikan ke pasar. Oleh karena itu dibutuhkan bangunan gudang yang dapat mengakomodir keperluan ini dengan stabil, kuat, mampu layan, awet, ekonomis dan tentunya pelaksanaan pekerjaan yang mudah.

Umumnya infrastruktur gudang dengan material baja memiliki kekakuan sepuluh kali lipat dibandingkan beton, dengan struktur yang lebih ringan sehingga menguntungkan jika dibangun pada tanah lunak. Gudang baja ini menggunakan struktur jenis baja dengan profil Pipa, Kanal C (*Channel*), dan I/WF (*Wide Flange*).

2.2 Material Baja

Material baja merupakan bahan konstruksi yang sering digunakan dan terus berkembang setelah beton. Material yang berbahan dasar logam ini memiliki banyak keuntungan, khususnya kekuatan dan pelaksanaan pengerjaannya sehingga banyak diminati untuk bahan konstruksi baik struktur bangunan maupun jembatan.

Material baja sebagai elemen struktural yang dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanis baja sebagai bahan konstruksi diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya, sifat tariknya, dan metode pembuatannya seperti baja karbon (*carbon steel*), baja kekuatan tinggi rendah aluminium (*high-strength low-alloy*) HSLA,

baja karbon dengan perlakuan panas (*heat-treated carbon steel*), dan baja alumunium konstruksi perlakuan panas (*heat-treated constructional alloy steel*).

2.2.1 Karakteristik Mekanis Baja

Karakteristik mekanis baja sangat penting dalam penentuan kekuatan material baja dalam menerima beban. Karakteristik mekanis suatu bahan adalah kemampuan setiap bahan tersebut dalam memberikan perlawanan terhadap beban yang bekerja pada bahan tersebut. Karakteristik mekanis material baja struktural yang diperlukan dalam setiap perencanaan bangunan meliputi tegangan leleh, tegangan putus (tegangan ultimit), modulus elastisitas, modulus geser, nisbah Poisson, serta koefisien pemuaian.

Tabel 2.1 Karakteristik Mekanis Baja Berdasarkan Mutunya

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, f_y (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: SNI 03-1729-2002, Badan Standardisasi Nasional)

Pada SNI 03-1729-2002, karakteristik mekanis dari beberapa jenis mutu baja yang beredar di pasaran dijelaskan pada **Tabel 2.1** dengan nilai tegangan leleh (f_y) dan tegangan putus (f_u) yang tidak boleh melebihi nilai yang telah ditetapkan pada **Tabel 2.1**. Nilai mekanis yang secara umum akan dijelaskan dalam **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Karakteristik Mekanis Baja Struktural Secara Umum.

Sifat Mekanis	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	E	200.000	MPa
Modulus Geser	G	80.000	MPa
Nisbah Poisson	μ	0,3	-
Koefisien Pemuaian	α	12×10^{-6}	/oC

(Sumber: SNI 03-1729-2002, Badan Standardisasi Nasional)

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 menjelaskan mengenai mutu-mutu baja yang ada di Indonesia, akan tetapi pada SNI 1729:2020, di mana standar ini berpedoman pada *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360-16, maka jenis baja yang disebutkan dalam standar ini juga berpedoman *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Karakteristik mekanis mutu baja berdasarkan ASTM dijelaskan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Sifat Mekanis Beberapa Baja Struktural Berdasarkan ASTM untuk Profil Struktur Gilas Panas (*Hot-Rolled*).

Jenis Baja	Tegangan Tarik Ultimit, f_u MPa (ksi)	Tegangan Leleh Minimum, f_y MPa (ksi)	Peregangan Minimum (%)
ASTM A36/36M	400-550 (58-80)	250 (36)	20 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A529/A529M Grade 50	485-690 (70-100)	345 (50)	18 % (tebal min. 50 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)

Jenis Baja	Tegangan Tarik Ultimit, f_u MPa (ksi)	Tegangan Leleh Minimum, f_y MPa (ksi)	Peregangan Minimum (%)
			50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 42	415 (60)	290 (42)	20 % (tebal min. 200 mm)
			24 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 50	450 (65)	345 (50)	18 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 55	485 (70)	380 (55)	17 % (tebal min. 200 mm)
			20 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 60	520 (75)	415 (60)	16 % (tebal min. 200 mm)
			18 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A572/A572M Grade 65	550 (80)	450 (65)	15 % (tebal min. 200 mm)
			17 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A588/A588M	485 (70)	345 (50)	18 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min.

Jenis Baja	Tegangan Tarik Ultimit, f_u MPa (ksi)	Tegangan Leleh Minimum, f_y MPa (ksi)	Peregangan Minimum (%)
			50 mm)
ASTM A709/A709M Grade 36	400-550 (58-80)	250 (36)	20 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A709/A709M Grade 50	450 (65)	345 (50)	18 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A709/A709M Grade 50S	450 (65)	345-450 (50-65)	18 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A913/A913M Grade 50	450 (65)	345 (50)	18 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A913/A913M Grade 65	550 (80)	450 (65)	15 % (tebal min. 200 mm)
			17 % (tebal min. 50 mm)
ASTM A992/A992M	450 (65)	345-450	18 % (tebal min. 200 mm)
			21 % (tebal min. 50 mm)

(Sumber: ASTM International, 2016, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2019c, 2020)

Untuk material baja yang tidak dilengkapi dengan spesifikasinya, yang terhindar dari cacat merugikan, hanya boleh dipakai sebagai struktur komponen yang kerusakannya tidak akan mempengaruhi kekuatan struktur.

2.2.2 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Material Baja

Pemilihan baja sebagai material elemen struktur pada bangunan didasarkan pada keuntungan yang dimiliki oleh material baja itu sendiri, beberapa keuntungan material baja antara lain adalah:

- a. Baja memiliki kekuatan tinggi yang dapat mengurangi ukuran struktur secara langsung dapat mengurangi berat struktur secara keseluruhan.
- b. Material penyusun baja lebih seragam.
- c. Tingkat elastisitas baja yang tinggi sesuai dengan hukum *Hooke*.
- d. Momen inersia pada material baja dapat dihitung secara akurat.
- e. Daktilitas material baja yang cukup tinggi, kemampuan dalam menahan deformasi besar tanpa terjadinya keruntuhan dengan tegangan tarik yang tinggi.
- f. Kekerasan (*toughness*) adalah kemampuan baja dalam menyerap energi dengan jumlah yang besar.
- g. Mudah dipasang atau digabungkan dengan struktur yang sudah ada sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi.

Selain memiliki keuntungan, material baja juga memiliki beberapa kerugian yang harus diperhatikan karena dapat mengakibatkan penurunan kekuatan dari baja struktur tersebut, beberapa kerugian material baja adalah sebagai berikut:

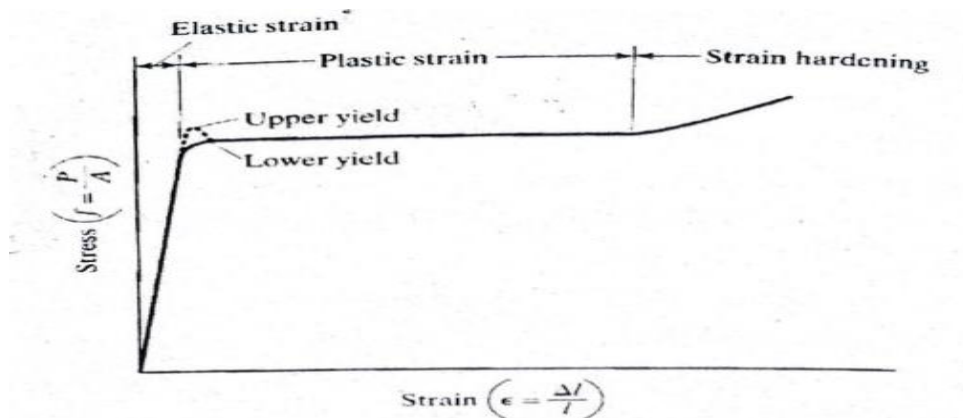
- a. Mudah mengalami korosi apabila terpapar dengan udara dan air secara langsung sehingga harus diperlukan perlakuan khusus misalkan dicat secara periodik.
- b. Terdapat biaya tambahan untuk pemberian lapisan tahan api (*fireproofing*) karena baja merupakan material penghantar panas yang sangat baik.

- c. Mudah mengalami tekuk, terutama untuk struktur batang tekan.
- d. Sifat lelah (*fatigue*) harus dipertimbangkan untuk elemen struktur dan sambungannya yang menahan beban perulangan.
- e. Keruntuhan akibat getas, di mana kondisi tertentu sifat daktilitasnya dapat hilang dan terjadi *brittle failure* pada bagian yang mempunyai konsentrasi tegangan yang tinggi.

2.2.3 Karakteristik Tarik Baja

Karakteristik atau sifat material akan sangat diperlukan agar dapat memahami perilaku dari setiap struktur baja. Diagram tegangan-regangan akan dapat memberikan informasi berharga untuk memahami bagaimana perilaku baja pada kondisi tertentu. Sifat tarik dari baja biasanya ditentukan berdasarkan uji kuat tarik pada benda yang berukuran kecil atau *sample* benda uji yang sesuai dengan prosedur ASTM. Perilaku baja pada pengujian tersebut berkaitan erat dengan perilaku baja struktural yang mengalami beban statis. Uji tekan pada baja struktur jarang digunakan karena titik leleh dan modulus elastisitas yang diperoleh dari pengujian tarik dan tekan mempunyai nilai yang hampir sama.

Diagram tersebut digambarkan pada **Gambar 2.1** yang merupakan grafik hubungan antara tegangan-regangan baja tipikal untuk baja struktural dengan kadar karbon yang rendah pada temperatur ruang. Berdasarkan grafik tersebut, terdapat beberapa kondisi di antaranya adalah elastisitas plastis serta *strain-hardening*.



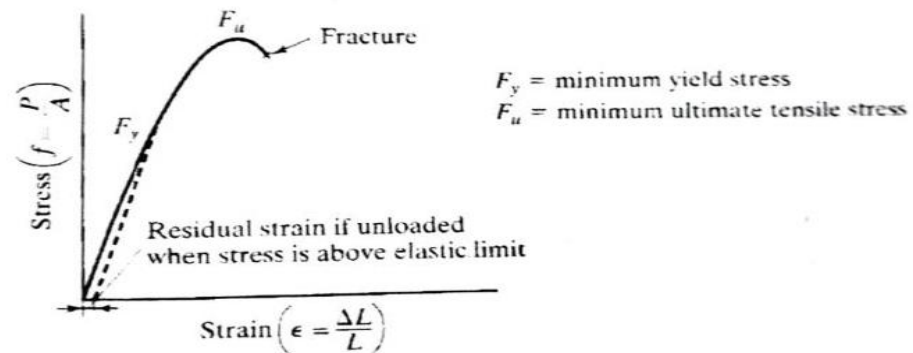
Gambar 2.1 Grafik Tegangan-Regangan Baja Tipikal untuk Baja Struktural dengan Kadar Karbon Rendah pada Temperatur Ruang.

(Sumber: Arifi, Eva dkk. *Perencanaan Struktur Baja*.2021)

Batas elastis (*elastic limit*) merupakan kondisi saat tegangan maksimum dapat ditahan oleh material tanpa mengalami deformasi yang tetap ataupun dapat kembali ke bentuk semula. Hukum Hooke berlaku pada kondisi tersebut, di mana perbandingan tegangan terhadap regangan dalam batas elastisnya disebut dengan modulus elastisitas (*Young's modulus E*) dengan nilai sebesar 29×10^3 ksi untuk seluruh struktur baja tanpa adanya kondisi khusus yang terkecuali.

Adapun tegangan leleh (*yield stress*) merupakan sifat baja yang sangat penting untuk diketahui karena digunakan sebagai dasar suatu perencanaan struktur baja, tegangan leleh terjadi ketika terjadinya perpanjangan (*elongation*) atau regangan yang besar tanpa adanya peningkatan tegangan. Regangan elastis (*elastic strain*) merupakan regangan yang terjadi sebelum terjadinya tegangan leleh. Sedangkan regangan plastis (*plastic strain*) merupakan regangan yang terjadi ketika sesudah terjadinya penambahan tegangan yang biasanya memiliki nilai 10 sampai 15 kali dari regangan elastisnya. Setelah terjadinya regangan plastis, maka akan timbul *strain-hardening* yaitu kondisi di mana terjadinya penambahan tegangan untuk menghasilkan suatu regangan. Untuk batas

getas (*brittle steel*) diagram tegangan-regangannya digambarkan pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2.2 Grafik Tegangan-Regangan Baja Getas (*Brittle Steel*)
Tipikal.

(*Sumber: Arifi, Eva dkk. Perencanaan Struktur Baja.2021*)

a. Pembatasan Kelangsingan

Berdasarkan SNI 1729:2020 sub D1, menjelaskan bahwa komponen struktur sesuai tarik rasio kelangsingan L/r disarankan nilainya tidak lebih dari 300, dengan L merupakan panjang batang yang mengalami tarik, dan r merupakan jari-jari girasi minimum suatu penampang. Akan tetapi syarat-syarat ini tidak berlaku untuk batang gantung yang mengalami tarik.

b. Tahanan Nominal Tarik

Ada tiga jenis keruntuhan yang mungkin akan terjadi pada batang tarik, yaitu diantaranya sebagai berikut:

1. Keruntuhan leleh, di mana keruntuhan terjadi pada batang tarik yang berada pada daerah yang jauh dari sambungan sehingga yang dapat menentukan adalah luas penampang *bruto* (atau tanpa pengurangan luas akibat lubang baut).
2. Keruntuhan fraktur, di mana keruntuhan terjadi pada sambungan, yang ditentukan oleh luas penampang *netto* akibat adanya pengurangan luas akibat lubang baut pada daerah sambungan.

3. Keruntuhan geser blok, di mana keruntuhan terjadi akibat adanya daerah sambungan yang sobek pada elemen pelat (baik elemen pelat penyambung atau pelat profil yang disambung) yang akan mengalami tarik.

Berdasarkan SNI 1729:2020 pada metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$ dari komponen struktur tarik harus nilai terendah yang diperoleh berdasarkan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang *bruto* dan keruntuhan tarik pada penampang *netto*.

$$P_u \leq \phi_t P_n \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

P_u = Gaya tarik aksial terfaktor (N)

P_n = Tahanan nominal penampang (N)

ϕ_t = Faktor tahanan tarik

Besarnya nilai ϕ_t dan P_n ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk **keruntuhan leleh** pada penampang *bruto*:

$$P_n = F_y A_g \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

$$\phi_t = 0,9$$

A_g = Luas *bruto* dari komponen struktur (mm²)

F_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

2. Untuk **keruntuhan fraktur** pada penampang *netto*:

$$P_n = F_u A_e \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

$$\phi_t = 0,9$$

A_e = Luas *netto* efektif (mm²)

F_u = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan (MPa)

c. Luas *Netto*

Luas *netto* (A_n) merupakan luas penampang yang setelah dikurangi dengan luas lubang baut. Untuk komponen struktur tanpa lubang (misalnya: sambungan las) maka $A_n = A_g$.

Perhitungan luas penampang *netto* dipengaruhi oleh konfigurasi lubang baut terhadap potongan melintang pada penampang. Ada dua konfigurasi mengenai konfigurasi baut, yaitu sebagai berikut:

1. Luang Baut Segaris

$$A_n = A_g - n \times d \times t \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

A_n = Luas penampang *netto* (mm^2)

A_g = Luas penamoang *bruto* (mm^2)

n = Jumlah baut segaris

d = Diameter lubang baut (mm)

t = Tebal penampang (mm)

2. Baut Tidak Segaris (*Staggered*)

$$A_n = A_g - n \times d \times t + \sum \frac{s^2 t}{4g} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

A_n = Luas penampang *netto* (mm^2)

A_g = Luas penamoang *bruto* (mm^2)

n = Jumlah baut segaris

d = Diameter lubang baut (mm), diambil 1/16 in., (2 mm)
lebih dari diameter baut

t = Tebal penampang (mm)

s = Jarak antar baut dalam arah sejajar gaya (mm)

g = Jarak antar baut dalam arah tegak lurus gaya (mm)

d. Luas *Netto* Efektif

Luas *netto* efektif dari komponen struktur tarik harus ditentukan berdasarkan:

$$A_e = A_n U \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana U merupakan faktor *shear lag* yang dapat ditentukan berdasarkan Tabel D3.1 SNI 1729:2020 (lampiran), yang beberapa dijelaskan sebagai berikut:

1. Semua komponen tarik beban tariknya disalurkan secara langsung ke setiap elemen profil yang melintang dengan sambungan las, maka $U = 1 \dots\dots\dots (2.7)$

2. Semua komponen tarik, kecuali pada pelat dan profil struktur berongga (PSR) beban tariknya disalurkan ke beberapa tapi tidak semua dari elemen profil yang melintang melalui pengencang atau las longitudinal dalam kombinasi dengan las transversal, maka:

$$U = 1 - \frac{\tilde{x}}{l}, \text{ di mana } \tilde{x} \text{ adalah eksentrisitas sambungan atau jarak titik berat penampang ke sambungan (mm) } \dots\dots\dots (2.8)$$

3. Semua komponen struktur tarik beban tariknya hanya disalurkan melalui las transversal ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang, $U = 1 \dots\dots\dots (2.9)$

4. Pelat, siku, kanal, T dan profil WF yang memiliki elemen sambung beban tarik disalurkan hanya melalui las longitudinal, maka $U =$

$$\frac{3l^2}{3l^2 + w^2} \left(1 - \frac{\tilde{x}}{l}\right) \times I \dots\dots\dots (2.10)$$

e. Geser Blok (*Block Shear*)

Keruntuhan yang mekanismenya merupakan kombinasi antara geser dengan tarik serta melewati lubang - lubang baut pada komponen struktur tarik disebut dengan kekuatan geser blok. Kekuatan geser blok umumnya terjadi pada sambungan baut terhadap pelat badan yang tipis pada komponen struktur tarik. Keruntuhan umumnya dijumpai pada

sambungan pendek, yaitu pada sambungan dengan menggunakan dua baut atau kurang pada garis yang searah dengan bekerjanya suatu gaya.

Pada keruntuhan geser blok memiliki dua bidang keruntuhan, yaitu bidang yang mengalami gaya geser, di mana bidang sejajar dengan arah gaya dan bergerak di sepanjang baut serta bidang tarik yang tegak lurus terhadap gaya tarik yang bekerja pada sambungan.

Sesuai dengan desain LRFD berdasarkan SNI 1729:2020, maka syaratnya kekuatan batasnya adalah:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.11)$$

Keruntuhan geser blok merupakan penjumlahan antara tarik leleh (atau tarik fraktur) dengan geser fraktur (atau geser leleh). Dengan tahanan nominal ditentukan oleh:

$$R_n = 0,6 \times F_u \times A_{nv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times F_y \times A_{gv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

R_u = Gaya tarik aksial terfaktor yang terjadi pada sambungan (N)

ϕ = 0,75

R_n = Kekuatan nominal dari sambungan (N)

F_u = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan (MPa)

F_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

A_{nv} = Luas *netto* elemen yang menahan gaya geser (mm²)

A_{nt} = Luas *netto* elemen menahan gaya tarik (mm²)

A_{gv} = Luas *bruto* elemen menahan gaya geser (mm²)

ϕ = Faktor ketahanan = 0,75

U_{bs} = 1, bila tegangan tarik rata

U_{bs} = 0,5, bila tegangan tarik tidak rata

2.2.4 Karakteristik Geser Baja

Tegangan geser dengan regangan geser memiliki perbandingan pada kondisi elastis yang disebut dengan modulus geser G . berdasarkan teori elastis, nilai dari modulus tersebut berhubungan erat dengan modulus elastis E dan *Poisson's ratio* ν , di mana:

$$G = E / (2 (1 + \nu)) \dots\dots\dots (2.13)$$

Di mana nilai minimum G adalah 11×10^3 ksi. *Poisson's ratio* merupakan rasio antara regangan transversal dengan regangan longitudinal akibat beban. Rasio ini memiliki nilai yang sama disetiap baja struktur, yaitu 0,3 pada daerah elastis dan 0,5 di daerah plastis. Sedangkan untuk tegangan leleh pada kondisi geser memiliki nilai 0,57 kali tegangan leleh tariknya. Kuat geser atau tegangan geser pada saat reruntuk di kondisi beban geser nilainya bisa $\frac{2}{3}$ sampai dengan $\frac{3}{4}$ dari kuat tarik baja.

2.2.5 Karakteristik Tekan Baja

Batang tekan ditunjukkan untuk struktur komponen yang memikul beban terpusat (sentral) pada titik berat penampangnya. Aplikasi batang tekan ini dapat dijumpai pada struktur rangka batang serta struktur kolom yang menerima gaya aksial tekan saja. Akan tetapi, realita di lapangan umumnya dapat ditemukan eksentrisitas yang disebabkan beberapa hal, misalnya ketidaklurusan batang, ketidaktepatan pembebanan maupun kekekangan pada tumpuan yang dapat menimbulkan momen. Momen yang memiliki nilai relative kecil dapat diabaikan, maka prosedur desain batang tekan dapat diaplikasikan (Dewobroto, 2016). Di lapangan, batang tekan berupa profil tunggal maupun bersusun yang terdiri dari dua atau bahkan lebih dari profil tunggal.

Faktor utama yang menentukan keruntuhan batang tekan adalah adanya kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada struktur komponen yang menerima gaya aksial tekan. Perilaku tekuk pada batang tekan dipengaruhi oleh adanya kelangsingan elemen yang memungkinkan terjadinya tekuk sebelum kuat leleh dapat tercapai. Perencanaan batang tekan berdasarkan SNI 1729:2020 pada Bab E.

a. Panjang Efektif

Panjang efektif dari struktur komponen tekan (L_c) digunakan untuk menghitung kelangsingan batang tekan (L_c/r) di mana nilai L_c ditentukan dari nilai faktor panjang efektif, K .

dengan:

$L_c = KL$ = Panjang efektif batang tekan (mm)

L = Panjang tanpa diberi pengaku lateral dari struktur komponen (mm)

r = Radius girasi, in (mm)

Berdasarkan SNI 1729:2020, untuk struktur komponen direncanakan sesuai tekan, rasio kelangsingan KL/r , alangkah baiknya tidak lebih dari 200.

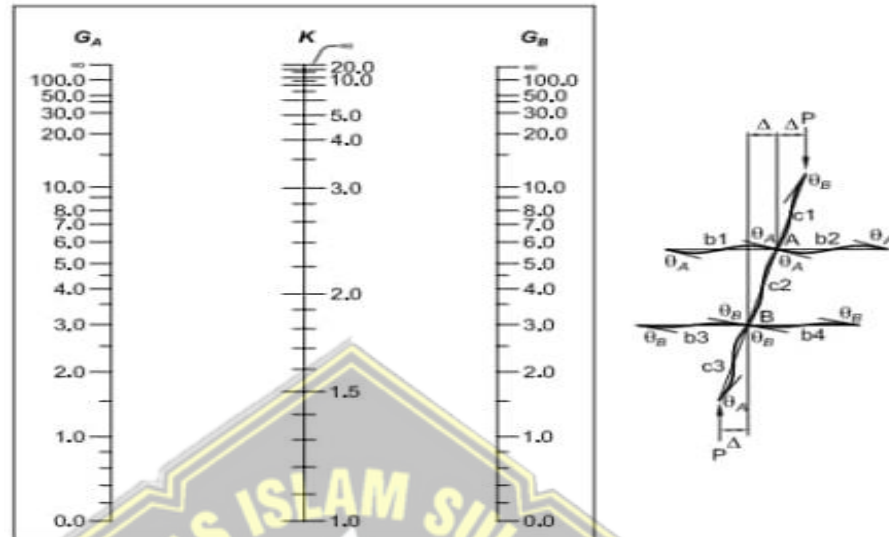
Nilai Panjang efektif atau factor panjang tekuk, K dipengaruhi oleh beberapa jenis tumpuan dan panjang elemen struktur batang yang mengalami gaya aksial tekan, ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Faktor Panjang Efektif atau Faktor Panjang Tekuk (K).

TABLE C-A-7.1 Approximate Values of Effective Length Factor, K						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Buckled shape of column is shown by dashed line						
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	2.1	2.0
End condition code						

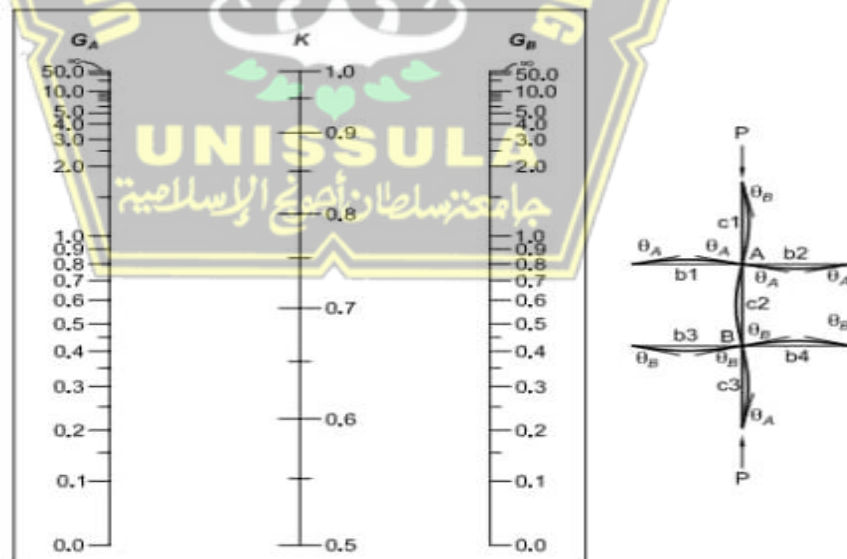
(Sumber: AISC.2010)

Untuk menentukan factor panjang tekuk (K) pada suatu struktur portal digunakan nomogram yang terbagi menjadi dua yaitu komponen struktur bergoyang dan tidak bergoyang, adalah:



Gambar 2.3 Nomogram Penentuan K pada Komponen Struktur Bergoyang.

(Sumber: AISC.2010)



Gambar 2.4 Nomogram Penentuan K pada Komponen Struktur Tak Bergoyang.

(Sumber: AISC.2010)

b. Tekuk Lokal dan Tekuk Global pada Batang Tekan

Faktor utama yang menentukan keruntuhan batang tekan adalah adanya kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada komponen struktur yang menerima gaya aksial tekan. Adapun tekuk suatu batang dipengaruhi oleh:

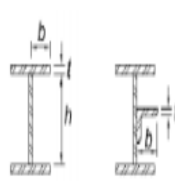
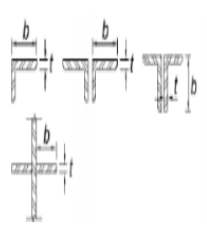
1. Luas penampang
2. Bentuk penampang terhadap kekuatan lentur
3. Panjang batang
4. Kondisi tumpuan

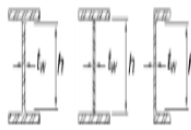
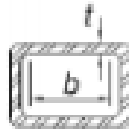
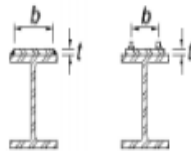
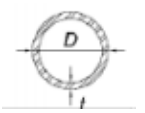
Suatu batang dapat mengalami tekuk lokal dan tekuk global. Tekuk lokal merupakan tekuk yang terjadi pada elemen penampang yaitu pada sayap atau badan profil akibat adanya gaya tekan yang bekerja. Jika elemen cenderung langsing dengan kolom yang pendek maka batang tekan mengalami tekuk lokal. Sedangkan tekuk global adalah tekuk yang dialami batang memanjang atau longitudinal yang terjadi bila penampang pada elemen relatif tebal dengan panjang yang relatif maka akan terjadi tekuk global.

Berdasarkan tekuk lokal, komponen struktur dapat digolongkan menjadi elemen nonlangsing dan langsing yang ditentukan oleh rasio lebar-tebal (b/t) penampang. Jika rasio elemen kurang dari λr maka masuk dalam kategori elemen tidak langsing atau nonlangsing. Sebaliknya, jika elemen lebih dari λr maka dikategorikan elemen langsing.

Tabel 2.5 Rasio Tebal terhadap Lebar: Elemen Tekan Komponen

Struktur yang Menahan Tekan Aksial (Tabel B4.1a SNI 1729:2020).

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar Terhadap Tebal λ_r (Nonlangsing /Langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{f_y}}$ [a]	
	3	Kaki siku tunggal, tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar Terhadap Tebal λ_r (Nonlangsing /Langsing)	Contoh
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
Elemen diperkaku	5	Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	6	Dinding Dinding PSR persegi persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	7	Pelat penutup penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	9	PSR bulat	D/t	$0,11 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
^[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, tapi tidak boleh diambil $< 0,35$ atau $> 0,76$ dalam perhitungan.					

(Sumber: SNI 1729:2020, Badan Standardisasi Nasional)

Sedangkan pada tekuk global ditentukan oleh rasio kelangsingan batang (L_c/r_{min}), di mana $L_c = KL$ dan K merupakan faktor panjang

efektif yang ditentukan oleh tumpuan batang tekan. Terdapat tiga macam tekuk global adalah tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk lentur-torsi.

c. Kekuatan Tekan Nominal

Kekuatan tekan nominal, P_n suatu batang diambil dari nilai terendah yang diperoleh dari keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk lentur-torsi.

$$P_u \leq \phi_c P_n \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

P_u = Gaya tekan aksial terfaktor (N)

ϕ_c = 0,90

d. Tekuk Lentur Tanpa Elemen Langsing

Pada SNI 1729:2020 pasal E3 dijelaskan bahwa perencanaan batang tekan klasifikasi nonlangsing ($\lambda < \lambda_r$, berdasarkan **Tabel 2.4**) yang mengalami tekuk lentur. Besarnya kuat tekan nominal, P_n pada

persamaan $G = \frac{\sum (E_c \frac{I_c}{L_c})}{\sum E_g \frac{I_g}{L_g}} = \frac{\sum (E \frac{I}{L})_c}{\sum (E \frac{I}{L})_g}$, harus ditentukan:

$$P_n = F_{cr} \times A_g \dots\dots\dots (2.15)$$

Nilai tegangan kritis (F_{cr}) pada persamaan di atas ditentukan sebagai berikut dengan adanya batas sebagai berikut:

1. Jika $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$), maka

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] \cdot F_y \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (2.16)$$

2. Jika $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$), maka

$$F_{cr} = 0,877 F_e \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{dengan tegangan tekuk kritis elastis, } F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (2.18)$$

2.2.6 Kurva *True Stress* dan *True Strain*

Dalam melakukan identifikasi perilaku mekanik material, biasanya digunakan kurva $\sigma - \varepsilon$ yang merupakan kurva *engineering stress-strain* berdasarkan kondisi awal penampang, sedangkan untuk analisa inelastik maka terjadi perubahan luas penampang karena terjadinya *necking* (Dewobroto, 2016).

2.2.7 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Hardness Test merupakan cara untuk mengetahui kemampuan penetrasi serta digunakan untuk memperkirakan kuat tarik secara cepat. Informasi ini diperlukan untuk mengetahui keandalan struktur baja dalam menerima beban yang bekerja. Analisa keandalan struktur juga diperlukan jika terjadi perubahan fungsi atau cacat pada struktur maupun infrastruktur sehingga diperoleh informasi yang cukup dalam menangani masalah yang serius dan dapat melakukan tindakan perbaikan yang tepat dan cepat.

2.3 Persyaratan Peraturan Gempa SNI 1726:2019

Resiko gempa maksimum MCER dapat diambil berdasarkan periode ulang sekitar 2.500 tahun ataupun menggunakan ekuivalen gempa yang kemungkinannya terlampaui besarnya sejauh umur struktur tersebut pada 50 tahun yaitu sebesar 2%.

2.3.1 Kategori Resiko Struktur Bangunan

Nilai pada resiko bangunan gedung maupun non-gedung memiliki nilai yang berbeda-beda dengan fungsi tertentu. Struktur bangunan gedung maupun non-gedung untuk berbagai resiko dapat disesuaikan dengan **Tabel 2.6**, serta pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan faktor keutamaan (I_e) yang telah disesuaikan dengan **Tabel 2.7**. Khususnya untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila mana dibutuhkan suatu pintu masuk yang dapat digunakan dalam operasional struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kondisi kategori resiko IV.

Tabel 2.6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III, dan IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedan dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak	III

ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi	
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahanya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukan untuk fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah atau unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau meterial peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.	

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Tabel 2.7 Faktor Keutamaan Gempa.

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
1 atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

2.3.2 Kategori Desain Seismik

Struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti aturan – aturan yang ada di SNI. Struktur yang memiliki kategori resiko I, II, atau III berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , yang nilainya lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai kategori desain seismik E. sedangkan kategori desain seismik F merupakan struktur yang berkategori resiko IV berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar atau sama dengan 0,75. Semua struktur harus ditetapkan kategori seismiknya berdasarkan dengan kategori resiko dan parameter respon spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} , sesuai 0. Masing – masing bangunan dan struktur harus ditetapkan dalam kategori desain seismik yang lebih parah dengan mengacu pada **Tabel 2.8** dan **Tabel 2.9**, yang terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T . Jika S_1 , lebih kecil dari 0,75 maka kategori desain seismik yang diizinkan untuk ditentukan sesuai dengan **Tabel 2.8** saja.

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter

Respons Percepatan Pada Periode Pendek.

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter
Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik.

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,33 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

2.3.3 Wilayah Gempa dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa

Parameter S_s (pecepatan bantuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (pecepatan bantuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing – masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 0 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam waktu 50 tahun (MCE_{R1} 2% dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Apabila $S_1 \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15g$, maka struktur bangunan tersebut boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A dan cukup memenuhi persyaratan dalam 0 (Standar Nasional Indonesia, 2019).

Dalam penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang telah disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \text{ (Periode Pendek)} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \text{ (Periode 1 detik)} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = Parameter respons spektral percepan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti **Tabel 2.10** dan **Tabel 2.11**.

Tabel 2.10 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter respons spectral percepaan gempa (MCE_R) tertetapan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik S_s				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	1,0
SF	SS^b				

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Tabel 2.11 Koefisien Situs, F_v (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter respons spectral percepaan gempa (MCE_R) tertetapan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

CATATAN :

Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa

respons situs spesifik

2.3.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.22)$$

2.3.5 Spektrum Respon Desain

Tata cara desain respons spektrum dan prosedur gerak tanah dari spesifikasi dalam situs – situs tidak digunakan, maka kurva desain respons spektrum harus dikembangkan dengan mengacu **Gambar 2.5** dan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Periode yang lebih dari T_0 , respons spektrum percepatan desai, S_a , harus diambil persamaan $S_a = S_{DS} [0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}] \dots\dots\dots (2.23)$

2. Periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , respons spektrum percepatan desain. S_a , sama dengan $S_{DS} \dots\dots\dots (2.24)$

3. Periode lebih besar T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spectral percepatan desain, S_a , diambil dari persanmaan $S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.25)$

4. Periode lebih besar dari T_L , respons spektrum percepatan desain. S_a , diambil berdasar persamaan $S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.26)$

Di mana:

S_{DS} = Parameter respons spektrum percepatan desain pada periode pendek.

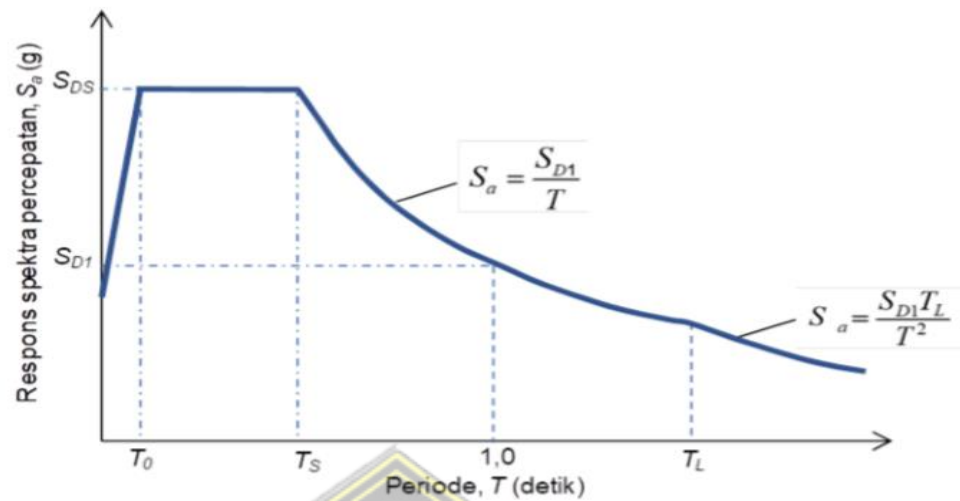
S_{D1} = Parameter respons spektrum percepatan desain pada periode 1 detik.

T = Periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} I \dots\dots\dots (2.27)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.28)$$

T_L = Peta transisi panjang yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Spektrum Respons Desain.

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

2.3.6 Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik dimasing – masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing – masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus ditetapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2.12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.

C. Sistem rangka pemikul momen	R	C_d	Ω_0	B	C	D^0	E^0	F^f
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^K	TI^K	TI^K
4. Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI^K	TI^K	TI^K

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

2.3.7 Batasan Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil dari perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung C_u dari Tabel 17 SNI 1726:2019, nilai C_t ditentukan berdasarkan Tabel 18 SNI 1726:2019 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai dengan persamaan. Sebagai alternatif melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung dalam persamaan sebagai berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$T_{maks} = C_u T_a \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.30)$$

2.3.8 Geser Dasar Seismik

Geser Dasar (*base shear*) seismik (V) ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s W \dots\dots\dots (2.31)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.32)$$

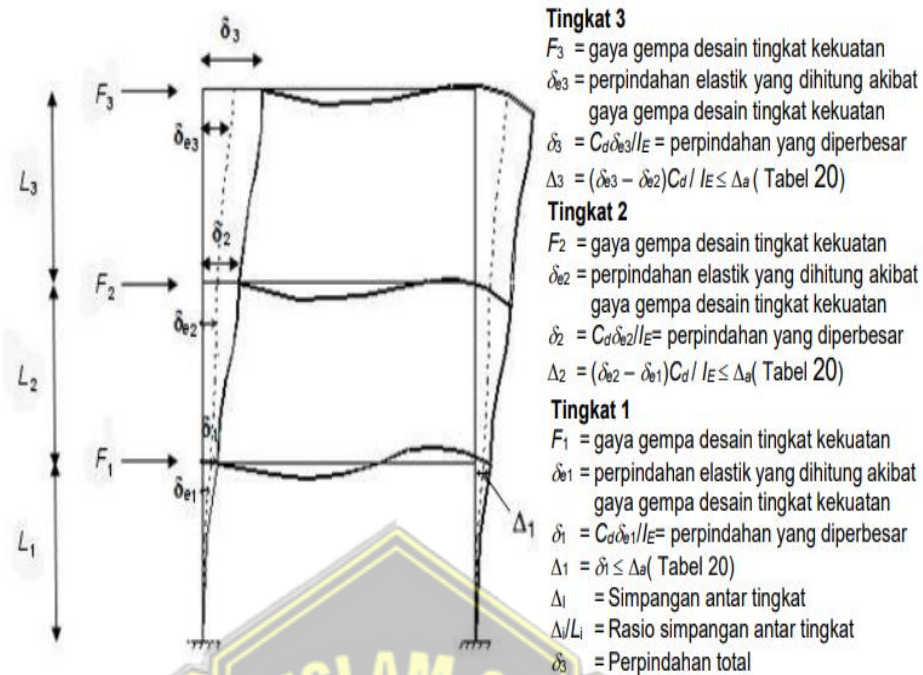
$$\text{Nilai } C_s \text{ maks dihitung dengan } C_{smaks} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$\text{Nilai } C_s \text{ tidak boleh kurang dari } C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\text{Nilai } C_s \text{ dihitung dengan } C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}, \text{ bila nilai } S_1 \geq 0,6g \dots\dots\dots (2.35)$$

2.3.9 Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Penentuan Simpangan Antar Tingkat.

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

. Defleksi pusat masa di tingkat x (δ_x) (mm) dihitung sebagai berikut:

$$\delta_x = \delta_{xe} \times \frac{C_d}{I_E} \dots \dots \dots (2.36)$$

Di mana:

C_d = Faktor amplifikasi deflaksi

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan gempa

2.3.10 Analisis Spektrum Respon Ragam

1. Jumlah Ragam

Analisis wajib dilakukan agar dapat ditentukannya ragam getar alami untuk struktur. Penentuan ragam getar alami struktur wajib menyertakan jumlah ragam yang cukup. Besarnya partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90% dari massa aktual dari masing masing arah horizontal orthogonal serta yang ditinjau oleh model.

2. Batasan Nilai Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Geser dasar (V) harus dihitung dalam masing masing 2 arah horizontal *oerthogonal* menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur gaya lateral ekuivalen.

Apabila nilai periode fundamental yang telah dihitung (T) melebihi $C_u T_a$, maka nilai $C_u T_a$ harus digunakan dalam perhitungan sebagai pengganti T dalam arah itu. Bila kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_t}$.

Jika respons terkomposisi untuk geser dasar ragam (V_t) kurang dari 85% dari $C_s W$, dimana C_s diperoleh dari persamaan 20, simpangan antar lantai harus dikalikan $0,85 \frac{C_s W}{V_t}$.

2.4 Konsep Pembebanan

Proses dalam menentukan suatu permodelan pembebanan sangat penting bagi suatu desain struktur. Hal ini, sangat berpengaruh terhadap suatu perhitungannya dan hasil gaya dalam bidang (MDN). Oleh karena itu, dalam menganalisa desain suatu struktur perlu adanya gambaran yang jelas dan mendetail mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan.

2.4.1 Beban Mati

Beban mati (D) adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang termasuk dinding, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727:2020).

2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup (L) adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan. Tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, hujan, gempa, banjir, atau beban mati.

Beban hidup yang digunakan ialah beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan.

2.4.3 Beban Angin

Gedung maupun bangunan lainnya, masuk dalam Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh Komponen dan Klading (K&K) gedung, di mana harus direncanakan dan dilakukan agar menahan beban angin seperti yang ditetapkan pada pasal 26 sampai pasal 31 pada SNI 1727:2020.

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen – elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor dengan kombinasi di bawah ini. Adanya pengaruh satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban – beban angin dan seismic harus ditinjau juga, tetapi beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat kombinasi di bawah ini untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_r) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan $4,78 \text{ KN/m}^2$ kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

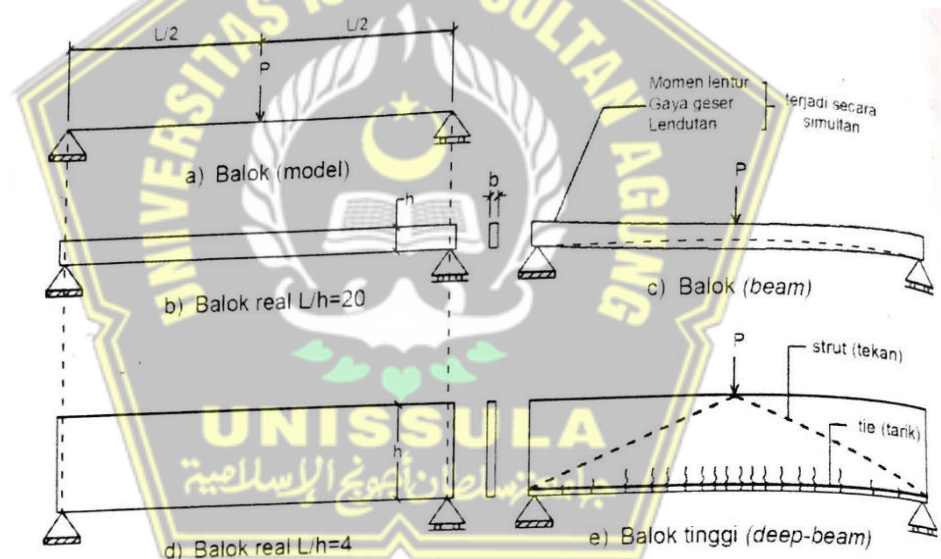
2.5 Perencanaan Struktur Atas

Perencanaan struktur atas gudang merupakan seluruh bagian struktur gudang yang berada di atas muka tanah. Struktur atas ini terdiri dari balok, kolom, pelat lantai, dan atap. Struktur atas pada gudang ini menggunakan material baja yang beberapa bagian struktur ada juga yang menggunakan kombinasi baja dengan beton (komposit) misalnya pada pelat lantai.

2.5.1 Perencanaan Elemen Lentur (Balok)

Bangunan baja struktur, hal terpenting yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan adalah elemen lentur atau yang bisa disebut sebagai elemen balok. Elemen ini berfungsi untuk menahan gaya dalam akibat beban luar berupa momen lentur secara dominan. Pada struktur baja, profil WF biasanya yang dipilih dalam perencanaan balok karena memiliki nilai ekonomis yang tinggi jika dibandingkan dengan jenis profil baja lainnya. Selain itu, tipe kanal juga sering dipakai untuk struktur yang ringan. Akan tetapi, jenis kanal memiliki ketahanan terhadap beban lateral yang kecil sehingga perlu diberikan pengaku (*bracing*).

Berdasarkan SNI 1729:2015, desain komponen struktur untuk batang lentur diatur pada bab F, dengan sub bab F2 sampai dengan F12. Hal ini dijelaskan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Dimensi Balok dan Perilakunya.

(Sumber: Arifi, Eva dkk. *Perencanaan Struktur Baja*.2021)

1. Konsep Perencanaan Elemen Lentur (Balok)

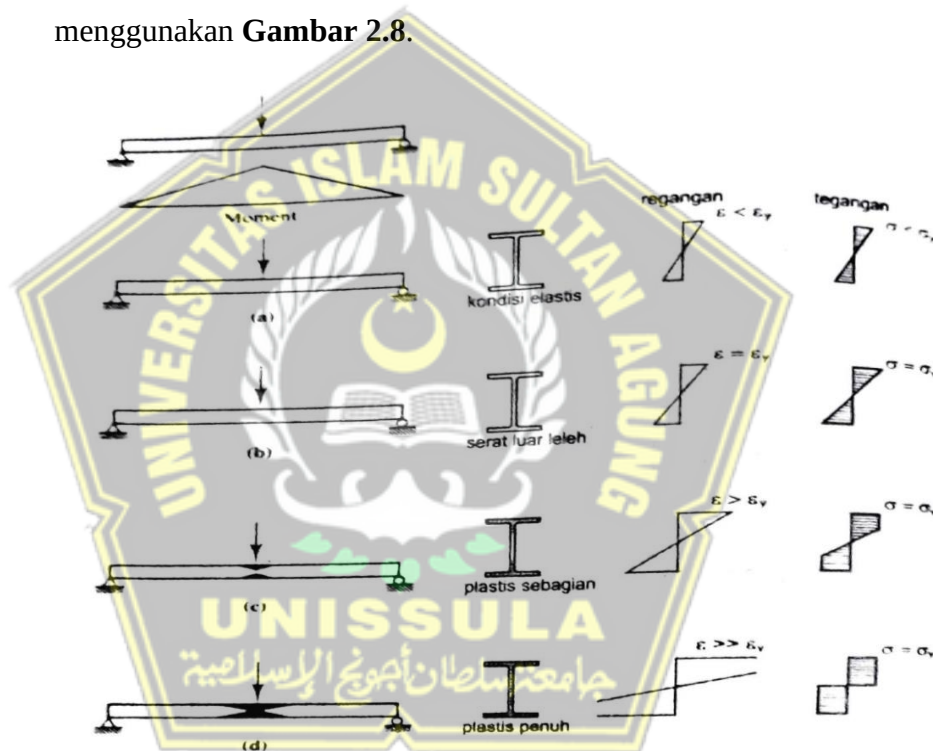
Konsep perencanaan dari elemen lentur mengacu pada metode LRFD sesuai dengan SNI 1729:2020, di mana:

$$M_u \leq \phi_b M_n \dots \dots \dots (2.37)$$

M_u adalah gaya dalam ultima (momen) yang berasal dari analisis akibat adanya beban luar dengan beban terfaktor, sedangkan $\phi_b M_n$ merupakan kekuatan lentur desain (kapasitas penampang). Berdasarkan SNI 1729:2020, kekuatan lentur desain ($\phi_b M_n$) dan kekuatan lentur izin (M_n/Ω_b) dengan dihitung menggunakan koefisien $\phi_b = 0,90$ dan $\Omega_b = 1,67$.

2. Tahapan Pembebanan

Variasi tegangan lentur akibat adanya penambahan pembebanan dari penampang balok di bawah baban lentur dapat disimulasikan menggunakan **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Variasi dari Tegangan Lentur Akibat Penambahan Momen pada Sumbu X.

(Sumber: Arifi, Eva dkk. Perencanaan Struktur Baja.2021)

Berdasarkan **Gambar 2.6** dapat diketahui bahwa tahapan pembebanan dan kondisi penampang pada gambar (a) – (b) merupakan beban yang menyebabkan penampang dalam keadaan elastis, di mana regangan lenturnya akan bervariasi secara linear dari garis netral sampai dengan serat terluar pada balok. Berdasarkan gambar tersebut diketahui

penentuan nilai tegangan, regangan, dan momen pada tiap level pembebanan sebagai berikut:

$$(a) \quad \varepsilon < \varepsilon_y, \sigma < \sigma_y, M < M_y \dots\dots\dots (2.38)$$

$$(b) \quad \varepsilon = \varepsilon_y, \sigma = \sigma_y, M = M_y \dots\dots\dots (2.39)$$

$$(c) \quad \varepsilon > \varepsilon_y, \sigma = \sigma_y, M_y < M < M_p \dots\dots\dots (2.40)$$

$$(d) \quad \varepsilon = \{d\} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$(e) \quad \varepsilon >> \varepsilon_y, M = M_p \dots\dots\dots (2.42)$$

Kemudian, akibat adanya penambahan beban maka penampang akan berubah menjadi kondisi inelastic di mana terjadi leleh pada penampang balok. Sedangkan kondisi yang di mana penampang secara keseluruhan mengalami plastis [d] terjadi pada tahapan akhir. Pada kondisi tersebut akan membentuk sendi plastis karena tidak ada momen tambahan yang dapat ditahan oleh penampang balok, dan penambahan beban meskipun sedikit akan menimbulkan rotasi yang besar. Momen nominal pada tahap tersebut dinamakan momen plastis M_p , dengan besaran seperti di bawah ini (Z merupakan modulus plastis):

$$M_p = F_y \times \int_A x \times y \times dA = F_y \times Z \dots\dots\dots (2.43)$$

3. Tegangan Lentur

Tegangan lentur adalah tegangan yang diakibatkan oleh adanya momen lentur.

$$a. \quad f_b = \frac{M.y}{I_x} \dots\dots\dots (2.44)$$

digunakan pada kondisi elastis yang tegangan lenturnya terjadi pada sembarang titik di ketinggian y terhadap garis netral.

$$b. \quad f_{\max} = \frac{M.c}{I_x} = \frac{M}{\frac{I_x}{c}} = \frac{M}{S_x} \dots\dots\dots (2.45)$$

digunakan untuk tegangan lentur maksimum yang terletak di serat terluar dengan nilai $y = c$.

Di mana:

- M = Momen lentur pada suatu penampang
- y = Jarak antar garis netral ke serat yang ditinjau secara tegak lurus
- c = Jarak dari garis netral terhadap serat terluar penampang secara tegak lurus
- I_x = Momen Inersia pada sumbu utama x (in^4 atau mm^4)

Dengan S_x adalah modulus penampang elastis pada sumbu x (in^3 atau mm^3), di mana nilai maksimum tegangan lentur tidak boleh melebihi tegangan lelehnya ($f_{max} = f_y$). Sehingga $M_y = f_y S_x$. Perbandingan antara modulus plastis dengan modulus elastis disebut dengan *shape factor* (SF), dengan nilai SF adalah $SF = Z/S$.

4. Tekuk Lokal (*Local Buckling*) dan Tekuk Lateral (*Lateral Buckling*)

Baja memiliki mutu bahan yang tinggi dibandingkan dengan beton sehingga dalam perencanaan dimensi akan dihasilkan struktur yang langsing. Kelangsingan tersebut dapat dihitung berdasarkan adanya perbandingan antara lebar terhadap tebal suatu penampang. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya *local buckling* pada elemen yang mengalami tegangan tekan akan lebih besar. Terjadinya tekuk tentu akan mengurangi kapasitas dari struktur dalam hal menahan beban sehingga harus adanya perhitungan khusus dalam analisis secara mendetail. Tekuk lateral adalah deformasi yang terjadi pada arah lateral atau samping yang keluar bidang pembebanan pada elemen yang dibebani momen lentur pada arah sumbu kuat penampangnya.

Berdasarkan SNI 1729:2020, ada tiga parameter batasan yang harus dilakukannya analisis sehingga dapat mengetahui terjadi atau tidaknya tekuk torsi lateral tersebut. Ketiga batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak terjadi tekuk lateral.

- b. Jika $L_p < L_b \leq L_r$ dan $L_b > L_r$, maka akan terjadi tekuk lateral yang akan berpengaruh pada perhitungan momen nominal penampangnya seperti yang tertera pada bab F SNI 1729:2020.

Faktor modifikasi dari tekuk torsi – lateral dengan nilai momen tidak seragam ketika kedua sisi dikekang C_b adalah sebagai berikut:

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \dots\dots\dots (2.46)$$

Di mana:

C_b = 1,0 digunakan jika momen – momen ujung yang sama besar dan berlawanan arah (momen beragam).

M_{maks} = Momen terbesar (absolut) terhadap bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).

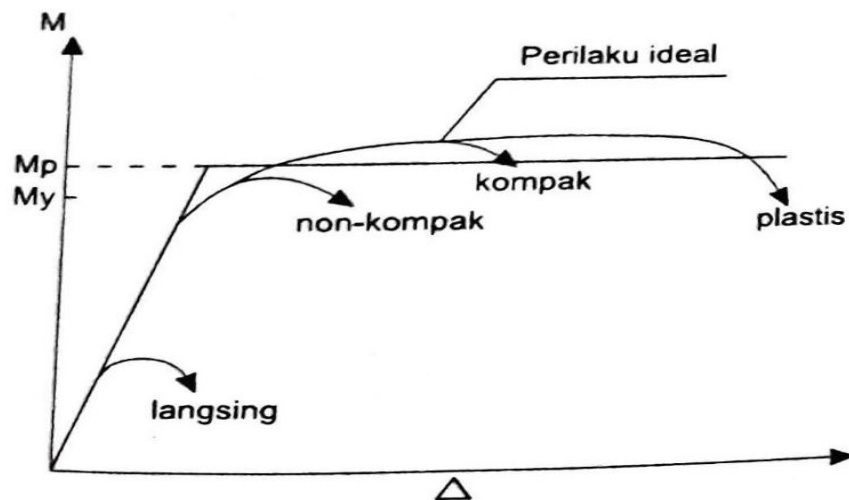
M_A = Momen seperempat bentang (absolut) pada bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).

M_B = Momen tengah bentang (absolut) pada bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).

M_C = Momen tiga-perempat bentang (absolut) pada bagian yang tidak dikekang (kip-in atau N-mm).

5. Klasifikasi Profil Baja

Sebelum melakukan perencanaan struktur baja khususnya elemen lentur, maka perlu adanya mengetahui dahulu klasifikasi elemen - elemen penyusun profil karena akan dipakai sebagai dasar dalam perhitungan kuat lentur nominal (M_n). Penentuan klasifikasinya mengacu pada rasio lebar terhadap ketebalan elemennya (b/t atau λ). Berdasarkan pada SNI 1729:2020 yang mengacu pada AISC 2016 terdapat tiga klasifikasi profil untuk batang lentur pada **Tabel 2.13**, yaitu penampang kompak, nonkompak dan langsing. Perilaku pada setiap klasifikasi dapat dijelaskan pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Perilaku Penampang Profil Baja Berdasarkan Jenis Pelakunya.

(Sumber: Arifi, Eva dkk. Perencanaan Struktur Baja.2020)

a. Penampang Kompak

Diklasifikasikan sebagai penampang kompak apabila semua bagian sayap dan badan menyatu dan pada elemen tekan memiliki batasan $\lambda \leq \lambda_p$ (2.47)

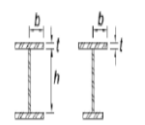
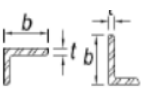
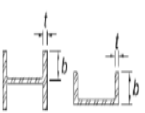
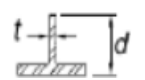
b. Penampang Nonkompak

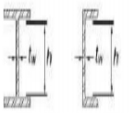
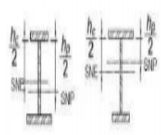
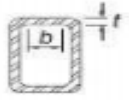
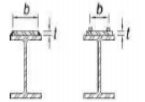
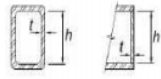
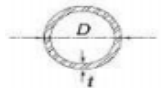
Diklasifikasikan sebagai penampang nonkompak apabila salah satu atau semua elemen bagian elemen tekan mempunyai batasan rasio $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ (2.48)

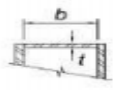
c. Langsing

Diklasifikasikan sebagai penampang langsing apabila semua bagian elemen tekan mempunyai rasio $\lambda \geq \lambda_r$ (2.49)

Tabel 2.13 Klasifikasi Elemen Tekan Komponen Struktur yang
Memikul Lentur pada Elemen yang Tidak Diperkaku
(Tabel B4.1b AISC 2016).

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar Terhadap Tebal		Contoh
				λ_p (kompak/non kompak)	λ_r (nonkompak /langsing)	
Elemen Tidak Diperkaku	10	Sayap profil I gilas panas, dan T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	11	Sayap profil tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$[a][b] 0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{f_L}}$	
	12	Kaki siku tunggal	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	13	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	14	Badan T	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,52 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar Terhadap Tebal		Contoh
				λ_p (Kompak/Non kompak)	λ_r (Nonkompak/Langsing)	
Elemen Tidak Diperkaku	15	Badan profil I simetris ganda kanal	h/t_w	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	16	Badan profil I simetris tunggal	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{f_y}} [c]}{(0,54 \frac{M_p}{M_y} - 0,09)^2} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{k_c E}{f_y}}$	
	17	Sayap PSR persegi panjang	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	18	Pelat penutup sayap dan diafragma antara baris – baris pengelasan atau las	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	19	Badan PSR persegi panjang dan books	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
	20	PSR bundar	D/t	$0,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$0,31 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	

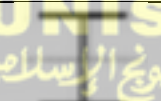
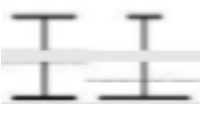
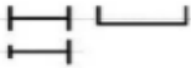
	21	Sayap penampang g books	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	
--	----	-------------------------	-----	-----------------------------	-----------------------------	---

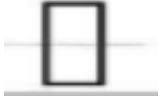
(Sumber: SNI 1729:2020, Badan Standardisasi Nasional)

6. Perencanaan Kuat Batas Berdasarkan SNI 1729:2020 (AISC 2016)

Berdasarkan bab F pada SNI 1729:2020 tentang desain komponen struktur yang menahan lentur, terdapat banyak rumus perhitungan yang penggunaannya disesuaikan dengan bentuk penampang dan berdasarkan klasifikasi penampangnya baik itu kompak, nonkompak maupun langsing. Pada **Tabel 2.14**, berikut ini berfungsi untuk mempermudah analisis struktur karena prosedurnya dapat terlihat dengan jelas dan mudah dalam pemahamannya.

Tabel 2.14 Langkah Perencanaan Balok Lentur (Berdasarkan Tabel F1.1).

Pasal dalam Bab F	Penampang melintang	Kelangsingan Sayap	Kelangsingan Badan F	Keadaan Batas
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB

F7		C,NC,S	C,NC,S	Y, FLB, WLB, LTB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C,NC,S	N/A	Y, LTB, FLB, WLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Bentuk tidak – simetris selain siku tunggal	N/A	N/A	Semua keadaan batas
Y = leleh, CFY = leleh sayap tekan, LTB = tekuk torsi-lateral, FLB = tekuk local sayap, WLB = tekuk local badan, TFY = leleh sayap Tarik, LLB = tekuk local kaki, LB = tekuk local, C = kompak, NC = nonkompak, S = langsing, N/A = tidak berlaku				

(Sumber: SNI 1729:2020, Badan Standardisasi Nasional)

7. Profil I Kompak Simetri Ganda dan Profil Kanal yang Melendut pada Sumbu Kuat (F2)

Nilai dari kekuatan lentur nominal (M_n) diambil berdasarkan pada **nilai terkecil** dari kondisi batas leleh (Y) dan tekuk torsi – lateral (LTB). Batasan yang diberikan adalah sebagai berikut.

a. Leleh

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x \dots\dots\dots (2.50)$$

b. Tekuk Torsi – Lateral

$$L_p = 1,76 \times r_y \times E \times F_y \text{ Jika } L_p < L_b \leq L_r, \text{ maka } \dots\dots\dots (2.51)$$

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0,75 \times F_y \times S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right)] \leq M_p \dots\dots\dots (2.52)$$

Jika $L_b < L_r$, maka

$$M_n = F_{cr} \times S_x \leq M_p \dots \dots \dots (2.53)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 \times E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x \times h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \dots \dots \dots (2.54)$$

Di mana:

E = Modulus elastisitas dari material baja sebesar 200.000 MPa

F_{cr} = Tegangan kritis (ksi atau MPa)

r_y = Radius girasi balok terhadap sumbu y

F_y = Kuat leleh minimum yang nilainya tergantung dari mutu baja (MPa)

J = Konstanta torsi (in⁴ atau mm⁴) dengan
(J = 1/3 x (2tf³ x b + tw³ x h_o))

c = 1 (profil I simetris ganda) dan $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$ (profil kanal)

S_x = Modulus penampang elastis terhadap sumbu x (in³ atau mm³)

h_o = Jarak antara titik berat elemen sayap penampang (in atau mm)

C_w = Konstanta *warping* (in⁶ atau mm⁶), untuk profil I nilainya sebesar $C_w = I_y h_o^2 / 4$

I_y = momen inersia terhadap sumbu y (in⁴ atau mm⁴)

8. Perencanaan Kuat Geser Nominal (V_n)

Setelah kapasitas momen lentur memenuhi ketentuan yang ada di bab F pada SNI 1729:2020, maka selanjutnya dilakukan evaluasi kuat geser pada pelat badan berdasarkan ketentuan yang ada di bab G. secara umum, kuat geser rencanan berdasarkan LRFD (DFBT) harus memenuhi persamaan di bawah ini:

$$V_u \leq \phi_v V_n \dots \dots \dots (2.55)$$

Di mana V_u adalah gaya geser batas atau gaya geser terfaktor maksimum dari berbagai kombinasi pembebanan, ϕ_v adalah factor ketahanan geser dengan nilai 0,9 (kecuali komponen badan struktur profil-I gilas panas sebesar 1,0), dan V_n adalah kuat geser nominal balok.

Berdasarkan SNI 1729:2020, penentuan nilai V_n didasarkan pada bentuk profilnya. Secara umum, terdapat dua acara desain kekuatan geser yaitu tidak memanfaatkan kuat pelat secara tekuk (tanpa aksi medan tarik) dan memperhitungkan aksi medan tarik. Nilai V_n pada komponen struktur profil I ditentukan berdasarkan kedua cara desain kekuatan gesernya yaitu:

a. Tanpa Aksi Medan Tarik

$$V_n = 0,6 F_y \times A_w \times C_{v1} \dots \dots \dots (2.56)$$

Di mana:

A_w = luas badan = $d \cdot t_w$ (in² atau mm²)

C_{v1} = koefisien kekuatan geser badan, di mana nilainya ditentukan oleh tipe profilnya.

- Badan profil-I dengan $h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/F_y} \dots \dots \dots (2.57)$

Di mana

$$\phi_v = 0,1 \text{ (DFBT)}$$

$$\Omega_v = 1,50 \text{ (DKI)}$$

$$C_{v1} = 1,0$$

- Semua komponen profil-I lain dan kanal

$$\text{Jika } h/t_w \leq 1,10 \sqrt{K_v E / F_y}, \text{ maka } C_{v1} = 1,0 \dots \dots \dots (2.58)$$

$$\text{Jika } h/t_w > 1,10 \sqrt{K_v E / F_y}, \text{ maka } C_{v1} = \frac{1,10 \sqrt{K_v E / F_y}}{h/t_w} \dots \dots \dots (2.59)$$

$$K_v = 5,34 \text{ (tanpa pengaku transversal)} \dots \dots \dots (2.60)$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \text{ (dengan pengaku transversal) (2.61)}$$

$$= 5,34 \text{ jika } a/h > 30$$

b. Dengan Aksi Medan Tarik ($a/h \leq 3,0$)

$$\text{Jika } h/t_w \leq 1,10 \sqrt{K_v E / F_y}, \text{ maka } V_n = 0,6 F_y A_w \text{ (2.62)}$$

2.5.2 Perencanaan Elemen Tekan (Kolom)

Dalam perencanaan elemen tekan (kolom) ada dua jenis kolom pada bangunan yaitu kolom utama dan kolom pedestal. Berdasarkan SNI 1729:2020 mengenai desain komponen struktur pada elemen tekan (kolom) diatur pada bab E. Elemen tekan (kolom) merupakan elemen yang mampu dalam menerima gaya tekan aksial saja.

1. Kolom Pedestal

Kolom pedestal merupakan suatu kolom yang terletak dibagian bawah kolom utama yang berguna untuk menyambungkan kolom utama dengan *pile cap*. Kolom pedestal direncanakan dengan menggunakan material beton di mana tinggi kolom pedestal sendiri yaitu 1 meter dari permukaan tanah dengan elevasi 0,00.

2. Kolom Utama

Kolom utama dengan material baja ditujukan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan pada tiap titik berat penampangnya. Struktur kolom utama ini menggunakan material baja berfungsi untuk menahan gaya aksial tekan pada elemen strukturnya. Aplikasi dari struktur baja yang memikul beban aksial hanya cocok dipakai dalam perencanaan struktur rangka batang dengan beban di titik buhul, sedangkan berat sendirinya relative kecil dibandingkan dengan beban luarannya. Pada struktur kolom utama dengan material baja dilakukan tahapan perhitungan sebagai berikut:

a. Properti Penampang Kolom

Properti pada penampang kolom dapat diketahui berdasarkan pada dimensi suatu profil baja. Sehingga properti pada kolom disesukan

dengan jenis profil baja apa yang digunakan ataupun yang direncanakan.

b. Beban Ultima Rencana

Perhitungan beban ultima rencana dapat disesuaikan berdasarkan beban apa saja yang akan mengenai suatu struktur bangunan.

$$P_u = 1,2 P_D + 1,6 P_L + 1,0 P_E \dots\dots\dots (2.63)$$

$$M_{u1} = 1,2 M_D + 1,6 M_L + 1,0 M_E \dots\dots\dots (2.64)$$

$$M_{u2} = 1,2 M_D + 1,6 M_L + 1,0 M_E \dots\dots\dots (2.65)$$

c. Faktor Pembesaran Momen

- Pengali B_1 untuk efek $P - \delta$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - a_{Pr}/P_{e1}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.66)$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(Lc1)^2} \dots\dots\dots (2.67)$$

$$a = 1 \text{ (DFBT)}, a = 1,6 \text{ (DKI)}, P_r = P_{nt} + P_{lt} \dots\dots\dots (2.68)$$

$C_m = 0,6 - 0,4 (M1 / M2)$, tidak memikul beban transversal.

$C_m = 1$, memikul beban transversal.

- Pengali B_2 untuk efek $P - \Delta$

$$B_2 = \frac{1}{1 - a_{Pstory}/P_{story}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.69)$$

d. Kuat Tekan Rencana ϕP_n

$$r_x = \sqrt{I_x/A} \dots\dots\dots (2.70)$$

$$r_y = \sqrt{I_y/A} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$J = 1/3 (2 \times b \times t^3 + h \times h^3) \dots\dots\dots (2.72)$$

$$C_w = I_y h_0^2 / 4 \dots\dots\dots (2.73)$$

e. Tegangan Kritis Tekuk – Lentur (SNI 1729:2020 bab E3)

Jika $\frac{Lc}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$), maka

$$F_{cr} = [0,658 \frac{F_y}{F_e}]. F_y \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (2.74)$$

Jika $\frac{Lc}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$), maka

$$F_{cr} = 0,877 F_e \text{ (MPa)}, \text{ dengan tegangan tekuk kritis elastis maka } F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{L_c}{r})^2} \dots\dots\dots (2.75)$$

f. Tegangan Kritis Tekuk Puntir (SNI 1729:2020 bab E4)

$$F_e = (\pi \times 2E \times C_w \times L_{cz} \times 2 + G \times J) \times I_y + I_x \times F_{cr} = [0,658 \times F_y \times F_e \times F_y \text{ (MPa)}] \dots\dots\dots (2.76)$$

g. Kuat Tekan Nominal Kolom Profil WF

$$P_n = F_{cr} A \dots\dots\dots (2.77)$$

$$P_c = \phi P_n \dots\dots\dots (2.78)$$

h. Kuat Lentur Penampang pada Kondisi Plastis (Maksimum)

$$Z_x = b t [d - t] + 0,25 w h^2 \dots\dots\dots (2.79)$$

$$M_p = Z_x F_y \dots\dots\dots (2.80)$$

i. Kekuatan Lentur Nominal berdasarkan Kriteria F2

$$\bullet \text{ Leleh, } M_n = M_p = F_y Z_x \dots\dots\dots (2.81)$$

• Tekuk Torsi – Lateral,

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka}$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o}\right) + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \dots\dots (2.82)$$

j. Menghitung Faktor C_b

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \dots\dots\dots (2.83)$$

k. Momen Nominal terhadap Kondisi Batas Tekuk Lateral

Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0,75 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)] \leq M_p \dots\dots\dots (2.84)$$

Jika $L_b < L_r$, maka

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \dots\dots\dots (2.85)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 \times E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x \times h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \dots\dots\dots (2.86)$$

l. Kuat Lentur Balok

$$M_c = \phi M_n \dots\dots\dots (2.87)$$

m. Batasan Komponen Struktur Tekan

Jika $\frac{Pr}{P_c} \geq 0,2$, maka

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.88)$$

Jika $\frac{Pr}{P_c} < 0,2$, maka

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.89)$$

2.5.3 Perencanaan Pelat Lantai

Pada perencanaan pelat lantai yang disesuaikan pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Nongedung, ada dua jenis pelat yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

1. Pelat Satu Arah

Ketebalan minimum satu arah tercantum dalam R9.3.1 pada SNI 2847:2019, yang berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau yang tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat adanya lendutan yang besar, kecuali jika perhitungan menunjukkan ketebalan yang kecil.

2. Pelat Dua Arah

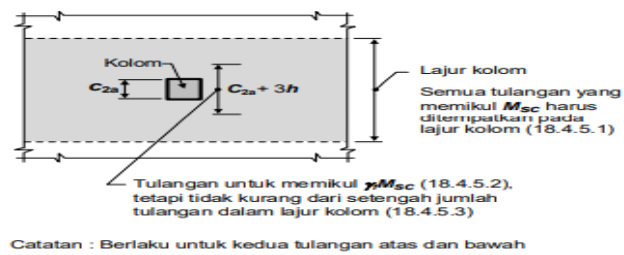
Pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, ketebalan minimum h harus memenuhi ketentuan berikut :

a. Nilai $0,2 < \alpha_m < 2$ maka h tidak boleh kurang dari,

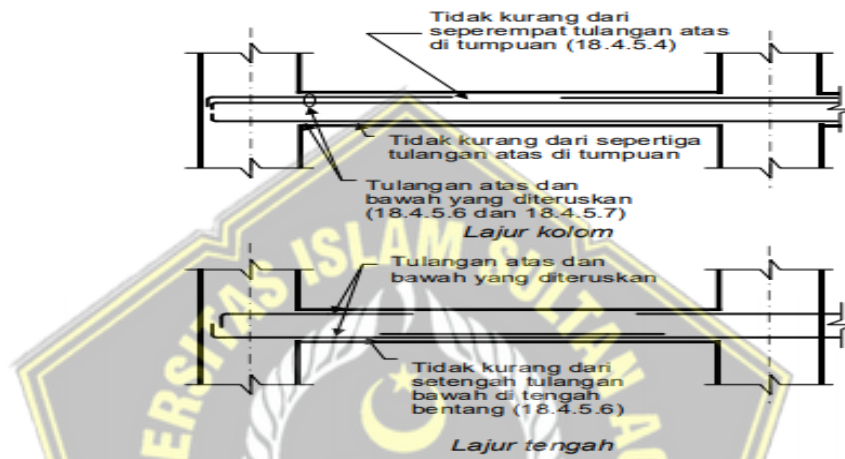
$$h = \frac{\ell n \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \text{ dan } h \text{ tidak boleh kurang dari } 120 \text{ mm.}$$

b. Nilai $\alpha_m > 2,0$ ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari,

$$h = \frac{\ell n \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari } 90 \text{ mm.}$$



Gambar 2.10 Lokasi Tulangan dipelat
(Sumber: SNI 2847:2019, Badan Standardisasi Nasional)



Gambar 2.11 Penempatan Tulangan pada Pelat
(Sumber: SNI 2847:2019, Badan Standardisasi Nasional)

2.5.4 Perencanaan Atap

1. Analisis Batang Tarik

a. Cek kekuatan batang Tarik (*Strenght*)

$$\text{Tegangan tarik yang terjadi, } \sigma = \frac{P_u}{A_n} \dots\dots\dots (2.90)$$

$$\text{Tegangan tarik rencana, } \sigma_r = \phi \times f_y \dots\dots\dots (2.91)$$

$$\text{Rasio tegangan, stress ratio} = \frac{\sigma}{\sigma_r} \dots\dots\dots (2.92)$$

$$\text{Dengan syarat } \sigma < \sigma_r \dots\dots\dots (2.93)$$

b. Cek kakuan batang Tarik (*Stiffness*)

$$\text{Momen inersia penampang, } I = \frac{1}{64} \times \pi \times (d^4 \text{ luar} - d^4 \text{ dalam}) \dots\dots\dots (2.94)$$

$$\text{Jari – jari inersia batang, } i = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (2.95)$$

2. Analisis Batang Tekan

a. Cek kekuatan batang Tekan (Strenght)

$$\text{Panjang tekuk batang, } L_k = k \times L \dots\dots\dots (2.96)$$

$$\text{Jari – jari inersia batang, } i = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (2.97)$$

$$\text{Kelangsingan batang tekan, } \lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \frac{L_k}{i} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \dots\dots\dots (2.98)$$

$$\text{Karena } \lambda_c \geq 1,2 \dots\dots\dots (2.99)$$

$$\text{Maka factor tekuk, } \omega = 1,25 \times \lambda^2 c \dots\dots\dots (2.100)$$

$$\text{Tegangan tekan yang terjadi, } \sigma = \frac{P_u}{A_n} \dots\dots\dots (2.101)$$

$$\text{Tegangan tekan rencana, } \sigma_r = \phi \times \frac{F_y}{\omega} \dots\dots\dots (2.102)$$

$$\text{Rasio tegangan, } stress\ ratio = \frac{\sigma}{\sigma_r} \dots\dots\dots (2.103)$$

$$\text{Syarat } \sigma < \sigma_r \dots\dots\dots (2.104)$$

b. Cek kakuan batang Tekan (Stiffness)

$$\text{Jari – jari inersia batang, } i = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (2.105)$$

$$\text{Kelangsingan batang, } \lambda = L / i \dots\dots\dots (2.106)$$

$$\text{Syarat kelangsingan batang tekan, } \lambda < 200 \dots\dots\dots (2.107)$$

2.6 Perencanaan Struktur Bawah

Perencanaan pada struktur bawah gudang merupakan seluruh bagian struktur gudang yang berada di bawah permukaan tanah. Perencanaan struktur bawah meliputi fondasi, *pile cap*, dan *sloof*. Fondasi merupakan suatu strukrur perantara yang berguna untuk menghantarkan beban dari struktur bagian atas dan gaya – gaya yang bekerja ke tanah. Pada sub bab ini, menjabarkan tentang perhitungan pada fondasi tiang pancang.

2.6.1 Fondasi Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang merupakan suatu jenis fondasi dalam yang memiliki bentuk seperti tabung yang terdiri dari campuran beton bertulang dengan diameter tertentu yang dipasang di dalam tanah dengan kedalaman

tanah tertentu serta tingkat daya dukung tanah yang diperlukan untuk suatu konstruksi bangunan.

1. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang dari Uji Penetrasi Standard (SPT)
Menurut *Mayerhoff*

Perhitungan daya dukung vertikal individual tiang pancang diambil nilai terkecil dari kapasitas daya dukung berdasarkan pada kekuatan bahan. Mengacu pada data hasil bor mesin dengan adanya nilai N-SPT (*Mayerhoff*). Metode pengujian tes penetrasi standar atau *Standard Penetration Test* (SPT) sangat berfungsi dalam menentukan kondisi tanah yang mendasari suatu tempat perencanaan pembangunan. Selain itu, pengujian tes penetrasi standar merupakan cara yang paling populer dan ekonomis dalam mendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. kapasitas ultimit pada tiang pancang secara empiris dari suatu nilai N-SPT secara umum dalam persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots \dots \dots (2.108)$$

Di mana:

Q_u = Kapasitas dukung ultimit neto (kN)

Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN)

Mayerhoff (1976) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang,

$$Q_b = 40 N_b A_b \dots \dots \dots (2.109)$$

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2} \dots \dots \dots (2.110)$$

Sedangkan untuk menghitung tahanan gesek tiang dapat dilihat pada persamaan:

$$Q_s = 0,5 N_s A_p \dots \dots \dots (2.111)$$

Di mana:

A_b = Luas penampang tiang pancang (m^2)

N_b = Harga N-SPT rata-rata

A_p = Luas penampang dasar tiang pancang (m^2)

N_1 = N rata-rata yang dihitung 8d keatas dari dasar tiang (m)

N_2 = N rata-rata yang dihitung 3d kebawah dari dasar tiang (m)

N_s = Harga N-SPT rata-rata

2. Fondasi Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Perkiraan jumlah kebutuhan tiang pancang tanpa efisiensi:

$$n = \frac{P_u}{Q_{all}} \dots\dots\dots (2.112)$$

Efisiensi kelompok tiang pancang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Q_{all \text{ total}} = Eff \times n \times Q_{all} \dots\dots\dots (2.113)$$

$$Eff = 1 - \frac{\phi}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right\} i \dots\dots\dots (2.114)$$

Di mana:

m = Jumlah baris

n = Jumlah tiang

ϕ = $\tan^{-1}(d/s)$

d = Diameter tiang pancang (cm)

s = Jarak antar tiang pancang (cm)

Jika $Q_{all \text{ total}} = P_{group}$, maka kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok harus dicek dengan total beban yang diterima dari fondasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$\sum P_v = P_u + W_{pilecap} + W_{pile} \dots\dots\dots (2.115)$$

$$Checking : P_{group} \geq \sum P_v \dots\dots\dots (2.116)$$

Standard untuk jarak antar as tiang pancang kelompok adalah

$$\text{Jarak antar as } 2,5 D < s < 4D \dots\dots\dots (2.117)$$

$$\text{Jarak as ke tepi } s = 0,5D + 0,15 \text{ m} \dots\dots\dots (2.118)$$

3. Kontrol Beban Maksimum

Untuk menghitung gaya aksial maka diharuskan untuk meninjau dari sumbu x dan dari sumbu y.

$$P_{max/min} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y X_{max}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x Y_{max}}{\sum Y^2} \leq P_{ijin} \dots\dots\dots (2.119)$$

Di mana:

P = beban aksial yang bekerja pada tiang pancang

M_x = momen luar sumbu x

M_y = momen luar sumbu y

X_{max} = jarak antar tiang pancang terjauh dari sumbu x
 Y_{max} = jarak antar tiang pancang terjauh dari sumbu y
 $\sum X^2$ = jumlah kuadrat jarak antar tiang pancang sumbu x
 $\sum Y^2$ = jumlah kuadrat jarak antar tiang pancang sumbu y

4. Kontrol Gaya Lateral (Metode Broms)

Tiang ujung jepit dalam tanah kohesif, menurut Broms momen yang terjadi pada tiang yang tertanam dalam tanah sama dengan momen yang terjadi di ujung atas tiang yang terepit oleh pelat penutup tiang (*Pilecap*). Gaya geser dari kapasitas balok.

$$V = \frac{M_{pr} + M_{pr}}{\text{In kolom}} \dots \dots \dots (2.120)$$

Gaya lateral (H_u) yang diterima masing – masing tiang pancang

$$H_u = \frac{V}{n} \dots \dots \dots (2.121)$$

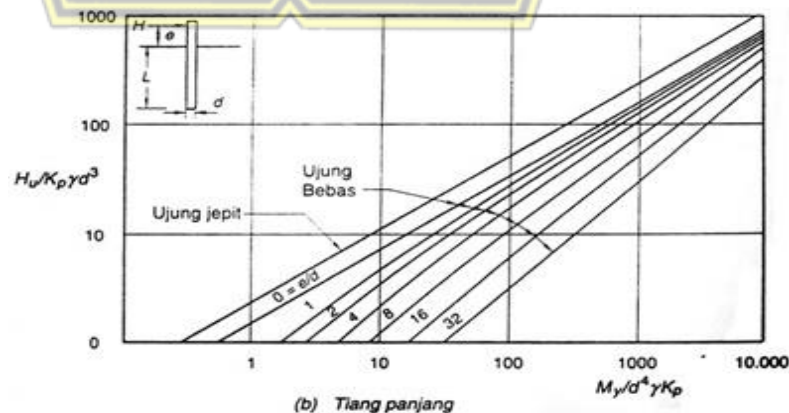
Sudut geser dan berat jenis tanah pada site bangunan akan berdiri diperoleh dari percobaan *Direct Shear Test* yang telah dilakukan. Nilai K_p dihitung persamaan.

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.122)$$

Momen yang terjadi dari grafik hubungan M_u dan H_u pada **Gambar.2.12.**

$$\frac{H_u}{K_p \times \gamma \times d^2} \dots \dots \dots (2.123)$$

$$\frac{M_u}{K_p \times \gamma \times d^2} \dots \dots \dots (2.124)$$



Gambar 2.12 Grafik Hubungan M_u dan H_u untuk Tiang Pancang
 (Sumber: garuda.ristekdikti.go.id)

Hasil momen yang terjadi dicek

$$M_{all} \geq M_u \dots\dots\dots (2.125)$$

2.6.2 *Pile Cap*

Pile cap berguna untuk mengikat tiang – tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. Perhitungan gaya geser untuk *pile cap* sama dengan perhitungan gaya geser pada pondasi telapak.

• Kontrol Tegangan Geser 1 Arah

Perhitungan gaya tekan ke atas,

$$V_u = \sigma \times L \times G' \dots\dots\dots (2.126)$$

Di mana:

V_u = Gaya geser ijin

σ = Tegangan (P/A)

L = Panjang *pile cap*

G' = Daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser penulangan satu arah

Tegangan yang terjadi pada tanah V_u (nilai terbesar dari jumlah total P_u tiang pada satu sisi, ditinjau pada satu sisi, ditinjau pada dua arah yaitu arah x, dan arah y). Tegangan geser terkecil yang dapat ditahan poer (V_c) dipilih yang kecil:

$$V_c = ((1+1/\beta_c) \times \sqrt{f'_c}) \times b \times d / 6 \dots\dots\dots (2.127)$$

$$V_c = (2 + \frac{a_s}{b_o}) \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b_o \cdot d}{12} \dots\dots\dots (2.128)$$

Kuat geser beton adalah:

$$\phi V_c = \phi 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \times b \times d \dots\dots\dots (2.129)$$

Di mana:

b = Panjang *pile cap*

d = Tebal efektif pondasi = h - selimut beton

h = Tebal *pile cap*

V_c = Gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan

V_u = Gaya geser satu arah yang terjadi

Control $V_u \leq \phi V_c$, maka untuk tegangan geser dua arah aman.

- Kontrol Tegangan Geser 2 Arah (Geser Pons)

Penentuan *pile cap* dengan memperhatikan tegangan dua arah, dilakukan dengan langkah – langkah perhitungan sebagai berikut:

β_c = rasio sisi Panjang dan sisi pendek dimensi poer

$$\beta_c = L/B$$

a_s = konstanta yang nilainya tergantung dari kolom pada bangunan

= 40 untuk pondasi dengan letak kolom pada dalam bangunan

= 30 untuk pondasi dengan letak kolom pada tepi bangunan

= 20 untuk pondasi dengan letak kolom pada sudut bangunan

a. Dimensi bidang kritis

Lebar bidang geser pons (B)

$$B_x = b_x + d \dots\dots\dots (2.130)$$

$$B_y = b_y + d \dots\dots\dots (2.131)$$

Luas bidang geser pons (A_p)

$$A_p = 2(B_x + B_y) \times d \dots\dots\dots (2.132)$$

Lebar bidang geser pons (b_p)

$$b_p = 2 (B_x + B_y) \dots\dots\dots (2.133)$$

b. Tegangan geser pons

Rasio sisi panjang dan pendek kolom

$$\beta_c = b_x / b_y \dots\dots\dots (2.134)$$

tegangan geser pons (f_p) diambil yang terkecil antara nilai berikut,

$$f_p = ((1 + 2/\beta_c) \times \sqrt{f'c})/6 \dots\dots\dots (2.135)$$

$$f_p = ((2 + (a_s \times d)/b_p) \times \sqrt{f'c})/12 \dots\dots\dots (2.136)$$

$$f_p = 1/3 \times \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.137)$$

f_p dipilih yang terkecil, lalu

$$V_{n\ p} = A_p f_p \dots\dots\dots (2.138)$$

$$\phi V_{n\ p} = 0,75 \times V_{n\ p} \dots\dots\dots (2.139)$$

Cek terhadap gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom,

$$\phi V_{n\ p} > P_v \dots\dots\dots (2.140)$$

Perhitungan gaya tekan ke atas,

$$V_u = \sigma \cdot (L^2 - B^2) \dots\dots\dots (2.141)$$

Sedangkan dalam perhitungan penulangan *pile cap* adalah sebagai berikut:

$$s \geq 2,5 D \text{ atau } s \geq 3 D \text{ (Jarak antar tiang } pile \text{ cap) } \dots\dots\dots (2.142)$$

$$\left(\frac{M_u \times x \times y}{b \times d^2}\right) = \rho \times \phi \times f_y \times \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c}\right) \dots\dots\dots (2.143)$$

Persamaan (2.143) digunakan untuk perhitungan rasio tulangan.

$$\text{Dengan syarat } \rho_{min} < \rho < \rho_{maks} \dots\dots\dots (2.144)$$

$$n_{tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ yang digunakan}} \dots\dots\dots (2.145)$$

Persamaan (2.145) digunakan untuk perhitungan jumlah tulang yang dibutuhkan.

$$S = \frac{b}{n-1}, \text{ untuk perhitungan jarak antar tulangan} \dots\dots\dots (2.146)$$



BAB III

METODE PERENCANAAN

3.1 Pendahuluan

Pada Tugas Akhir ini, penulis merencanakan bangunan gudang dengan struktur baja pada tanah lunak. Permodelan analisa struktur atas bangunan gudang ini menggunakan *software SAP2000v20* sedangkan untuk permodelan struktur bawah menggunakan perhitungan manual serta *software Allpile* dalam menentukan daya dukung tanah dan penurunan tanah.

Peraturan – peraturan yang dipakai sebagai pedoman pada proses perencanaan bangunan gudang ini, yaitu sebagai berikut :

1. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2020).
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019).
3. Penjelasan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya (SNI 2847:2019).
4. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)

3.2 Tahapan Perencanaan

Dalam perencanaan bangunan gudang terdapat tahapan perencanaan, yaitu sebagai berikut:

3.2.1 Pengumpulan Data

Tahapan awal yang dilakukan untuk dimulainya perencanaan struktur bangunan gudang yaitu pengumpulan data selengkap mungkin baik itu data primer maupun data sekunder tentang bangunan gudang ini. Adapun pengumpulan data yang dilakukan, adalah:

1. Pengumpulan Data Primer
 - Data tanah (Bor Mesin)
2. Pengumpulan Data Sekunder
 - Deskripsi umum bangunan gudang.
 - Denah serta sistem struktur bangunan gudang.
 - Data gempa pada lokasi gudang.

- Data pembebanan struktur bangunan gudang.
- Mutu dan material yang akan digunakan.
- Metode analisa dan desain struktur.
- Standar dan referensi yang digunakan dalam proses perencanaan.

3.2.2 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan dari bagian atap, kemudian pelat, balok, kolom dan berikutnya ke fondasi yang akan menyalurkan seluruh beban ke tanah. Pembebanan yang akan diperhitungkan, meliputi:

1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari beban struktur sendiri dan berat bahan pendukung, sebagai contoh pada beban struktur atap yang meliputi penutup, seng, usuk, *bracing* dan gording.

2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang terdiri dari orang – orang dan barang yang nantinya akan menempati bangunan tersebut.

3. Beban Gempa

Beban gempa diperoleh dari berat sendiri bangunan gudang dengan beberapa perhitungan didapat gaya gempa dari arah X dan arah Y.

4. Beban Angin

Beban angin diperhitungkan karena adanya pengaruh lingkungan di sekitar area pelabuhan. Beban angin akan mempengaruhi kuat struktur pada bagian struktur atap dan struktur bawah pada fondasi gudang ini.

3.2.3 Permodelan Struktur

Permodelan struktur terdiri dari perencanaan permodelan struktur atap, struktur atas dan struktur bawah. Permodelan struktur atap dan struktur atas gudang ini disesuaikan dengan gambar denah yang ada kemudian dirancang menggunakan struktur baja yang berada pada tanah lunak yang berlokasi di area pelabuhan dengan menggunakan *software SAP2000v20*. Sedangkan permodelan struktur bawah dilakukan secara manual serta *software Allpile* guna mendapatkan daya dukung tanah dan penurunan tanah.

3.2.4 Analisa Struktur

Analisa struktur dilakukan menggunakan *software SAP2000v20* serta perhitungan secara manual. Analisa ini berfungsi untuk mendapatkan hasil gaya momen, gaya lintang (geser) dan gaya normal (aksial). Kemudian gaya tersebut berfungsi untuk mengontrol struktur dan desain fondasi pada bangunan gudang ini.

3.2.5 Perhitungan Dimensi

Perhitungan dimensi merupakan perhitungan dimensi kolom, balok, kuda-kuda, gording, pelat, fondasi. Dimensi dicari yang paling ekonomis, agar tidak terjadi pemborosan biaya yang dibutuhkan pada pembangunan struktur gudang ini.

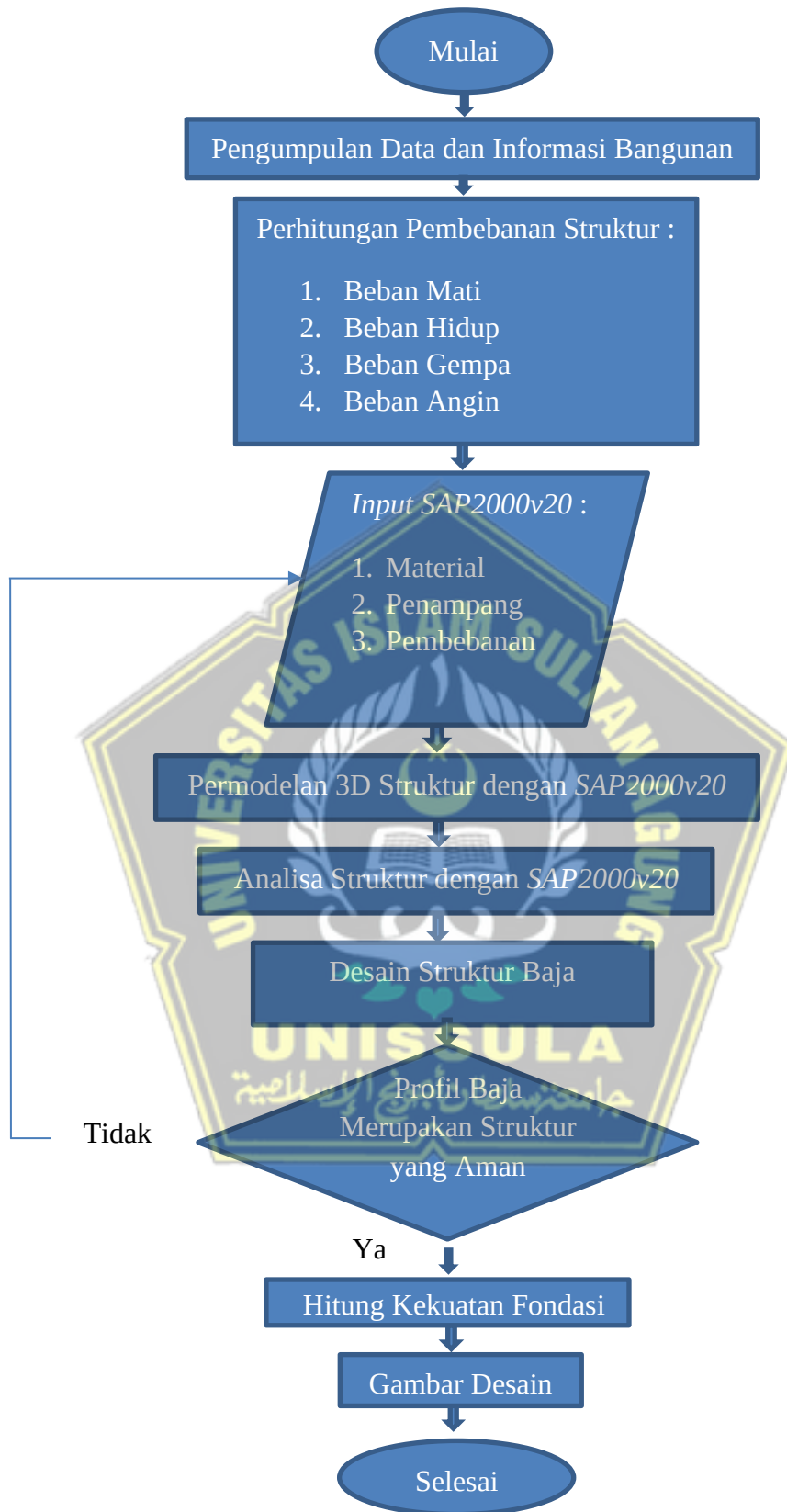
3.3 Penyajian Laporan dan Format Penggambaran

Penyajian laporan dalam Tugas Akhir ini berdasar pada pedoman penulisan laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang meliputi sistematika penulisan, penggunaan bahasa, serta bentuk laporan.

Sedangkan format penggambaran sesuai dengan peraturan dan tata cara penggambaran teknik struktur bangunan.

3.4 Diagram Alir Perencanaan

Berikut ini merupakan diagram alir (*flow chart*) perencanaan desain untuk struktur gudang yang penulis rencanakan, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir (Flow Chart) Perencanaan Struktur Gudang

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Pembahasan pada “Perencanaan Bangunan Gudang dengan Struktur Baja pada Tanah Lunak” merupakan suatu perhitungan – perhitungan elemen struktural pembentuk struktur suatu gudang secara menyeluruh. Perhitungan struktur dilaksanakan agar struktur gudang tersebut dapat dibangun berdasarkan kebutuhan yang diinginkan baik dari segi mutu bahan bangunan, umur rencananya, dan keamanan serta stabilitas struktur. Perhitungan struktur tersebut meliputi perhitungan pembebanan, perhitungan struktur atas, dan perhitungan struktur bawah atau fondasi.

Langkah pertama yang harus dilakukan pada pembahasan kali ini yaitu pengumpulan data yang berisi tentang deskripsi bangunan secara lengkap, baik deskripsi umum maupun data – data yang mendukung dalam perencanaan ini. Kemudian dibuat permodelan struktur bangunan gudang yang telah direncanakan, perencanaan struktur atas menggunakan *software SAP2000v20* dan perencanaan struktur bawah menggunakan perhitungan manual serta pengecekan daya dukung dan penurunan tanah menggunakan *software Allpile*. Setelah didapatkan data – data dan permodelan struktur, dihitunglah pembebanan yang mempengaruhi struktur bangunan gudang. Pada perhitungan struktur gudang keseluruhan dalam perencanaannya disesuaikan dengan SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Sedangkan pembebanan tersebut disesuaikan pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Adapun untuk penentuan elemen struktural lainnya disesuaikan pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung dan penjelasannya serta SNI 2847:2019 tentang Penjelasan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Nongedung.

4.2 Data dan Konfigurasi Bangunan Gudang

Sebagai langkah awal setiap perencanaan struktur gudang perlu adanya pengumpulan data perencanaan yang mendukung selengkap mungkin serta adanya konfigurasi pada gudang tersebut. Adapun data perencanaan bangunan gudang serta konfigurasi gudang adalah sebagai berikut:

4.2.1 Data Umum

- Panjang Gudang : 138 m
- Bentang Gudang : 31 m
- Luas Gudang : 4.278 m²
- Tinggi Gudang : 8 m
- Tinggi Atap : 1,2 m
- Tinggi + Atap : 9,2 m
- Fungsi Gudang : Gudang penyimpanan khusus
- Lokasi Gudang : Di Daerah Pelabuhan
- Jumlah Lantai : 1 lantai
- Jenis Tanah : Tanah Lunak

4.2.2 Data Teknis

a. Sifat Mekanis Baja

- Modulus Elastisitas (E) : 200.000 MPa
- Modulus Geser (G) : 80.000 MPa
- Angka Poisson (μ) : 0,3
- Koefisien Pemuaian (α) : $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

b. Sifat Mekanis Beton

- Modulus Elastisitas (E) : $4.700\sqrt{f'c}$ MPa
- Modulus Geser (G) : $1,1 \cdot 10^7$ KN/m²
- Angka Poisson (μ) : 0,2

c. Data Material

- Atap

Penutup Atap

Bahan penutup atap : Zincalume

Berat penutup atap : 5 kg/m² = 0,05 KN/m²

- Sudut kemiringan (α) : 10°
- ✚ Kuda – Kuda Lengkung
- Bentang kuda – kuda : 32 m
- Jarak antar kuda – kuda : 6 m
- Profil kuda – kuda : Pipa 4 in.
- Profil truss kuda – kuda : Pipa 2 in.
- Alat sambung : Las
- Mutu baja : ASTM A36 / 36M
- Tegangan putus minimum (f_u) : 400 MPa
- Tegangan leleh minimum (f_y) : 250 MPa
- ✚ Gording
- Profil gording : C 150 x 75 x 12,5 x 9
- Berat gording : $2,4 \text{ kg/m}^2 = 0,024 \text{ kN/m}^2$
- Kolom

✚ Kolom Utama (Baja)

Jenis profil yang digunakan : I/WF 400 x 400 x 21 x 13

Mutu baja yang digunakan : ASTM A36 / 36M

Tegangan putus minimum (f_u) : 400 MPa

Tegangan leleh minimum (f_y) : 250 MPa

✚ Kolom Pedestal (Beton)

Mutu beton : K-350

Ukuran kolom pedestal : 550 x 550

Tinggi kolom pedestal : 1 m
 - Balok

✚ Tie Beam (Beton)

Mutu tie beam : K-350

Ukuran tie beam : 200 x 400

✚ Balok Utama (Baja)

Jenis profil yang digunakan : I/WF 400 x 200 x 13 x 8

Mutu baja yang digunakan : ASTM A36 / 36M

Tegangan putus minimum (f_u) : 400 MPa

Tegangan leleh minimum (f_y) : 250 MPa

- Pelat

✚ Dimensi	: 200 mm = 20 cm = 0,20 m
✚ Tebal selimut beton	: 10 mm = 0,1 cm = 0,01 m
✚ Mutu baja tulangan	: 240 MPa
✚ Mutu beton	: K-500

d. Data Pembebanan

- Beban Mati

- ✚ Atap

Beban penutup atap	: 0,05 x 6 m = 0,30 kN/m ²
Beban gording	: 0,024 x 6 m = 0,14 kN/m ²
Berat instalasi ME	: 0,25 = 0,25 kN/m ² + = 0,69 kN/m ²

- ✚ Dinding

Berat dinding (hebel) _{kanan-kiri}	: 6 x 1 x 0,52 = 3,1 kN/m ²
Berat dinding (hebel) _{depan-blkng}	: 5,5 x 1 x 0,52 = 2,9 kN/m ²
Berat Spandek 0,35 _{kanan-kiri}	: 6 x 3,5 x 0,035 = 0,7 kN/m ²
Berat Spandek 0,35 _{depan-blkng}	: 5,5 x 3,5 x 0,035 = 0,6 kN/m ²

- ✚ Pelat

Pada perencanaan gudang ini menggunakan tipe pelat 2 arah dimana:

Pelat tipe 1

$$Lx_1 = 5,50 \text{ m}$$

$$Ly_1 = 6,00 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{6}{5,5} = 1,090$$

$\beta \leq 2$, maka merupakan jenis pelat 2 arah.

Pelat tipe 2

$$Lx_2 = 9,00 \text{ m}$$

$$Ly_2 = 6,00 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{6}{9} = 0,667$$

$\beta \leq 2$, maka merupakan jenis pelat 2 arah.

Berat sendiri	: 0,20 x 2,4 = 0,48 kN/m ²
---------------	---------------------------------------

Berat pasir	: $0,03 \times 1,4$	$= 0,04 \text{ kN/m}^2$
Berat penutup lantai (epoxy)	: $0,005 \times 1,5$	$= 0,008 \text{ kN/m}^2$
Berat spesi	: $0,03 \times 2,1$	$= 0,06 \text{ kN/m}^2$
Berat plafond dan penggantung		$= 0,18 \text{ kN/m}^2$
Berat ME		$= 0,15 \text{ kN/m}^2 +$
		$= 0,92 \text{ kN/m}^2$

- **Beban Hidup**

- **Atap**

Berat pekerja	: 100 Kg	$= 0,98 \text{ kN/m}^2$
Berat air hujan $40 - 0,8 \times 10^0$	: $0,32 \times 6$	$= 1,9 \text{ kN/m}^2 +$
		$= 2,88 \text{ kN/m}^2$

- **Pelat**

Beban penyimpanan khusus	: 1.600 kg/m^2	$= 16 \text{ kN/m}^2$
--------------------------	--------------------------	-----------------------

- **Beban Angin**

- **Atap**



Gambar 4.1 Koefisien Angin untuk Gedung
(Sumber: Miftakhur Riza, M. Laporan Perhitungan Struktur)

Tekanan angin pada daerah pantai (q_w)	$= 40 \text{ Kg/m}^2 = 0,4 \text{ kN/m}^2$
Sudut kemiringan kuda – kuda	$= 10^0$
Koefisien angin tekan	$= 0,02\alpha - 0,4$
	$= 0,02 \times 10 - 0,4$
	$= -0,2 (0,2)$
Koefisien angin hisap	$= -0,4$

$$K_d = 0,85$$

$$\text{Kategori Eksposur} = B$$

$$K_{zt} = 1$$

$$G_{cpi} = +0,18$$

$$-0,18$$

$$\text{Angin Tekan (Q}_T) = L_{\text{jarak antar gording}} \times B_{\text{antar kk}} \times$$

$$\text{Koef. tekan} \times q_w$$

$$= 1,6 \times 6 \times 0,2 \times 0,4$$

$$= 0,76 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal (V}_T) = Q_T \times \cos \alpha$$

$$= 0,7 \times \cos 10^\circ$$

$$= 0,681 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Horizontal (H}_T) = Q_T \times \sin \alpha$$

$$= 0,76 \times \sin 10^\circ$$

$$= 0,13 \text{ kN}$$

$$\text{Angin Hisap (Q}_H) = L_{\text{jarak antar gording}} \times B_{\text{antar kk}} \times$$

$$\text{Koef. hisap} \times q_w$$

$$= 1,6 \times 6 \times 0,4 \times 0,4$$

$$= 1,54 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal (V}_H) = Q_H \times \cos \alpha$$

$$= 1,54 \times \cos 10^\circ$$

$$= 1,51 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Horizontal (H}_H) = Q_H \times \sin \alpha$$

$$= 1,54 \times \sin 10^\circ$$

$$= 0,23 \text{ kN}$$

Tabel 4.1 Nilai Beban Angin pada Atap

Arah Angin	Nilai Beban Angin KN
Qt x Kanan	0.68
Qt y Kanan	-0,13
Qh x Kanan	1.51
Qh y Kanan	0.23
Qt x Kiri	-0.68
Qt y Kiri	-0,13
Qh x Kiri	-1.51
Qh y Kiri	0.23

(Sumber: Hasil Analisa, 2021)



Dinding

Koefisien angin tekan = 0,9

Koefisien angin hisap = -0,4

Angin Tekan (Q_T) = $L_{\text{jarak antar kolom}} \times B_{\text{antar kk}} \times$

$\text{Koef. tekan} \times q_w$

= $5,5 \times 6 \times 0,9 \times 0,4$

= 11,88 kN

Beban Angin Vertikal (V_T) = Q_T

= 11,88 kN

Beban Angin Horizontal (H_T) = Q_T

= 11,88 kN

Angin Hisap (Q_H) = $L_{\text{jarak antar kolom}} \times B_{\text{antar kk}} \times$

$\text{Koef. hisap} \times q_w$

= $5,5 \times 6 \times 0,4 \times 0,4$

= 5,28 kN

Beban Angin Vertikal (V_H) = Q_H

= 5,28 kN

Beban Angin Horizontal (H_H) = Q_H

= 5,28 kN

Tabel 4.2 Nilai Beban Angin Pada Dinding

Arah Angin	Nilai Beban Angin KN
Qt x Kanan	11,88
Qt y Kanan	-11,88
Qh x Kanan	5,28
Qh y Kanan	5,28
Qt x Kiri	-11,88
Qt y Kiri	-11,88
Qh x Kiri	-5,28
Qh y Kiri	5,28

(Sumber: Hasil Analisa, 2021)

- **Beban Gempa (SNI 1726:2019)**

Beban gempa pada struktur bangunan gudang ini didapatkan dengan metode respons spektra sesuai SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Parameter yang digunakan untuk analisa respons spektra diperoleh berdasarkan data dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Puslitbang Perumahan dan Pemukiman (Puskim) Kementerian PUPR yang sesuai dengan koordinat lokasi yang diambil yaitu di daerah Pelabuhan Belawan Medan. Berikut merupakan analisa gempa pada perencanaan gudang ini:

- ✚ **Kategori Resiko Struktur Bangunan**

Berdasarkan jenis pemanfaatannya, sesuai dengan Tabel 3-SNI 1726:2019 perencanaan gudang ini masuk dalam kategori struktur dengan kategori resiko gempa I yaitu gudang jenis gedung penyimpanan sehingga memiliki faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,0$.

Tabel 4.3 Kategori Resiko Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Tabel 4.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
1 atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)



Parameter Dasar S_s dan S_1

Parameter – parameter dasar pergerakan tanah dalam SNI 1726:2019 adalah S_s dan S_1 . S_s adalah parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (0,2 detik) dengan redaman 5% berdasarkan Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko Tersesuaikan ($MCE_R = Risk Targeted Maximum Considered Earthquake$) dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun. Penggunaan kedua parameter ini menentukan parameter percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{D1} SNI 1726:2019.

Percepatan batuan dasar MCE_R dilokasi pembangunan gudang ini dengan periode pendek 0,2 detik dan 1 detik berdasarkan Aplikasi Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Puslitbang Perumahan dan Pemukiman (Puskim) Kementerian PUPR yang telah disesuaikan pada SNI 1726:2019 $S_s = 0,901$ g dan $S_1 = 0,468$ g.



Kelas Lokasi (Klasifikasi Situs)

Profil tanah dari hasil investigasi geoteknik pada 2 titik (B-1 dan B-2) di lokasi pembangunan gudang dengan klasifikasi dibawah ini:

Tabel 4.5 Data N-SPT

Kedalaman (m)	Tebal (di) (m)	B-1		B-2	
		N-SPT	di/Ni	N-SPT	di/Ni
-2.00	2.00	1	2.000	1	2.000
-4.00	2.00	0	0.000	2	1.000
-6.00	2.00	2	1.000	0	0.000
-8.00	2.00	3	0.667	2	1.000
-10.00	2.00	4	0.500	0	0.000
-12.00	2.00	2	1.000	3	0.667
-14.00	2.00	4	0.500	2	1.000
-16.00	2.00	7	0.286	4	0.500
-18.00	2.00	18	0.111	22	0.091
-20.00	2.00	30	0.067	24	0.083
-22.00	2.00	25	0.080	31	0.065
-24.00	2.00	14	0.143	32	0.063
-26.00	2.00	14	0.143	17	0.118
-28.00	2.00	9	0.222	18	0.111
-30.00	2.00	9	0.222	18	0.111
Total	30.00	9.47	6.94	11.73	6.81

(Sumber: Data Tanah, 2021)

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\bar{N1} = \frac{30}{6,94} = 4,322, \quad \bar{N2} = \frac{30}{6,81} = 4,405$$

Jadi, nilai $\bar{N} = 4,36$

Berdasarkan hasil analisa diatas nilai $\bar{N} = 4,36 < 15$, sehingga klasifikasi situs tanah tergolong pada jenis SE (tanah lunak) yang dapat disesuaikan pada Tabel 5-Klasifikasi Situs SNI 1726:2019, dengan kualifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	<175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karekteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser nir air $S_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karekteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah terfermentasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$)		

CATATAN : N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

✚ Parameter Spektra Percepatan S_{MD} dan S_{MI}

Kedua parameter dasar S_s dan S_1 tidak dapat digunakan langsung untuk setiap situs tanah. Masih perlu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik yaitu:

- Faktor amplifikasi getaran untuk percepatan pada getaran periode pendek, F_a .
- Faktor amplifikasi getaran untuk percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik, F_v .

Kedua faktor ini disebut sebagai faktor kelas. Produk dari kombinasi parameter percepatan dasar pergerakan tanah dan faktor amplifikasi adalah S_{MS} dan S_{MI} , yang masing – masing merupakan parameter respons spektra percepatan untuk gempa tertimbang maksimum pada periode pendek (0,2 detik) dan periode 1 detik yang telah disesuaikan dengan pengaruh kelas situs. Parameter – parameter ini ditentukan menurut persamaan berikut (SNI 1726:2019 Pasal 6.2) dan koefisien situs, adalah sebagai berikut:

- $S_{MS} = F_a \times S_s$ (Periode Pendek)
- $S_{MI} = F_v \times S_1$ (Periode 1 detik)

Berdasarkan Tabel 2.10 dan Tabel 2.11 SNI 1726:2019 mengenai koefisien situs, F_a dan koefisien situs, F_v setelah dilakukan interpolasi, pada situs tanah SE (tanah lunak) dengan $S_s = 0,901$ g dan $S_1 = 0,468$ g setelah di interpolasi linear didapatkan $F_a = 1,18$ dan nilai $F_v = 2,26$. Sehingga dapat diperoleh sebagai berikut dengan menggunakan persamaan (2.19) dan persamaan (2.20)

- $S_{MS} = F_a \times S_s = 1,18 \times 0,901 = 1,062$ g (Periode Pendek)
- $S_{MI} = F_v \times S_1 = 2,26 \times 0,468 = 1,060$ g (Periode 1 detik)

✚ Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan (2.21) dan persamaan (2.22) adalah:

- $S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 0,708 \text{ g}$
- $S_{DI} = 2/3 \times S_{MI} = 0,706 \text{ g}$

Respons Spektra Desain

Respons spektra desain dapat dihitung dengan mengacu pada SNI 1726:2019. Dimana persamaan – persamaan yang disediakan dapat dihitung nilai – nilai periode yang dibutuhkan dalam membuat respons spektra desain dimulai dari T_0 , T_s hingga periode – periode berikutnya nilainya dapat dihitung dengan persamaan (2.27) dan persamaan (2.28) adalah:

- $T_0 = 0,2(S_{D1} / S_{DS}) = 0,2 (0,708 / 0,706) = 0,1994 \text{ detik}$
- $T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0,708 / 0,706 = 0,9976 \text{ detik}$

Sehingga, nilai spektrum respons percepatan desain, S_a dapat ditentukan berdasarkan peraturan untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spectral percepatan desain, $S_a = S_{D1}/T = 0,708/8 = 0,00885 \text{ detik}$

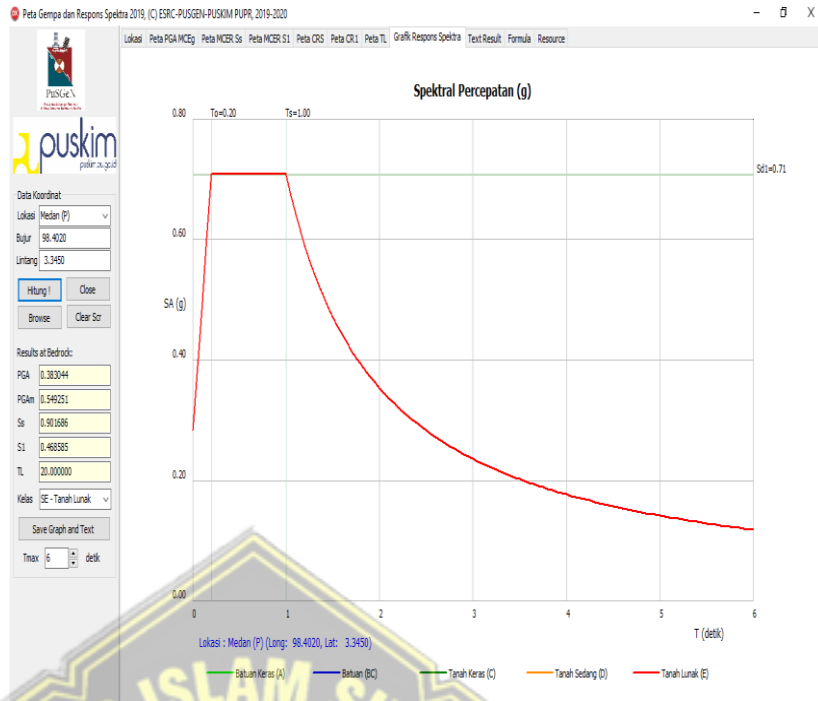
Respons Spektra Desain juga dapat diambil dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Puslitbang Perumahan dan Pemukiman (Puskim) Kementerian PUPR yang telah disesuaikan dengan SNI 1726:2019. Berikut merupakan data gempa yang didapatkan dari Aplikasi Desain Spektra, sesuai dengan **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Nilai Respons Spektra Desain

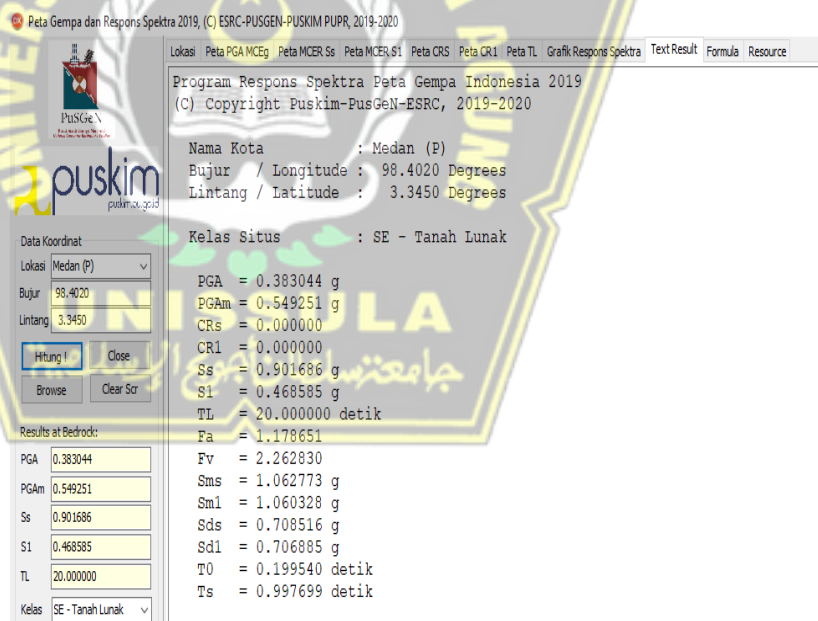
T	Sa	T	Sa	T	Sa	T	Sa
(detik)	(g)	(detik)	(g)	(detik)	(g)	(detik)	(g)
0	0.2834	TS+1.85	0.3821	TS+3.90	0.1813	TS+5.95	0.1188
T0	0.1994	TS+1.90	0.3720	TS+3.95	0.1790	TS+6	0.1178
TS	0.9972	TS+1.95	0.3625	TS+4	0.1767	TS+6.05	0.1168
TS+0	0.2834	TS+2	0.3534	TS+4.05	0.1745	TS+6.10	0.1159
TS+0.05	0.3899	TS+2.05	0.3448	TS+4.10	0.1724	TS+6.15	0.1149
TS+0.10	0.4965	TS+2.10	0.3366	TS+4.15	0.1703	TS+6.20	0.1140
TS+0.15	0.6030	TS+2.15	0.3288	TS+4.20	0.1683	TS+6.25	0.1131
TS+0.20	0.7085	TS+2.20	0.3213	TS+4.25	0.1663	TS+6.30	0.1122
TS+0.25	0.7085	TS+2.25	0.3142	TS+4.30	0.1644	TS+6.35	0.1113
TS+0.30	0.7085	TS+2.30	0.3008	TS+4.35	0.1625	TS+6.40	0.1105
TS+0.35	0.7085	TS+2.35	0.2945	TS+4.40	0.1607	TS+6.45	0.1096
TS+0.40	0.7085	TS+2.40	0.2885	TS+4.45	0.1589	TS+6.50	0.1088
TS+0.45	0.7085	TS+2.45	0.2828	TS+4.50	0.1571	TS+6.55	0.1079
TS+0.50	0.7085	TS+2.50	0.2772	TS+4.55	0.1554	TS+6.60	0.1071
TS+0.55	0.7085	TS+2.55	0.2719	TS+4.60	0.1537	TS+6.65	0.1063
TS+0.60	0.7085	TS+2.60	0.2667	TS+4.65	0.1520	TS+6.70	0.1055
TS+0.65	0.7085	TS+2.65	0.2618	TS+4.70	0.1504	TS+6.75	0.1047
TS+0.70	0.7085	TS+2.70	0.2570	TS+4.75	0.1488	TS+6.80	0.1040
TS+0.75	0.7085	TS+2.75	0.2525	TS+4.80	0.1473	TS+6.85	0.1032
TS+0.80	0.7085	TS+2.80	0.2525	TS+4.85	0.1457	TS+6.90	0.1024
TS+0.85	0.7085	TS+2.85	0.2480	TS+4.90	0.1443	TS+6.95	0.1017
TS+0.90	0.7085	TS+2.90	0.2438	TS+4.95	0.1428	TS+7	0.1010
TS+0.95	0.7085	TS+2.95	0.2396	TS+5	0.1414	TS+7.05	0.1003
TS+0.99	0.7085	TS+3	0.2356	TS+5.05	0.1400	TS+7.010	0.0996
TS+1	0.7069	TS+3.05	0.2318	TS+5.10	0.1386	TS+7.15	0.0989
TS+1.05	0.6732	TS+3.10	0.2280	TS+5.15	0.1373	TS+7.20	0.0982
TS+1.10	0.6426	TS+3.15	0.2244	TS+5.20	0.1359	TS+7.25	0.0975
TS+1.15	0.6147	TS+3.20	0.2209	TS+5.25	0.1346	TS+7.30	0.0968
TS+1.20	0.5891	TS+3.25	0.2175	TS+5.30	0.1334	TS+7.35	0.0962
TS+1.25	0.5655	TS+3.30	0.2142	TS+5.35	0.1321	TS+7.40	0.0955
TS+1.30	0.5438	TS+3.35	0.2110	TS+5.40	0.1309	TS+7.45	0.0949
TS+1.35	0.5236	TS+3.40	0.2079	TS+5.45	0.1297	TS+7.50	0.0943
TS+1.40	0.5049	TS+3.45	0.2049	TS+5.50	0.1285	TS+7.55	0.0936
TS+1.45	0.4875	TS+3.50	0.2020	TS+5.55	0.1274	TS+7.60	0.0930
TS+1.50	0.4713	TS+3.55	0.1991	TS+5.60	0.1262	TS+7.65	0.0924
TS+1.55	0.4561	TS+3.60	0.1964	TS+5.65	0.1251	TS+7.70	0.0918
TS+1.60	0.4418	TS+3.65	0.1937	TS+5.70	0.1240	TS+7.75	0.0912
TS+1.65	0.4284	TS+3.70	0.1911	TS+5.75	0.1229	TS+7.80	0.0906
TS+1.70	0.4158	TS+3.75	0.1885	TS+5.80	0.1219	TS+7.85	0.0900
TS+1.75	0.4039	TS+3.80	0.1860	TS+5.85	0.1208	TS+7.90	0.0895
TS+1.80	0.3927	TS+3.85	0.1836	TS+5.90	0.1198	TS+8	0.0884

(Sumber: Hasil Analisa, 2021)

Berdasarkan **Tabel 4.3** maka dapat dihasilkan grafik hubungan antara periode (T) dan respon percepatan gempa (S_a). Gambar grafik yang didapat antar hubungan keduanya berdasarkan hasil Aplikasi Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Puslitbang Perumahan dan Pemukiman (Puskim) Kementerian PUPR, adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Spektral Percepatan
(Sumber: Desain Spektra Indonesia. PUSKIM,.PUPR)



Gambar 4.3 Test Result Desain Spektra Indonesia
(Sumber: Desain Spektra Indonesia. PUSKIM,. PUPR)



Kategori Desain Seismik dan Penahan Gaya Gempa

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang sesuai dengan Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726:2019. Berdasarkan penentuan sebelumnya, gudang ini

direncanakan masuk pada kategori resiko I dan memiliki $S_{DS} = 0,708$ g dan $S_{D1} = 0,706$ g. Sehingga diperoleh bahwa gudang masuk pada kategori desain seismik tinggi yaitu D.

Tabel 4.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Tabel 4.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,33 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Sistem penahan gempa lateral dan vertical dasar pada struktur gudang ini direncanakan memiliki penahan gaya seismic berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa baja yang disesuaikan pada Tabel 12 SNI 1726:2019, sehingga memiliki nilai Koefisien Modifikasi Respons (R) = 3,5, Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3 dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 3. Hal ini dikarenakan struktur rangka baja pemikul

momen biasa didesain untuk kategori desain seismik D dimana tidak memenuhi Batasan 0 butir 1, diizinkan dalam konstruksi rangka ringan sampai dengan ketinggian, h_n , 10 meter.

Tabel 4.10 Sistem Pemikul Gaya Seismik

C. Sistem rangka pemikul momen	R	C_d	Ω_0	B	C	D^o	E^o	F^f
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^K	TI^K	TI^K
4. Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI^K	TI^K	TI^K

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)



Penentuan Periode Desain

Waktu getar atau biasa disebut dengan periode alami fundamental struktur merupakan waktu dimana dibutuhkan struktur untuk menempuh satu siklus gerakan yang nilainya dipengaruhi oleh fungsi massa dan kekakuan. Nilai periode desain akan digunakan untuk mendapatkan beban gempa rencana.

Penentuan periode fundamental struktur disesuaikan dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1. Dimana periode fundamental dapat ditentukan berdasarkan **Tabel 4.11**, di bawah ini:

Tabel 4.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan

Tipe Struktur	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang dinyatakan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baha dengan bressing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bressing terbelakang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

- Arah X

Arah X (Barat – Timur) merupakan sistem rangka (*moment frame*), sehingga menggunakan persamaan (2.29) $T_a = C_t h_n^\alpha$
 $= 0,0724 \times 9,22^{0,8} = 0,4$ detik

- Arah Y

Arah Y (Utara - Selatan) merupakan sistem rangka (*moment frame*), sehingga menggunakan persamaan (2.29) $T_a = C_t h_n^\alpha$
 $= 0,0724 \times 9,22^{0,8} = 0,4$ detik

Sesuai dengan ketentuan maka dapat dihitung nilai batasan periode fundamental struktur, dengan menggunakan persamaan (2.30) $T_{maks} = C_u \times T_a$, dengan nilai C_u berdasarkan tabel di bawah ini:

Tabel 4.12 Koefisien Batas Atas pada Periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_s
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Sehingga dapat dihitung nilai $T_{maks} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0,4 = 0,56$ detik. Berdasarkan program SAP2000v20, didapat nilai periode berdasarkan mode untuk masing – masing arah adalah sebagai berikut:

- $T_x = 0,62$ (mode - 2)
- $T_y = 1,19$ (mode - 1)

Maka periode desain yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan berikut ini:

- Jika $T_c < T_a$, $T = T_a$
- Jika $T_a < T_c < C_u T_a$, $T = T_c$
- Jika $T_c > C_u T_a$, $T = C_u T_a$

Keterangan:

T : Periode Desain

T_c : Periode Hasil Analisa Komputer

T_a : Batas Bawah/Minimum Periode

$C_u T_a$: Batas Atas/Maksimum Periode

Jadi Periode Desain yang akan digunakan adalah:

$T_x = 0,56$ detik $< 0,62$ detik..... $T_x = 0,56$ detik

$T_y = 1,19$ detik $> 0,7$ detik..... $T_y = 0,7$ detik



Koefisien Respons Seismik

Perhitungan koefisien respons seismic diatur dalam pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 dengan perincian sebagai berikut:

$$S_{DS} (g) = 0,708$$

$$S_{D1} (g) = 0,706$$

Karena periode yang diperoleh antara x dan y berbeda maka perhitungan C_s dilakukan berbeda antara arah x dan y dan dihitung secara terpisah, sesuai persamaan (2.32) adalah sebagai berikut:

$$C_{sx} = \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_e}\right]} = \frac{0,708}{\left[\frac{3,5}{1}\right]} = 0,202$$

$$C_{sy} = \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_e}\right]} = \frac{0,708}{\left[\frac{3,5}{1}\right]} = 0,202, \text{ nilai } C_s \text{ yang tidak perlu}$$

melebihi daripada nilai C_{smax} berikut ini:

Untuk $T \leq T_L$, persamaan (2.33) maka:

$$C_{sxmax} = \frac{S_{D1}}{T \left[\frac{R}{I_e}\right]} = \frac{0,706}{0,56 \left[\frac{3,5}{1}\right]} = 0,360$$

$$C_{symin} = \frac{S_{D1}}{T \left[\frac{R}{I_e}\right]} = \frac{0,706}{0,7 \left[\frac{3,5}{1}\right]} = 0,288$$

Sesuai persamaan (2.34), maka nilai C_s harus tidak kurang dari:

$$C_{smin} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{smin} = 0,044 \times 0,708 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_{smin} = 0,0311$$



Berat Seismik Efektif

Berat seismik efektif merupakan berat total desain hasil penjumlahan dari beban mati struktur ditambah dengan beban mati tambahan serta beban hidup yang tereduksi. Berat seismik efektif dapat dilihat berdasarkan *output* yang diperoleh dari *software* aplikasi SAP2000v20 yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.13 Berat Struktur

Group Name	Self Mass	Self Weight	Total MassX	Total MassY	Total MassZ
Text	Kgf-s ² /m	Kgf	Kgf-s ² /m	Kgf-s ² /m	Kgf-s ² /m
ALL	275292	2699694	275292	275292	275292

(Sumber: Hasil Analisa Output SAP2000v20, 2021)

Tabel hasil *output software* aplikasi SAP2000v20 di atas, dapat didapatkan data berat total dari *mass source* yang telah dimasukkan sebelumnya. Jadi total berat seismik efektif untuk desain adalah sebagai berikut:

$$W_{TOTAL} = 2699694 \text{ Kg} = 26475 \text{ kN}$$

Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar seismik dapat dihitung menurut persamaan (27), SNI 1726:2019. Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditinjau dihitung dengan menggunakan persamaan (2.31) adalah sebagai berikut:

$$V = C_s \times W$$

Gaya geser dasar seismik, V , untuk arah pembebanan

$$\begin{aligned} V_x &= C_s \times W \\ &= 0,360 \times 26474,95 \\ &= 9530,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_y &= C_s \times W \\ &= 0,288 \times 26474,95 \\ &= 7624,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

• Kombinasi Pembebanan

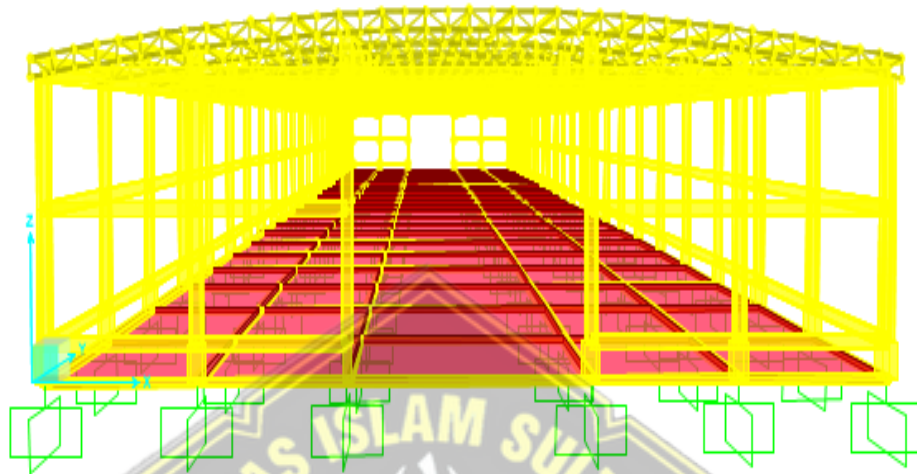
Berdasarkan SNI 2847:2019, kombinasi pembebanan terfaktor adalah sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r$
3. $1,2 D + 1,6 L_r + 0,5 W$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 L_r$
5. $0,9 D + 1,0 W$
6. $1,2 D + E_v + E_h + L$
7. $0,9 D - E_v + E_h$

4.3 Permodelan Struktur

Berikut ini merupakan permodelan 3D struktur gudang struktur baja, permodelan ini dibuat berdasarkan gambar yang telah direncanakan. Permodelan

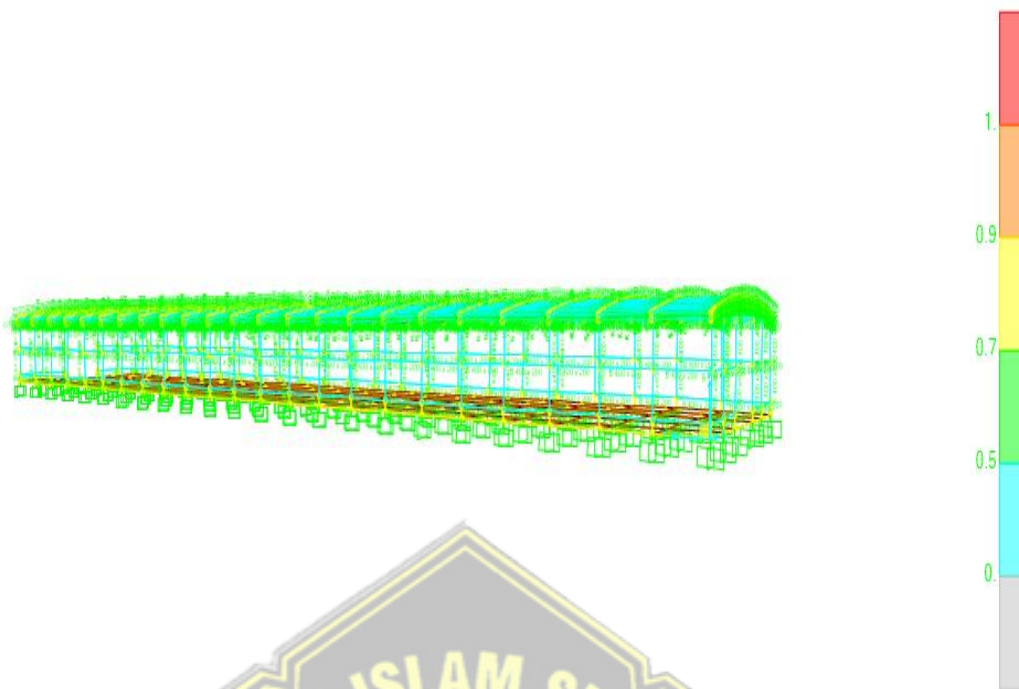
gudang struktur baja ini mencakup atap, kolom, balok, pelat yang dimodelkan secara tiga dimensi (3D) dengan menggunakan *software* SAP2000v20 dan disajikan pada **Gambar 4.4** dan **4.5**.



Gambar 4.4 Permodelan Struktur 3D Tampak Depan
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)



Gambar 4.5 Permodelan Struktur 3D Tampak Samping
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)



Gambar 4.6 Stress Ratio
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

4.4 Perencanaan Struktur Atas

4.4.1 Perencanaan Atap

KUDA – KUDA

Gaya Tarik Maksimum Pipa 4 in. = 418,50 kN = 42675 Kg

Gaya Tekan Maksimum Pipa 4 in. = 459,31 kN = 46837 Kg

Gaya Tarik Maksimum Pipa 2 in. = 147,38 kN = 15028 Kg

Gaya Tekan Maksimum Pipa 2 in. = 152,30 kN = 15530 Kg

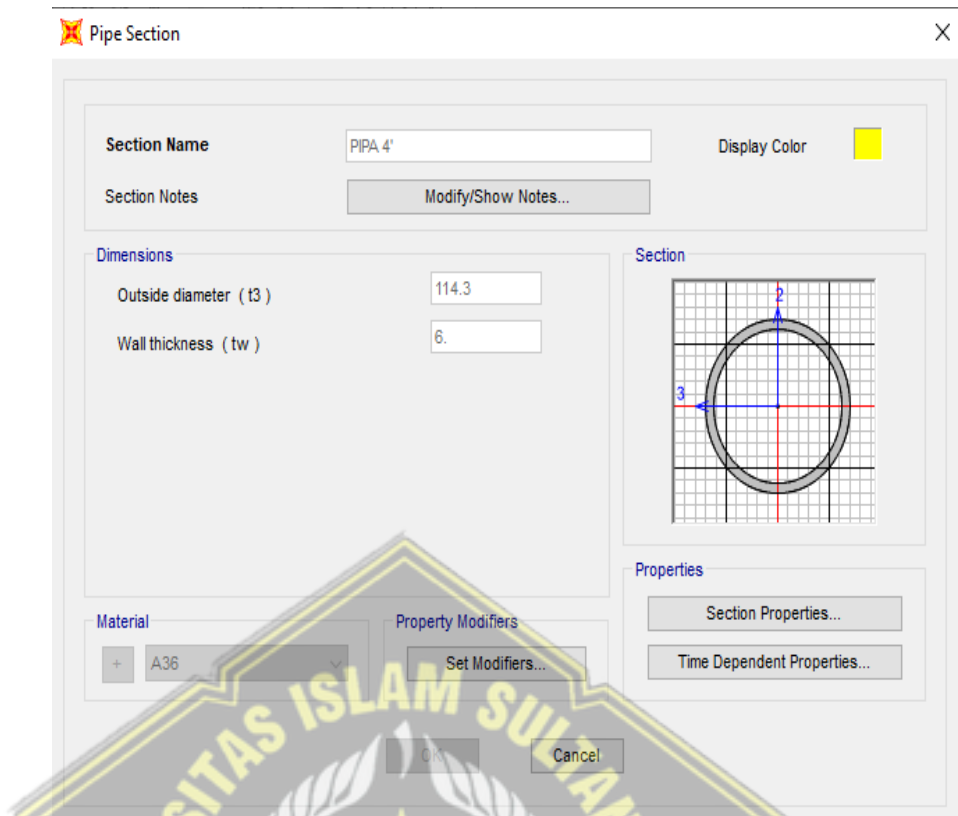
Panjang = 803,25 mm = 80,25 cm

(Hasil diatas merupakan **Output** dari **SAP2000v20**)

PIPA 4 in.

1. Data Properties

Profil baja yang dianalisis adalah Pipa 4 in., dengan spesifikasi berikut ini:



Gambar 4.7 Data Properties Pipa 4 in.

Jenis baja ASTM A36/36M

Tegangan putus minimum (f_u) = 400 MPa

Tegangan leleh minimum (f_y) = 250 MPa

Modulus Elastisitas (E) = 200.000 MPa

Diameter terluar (d_{luar}) = 114,3 mm

Diameter dalam (d_{dalam}) = 100 mm

Jari – Jari = 50 mm

Tebal profil (t_w) = 6 mm

Luas Penampang (A_n) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d_{luar}^2 - \frac{1}{4} \times \pi \times d_{dalam}^2$
 = 10255 – 7850
 = 2405 mm² = 24,05 cm²

Profil harus direncanakan agar profil baja memenuhi persyaratan kekuatan (*strenght*) dan kekakuan (*stiffness*).

2. Kontrol Kelangsingan Elemen Penampang

$$\lambda = D/t$$

$$= 114,5/6 = 19,03$$

$$\lambda_r = 62000/f_y$$

$$= 62000/250 = 248$$

Syarat elemen penampang dikategorikan sebagai penampang kompak adalah $\lambda < \lambda_r$, sehingga dari analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\lambda < \lambda_r$$

$$19,03 < 248 \text{ [PENAMPANG KOMPAK]}$$

3. Analisa Batang Tarik

Kontrol Kelangsingan Komponen Struktur

$$L / D \leq 500$$

$$\frac{80,32}{11,43} \leq 500$$

$$7,028 \leq 500$$

Batas Leleh

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 82 \times 2500 \\ &= 184500 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat pada batas leleh dalam analisa batang tarik adalah $P_u < \phi P_n$, sehingga berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\begin{aligned} P_u &< \phi P_n \\ 46837 &< 184500 \text{ [OK]} \end{aligned}$$

Batas Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,75 \times A_g \\ &= 0,75 \times 82 \\ &= 61,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times A_e \times f_u \\ &= 0,9 \times 61,5 \times 4000 \\ &= 221400 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat pada batas putus dalam analisa batang tarik adalah $P_u < \phi P_n$, sehingga berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\begin{aligned} P_u &< \phi P_n \\ 46837 &< 221400 \text{ [OK]} \end{aligned}$$

4. Analisis Batang Tekan

Kontrol Kelangsingan Komponen Struktur

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{lk}{r} \leq 200 \\ &= \frac{kc \times L}{r} \leq 200 \\ &= \frac{1 \times 80,325}{5} \leq 200 \\ &= 16,065 \leq 200\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{kc \times L}{r \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{1 \times 80,325}{5 \times 3,14} \sqrt{\frac{2500}{2000.000}} \\ &= 0,181\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1729:2020 (LRFD)

$$\lambda_c \leq 1,5$$

$$0,181 \leq 1,5$$

$$\begin{aligned}\text{Maka faktor tekuk, } f_{cr} &= (0,658 \times \lambda_c^2) \times f_y \\ &= (0,658 \times 0,181^2) \times 2500 \\ &= 2465,9 \text{ Kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan tekan nominal, } \phi P_n &= \phi \times f_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 2465,9 \times 82 \\ &= 181983 \text{ Kg}\end{aligned}$$

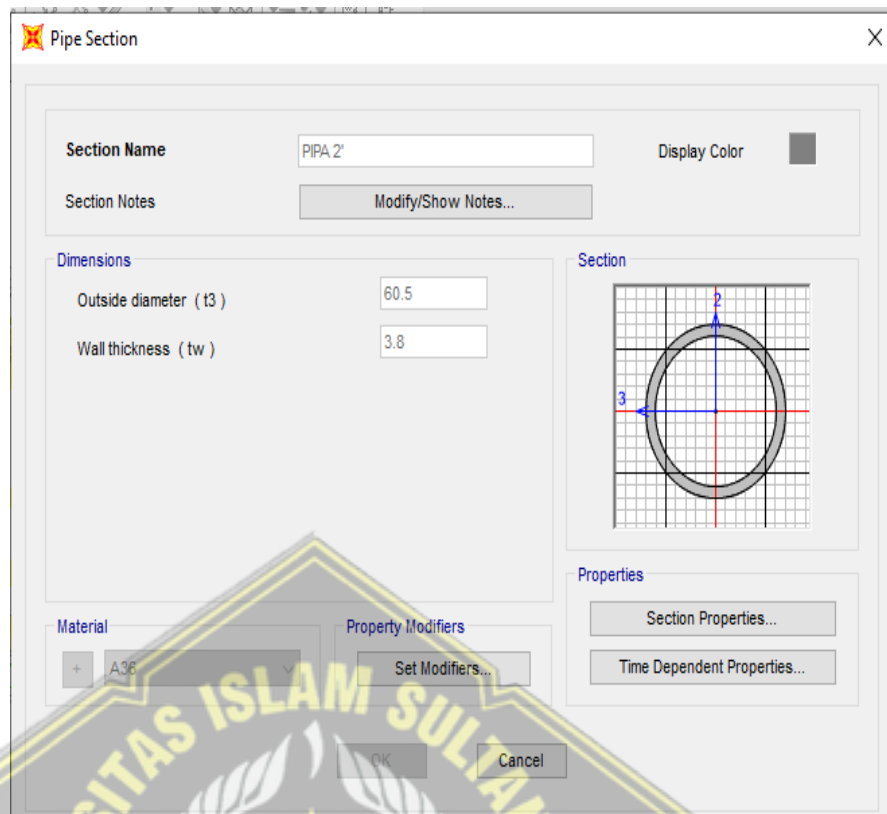
Syarat pada analisa batang tekan untuk mengetahui apakah profil baja aman digunakan dalam perencanaan gudang ini yang telah disesuaikan SNI 1729:2020 adalah $P_u < \phi P_n$, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\begin{aligned}P_u &< \phi P_n \\ 46837 &< 181983 \text{ [OK]}\end{aligned}$$

PIPA 2 in.

1. Data Properties

Profil baja yang dianalisis adalah Pipa 2 in. dengan spesifikasi berikut ini:



Gambar 4.8 Data Properties Pipa 2"

Jenis baja ASTM A36/36M

Tegangan putus minimum (f_u) = 400 MPa

Tegangan leleh minimum (f_y) = 250 MPa

Modulus Elastisitas (E) = 200.000 MPa

Diameter terluar (d_{luar}) = 60,5 mm

Diameter dalam (d_{dalam}) = 50 mm

Jari Jari = 25 mm

Tebal profil (t_w) = 3,8 mm

Luas Penampang (A_n) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d_{luar}^2 - \frac{1}{4} \times \pi \times d_{dalam}^2$
 = 2873,29 – 1962,50
 = 910,79 mm² = 9,11 cm²

Profil harus direncanakan agar profil baja memenuhi persyaratan kekuatan (*strenght*) dan kekakuan (*stiffness*).

2. Kontrol Kelangsingan Elemen Penampang

$$\lambda = D/t$$

$$= 60,5/3,8 = 15,92$$

$$\lambda_r = 62000/f_y$$

$$= 62000/250 = 248$$

Syarat elemen penampang dikategorikan sebagai penampang kompak adalah $\lambda < \lambda_r$, sehingga dari analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\lambda < \lambda_r$$

$$15,92 < 248 \text{ [PENAMPANG KOMPAK]}$$

3. Analisa Batang Tarik

Kontrol Kelangsingan Komponen Struktur

$$L / D \leq 500$$

$$\frac{80,325}{6,05} \leq 500$$

$$13,276 \leq 500$$

Batas Leleh

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 41 \times 2500 \\ &= 92250 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat pada batas leleh dalam analisa batang tarik adalah $P_u < \phi P_n$, sehingga berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$P_u < \phi P_n$$

$$46837 < 92250 \text{ [OK]}$$

Batas Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,75 \times A_g \\ &= 0,75 \times 41 \\ &= 30,75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times A_e \times f_u \\ &= 0,9 \times 30,75 \times 4000 \\ &= 110700 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat pada batas putus dalam analisa batang tarik adalah $P_u < \phi P_n$, sehingga berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$P_u < \phi P_n$$

$$46837 < 110700 \text{ [OK]}$$

4. Analisis Batang Tekan

Kontrol Kelangsingan Komponen Struktur

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{lk}{r} \leq 200 \\ &= \frac{kc \times L}{r} \leq 200 \\ &= \frac{1 \times 80,325}{2,5} \leq 200 \\ &= 32,13 \leq 200\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{kc \times L}{r \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{1 \times 80,325}{2,5 \times 3,14} \sqrt{\frac{2500}{2000000}} \\ &= 0,36\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1729:2020 (LRFD)

$$\begin{aligned}\lambda_c &\leq 1,5 \\ 0,36 &\leq 1,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka faktor tekuk, } f_{cr} &= (0,658 \times \lambda_c^2) \times f_y \\ &= (0,658 \times 0,361^2) \times 2500 \\ &= 2367,28 \text{ Kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan tekan nominal, } \phi P_n &= \phi \times f_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 2367,287 \times 41 \\ &= 87352 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Syarat pada analisa batang tekan untuk mengetahui apakah profil baja aman digunakan dalam perencanaan gudang ini yang telah disesuaikan SNI 1729:2020 adalah $P_u < \phi P_n$, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\begin{aligned}P_u &< \phi P_n \\ 46837 &< 87352 \text{ [OK]}\end{aligned}$$

GORDING C 150 x 75 x 12,5 x 9

1. Analisa Pembebanan

a. Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= 0,024 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Berat Penutup Atap} &= 0,30 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Berat Total (qd)} &= 0,324 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

b. Beban Hidup

$$\text{Berat Atap Lengkung} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban Air Hujan $= 40 - 0,8 \times 10^0$
 $= 0,32 \times 6 \text{ m}$
 $= 1,9 \text{ kN/m}^2$

d. Beban Angin

$$\text{Beban Angin} = 40 \text{ Kg/m}^2 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sudut kemiringan} = 10^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin tekan} &= 0,02\alpha - 0,4 \\ &= 0,02 \times 10 - 0,4 \\ &= -0,2 \end{aligned}$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$K_d = 0,85$$

$$\text{Kategori Eksposur} = B$$

$$K_{zt} = 1$$

$$G_{cpi} = +0,18$$

$$-0,18$$

$$\begin{aligned} \text{Angin Tekan (Q}_T) &= L_{\text{jarak antar gording}} \times B_{\text{antar kk}} \times \text{Koef. tekan} \times q_w \\ &= 1,6 \times 6 \times -0,2 \times 0,4 \\ &= -0,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin Hisap (Q}_H) &= L_{\text{jarak antar gording}} \times B_{\text{antar kk}} \times \text{Koef. hisap} \times q_w \\ &= 1,6 \times 6 \times -0,4 \times 0,4 \\ &= -1,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Penentuan Nilai Momen

a. Beban Mati

$$\text{Berat Total (qd)} = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati di uraikan menjadi:

$$q_x = 0,32 \times \sin 10^\circ = 0,05 \text{ kN/m}^2$$

$$q_y = 0,32 \times \cos 10^\circ = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga momen (M) yang bekerja pada gording adalah:

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times q_x \times (\text{jarak kuda - kuda})^2 \\ &= 1/8 \times 0,056 \times 6^2 \end{aligned}$$

$$= 0,25 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times q_y \times (\text{jarak kuda – kuda})^2 \\ &= 1/8 \times 0,319 \times 6^2 \\ &= 1,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Beban Hidup

$$\text{Beban Hidup} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

Beban hidup diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned} P_x &= 0,96 \times \sin 10^\circ = 0,16 \text{ kN/m}^2 \\ P_y &= 0,96 \times \cos 10^\circ = 0,94 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga momen (M) yang bekerja pada gording adalah:

$$\begin{aligned} M_x &= 1/4 \times q_x \times (\text{jarak kuda – kuda})^2 \\ &= 1/4 \times 0,056 \times 6^2 \\ &= 0,25 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/4 \times q_y \times (\text{jarak kuda – kuda})^2 \\ &= 1/4 \times 0,319 \times 6^2 \\ &= 1,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

c. Beban Air Hujan

$$\begin{aligned} \text{Beban Air Hujan} &= 40 - 0,8 \times 10^0 \\ &= 0,32 \times 6 \text{ m} \\ &= 1,9 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Beban air hujan diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Beban air hujan} &= 1,6 \times 1,9 = 3,04 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Beban air hujan } R_x &= 3,04 \times \sin 10^\circ = 0,53 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Beban air hujan } R_y &= 3,04 \times \cos 10^\circ = 2,99 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga, momen (M) yang bekerja pada gording adalah:

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times R_x \times (\text{jarak kuda – kuda})^2 \\ &= 1/8 \times 0,53 \times 6 \\ &= 0,39 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times R_y \times (\text{jarak kuda – kuda})^2 \\ &= 1/8 \times 2,99 \times 6 \\ &= 2,24 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

d. Beban Angin

$$\begin{aligned}\text{Angin Tekan (Q}_T) &= L_{\text{jarak antar gording}} \times B_{\text{antar kk}} \times \text{Koef. tekan} \times q_w \\ &= 1,6 \times 6 \times -0,2 \times 0,4 \\ &= -0,76 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Angin Hisap (Q}_H) &= L_{\text{jarak antar gording}} \times B_{\text{antar kk}} \times \text{Koef. hisap} \times q_w \\ &= 1,6 \times 6 \times -0,4 \times 0,4 \\ &= -1,54 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban angin dapat diuraikan menjadi:

Karena arah beban angina tegak lurus pada atap, maka beban yang bekerja adalah:

$$W_{tx} = 0$$

$$W_{ty} = W_t = -0,76 \text{ kN}$$

$$W_{tx} = 0$$

$$W_{ty} = W_t = -1,54 \text{ kN}$$

Sehingga, momen ultimate (M_u) yang bekerja pada gording adalah:

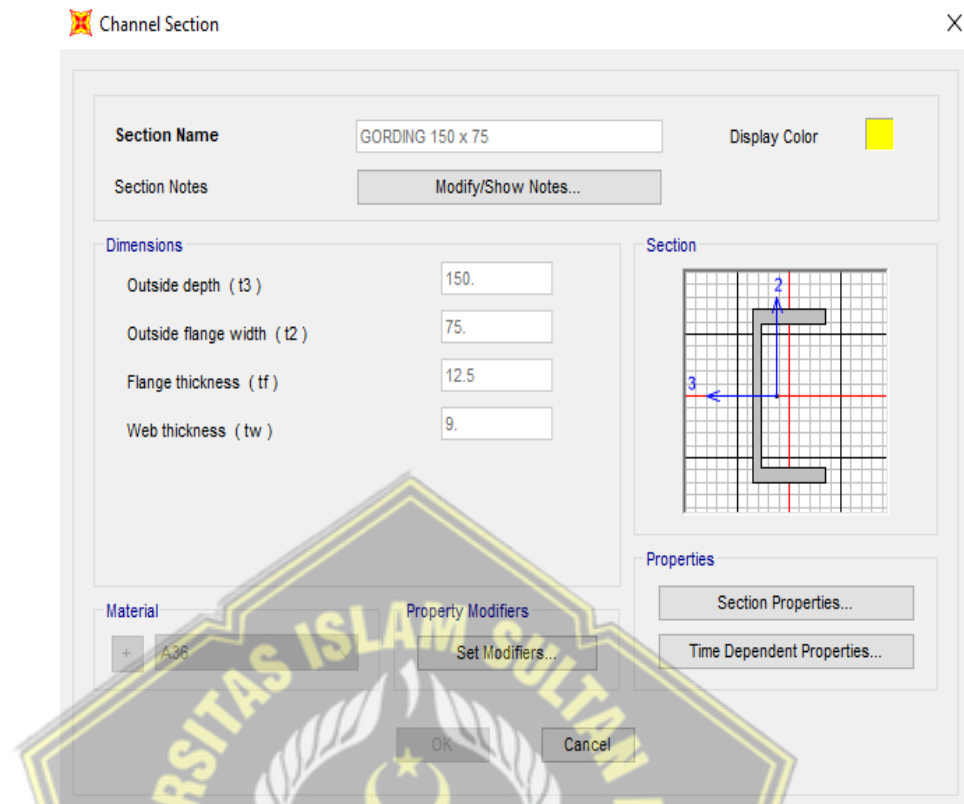
$$\begin{aligned}M_{ux} &= 1/8 \times W_{tx} \times (\text{jarak kuda-kuda})^2 \\ &= 1/8 \times 0 \times 6 \text{ m} \\ &= 0 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{uy} &= 1/8 \times W_{ty} \times (\text{jarak kuda-kuda})^2 \\ &= 1/8 \times -0,76 \times 6 \\ &= -0,57 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ux} &= 1/8 \times W_{hx} \times (\text{jarak kuda-kuda})^2 \\ &= 1/8 \times 0 \times 6 \text{ m} \\ &= 0 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{uy} &= 1/8 \times W_{hy} \times (\text{jarak kuda-kuda})^2 \\ &= 1/8 \times -1,54 \times 6 \text{ m} \\ &= -1,16 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Data Properties



Gambar 4.9 Data Properties Gording

Jenis baja ASTM A36/36M

Tegangan putus minimum (f_u) = 400 MPa

Tegangan leleh minimum (f_y) = 250 MPa

Modulus Elastisitas (E) = 200.000 MPa

A = 150 mm

B = 75 mm

t_w = 9 mm

t_f = 12,5 mm

A_g = 30,59 cm² = 3059 mm²

I_x = 1050 cm⁴ = 1,05 x 10⁷ mm⁴

I_y = 147 cm⁴ = 1470000 mm⁴

i_x = 5,86 cm = 58,6 mm

i_y = 2,19 cm = 21,9 mm

Z_x = 140 cm³ = 140000 mm³

Z_y = 28,30 cm³ = 28300 mm³

$$L = 6000 \text{ mm}$$

4. Nilai Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= f_y \times Z_x \\ &= 250 \times 140000 \\ &= 35 \times 10^6 \text{ N.mm} \\ &= 35 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

5. Kontrol Terhadap Lentur

$M_u = 6,85 \text{ kN}$ (merupakan gabungan dari Momen – Momen yang terjadi pada setiap pembebanan yang diambil momen terbesar tiap jenis beban) dengan syarat $\frac{M_u}{\phi M_n} < 1,0$, sehingga didapatkan analisa perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\phi M_n} &< 1,0 \\ \frac{6,85}{0,9 \times 35} &< 1,0 \\ 0,2 &< 1,0 \text{ [AMAN]} \end{aligned}$$

6. Kontrol Terhadap Tekuk Lokal

Syarat kontrol terhadap tekuk lokal profil baja dinyatakan aman ketika memenuhi syarat $M_u < \phi M_n$, sehingga didapatkan analisa perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_u &< \phi M_n \\ 6,85 \text{ kN} &< 0,9 \cdot 35 \\ 6,85 \text{ kN} &< 31,5 \text{ kN [AMAN]} \end{aligned}$$

7. Kontrol Terhadap Lendutan

$$\begin{aligned} f_{ijin} &= 1/360 \times \text{Jarak kuda – kuda} \\ &= 1/360 \times 6000 \\ &= 16,6 \text{ mm} \\ &= 0,016 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \frac{5 \times q \times x \times (\frac{S}{2})^4}{384 \times E \times I_y} + \frac{P \times x \times (\frac{S}{2})^3}{48 \times E \times I_y} \\ f &= \frac{5 \times 0,056 \times (\frac{6}{2})^4}{384 \times 200 \times 147} + \frac{0,166 \times (\frac{6}{2})^3}{48 \times 200 \times 147} \\ &= 1,28 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 1,2 \times 10^{-6} \text{ mm} \end{aligned}$$

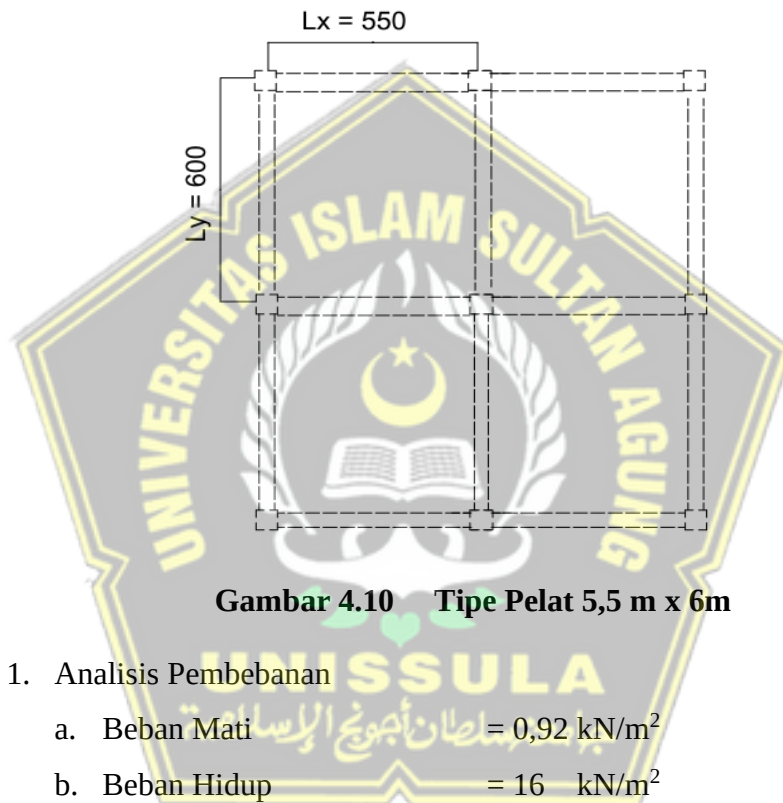
Syarat kontrol terhadap lendutan pada profil baja memiliki syarat bahwa $f < f_{ijin}$ maka dinyatakan aman untuk profil baja digunakan sebagai gording pada perencanaan gudang ini, sehingga berdasarkan perhitungan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$f < f_{ijin}$$

$$1,2 \times 10^{-6} < 0,016 \quad [\text{OK}]$$

4.4.2 Perencanaan Pelat

Pelat Lantai Tipe 1 (5,5 m x 6 m)



Gambar 4.10 Tipe Pelat 5,5 m x 6m

1. Analisis Pembebanan
 - a. Beban Mati $= 0,92 \text{ kN/m}^2$
 - b. Beban Hidup $= 16 \text{ kN/m}^2$
 - c. Kombinasi Pembebanan $= 1,2 D + 1,6 L$
 $= 26,707 \text{ kN/m}^2$

2. Penentuan Nilai Momen

$$L_x = 5,5 \text{ m}$$

$$L_y = 6 \text{ m}$$

$$\beta = L_y/L_x = 1,090 \text{ m}$$

$$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef} = 20,19 \text{ kN.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef} = 20,19 \text{ kN.m}$$

$$M_{tx} = (-0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef}) = 41,20 \text{ kN.m}$$

$$M_{ty} = (-0,001 \times W_u \times L \times^2 \times \text{Koef}) = 41,20 \text{ kN.m}$$

3. Desain Penulangan Pelat

$$\text{Mutu Baja Tulangan, } f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Beton, } f'_c = 41,5 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal Pelat, } h = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Selimut Beton, } p = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan yang digunakan, } D = D-25$$

$$\text{Tinggi Efektif Arah X, } d_x = h - p - D/2 = 177,5 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Efektif Arah Y, } d_y = h - p - D - D/2 = 152,5 \text{ mm}$$

4. Batas – Batas Rasio Tulangan

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,11$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,08$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y = 0,0058$$

5. Penulangan Pelat Lantai Arah X

a. Mencari Rasio Tulangan

Lapangan X

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 0,71$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right] = 0,0029$$

$$\rho > \rho_{min}, \text{ maka } \rho \text{ yang digunakan adalah } 0,0029$$

Tumpuan X

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 1,45$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right] = 0,0062$$

$$\rho > \rho_{min}, \text{ maka } \rho \text{ yang digunakan adalah } 0,0062$$

b. Cek Tulangan yang didesain

Lapangan X

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_x = 532,14 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and eror* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\begin{aligned} A_{spakai} &> A_{smin} \\ 4906,25 &> 532,14 \text{ [OK]} \end{aligned}$$

Tumpuan X

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_x = 1097,74 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and eror* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$\begin{aligned} A_{spakai} &> A_{smin} \\ 4906,25 &> 1097,74 \text{ [OK]} \end{aligned}$$

c. Nilai Regangan dan Faktor Reduksi

Lapangan X

$$\begin{aligned} a &= A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b) \\ &= 33,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / 0,705 \\ &= 47,34 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= ((100 - c) / c) 0,03 \\ &= 0,033\end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\begin{aligned}\epsilon_s &> 0,005 \\ 0,033 &> 0,005 \text{ [OK]} \\ \emptyset &= 0,9\end{aligned}$$

Tumpuan X

$$\begin{aligned}a &= A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b) \\ &= 33,38 \text{ mm} \\ c &= a / 0,705 \\ &= 47,34 \\ \epsilon_s &= ((100 - c) / c) 0,03 \\ &= 0,033\end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\begin{aligned}\epsilon_s &> 0,005 \\ 0,033 &> 0,005 \text{ [OK]} \\ \emptyset &= 0,9\end{aligned}$$

d. Momen Nominal (Mn) Arah X

Lapangan X

$$\begin{aligned}M_n &= A_{spakai} \times f_x \times (d_x - a) \times 10^{-6} \\ &= 189,35 \text{ kN.m} \\ \emptyset M_n &= 170,41 \text{ kN.m} > M_{tx} \\ &= 170,41 \text{ kN.m} > 20,19 \text{ kN.m [OK]}\end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai

$\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

Tumpuan X

$$\begin{aligned} M_n &= A_{s_{pakai}} \times f_x \times (d_x - a) \times 10^{-6} \\ &= 189,35 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 170,41 \text{ kN.m} > M_{tx} \\ &= 170,41 \text{ kN.m} > 41,20 \text{ kN.m [OK]} \end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

e. Kebutuhan Tulangan Arah X

Lapangan X

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,250 / 490.625 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

Tumpuan X

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,250 / 490.625 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

6. Penulangan Pelat Lantai Arah Y

a. Mencari Rasio Tulangan

Lapangan Y

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 1,42$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right] \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

$$\rho > \rho_{min}, \text{ maka } \rho \text{ yang digunakan adalah } 0,006$$

Tumpuan Y

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 1,96$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right]$$

$$= 0,0084$$

$\rho > \rho_{min}$, maka ρ yang digunakan adalah 0,0084

b. Cek Tulangan yang didesain

Lapangan Y

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_y = 922,62 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and error* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$A_{spakai} > A_{smin}$$

$$4906,25 > 922,62 \text{ [OK]}$$

Tumpuan Y

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_y = 889,58 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and error* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$4906,25 > 889,58$$

$$A_{spakai} > A_{smin} \text{ [OK]}$$

c. Nilai Regangan dan Faktor Reduksi

Lapangan Y

$$a = A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$= 33,380 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 c &= a / 0,705 \\
 &= 47,348 \\
 \epsilon_s &= ((100 - c) / c) 0,03 \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &> 0,005 \\
 0,033 &> 0,005 \text{ [OK]} \\
 \emptyset &= 0,9
 \end{aligned}$$

Tumpuan Y

$$\begin{aligned}
 a &= A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b) \\
 &= 33,380 \text{ mm} \\
 c &= a / 0,705 \\
 &= 47,348 \\
 \epsilon_s &= ((100 - c) / c) 0,03 \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &> 0,005 \\
 0,033 &> 0,005 \text{ [OK]} \\
 \emptyset &= 0,9
 \end{aligned}$$

d. Momen Nominal (Mn) Arah Y

Lapangan Y

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_{spakai} \times f_x \times (d_x - a) \times 10^{-6} \\
 &= 159,91 \text{ kN.m} \\
 \emptyset M_n &= 143,92 \text{ kN.m} > M_{ty} \\
 &= 143,92 \text{ kN.m} > 20,19 \text{ kN.m [OK]}
 \end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

Tumpuan Y

$$M_n = A_{spakai} \times f_x \times (d_x - a) \times 10^{-6}$$

$$= 159,91 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 143,92 \text{ kN.m} > M_{ty}$$

$$= 143,92 \text{ kN.m} > 41,20 \text{ kN.m [OK]}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

e. Kebutuhan Tulangan Arah Y

Lapangan Y

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,250 / 490,625 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

Tumpuan Y

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,250 / 490,625 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

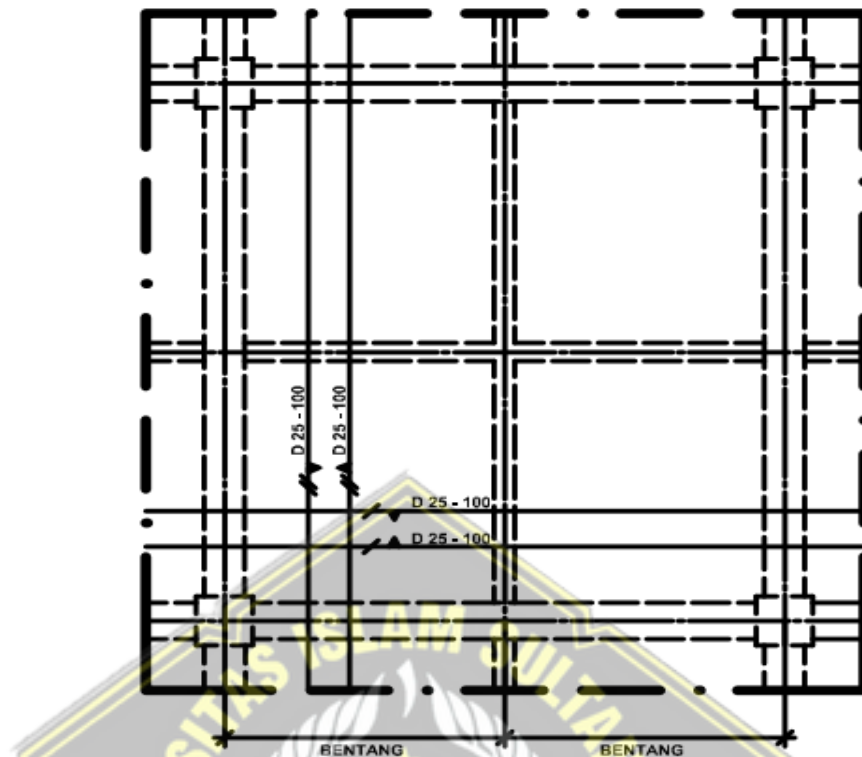
7. Syarat Jarak Antar Tulangan

$$S_x = 100 \text{ mm} \leq 3 \text{ tebal pelat} = 600 \text{ mm}$$

$$= 100 \leq 450 \text{ mm [OK]}$$

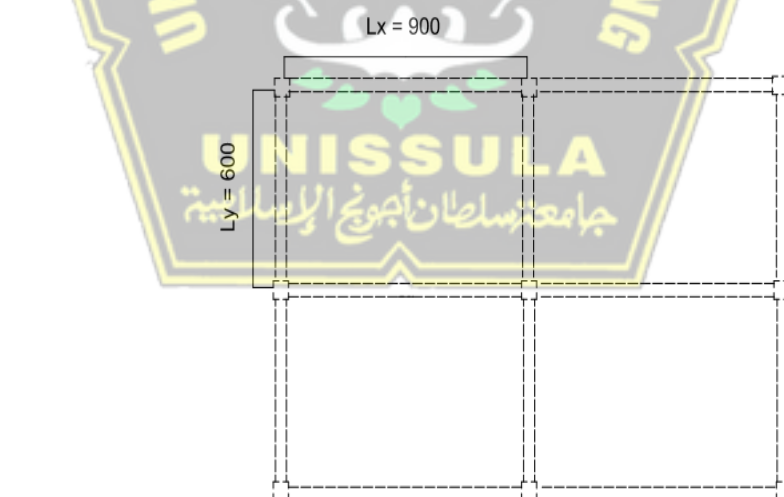
$$S_y = 100 \text{ mm} \leq 3 \text{ tebal pelat} = 600 \text{ mm}$$

$$= 100 \leq 450 \text{ mm [OK]}$$



Gambar 4.11 Sketsa Penulangan Pelat Lantai

Pelat Lantai Tipe 2 (9 m x 6 m)



Gambar 4.12 Tipe Pelat 9 m x 6 m

1. Analisis Pembebanan

- a. Beban Mati $= 0,92 \text{ kN/m}^2$
- b. Beban Hidup $= 16 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{c. Kombinasi Pembebanan} &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 26,70 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Penentuan Nilai Momen

$$L_x = 59 \text{ m}$$

$$L_y = 6 \text{ m}$$

$$\beta = L_y/L_x = 0,667 \text{ m}$$

$$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef} = 54,08 \text{ kN.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef} = 54,08 \text{ kN.m}$$

$$M_{tx} = (-0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef}) = 110,3 \text{ kN.m}$$

$$M_{ty} = (-0,001 \times W_u \times L_x^2 \times \text{Koef}) = 110,3 \text{ kN.m}$$

3. Desain Penulangan Pelat

$$\text{Mutu Baja Tulangan, } f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Beton, } f'_c = 41,5 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal Pelat, } h = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Selimut Beton, } p = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan yang digunakan, } D = D-25$$

$$\text{Tinggi Efektif Arah X, } d_x = h - p - D/2 = 177,5 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Efektif Arah Y, } d_y = h - p - D - D/2 = 152,5 \text{ mm}$$

4. Batas – Batas Rasio Tulangan

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,069$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0524$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y = 0,00583$$

5. Penulangan Pelat Lantai Arah X

a. Mencari Rasio Tulangan

Lapangan X

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 1,90$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right]$$

$$= 0,0081$$

$$\rho > \rho_{min}, \text{ maka } \rho \text{ yang digunakan adalah } 0,0081$$

Tumpuan X

$$m = f_y / (0,85 \times f'c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 3,89$$

$$P = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right]$$
$$= 0,017$$

$\rho > \rho_{min}$, maka ρ yang digunakan adalah 0,017

b. Cek Tulangan yang didesain

Lapangan X

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_x = 1437,75 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and eror* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$A_{spakai} > A_{smin}$$
$$4906,25 > 1437,75 \text{ [OK]}$$

Tumpuan X

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_x = 3056,64 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and eror* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$A_{spakai} > A_{smin}$$
$$4906,25 > 3056,64 \text{ [OK]}$$

c. Nilai Regangan dan Faktor Reduksi

Lapangan X

$$a = A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$= 33,38 \text{ mm}$$

$$c = a / 0,705$$

$$= 47,34$$

$$\epsilon_s = ((100 - c) / c) 0,03$$

$$= 0,033$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\epsilon_s > 0,005$$

$$0,033 > 0,005 \text{ [OK]}$$

$$\emptyset = 0,9$$

Tumpuan X

$$a = A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$= 33,38 \text{ mm}$$

$$c = a / 0,705$$

$$= 47,34$$

$$\epsilon_s = ((100 - c) / c) 0,03$$

$$= 0,033$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\epsilon_s > 0,005$$

$$0,033 > 0,005 \text{ [OK]}$$

$$\emptyset = 0,9$$

d. Momen Nominal (Mn) Arah X

Lapangan X

$$M_n = A_{spakai} \times f_x \times (d_x - a) \times 10^{-6}$$

$$= 189,35 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 170,41 \text{ kN.m} > M_{tx}$$

$$= 170,41 \text{ kN.m} > 54,08 \text{ kN.m [OK]}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

Tumpuan X

$$M_n = A_{s_{pakai}} \times f_x \times (d_x - a) \times 10^{-6}$$

$$= 189,353 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 170,41 \text{ kN.m} > M_{tx}$$

$$= 170,41 \text{ kN.m} > 110,32 \text{ kN.m [OK]}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

e. Kebutuhan Tulangan Arah X

Lapangan X

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,25 / 490,62 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000 / 10 = 100 \text{ mm}$$

Tumpuan X

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,25 / 490,62 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000 / 10 = 100 \text{ mm}$$

6. Penulangan Pelat Lantai Arah Y

a. Mencari Rasio Tulangan

Lapangan Y

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$R_n = M_u / (\phi \times b \times d^2) = 2,58$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m Rn}{f_y}} \right]$$

$$= 0,0011$$

$\rho > \rho_{min}$, maka ρ yang digunakan adalah 0,0011

Tumpuan Y

$$m = f_y / (0,85 \times f'c) = 6,80$$

Lebar pelat (b) untuk perhitungan diambil per 1000 mm

$$Rn = Mu / (\phi \times b \times d^2) = 5,27$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 m Rn}{f_y}} \right]$$

$$= 0,023$$

$\rho > \rho_{min}$, maka ρ yang digunakan adalah 0,0058

b. Cek Tulangan yang didesain

Lapangan Y

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_y = 1677,5 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and eror* dapat digunakan sebagai tulangan pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$A_{spakai} > A_{smin}$$

$$4906,25 > 1677,5 \text{ [OK]}$$

Tumpuan Y

$$A_{smin} = \rho_{min} \times b \times d_y = 889,58 \text{ mm}^2$$

Trial menggunakan D25-100

$$A_{spakai} = \left[\frac{1}{4} \pi D^2 \right] \frac{\text{lebar pelat}}{\text{jarak}} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

Pada analisa perhitungan tulangan pelat dikontrol sesuai syarat bahwa $A_{spakai} > A_{smin}$ yang menyatakan bahwa tulangan yang direncanakan atau *try and eror* dapat digunakan sebagai tulangan

pada perencanaan pelat gudang ini, sehingga berdasarkan analisa perhitungan di atas didapatkan:

$$4906,25 > 889,58$$

$$A_{spakai} > A_{smin} \text{ [OK]}$$

c. Nilai Regangan dan Faktor Reduksi

Lapangan Y

$$a = A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$= 33,381 \text{ mm}$$

$$c = a / 0,705$$

$$= 47,34$$

$$\epsilon_s = ((100 - c) / c) 0,03$$

$$= 0,033$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\epsilon_s > 0,005$$

$$0,033 > 0,005 \text{ [OK]}$$

$$\phi = 0,9$$

Tumpuan Y

$$a = A_{spakai} \times f_y / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$= 33,38 \text{ mm}$$

$$c = a / 0,705$$

$$= 47,34$$

$$\epsilon_s = ((100 - c) / c) 0,03$$

$$= 0,033$$

Pada analisa perhitungan nilai regangan dan faktor reduksi disyaratkan $\epsilon_s > 0,005$ dengan hasil aman digunakan dalam perencanaan pelat pada gudang ini, berdasarkan analisa perhitungan didapatkan:

$$\epsilon_s > 0,005$$

$$0,033 > 0,005 \text{ [OK]}$$

$$\phi = 0,9$$

d. Momen Nominal (Mn) Arah Y

Lapangan Y

$$\begin{aligned} M_n &= A_{spakai} \times f_x \times (d_y - a) \times 10^{-6} \\ &= 159,91 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 143,92 \text{ kN.m} > M_{ty} \\ &= 143,92 \text{ kN.m} > 54,08 \text{ kN.m [OK]} \end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

Tumpuan Y

$$\begin{aligned} M_n &= A_{spakai} \times f_x \times (d_y - a) \times 10^{-6} \\ &= 159,91 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 143,92 \text{ kN.m} > M_{ty} \\ &= 143,92 \text{ kN.m} > 110,32 \text{ kN.m [OK]} \end{aligned}$$

Pada analisa perhitungan di atas merupakan perhitungan kontrol momen nominal pada perencanaan pelat yang mensyaratkan nilai $\phi M_n > M_{tx}$ dan menghasilkan nilai aman sehingga perencanaan dapat diterapkan pada pelat gudang baja ini.

e. Kebutuhan Tulangan Arah X

Lapangan Y

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,25 / 490,62 = 10 \text{ tulangan}$$

$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

Tumpuan Y

Dipakai tulangan D25

$$n_{tulangan} = A_s / A_{D25} = 4906,25 / 490,62 = 10 \text{ tulangan}$$

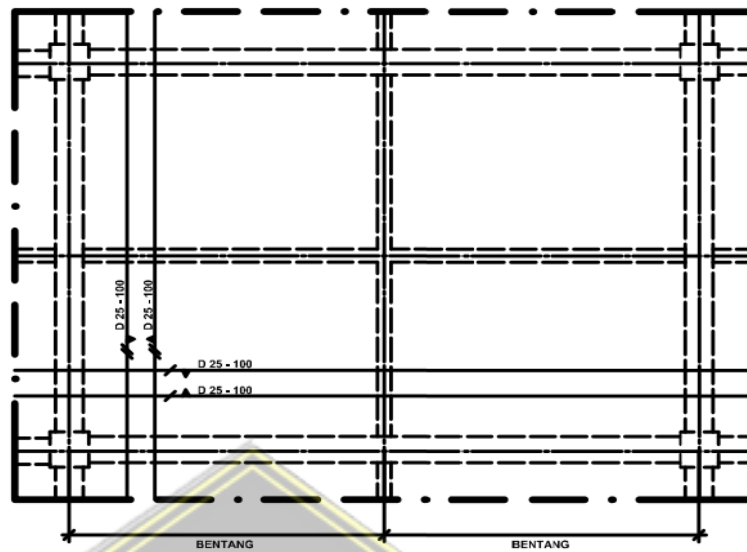
$$S_{perlu} = b / n_{tulangan} = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

7. Syarat Jarak Antar Tulangan

$$\begin{aligned} S_x &= 100 \text{ mm} \leq 3 \text{ tebal pelat} = 600 \text{ mm} \\ &= 100 \leq 450 \text{ mm [OK]} \end{aligned}$$

$$S_y = 100 \text{ mm} \leq 3 \text{ tebal pelat} = 600 \text{ mm}$$

$$= 100 \leq 450 \text{ mm [OK]}$$

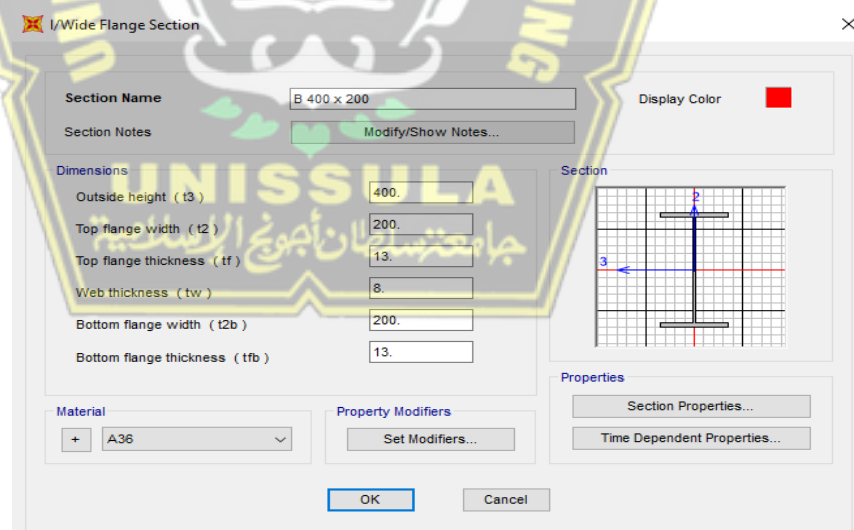


Gambar 4.13 Sketsa Penulangan Pelat Lantai

4.4.3 Perencanaan Balok

1. Balok Utama Baja (I/WF)

a. Data Properties



Gambar 4.14 Data Properties Balok

$$A = 400 \text{ mm}$$

$$B = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_f &= 13 \text{ mm} \\
f_y &= 240 \text{ MPa} \\
f_u &= 400 \text{ MPa} \\
E_{\text{baja}} &= 200000 \text{ MPa} \\
A_g &= 84,12 \text{ cm}^2 = 8412 \text{ mm}^2 \\
I_x &= 23700 \text{ cm}^4 = 2,3 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
I_y &= 1740 \text{ cm}^4 = 1,7 \times 10^7 \text{ mm}^4 \\
i_x &= 16,79 \text{ cm} = 167,9 \text{ mm} \\
i_y &= 4,55 \text{ cm} = 45,5 \text{ mm} \\
S_x &= 1185 \text{ cm}^3 = 1,1 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\
S_y &= 174 \text{ cm}^3 = 174000 \text{ mm}^3 \\
Z_x &= 1286 \text{ cm}^3 = 1236000 \text{ mm}^3 \\
Z_y &= 266 \text{ cm}^3 = 266000 \text{ mm}^3 \\
J &= \frac{1}{3} \times (2t_f^3 \times b + t_w^3 \times h_0) \\
&= \frac{1}{3} \times ((2 \times 13^3 \times 200) + (8^3 \times (300 - 13))) \\
&= \frac{1}{3} \times (878800 + 146944) \\
&= 341915 \text{ mm}^4 \\
L &= 5500 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Perhitungan perencanaan balok disesuaikan dengan SNI 1729:2020 yang terletak pada *frame* 4383 dengan menggunakan *output* SAP2000v20.

b. Klasifikasi Penampang (Tabel B4.1a SNI 1729:2020)

Elemen Sayap

$$\begin{aligned}
\lambda &= b/t \\
&= 100/13 \\
&= 7,69 \\
\lambda_p &= 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
&= 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
&= 10,748 \\
\lambda_r &= 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}}
\end{aligned}$$

$$= 1,0 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$= 28,284$$

Karena $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$ maka profil sayap tergolong penampang KOMPAK

Elemen Badan

$$\lambda = h/t_w$$

$$= 374/8$$

$$= 46,75$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$= 106,348$$

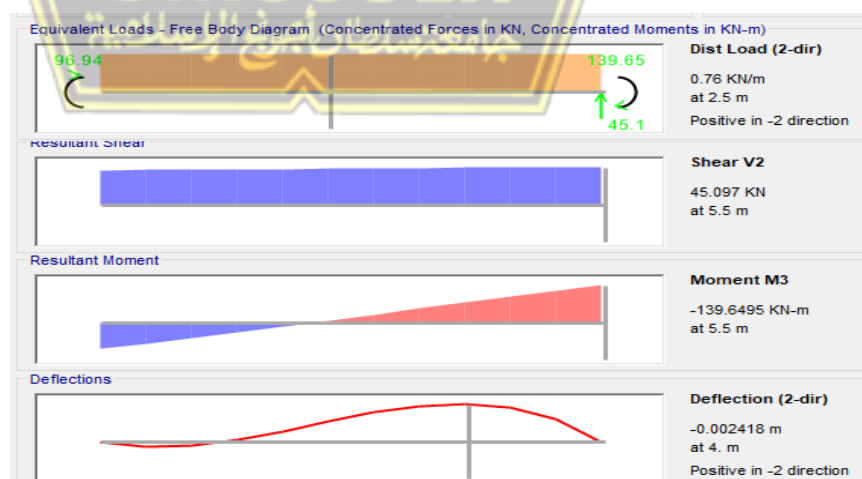
$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 5,70 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$= 161,220$$

Karena $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$ maka profil sayap tergolong penampang KOMPAK

c. Kondisi Keadaan Batas



Gambar 4.15 Output SAP2000v20 M_{max}
(Sumber: Hasil Analisa Output SAP2000v20, 2021)

Kondisi Leleh (Yield)

Berdasarkan persamaan (2.43), maka:

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x$$

$$M_n = M_p = 250 \times 1236000 = 309000000 \text{ N.mm} = 309 \text{ kN.m}$$

Kondisi Lateral Torsional Buckling (LTB)/Tekuk Torsi Lateral

Berdasarkan persamaan (2.51), maka:

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \times 45,5 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2265 \text{ mm} = 2,2 \text{ m}$$

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

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{I_y \times C_w}{S_x}}, \text{ dimana } C_w = \frac{I_y \times h_0^2}{4} = \frac{1,74 \times 10^7 \times 374^2}{4} = 6,08 \times 10^6 \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{1,74 \times 10^7 \times 6,08 \times 10^6}{1,185 \times 10^6}} = 9448,59 \text{ mm}^2$$

$$r_{ts} = 97,20 \text{ mm}$$

$c = 1$ untuk profil I simetris ganda

$$J = 341915 \text{ mm}^4$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\frac{J \times c}{(S_x \times h_0)} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{(S_x \times h_0)}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}}$$
$$= 12131 \text{ mm} = 12,131 \text{ m}$$

$$L_b = 2,75$$

Karena $L_p < L_b < L_r$

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

Maka, nilai C_b didapatkan berdasarkan persamaan (2.46)

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

$$M_A = 39,92 \text{ kN.m}$$

$$M_B = 18,52 \text{ kN.m}$$

$$M_C = 78,37 \text{ kN.m}$$

$$M_{maks} = M_u = 139 \text{ kN.m}$$

$$C_b = 2,2$$

$$M_n = 667 \text{ kN.m}$$

$$M_{n1} = 309 \text{ kN.m (Kondisi Yield)}$$

$$M_{n2} = 667 \text{ kN.m (Kondisi LTB)}$$

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x$$

$$M_{\max} = M_u = 139649 \text{ kN.mm} = 139 \text{ kN.m}$$

Sehingga $\phi M_n \geq M_u$, sesuai persamaan (2.37)

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 667 \geq 139$$

$$600,3 \text{ kN.m} \geq 139 \text{ kN.m [OK]}$$

d. *Displasment*



Gambar 4.16 Output SAP2000v20
(Sumber: Hasil Analisa Output SAP2000v20, 2021)

Kontrol lendutan yang terjadi agar tidak melampaui batas dari lendutan izin, jika lendutan akibat beban luar < dari lendutan izin.

$$\text{Lendutan Ijin} = L/360 = 5,5/360 = 0,015 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan Beban Luar} = 0,002 \text{ mm}$$

Sehingga $\text{Lendutan Beban Luar} < \text{Lendutan Ijin}$

$$0,002 < 0,015 \text{ [OK]}$$

e. Analisis Kuat Geser

Mengacu pada persamaan (2.56), $V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$ dengan nilai C_v ditentukan berdasarkan persyaratan h/t_w

$$h = 400 - (2 \times 13) - (2 \times 8) = 358 \text{ mm}$$

$$h / t_w = 358/13 = 27,53$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63,35$$

Karena $h / t_w < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ maka $\phi_v = 1$ dan $C_v = 1$

$$A_w = d \times t_w = 358 \times 13 = 4654 \text{ mm}^2$$

Sehingga

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$= 698100 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1 \times 698100 = 698100 \text{ N} = 698,1 \text{ kN}$$

Karena $\phi V_n \geq V_u$, sesuai persamaan (2.55) maka profil mampu memikul beban geser yang ada [OK]

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB3A)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
5.500	97.808	-139.680	0.050	45.097	-0.010	0.001
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)						
D/C Ratio:	1.163 = 0.027 + 1.136 + 0.000					
	= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Minor Bending	5.636	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ltbb	Kltbb	Cb			
LTB	5.636	1.000	4.342			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	97.808	28.120	1843.200			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
Major Moment	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Minor Moment	-139.680	122.962	289.339	28.325		
	0.050	59.846				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
Major Shear	Force	Capacity	Ratio	Check		
Minor Shear	45.097	432.000	0.104	OK		
	0.010	702.000	1.434E-05	OK		
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS						
	VMajor	VMajor				
Major (V2)	Left	Right				
	40.935	45.097				

Gambar 4.17 Output SAP2000v20
(Sumber: Hasil Analisa Output SAP2000v20, 2021)

4.4.4 Perencanaan Kolom

1. Kolom Baja (I/WF)

a. Data Properties

I/Wide Flange Section

Section Name: K 400 x400

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions:

- Outside height (t3): 400.
- Top flange width (t2): 400.
- Top flange thickness (tf): 21.
- Web thickness (tw): 13.
- Bottom flange width (t2b): 400.
- Bottom flange thickness (tfb): 21.

Material: A36

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section:

Properties: Section Properties..., Time Dependent Properties...

OK Cancel

Gambar 4.18 Data Properties Kolom

$$\begin{aligned}
A &= 400 \text{ mm} \\
B &= 400 \text{ mm} \\
t_w &= 13 \text{ mm} \\
t_f &= 21 \text{ mm} \\
f_y &= 240 \text{ MPa} \\
f_u &= 400 \text{ MPa} \\
E_{\text{baja}} &= 200000 \text{ MPa} \\
A_g &= 218,70 \text{ cm}^2 = 21870 \text{ mm}^2 \\
I_x &= 66600 \text{ cm}^4 = 6,6 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
I_y &= 22400 \text{ cm}^4 = 2,2 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
i_x &= 17,45 \text{ cm} = 174,5 \text{ mm} \\
i_y &= 10,12 \text{ cm} = 101,2 \text{ mm} \\
S_x &= 3330 \text{ cm}^3 = 3,3 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\
S_y &= 120 \text{ cm}^3 = 120000 \text{ mm}^3 \\
Z_x &= 3600 \text{ cm}^3 = 3600000 \text{ mm}^3 \\
Z_y &= 1695 \text{ cm}^3 = 1695000 \text{ mm}^3 \\
J &= \frac{1}{3} \times (2t_f^3 \times b + t_w^3 \times h_0) \\
&= \frac{1}{3} \times ((2 \times 21^3 \times 400) + (13^3 \times (400 - 21))) \\
&= \frac{1}{3} \times (7408800 + 832663) \\
&= 2747154,3 \text{ mm}^4 \\
r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{66600}{218,70}} = 17,45 \text{ cm} = 174,5 \text{ mm} \\
r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{22400}{218,70}} = 10,12 \text{ cm} = 101,2 \text{ mm} \\
C_w &= I_y \times h_0^2 / 4 = 7,9 \times 10^{12} \text{ mm}^6 = 7,9 \times 10^6 \text{ cm}^6 \\
L &= 3500 \text{ mm} \\
I_x + I_y &= 880000000 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

Perhitungan perencanaan kolom disesuaikan dengan SNI 1729:2020 yang terletak pada *frame* 4404 dengan menggunakan *output* SAP2000v20.

b. Klasifikasi Penampang (Tabel B4.Ia. SNI 1729:2020)

Elemen Sayap

$$\lambda = b/t$$

$$\begin{aligned}
&= 200/21 \\
&= 9,52 \\
\lambda_r &= 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
&= 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
&= 15,84
\end{aligned}$$

Karena $\lambda < \lambda_r$ maka termasuk profil NonLangsing

Elemen Badan

$$\begin{aligned}
\lambda &= b/t \\
&= 358/13 \\
&= 27,53 \\
\lambda_r &= 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
&= 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
&= 42,14
\end{aligned}$$

Karena $\lambda < \lambda_r$ maka termasuk profil NonLangsing

c. Tegangan Kritis Tekuk – Lentur (E3)

Nilai tegangan kritis (F_{cr}) ditentukan dengan persamaan (2.74) sebagai berikut:

$$L_c = K \times L = 0,65 \times 3500 = 2275 \text{ mm}$$

$$L_c/r = 2275/101,2 = 22,48$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 133,22$$

$L_c/r \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, maka akan terjadi [Tekuk Inelastis]

Sehingga,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = \frac{3,14^2 200000}{\left(\frac{2275}{101,2}\right)^2} = 3902$$

$$F_{cr} = [0,658^{f_y}] f_y = 243,38 \text{ MPa}$$

d. Tegangan Kritis Tekuk Puntir (E4)

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} = 602,27$$

$$F_{cr} = \left[0,658^{\frac{f_y}{f_e}}\right] f_y = 210,13 \text{ MPa}$$

e. Tekan Nominal

Berdasarkan persamaan (2.77), maka:

$$P_n = F_{cr} \times A$$

$$P_n = 210,13 \times 21870$$

$$= 4595543,1 \text{ N}$$

$$= 4595,5 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi \times P_n$$

$$= 0,9 \times 4595,5$$

$$= 4135,95 \text{ kN}$$

f. Kuat Lentur Penampang pada Kondisi Plastis (Maksimum)

Berdasarkan persamaan (2.80), maka:

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x$$

$$M_n = M_p = 250 \times 3600000 = 9 \times 10^8 \text{ N mm} = 900 \text{ kN.m}$$

g. Klasifikasi Profil

$$\begin{aligned} \lambda_{pf} &= 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 10,75 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} b/t_f = 9,5 < \lambda_{pf}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{rf} &= 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,0 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 28,28 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ maka termasuk profil KOMPAK

$$\begin{aligned} \lambda_{pw} &= 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 106,35 \end{aligned}$$

$$h/t_w = 358/13 = 27,54$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rw} &= 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 5,70 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 161,22\end{aligned}$$

Karena $\lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ maka termasuk profil KOMPAK

h. Kekuatan Lentur Nominal

Leleh

Berdasarkan persamaan (2.81), maka:

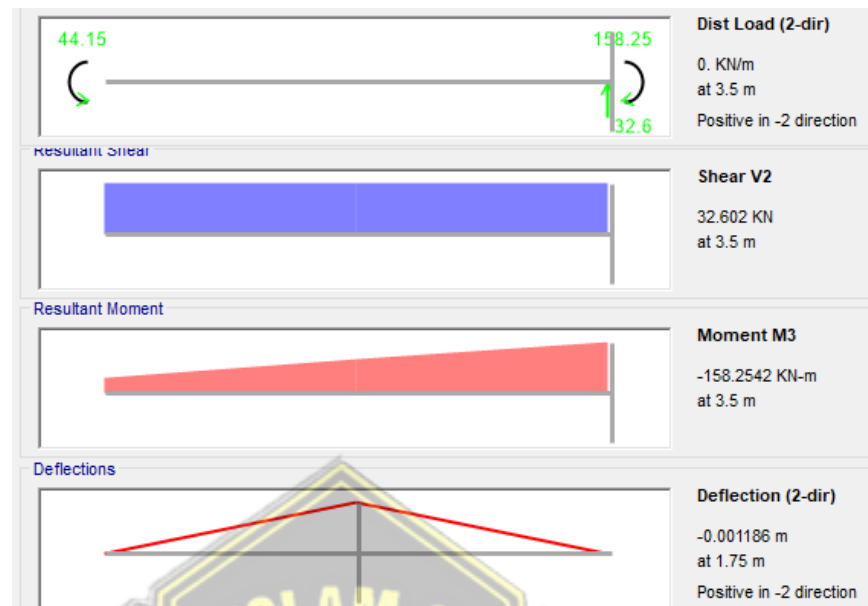
$$M_n = M_p = 250 \times 3600000 = 9 \times 10^8 \text{ N mm} = 900 \text{ kN.m}$$

Tekuk Torsi – Lateral

Berdasarkan persamaan (2.82), maka:

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \times r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 101,2 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 5037,77 \text{ mm} = 5,03 \text{ m} \\ L_r &= 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\frac{J \times c}{(S_x \times h_0)} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{(S_x \times h_0)}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}} \\ r_{ts}^2 &= \sqrt{\frac{I_y \cdot C_w}{S_x}} \\ r_{ts}^2 &= \sqrt{\frac{2,2 \times 10^8 \times 7,9 \times 10^6}{3,3 \times 10^6}} = 22949,2 \text{ mm}^2 \\ r_{ts} &= 151,48 \text{ mm} \\ L_r &= 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\frac{J \times c}{(S_x \times h_0)} + \sqrt{\left(\frac{J \times c}{(S_x \times h_0)}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}} \\ L_r &= 25318,8 \text{ mm} = 25,3 \text{ m}\end{aligned}$$

i. Faktor C_b



Gambar 4. 19 Output SAP2000v20
(Sumber: Hasil Analisa Output SAP2000v20, 2021)

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

Sehingga nilai C_b berdasarkan persamaan (2.83), maka:

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

$$M_A = 72,67 \text{ kN.m}$$

$$M_B = 101,2 \text{ kN.m}$$

$$M_C = 129,7 \text{ kN.m}$$

$$M_{maks} = M_u = 158,25 \text{ kN.m}$$

$$C_b = 1,41$$

$$M_n = M_p = 250 \times 3600000 = 9 \times 10^8 \text{ N mm} = 900 \text{ kN.m}$$

Karena $L_b < L_p$ maka kondisi batas tidak diterapkan. Sehingga tidak terjadi *Lateral Torsional Buckling* (LTB)/Tekuk Torsi Lateral.

j. Kuat Lentur Balok

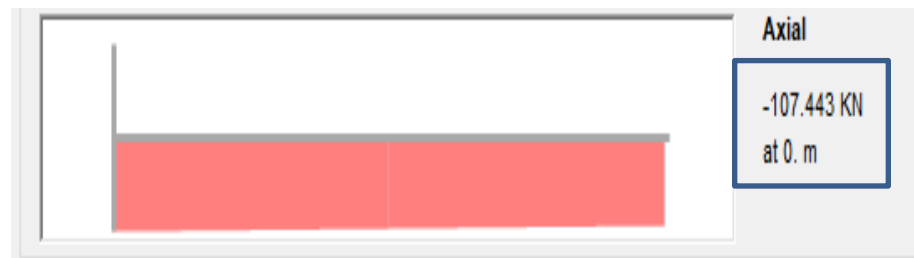
Sesuai persamaan (2.87), maka:

$$M_c = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 900$$

$$= 810 \text{ kN.m}$$

k. Batasan Pemikul Momen Lentur dan Aksial



Gambar 4. 20 Output SAP2000v20
(Sumber: Hasil Analisa Output SAP2000v20, 2021)

$$P_r = 107,4 \text{ kN}$$

$$P_c = 4135,95 \text{ kN}$$

$$M_{rx} = 158,25 \text{ kN.m}$$

$$M_{cx} = 810 \text{ kN.m}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{107,4}{4135,95}$$

$$= 0,025$$

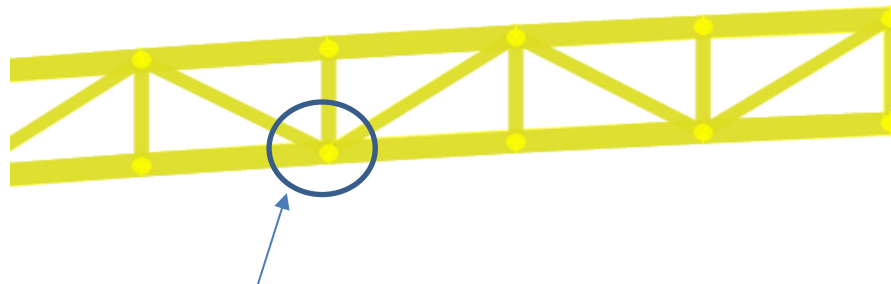
$$\text{Karena } \frac{P_r}{P_c} < 0,2 \text{ maka } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \text{ [OK]}$$

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1 Sambungan Pada Atap

a. Sambungan Las

Sambungan antara batang pada rangka busur akan menggunakan tipe las. Batang - batang yang akan disambungkan adalah batang sebagai mana berikut ini:



Gambar 4. 21 Batang dengan Sambungan Las

Batang sesuai **Gambar 4.18** merupakan bagian yang akan disambung menggunakan teknik sambungan las di mana pertemuan antara batang dengan pipa baja 4 in., dan batang pipa baja 2 in.,.

Pipa 4 in.

Diameter luar = 114,3 mm

Tebal = 6 mm

Pipa 2 in.

Diameter Luar = 60,5 mm

Tebal = 3,8 mm

Dari program SAP2000v20, P_u maksimum yang terjadi pada Pipa 2 in., adalah:

$P_u = 4275,67 \text{ N} = 4,275 \text{ kN} = 436 \text{ Kg}$

Las yang digunakan adalah Las E70xx (ksi)

Dimisalkan $t_e = 1 \text{ cm}$

Luas Las = Keliling Lingkaran x t_e

Pipa 4 in., $= \pi \times 11,43 \times 1 = 35,89 \text{ cm}^2$

Pipa 2 in., $= \pi \times 0,6 \times 1 = 2,04 \text{ cm}^2$

$\phi f_n = 0,75 \times 0,6 \times f_{u\text{las}}$
 $= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3$
 $= 2214,45 \text{ Kg/cm}^2$

Akibat P_u :

$f_h = P_u / A_{\text{pipa2}}''$
 $= 436 / 2,04$

$= 213,73 \text{ Kg/cm}^2$

$t_e = f_h / \phi f_n$

$= 0,0965 \text{ cm}$

Maka tebal las total:

$a = t_e / 0,7 = 0,13 \text{ cm} = 1,3 \text{ mm}$

Syarat tebal las adalah:

Tebal pelat paling tebal profil pipa 4 in., $t = 6 \text{ mm}$

Sehingga, didapatkan $a_{\min} = 3 \text{ mm}$ sesuai dengan Tabel di bawah ini (SNI 1729:2020). Sedangkan nilai $a_{\max} = t - 1,6 \text{ mm} = 6 - 1,6 = 4,4 \text{ mm}$.

$$A_{efmaks} = 1,41 \times \frac{4000}{70 \times 70,3} \times 3,8 = 4,3 \text{ mm}$$

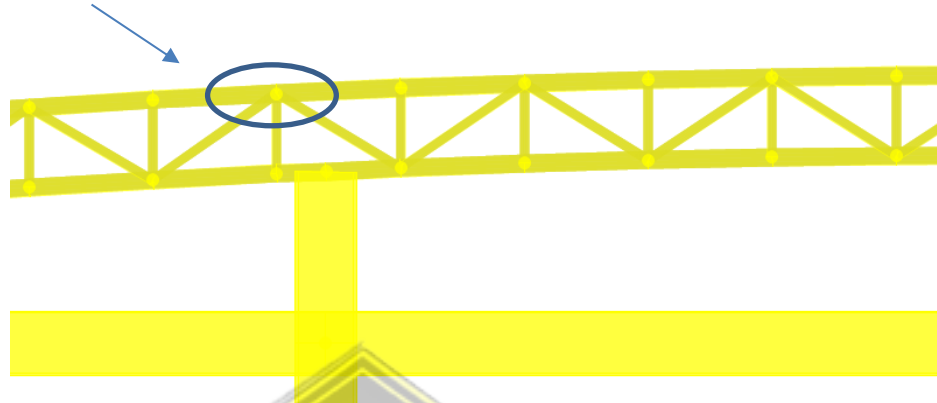
Tabel 4.14 Tabel Efektif Minimum dari Las Tumpul
Penetrasi-Joint-Sebagian

Tebal Material pada Bagian yang lebih Tipis yang Disambung, in., (mm)	Tenggorok Efektif Minimum, in., (mm)
Sampai dengan $\frac{1}{4}$ (6)	$\frac{1}{8}$ (3)
Lebih besar dari $\frac{1}{4}$ (6) sampai dengan $\frac{1}{2}$ (13)	$\frac{3}{16}$ (5)
Lebih besar dari $\frac{1}{2}$ (13) sampai dengan $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{1}{4}$ (6)
Lebih besar dari $\frac{3}{4}$ (19) sampai dengan $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{5}{16}$ (8)
Lebih besar dari $1\frac{1}{2}$ (38) sampai dengan $2\frac{1}{4}$ (57)	$\frac{3}{8}$ (10)
Lebih besar dari $2\frac{1}{4}$ (57) sampai dengan 6 (150)	$\frac{1}{2}$ (13)
Lebih besar dari 6 (150)	$\frac{5}{8}$ (16)
Lihat Tabel J2.1	

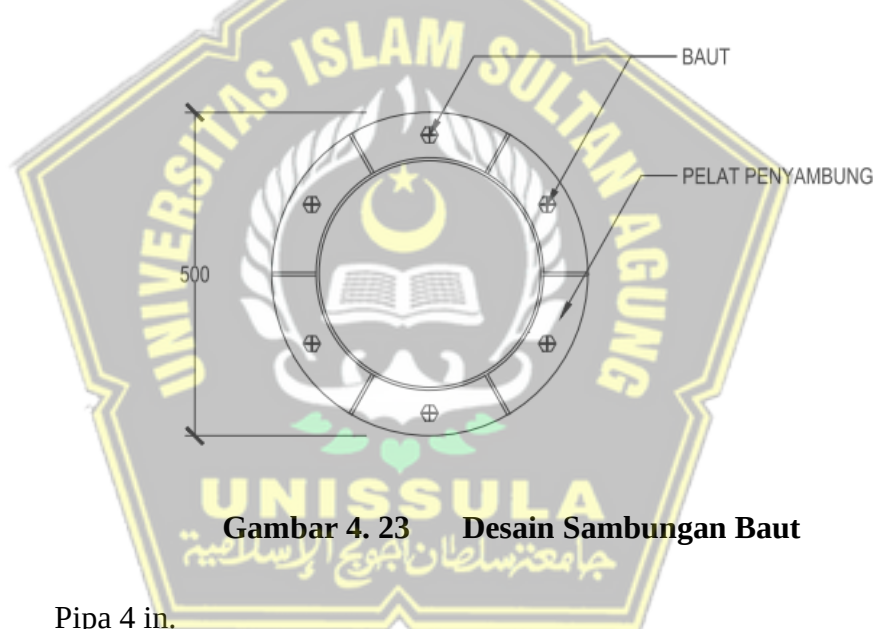
(Sumber: SNI 1729:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Sehingga berdasarkan syarat yang berlaku pada SNI 1729:2020 maka tebal las yang digunakan adalah $a = 3 \text{ mm}$.

b. Sambungan Baut



Gambar 4. 22 Batang dengan Sambungan Baut



Gambar 4. 23 Desain Sambungan Baut

Pipa 4 in.

Diameter luar = 114,3 mm

Tebal = 6 mm

ASTM 36M/A36, f_y = 240 MPa

f_u = 400 MPa

Spesifikasi pelat penyambung

ASTM 36M/A36, f_y = 240 MPa

f_u = 400 MPa

Tebal Pelat = 10 mm

Spesifikasi baut

Baut tipe tumpu

A325, f_y = 660 MPa

f_u = 830 MPa

Diameter baut = 15,875 mm²

Ab = 1,979 cm²

Pembuatan lubang baut disesuaikan dengan tabel dibawah ini:

Tabel 4.15 Dimensi Lubang Nominal, mm

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran Berlebih (Diameter)	Standar (Diameter)	Slot Panjang (Lebar x Panjang)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27 ^[a]	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥36	d + 3	d + 8	(d + 3) x (d + 10)	(d + 3) x 2,5 d
^[a] diameter lubang ini memungkinkan penggunaan dengan baut diameter 1 in				

(Sumber: SNI 1729:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Dari program SAP2000v20 didapatkan gaya yang bekerja pada batang yang akan disambung adalah:

P_u = 46837 Kg (Tarik)

P_u = 42675 Kg (Tekan)

V = 14051 Kg

Direncanakan baut berjumlah 6 buah

Ukuran pelat diameter 50 cm

Ditinjau gaya geser pada tengah penampang sambungan atau pipa

$$\begin{aligned}A_g &= A_{\text{pelat sambungan}} - A_{\text{pipa}} \\&= 50 \times 1 - 11,43 \times 1 \\&= 38,57 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_n &= A_g - A_{\text{perlemahan baut}} \\&= 38,57 - (2 \times 1,8 \times 1) \\&= 34,97 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_e &= 0,9 \times A_n \\&= 0,9 \times 34,97 \\&= 31,47 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Kontrol Sambungan Baut Memikul Beban Geser

Kontrol Kekuatan Pelat

Kuat Leleh

$$\begin{aligned}P_n &= \phi_{tp} \times A_g \times f_y \\&= 0,9 \times 38,57 \times 2400 \\&= 83311 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Kuat Putus

$$\begin{aligned}P_n &= \phi_{tp} \times A_e \times f_u \\&= 0,75 \times 31,47 \times 4000 \\&= 94410 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Kontrol Kekuatan Baut

Kuat Geser

$$\begin{aligned}V_d &= \phi_f \times r_1 \times F_{ub} \times A_b \times m \times \text{jumlah baut} \\&= 0,75 \times 0,4 \times 8300 \times 1,979 \times 1 \times 6 \\&= 29566 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}R_d &= \phi_f \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \times \text{jumlah baut} \\&= 0,75 \times 2,4 \times 1,5875 \times 1 \times 4000 \times 6 \\&= 68580 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$V_d > V_u$$

$$29566 \text{ Kg} > 14051 \text{ Kg [OK]}$$

Kontrol Sambungan Baut Memikul Beban Tarik

Kekuatan Tarik Nominal Baut

$$\begin{aligned}T_n &= 0,75 \times f_{ub} \times A_b \\&= 0,75 \times 8300 \times 1,979 \\&= 12319 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_d &= \phi_f \times T_n \\&= 0,75 \times 12319 \\&= 9239 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Kuat Rencana Baut Total

$$\begin{aligned}V_d &= n \times T_d \\&= 6 \times 9239 \\&= 55436 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_d &> P_u \text{ [Tarik]} \\55436 \text{ Kg} &> 46837 \text{ Kg [OK]}\end{aligned}$$

Syarat baut menerima beban kombinasi geser dan tarik

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n \times A_b} \leq r1 \times \phi_f \times f_u^{b \times m} \\&= 1183 \text{ Kg} \leq 2490 \text{ Kg [OK]}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_d &= \phi_f \times T_n = \phi_f \times f_t \times A_b \geq T_u/n \\&= 9239 \text{ Kg} \geq 7806 \text{ Kg [OK]}\end{aligned}$$

$$f_t = f_1 - r2 \times f_{uv} \leq f_2$$

$$\text{dimana, } f_1 = 8070 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_2 = 6210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t = 8070 - 1,9 \times 1183 \leq 6210$$

$$= 5821 \text{ Kg/cm}^2 \leq 6210 \text{ Kg/cm}^2$$

Kontrol Sambungan Pelat dengan Pipa Baja

$$\text{Diameter Luar} = 114,3 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{ASTM 36M/A36, } f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

Dari program *SAP2000v20*, P_u maksimum yang terjadi pada Pipa 4 in., adalah:

$$P_u = 46837 \text{ Kg (Tarik)}$$

$P_u = 42675 \text{ Kg (Tekan)}$

Las yang digunakan adalah Las E70xx (ksi)

Dimisalkan $t_e = 1 \text{ cm}$

Luas Las = Keliling Lingkaran x t_e

Pipa 4 in., $= \pi \times 11,43 \times 1 = 35,89 \text{ cm}^2$

$\phi f_n = 0,75 \times 0,6 \times f_{u_{las}}$
 $= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3$
 $= 2214 \text{ Kg/cm}^2$

Akibat P_u :

$f_h = P_u / A_{\text{pipa4"}}$
 $= 42675 / 35,89$
 $= 1189 \text{ Kg/cm}^2$

$t_e = f_h / \phi f_n$
 $= 0,536 \text{ cm}$

Maka tebal las total:

$a = t_e / 0,7 = 0,536 \text{ cm} = 0,765 \text{ cm} = 7,65 \text{ mm}$

Syarat tebal las adalah:

Tebal pelat paling tebal adalah pelat penyambung, $t = 10 \text{ mm}$

Sehingga, didapatkan $a_{\min} = 5 \text{ mm}$ sesuai dengan Tabel di bawah ini (SNI 1729:2020). Sedangkan nilai $a_{\max} = t - 1,6 \text{ mm} = 10 - 1,6 = 8,40 \text{ mm}$.

$A_{efmaks} = 1,41 \times \frac{4000}{70 \times 70,3} \times 6 = 6,876 \text{ mm}$

Tabel 4.16 Tabel Efektif Minimum dari Las Tumpul

Penetrasi-Joint-Sebagian

Tebal Material pada Bagian yang lebih Tipis yang Disambung, in., (mm)	Tenggorok Efektif Minimum, in., (mm)
Sampai dengan $\frac{1}{4}$ (6)	$\frac{1}{8}$ (3)
Lebih besar dari $\frac{1}{4}$ (6) sampai dengan $\frac{1}{2}$ (13)	$\frac{3}{16}$ (5)
Lebih besar dari $\frac{1}{2}$ (13) sampai dengan $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{1}{4}$ (6)

Lebih besar dari 3/4 (19) sampai dengan 1½ (38)	5/16 (8)
Lebih besar dari 1½ (38) sampai dengan 2¼ (57)	3/8 (10)
Lebih besar dari 2¼ (57) sampai dengan 6 (150)	½ (13)
Lebih besar dari 6 (150)	5/8 (16)
Lihat Tabel J2.1	

(Sumber: SNI 1729:2019, Badan Standardisasi Nasional)

Sehingga berdasarkan syarat yang berlaku pada SNI 1729:2020 maka tebal las yang digunakan adalah $a = 5 \text{ mm}$.

4.5.2 Sambungan Tumpuan Kuda-Kuda pada Kolom

Pipa 4 in.

Diameter luar = 114,3 mm

Tebal = 6 mm

ASTM 36M/A36, $f_y = 240 \text{ MPa}$

$f_u = 400 \text{ MPa}$

Spesifikasi Pelat Penumpu dan Pelat Dasar

ASTM 36M/A36, $f_y = 240 \text{ MPa}$

$f_u = 400 \text{ MPa}$

Spesifikasi Baut Pin dan Angkur

A307, Gr 4.6, $f_y = 250 \text{ MPa}$

$f_u = 420 \text{ MPa}$

Rencana:

Tebal Pelat Penumpu = 16 mm = 1,6 cm

Diameter Baut Pin = 100 mm = 10 cm

Dari hasil SAP2000v20 didapatkan gaya maksimum pada pelat penumpu adalah:

$P = 457,85 \text{ kN} = 46687 \text{ Kg (Tekan)}$

Mencari Diameter Pelat Penumpu

Kuat Leleh

$P_u = \phi_{tp} \times A_g \times f_y$

$46687,94 = 2 \times (0,9 \times A_g \times 2400)$

$A_g = 10,80 \text{ cm}^2$

Kuat Putus

$$\begin{aligned}P_u &= \phi_{tp} \times A_e \times f_u \\46687,94 &= 2 \times (0,75 \times A_e \times 4000) \\A_e &= 7,78 \text{ cm}^2 \\A_g &= t \times (2 \times L_x) \\10,807 &= 1,6 \times (2 \times L_x) \\L_x &= 3,37 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar horizontal minimum} &= 2 \times L_x + D \\&= 2 \times 3,377 + 10 \\&= 67,54 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$L_y \geq 1,5 \times D = 1,5 \times 10 = 15 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar vertikal minimum} &= 2 \cdot L_y + D \\&= 2 \cdot 15 + 10 \\&= 40 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dipakai ukuran pelat penumpu $\frac{1}{2}$ lingkaran dengan diameter 80 cm = 80 mm

Desain Pin Baut

Spesifikasi Baut Pin:

$$\begin{aligned}\text{A307, Gr 4.6, } f_y &= 250 \text{ MPa} \\f_u &= 420 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Diameter} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$$

$$A_b = 78,54 \text{ cm}^2$$

Kontrol Kuat Geser

$$\begin{aligned}V_d &= \phi_f \times r1 \times F_{ub} \times A_b \times m \\&= 0,75 \times 0,5 \times 4200 \times 78,54 \times 1 \\&= 123700 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Kontrol Kuat Geser

$$\begin{aligned}R_d &= \phi_f \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\&= 0,75 \times 2,4 \times 10 \times 1,6 \times 4000 \\&= 115200 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$R_d > P_u$$

$$115200 \text{ Kg} > 46687 \text{ Kg}$$

Desain Base Plate

Gaya maksimum yang terjadi pada tumpuan / pelat dasar:

$$P_x = -1354,89 \text{ Kg}$$

$$P_y = 462551,52 \text{ Kg}$$

$$P_z = 492232,30 \text{ Kg}$$

Spesifikasi Pelat Dasar

$$\text{ASTM 36M/A36, } f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Panjang} = 1100 \text{ mm} = 110 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar} = 3300 \text{ mm} = 330 \text{ cm}$$

Spesifikasi Kolom Baja

$$\text{I/WF } 400 \times 400 \times 13 \times 21$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Luas Pelat Dasar (A1)} = 110 \times 330 = 36300 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Pelat Dasar (A2)} = 218,70 \text{ cm}^2$$

Cek Eksentrisitas:

$$e = M_x / P_z = 119361 / 492232 = 0,24 \text{ cm}$$

$$B1/6 = 330/6 = 55 \text{ cm}$$

$$e = 0,24 \text{ cm} < L1/6 = 18,33 \text{ cm} \text{ [EKSENTRISITAS KECIL]}$$

$$t_p = \frac{B1 - 0,8 \text{ Lebar Pelat Penumpu}}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot P_z}{0,9 \times f_y \times L1 \times B1}}$$

$$= \frac{330 - 0,8 \times 80}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot 492232,30}{0,9 \times 2400 \times 110 \times 330}}$$

$$= 14,45 \text{ cm}$$

Jadi, pelat dasar yang dipakai adalah $15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$

Desain Baut Angkur

Baut angkur tidak mengalami gaya tarik, sehingga hanya dikontrol dengan resultan gaya geser $P_x = -1354 \text{ Kg}$ dan $P_y = 462551 \text{ Kg}$

$$V_u = \sqrt{1354^2 + 462551^2} = 462553 \text{ Kg}$$

Spesifikasi baut pin dan angkur

$$\text{A307, Gr 4.6, } f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_u = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter} = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$A_b = 4,91 \text{ cm}^2$$

Kontrol Kuat Geser

$$\begin{aligned} V_n &= \phi_f \times r_1 \times f_{ub} \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 4200 \times 2,5 \times 1 \\ &= 3150 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol Kuat Tumpu

$$\begin{aligned} R_n &= \phi_f \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 2,5 \times 2,5 \times 4000 \\ &= 45000 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Jumlah baut angkur

$$n = V_u / V_n = 462553 \text{ Kg} / 3150 \text{ Kg} = 15 \text{ baut}$$

Dipakai 15 baut dengan diameter 25 mm dan panjang 800 mm

4.5.3 Sambungan Pada Kolom – Balok



Gambar 4. 24 Desain Sambungan Baut

KOLOM I/WF 400 x 400 x 13 x 21

BALOK I/WF 400 x 200 x 8 x 13

ASTM 36M/A36, $f_y = 240 \text{ MPa}$

$f_u = 400 \text{ MPa}$

$L_{balok} = 5500 \text{ mm} = 550 \text{ cm}$

$M_A = 397145 \text{ Kg}$

$M_B = 369276 \text{ Kg}$

$$V_b = \frac{MA+MB}{L_{balok}} = 1393 \text{ Kg}$$

$$V_u = 44051 \text{ Kg}$$

$$V_u = 44051 + 1393 = 45445 \text{ Kg}$$

Direncanakan

Baut A-325, $f_u = 6200 \text{ Kg/cm}^2$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$A_b = 4,9 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5 \text{ (baut tanpa ulir pada bidang geser)}$$

Sambungan Pada Badan Balok

Penentuan jumlah baut

Kekuatan 1 baut pada sayap

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser } (\phi V_n) &= 0,75 \times r_1 \times f_u \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 0,5 \times 6200 \times 4,9 \times 2 \\ &= 22814 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tumpu } (\phi R_n) &= 0,75 \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 2,5 \times 1,1 \times 4000 \\ &= 19800 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat 1 baut diambil} = 19800 \text{ Kg}$$

Jumlah baut yang diperlukan :

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{45445}{19800} = 2,3 \text{ baut} \sim 4 \text{ baut}$$

Maka baut 25 mm yang dipasang sebanyak 4 baut.

Sambungan Pada Sayap Kolom

Penentuan Jumlah Baut

Kekuatan 1 baut pada sayap:

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\phi V_n) &= 0,75 \times r_1 \times f_u \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 0,5 \times 6200 \times 4,9 \times 1 \\ &= 11407 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tumpu } (\phi R_n) &= 0,75 \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 2,5 \times 1,1 \times 4000 \\ &= 19800 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat 1 baut diambil} = 11407 \text{ Kg}$$

Jumlah baut yang diperlukan :

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{45445}{11407} = 3,9 \text{ baut} \sim 4 \text{ baut}$$

Maka baut 25 mm yang dipasang sebanyak 4 baut.

Kontrol Kekuatan Penyambung

Kontrol Terhadap Leleh

$$A_g \times 0,9 \times f_y \geq V_u$$

$$(84,12 \times 1,1) \times 0,9 \times 2400 \times \geq 45445 \text{ Kg}$$

$$199869 \text{ Kg} \geq 45445 \text{ Kg [OK]}$$

Kontrol Terhadap Putus

$$A_n \times 0,75 \times f_u \geq V_u$$

$$(A_g - \sum d' \times t_w) \times 0,75 \times f_u \geq V_u$$

$$((84,12 \times 1,1) - (3 \times (2,5 + 0,2)) \times 1,1) \times 0,75 \times 4000 \geq V_u$$

$$250866 \text{ Kg} \geq 45445 \text{ Kg [OK]}$$

Kontrol Jarak Baut

$$\text{Jarak ke tepi} = 1,5 d_h \cdot s/d (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 d_h = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$$

$$(4t_p + 100) = (4 \times 1,1 + 100) = 104,4 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar baut } 3 d_b \text{ s/d } 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 d_b = 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

$$15t_p = 15 \times 11 = 165 \text{ mm}$$

4.5.4 Sambungan Pada Kolom – Base Plate

KOLOM I/WF 400 x 400 x 13 x 21

Dari hasil, gaya yang bekerja pada dasar kolom elemen joint yang berasal dari *output SAP2000v20* adalah sebagai berikut:

$$P_u = 53687 \text{ Kg}$$

$$M_{ux} = 227602 \text{ Kg.cm}$$

$$M_{uy} = 208734 \text{ Kg.cm}$$

Direncanakan:

$$f'_c = 35 \text{ MPa} = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

Mutu angker direncanakan

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

Direncanakan las dengan $t_e = 1$ cm pada daerah sisi pada profil baja I/WF sehingga didapatkan:

$$A_{las} = 218,70 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 22400 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 66600 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{66600}{20,85} = 3194 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{I_y}{x} = \frac{22400}{20,21} = 1108 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} f_{ulas} &= \phi \times 0,6 \times f_{E70xx} \times 1 \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 \times 1 \\ &= 2214 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{total} &= \frac{Pu}{A} + \frac{Mx}{W_x} + \frac{My}{W_y} \\ &= \frac{53687,26}{218,70} + \frac{227602,92}{3194,24} + \frac{208734,83}{1108,36} \\ &= 505,06 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_e &= \frac{f_{total}}{f_{ulas}} \times 1 \\ &= 0,22 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$a = t_e / 0,7 = 0,22 / 0,7 = 0,31 \text{ cm}$$

Syarat – syarat tebal kaki las:

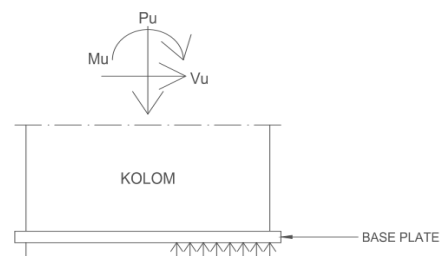
Tebal minimum pelat = 30 mm

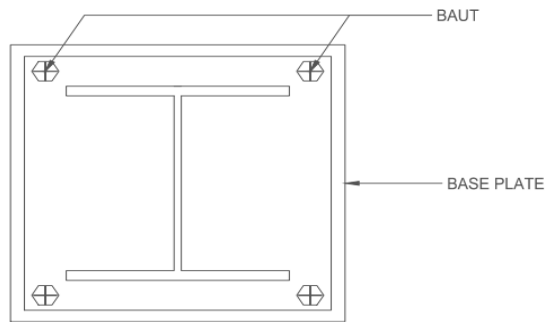
$$a_{eff} = \frac{1,41 \times f_u \times t_{pelat}}{f_{E70xx}} = \frac{1,41 \times 4000 \times 3}{70 \times 70,3} = 3,44 \text{ cm}$$

Jadi, dipakai las dengan $a = 3,5$ cm

Perhitungan Base Plate

Arah Y





Gambar 4. 25 Desain Base Plate Arah Y

Direncanakan diameter angker

Menggunakan angkur diameter = 30 mm

$$h' > w_e + c_1$$

$$w_e = 1 \frac{3}{4} \times 3 = 5,25 \text{ cm} \sim 6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} c_1 &= 27/16 \text{ inch} \times 2,54 \\ &= 4,29 \text{ cm} \sim 4,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h' &\geq 6 + 4,5 \\ &\geq 10,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &\geq d + 2h' \\ &\geq 41,7 + 2h' \\ &\geq 62,7 \text{ cm, Jadi } H = 65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h = H - w_e = 65 - 6 = 59 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} B &= \text{dianggap sama dengan } H \text{ karena kolom menggunakan profil I/WF} \\ &= 65 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dimensi Beton:

$$\text{Panjang} = 55 + (2 \times 2,5) = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar} = 55 + (2 \times 2,5) = 60 \text{ cm}$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{60 \times 60}{65 \times 65}} = 0,923$$

$$\begin{aligned} f_{cu}' &= 0,85 \times f'_c \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 0,85 \times 350 \times 0,923 \\ &= 274,59 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$a = h - \sqrt{h^2 - \frac{P_u \times (2h - H) + 2 M_u}{\phi_c \times f'_{cu} \times B}}$$

$$= 59 - \sqrt{59^2 - \frac{53687,26 \times (2 \times 59 - 65) + 2 \times 227602,92}{0,6 \times 274,59 \times 65}}$$

$$= 5,28$$

$$\begin{aligned} T_u &= (\phi_c \times f_{cu}' \times B \times a) - P_u \\ &= (0,6 \times 274,59 \times 65 \times 5,28) - 53687,26 \\ &= 2856,3128 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan Baut Angkur

Direncanakan diameter baut = 30 mm

$$f_u = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times f_{ub} \times (0,5 \times A_b) \\ &= 0,75 \times 4000 \times (0,5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 3^2) \\ &= 10597,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\phi R_n \geq T_u/n$$

$$10597 \geq 2856,3128/n$$

$$n \geq 0,269 \sim 2 \text{ baut}$$

Maka *base plate* dengan ukuran 60 cm x 60 cm dapat digunakan sebagai alas kolom I/WF 400 x 400 x 13 x 21

Perhitungan Tebal Pelat Baja

$$t \geq 2,108 \sqrt{\frac{T_u (h' - we)}{f_y \cdot B}}$$

$$t \geq 2,108 \sqrt{\frac{2856,3128 (10,5 - 6)}{2400 \times 65}}$$

$$t \geq 0,6 \text{ cm} \sim 2 \text{ cm}$$

Jadi dipakai $t = 2 \text{ cm}$

Untuk arah y direncanakan menggunakan 2 baut $\phi = 2 \text{ cm}$ dengan $f_u = 4000 \text{ Kg/cm}^2$

Perhitungan Panjang Baut Angker

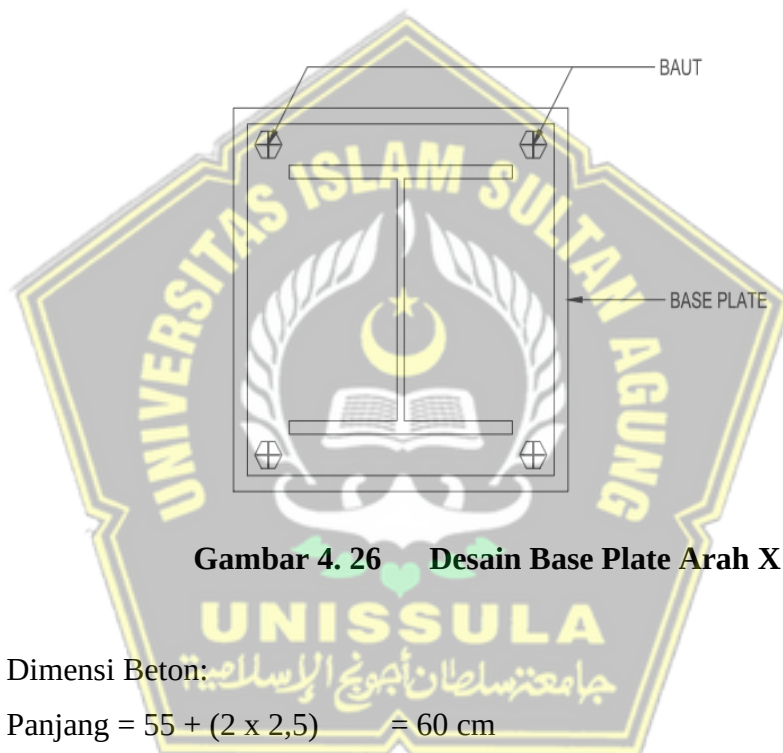
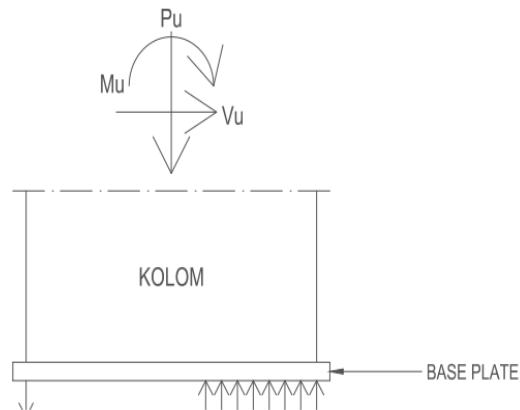
Panjang penyaluran dasar harus diambil sebesar:

$$\lambda_{db} = \frac{db \times f_y}{4 \times \sqrt{30}} = \frac{30 \times 400}{4 \times \sqrt{35}} = 507,09 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari $0,04 \times db \times f_y = 0,04 \times 30 \times 400 = 480 \text{ mm}$

Jadi panjang angkur yang digunakan adalah 550 mm

Arah X



Gambar 4. 26 Desain Base Plate Arah X

Dimensi Beton:

$$\text{Panjang} = 55 + (2 \times 2,5) = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar} = 55 + (2 \times 2,5) = 60 \text{ cm}$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{60 \times 60}{65 \times 65}} = 0,923$$

$$f'_{cu} = 0,85 \times f'_c \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 0,85 \times 350 \times 0,923$$

$$= 274,59 \text{ Kg/cm}^2$$

$$a = h - \sqrt{h^2 - \frac{P_u \times (2h - H) + 2 M_u}{\phi_c \times f'_{cu} \times B}}$$

$$= 59 - \sqrt{59^2 - \frac{53687,26 \times (2 \times 59 - 65) + 2 \times 208734,83}{0,6 \times 274,59 \times 65}}$$

$$= 5,6$$

$$\begin{aligned} T_u &= (\phi_c \times f_{cu}' \times B \times a) - P_u \\ &= (0,6 \times 274,59 \times 65 \times 5,6) - 53687 \\ &= 6283 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan Baut Angkur

Direncanakan diameter baut = 30 mm

$$f_u = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times f_{ub} \times (0,5 \times A_b) \\ &= 0,75 \times 4000 \times (0,5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 3^2) \\ &= 10597 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\phi R_n \geq T_u/n$$

$$10597 \geq 6283/n$$

$$n \geq 0,592 \sim 2 \text{ baut}$$

Maka *base plate* dengan ukuran 60 cm x 60 cm dapat digunakan sebagai alas kolom I/WF 400 x 400 x 13 x 21

Perhitungan Tebal Pelat Baja

$$t \geq 2,108 \sqrt{\frac{T_u (h' - we)}{f_y \cdot B}}$$

$$t \geq 2,108 \sqrt{\frac{6283,196 (10,5 - 6)}{2400 \times 65}}$$

$$t \geq 0,8 \text{ cm} \sim 2 \text{ cm}$$

Jadi dipakai $t = 2 \text{ cm}$

Untuk arah y direncanakan menggunakan 2 baut $\phi = 2 \text{ cm}$ dengan $f_u = 4000 \text{ Kg/cm}^2$

Perhitungan Panjang Baut Angker

Panjang penyaluran dasar harus diambil sebesar:

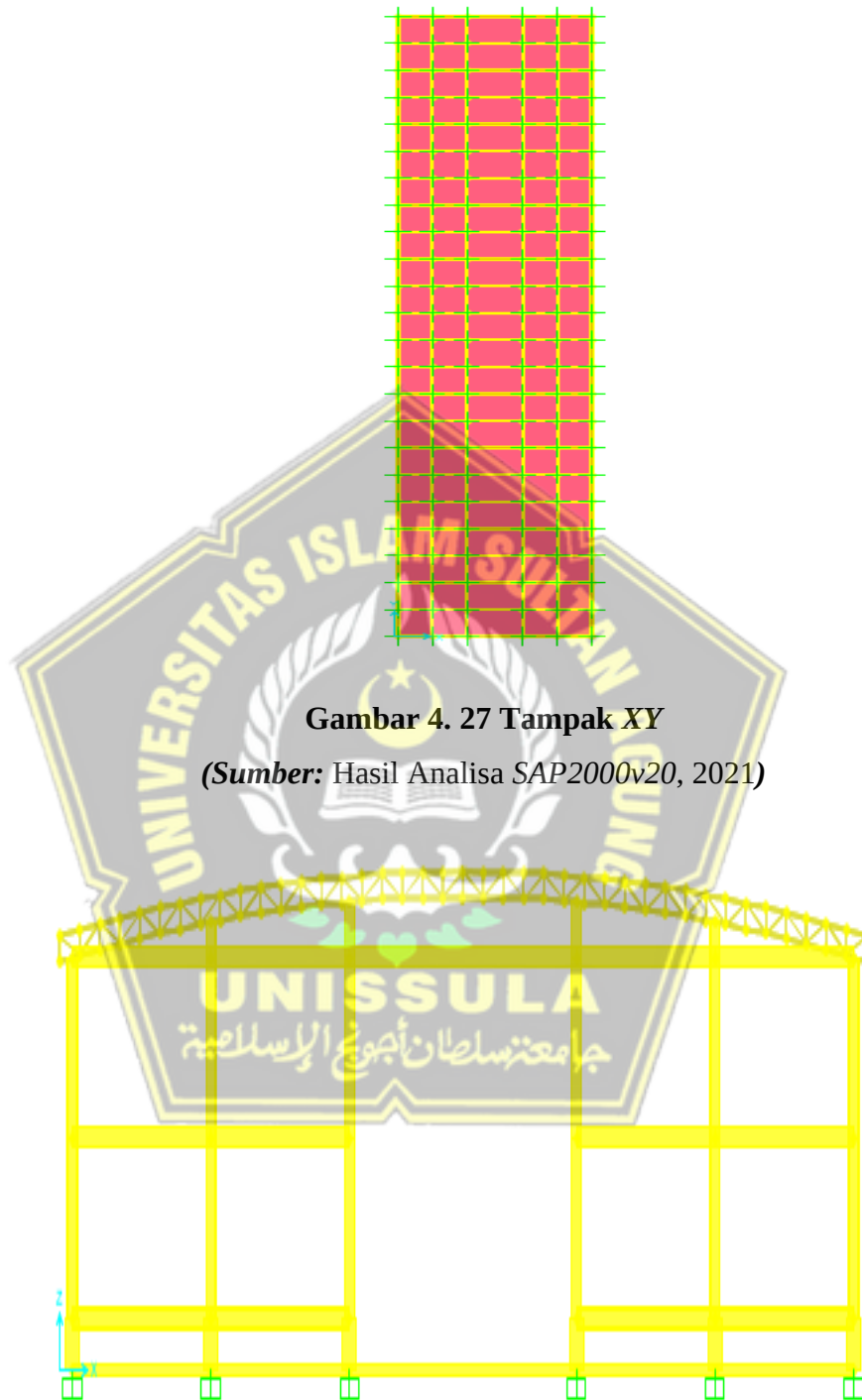
$$\lambda_{db} = \frac{db \times f_y}{4 \times \sqrt{30}} = \frac{30 \times 400}{4 \times \sqrt{35}} = 507,09 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari $0,04 \times db \times f_y = 0,04 \times 30 \times 400 = 480 \text{ mm}$

Jadi panjang angkur yang digunakan adalah 550 mm

4.6 Hasil Analisis Menggunakan SAP2000v20

1. Gambar Tampak Gudang



Gambar 4. 27 Tampak XY

(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

Gambar 4. 28 Tampak XZ1

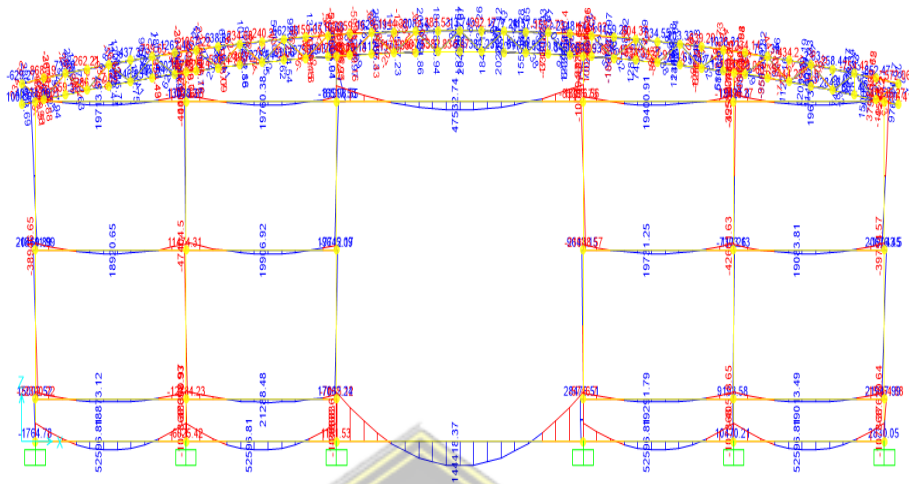
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)



Gambar 4. 29 Tampak XZ2
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

Gambar 4. 30 Tampak Samping
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

2. Bidang Momen

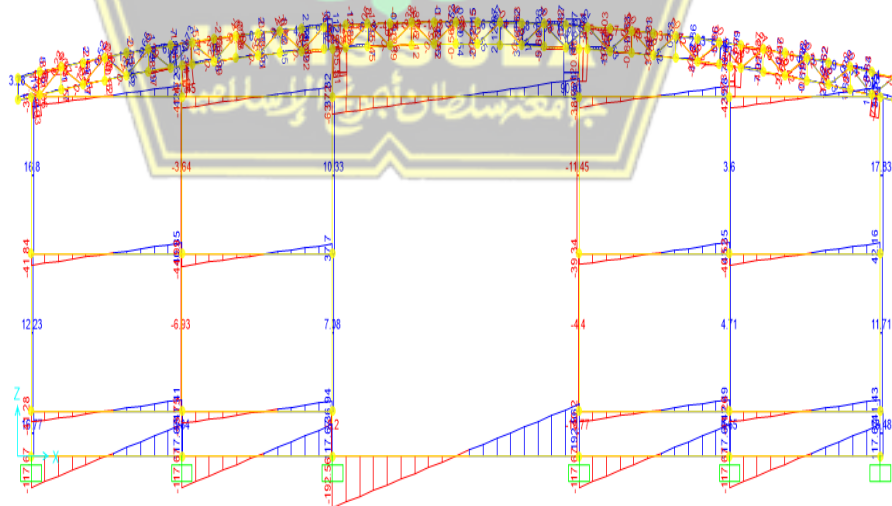


Gambar 4. 31 Moment-Envelope (Output SAP2000v20)

(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

Moment merupakan hasil gaya dikalikan dengan jarak. Pada **Gambar 4.28** menunjukkan bahwa hasil analisa SAP2000v20 menghasilkan *moment* pada beban *envelope* pada bangunan gudang struktur baja.

3. Gaya Lintang

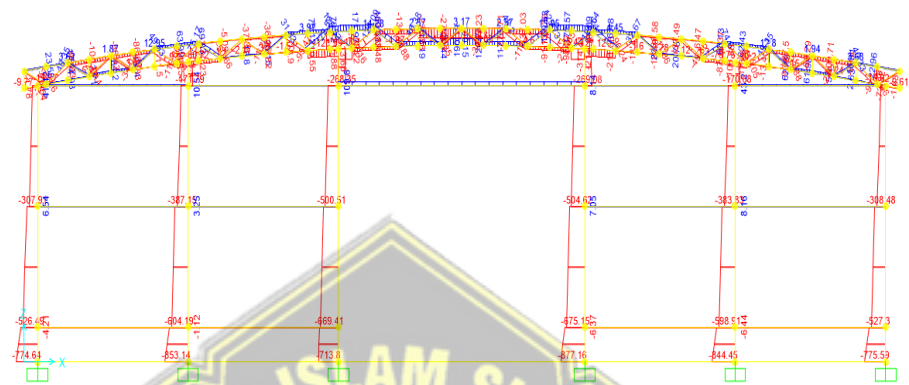


Gambar 4. 32 Lintang-Envelope (Output SAP2000v20)

(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

Gaya Lintang atau geser merupakan gaya dalam yang bekerja tegak lurus dengan as ataupun dengan sumbu yang dimilikinya. Pada **Gambar 4.29** menunjukkan bahwa hasil analisa SAP2000v20 menghasilkan gaya lintang pada beban *envelope* pada bangunan struktur baja.

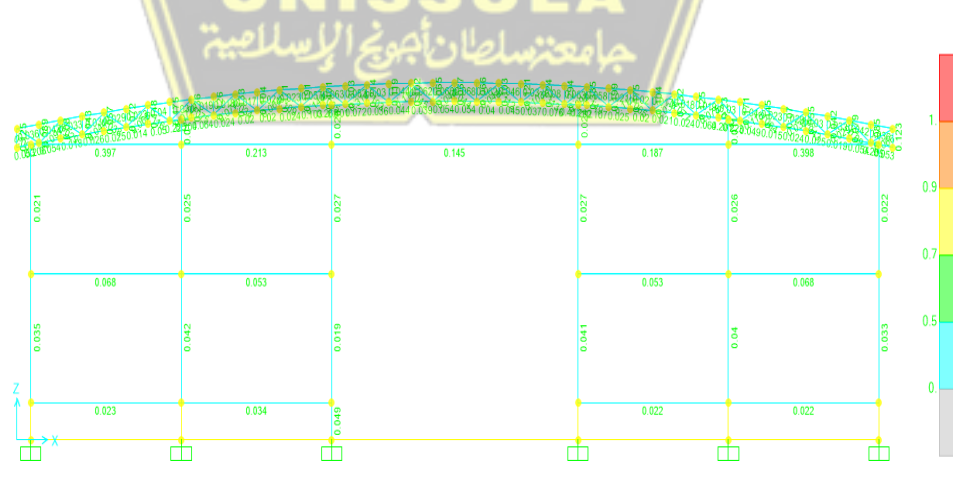
4. Gaya Normal



Gambar 4. 33 Gaya Normal-Envelope (Output SAP2000v20)
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

Gaya Normal atau *axial force* merupakan gaya dalam yang bekerja secara sejajar dengan as atau sumbu yang dimilikinya. Pada **Gambar 4.30** menunjukkan bahwa hasil analisa SAP2000v20 menghasilkan gaya normal pada beban *envelope* pada bangunan struktur baja.

5. Stress Ratio



Gambar 4. 34 Stress Ratio (Output SAP2000v20)
(Sumber: Hasil Analisa SAP2000v20, 2021)

Pada **Gambar 4.27** menunjukkan bahwa hasil analisa *SAP2000v20* menghasilkan stress ratio pada bangunan gudang struktur atas dengan nilai *P-M Ratio* < 1 sehingga dinyatakan AMAN.

Keterangan:

Biru	= 0,00 – 0,49
Hijau	= 0,50 – 0,69
Kuning	= 0,70 – 0,89
Orange	= 0,90 – 0,99
Merah	= $\geq 1,00$

4.1 Perencanaan Struktur Bawah

4.1.1 Perencanaan Fondasi Tiang Pancang

Pada struktur gudang menggunakan struktur baja ini direncanakan untuk menggunakan fondasi tiang pancang. Fondasi tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang *prestressed spun pile* kelompok dengan dimensi penampang 50 x 50 cm.

1. Daya Dukung Izin Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan pada perencanaan ini adalah jenis tiang pancang pabrikan dari produsen PT. WIKA Beton dengan spesifikasi sebagai berikut:

Dimensi penampang	= 50 x 50 cm
Panjang	= 6 m
S_b	= 90 mm
Class	= A1
P_a	= 185,30 Ton

Perencanaan fondasi tiang pancang pada struktur gudang ini dilakukan dengan menggunakan acuan data borlog BM-01 dan BM-02 menggunakan spesifikasi teknis perencanaan sebagai berikut:

Mutu beton tiang (f'_c)	= 52 MPa (Spek <i>Spun Pile</i> WIKA)
Mutu beton pile cap (f'_{cpc})	= 48 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 MPa
Kedalaman ujung tiang (H)	= 18 m

$$\text{Diameter tiang rencana (D1)} = 0,50 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang ujung tiang (A}_b\text{)} &= \pi \times 0,25 \times 0,5^2 \\ &= 0,196 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas selimut tiang (A}_p\text{)} &= \pi \times 0,5 \times 18 \\ &= 28,27 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat beton bertulang (wc)} = 23,56 \text{ kN/m}^3$$

2. Daya Dukung Fondasi Berdasarkan Kekuatan Bahan

Daya dukung fondasi tunggal berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang mengacu pada produk tiang pancang *prestressed spun pile* produksi PT. WIKA Beton yang disesuaikan berdasarkan spesifikasi di bawah ini:

Tabel 4.17 Spesifikasi *Prestressed Spun Pile* PT. WIKA Beton

Classification								
Outside Diameter D (mm)	Well Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length L (m)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
500	90	A1	1159	290	6 m - 16 m	7.5	11.25	185.3

(Sumber: PT.Wika Beton PC *Spun Pile*,2021)

Pada **Tabel 4.13** di atas *spun pile* yang dipakai dalam perencanaan gudang ini memiliki diameter 500 mm dengan kelas A1 serta memiliki $Q_{all} = 185,30 \text{ Ton} = 1817,18 \text{ kN}$ dan $M_{all} = 11,25 \text{ Ton.m} = 1125 \text{ kN.m}$.

3. Daya Dukung Fondasi Berdasarkan Hasil Uji SPT (*Mayerhoff*)

Uji bor tau *Soil Penetration Test* (SPT) dilakukan untuk mendapatkan nilai daya dukung ijin fondasi berdasarkan data nilai N-SPT dengan menggunakan metode *Mayerhoff* dan faktor keamanan atau *safety factor* (SF) sebesar 3. Perhitungan daya dukung berdasarkan uji hasil SPT adalah sebagai berikut:

a. Harga N-SPT pada elevasi dasar tiang (N_b)

Data nilai N-SPT pada kedalaman ujung tiang rencana adalah sebagai berikut:

Tabel 4.18 Data N-SPT

Kedalaman (m)	Tebal (di) (m)	B-1		B-2	
		N-SPT	di/Ni	N-SPT	di/Ni
-2.00	2.00	1	2.000	1	2.000
-4.00	2.00	0	0.000	2	1.000
-6.00	2.00	2	1.000	0	0.000
-8.00	2.00	3	0.667	2	1.000
-10.00	2.00	4	0.500	0	0.000
-12.00	2.00	2	1.000	3	0.667
-14.00	2.00	4	0.500	2	1.000
-16.00	2.00	7	0.286	4	0.500
-18.00	2.00	18	0.111	22	0.091
-19.50	1.50	27	0.056	23.5	0.064
-20.00	0.50	30	0.017	24	0.021
Total	20.00		6.14		6.34

(Sumber: Data Tanah, 2021)

Hitung N_1

N_1 merupakan nilai rata – rata N-SPT pada kedalaman 8D di atas ujung tiang. Nilai N yang diambil untuk perhitungan antara kedalaman 14 m adalah sebagai berikut:

N pada kedalaman 14,00 meter = 2

$$N_1 = 2$$

Hitung N_2

N_2 merupakan nilai rata –rata N-SPT pada kedalaman 3D di bawah ujung tiang. Nilai N yang diambil untuk perhitungan antara kedalaman 19,5 m adalah sebagai berikut:

N pada kedalaman 19,5 meter = 23,5

$$N_2 = 23,5$$

Sehingga nilai N_b dapat diketahui berdasarkan persamaan (2.110), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_b &= (8D + 3D + N\text{-SPT } 18 \text{ meter}) / 3 \\
 &= ((2 + 23,5 + 22)) / 3 \\
 &= 15,83
 \end{aligned}$$

b. Harga N-SPT rata – rata sepanjang tiang (N_s)

$$N_s = ((1 + 2 + 0 + 2 + 0 + 3 + 2 + 4 + 22 + 23,5)) / 10$$

$$= 5,95$$

c. Daya Dukung *Ultimate* Fondasi (Q_{ult})

$$Q_{ult} = 40 N_b \times A_b + 0,5 N_s \times A_p$$

$$= 40 \times 15,83 \times 0,196 + 0,5 \times 5,3 \times 23,56$$

$$= 208,47 \text{ Ton}$$

$$= 2084,70 \text{ kN}$$

d. Daya Dukung allowable Fondasi (Q_{all})

$$Q_{all} = Q_{ult} / SF$$

$$= 2084,70 / 3$$

$$= 694,90 \text{ kN}$$

4. Penentuan Jumlah Fondasi Kelompok

Perhitungan jumlah fondasi tiang pancang dalam 1 titik pada kolom dilakukan dengan persamaan (2.112) sebagai berikut:

Tabel 4.19 Joint Reaction

TABLE: Joint Reactions										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Unitless	KN	KN	KN	KN-mm	KN-mm	KN-mm
176	PONDASI	Combination			0	0	-466,024	2.2E-10	-7972.19	0
175	PONDASI	Combination			0	0	-350.805	9.2E-10	4.729E-11	0
178	PONDASI	Combination			-0.346	0.261	-197.752	-342606	-8024.35	0.34
2411	PONDASI	Combination			-13.682	0.014	-101.459	31.08	-38271.9	-2.91
171	PONDASI	Combination			0.712	0.728	-50.072	-125865	-4676.74	-40.17

(Sumber: Output SAP2000v20,2021)

$$n_{fondasi} = P_u / Q_{ijin \text{ WKA}}$$

$$= 466,024 / 1817,18$$

$$= 0,25 \sim 2 \text{ tiang}$$

5. Perhitungan Fondasi Kapasitas Kelompok Tiang

Perhitungan kapasitas kelompok tiang dilakukan dengan mengalikan nilai diameter dengan nilai yang ditentukan. Jarak antar as tiang kelompok (*pile group*) adalah sebagai berikut:

$$s = 2,5 D \sim 4D$$

$$s_{as} = 2,5 (0,5) \sim 4 (0,5)$$

$$= 1,25 \text{ m} \sim 2,0 \text{ m}$$

Syarat jarak as ke tepi tiang ditentukan sebagai berikut:

$$s_{\text{tepi}} \geq 0,5 D + 0,15 = 0,5 (0,5) + 0,15 = 0,4 \text{ m}$$

$$2,0 \geq 0,4 \text{ [OK]}$$

a. Perhitungan Kapasitas 2 Tiang Pancang P1 (as C176)

Data dimensi fondasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Lebar kolom arah x (b}_x\text{)} = 0,55 \text{ m}$$

$$\text{Lebar kolom arah y (b}_y\text{)} = 0,55 \text{ m}$$

$$\text{Jarak tepi tiang dan tiang pile cap (a)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Tebal pile cap (h)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pile cap arah x} = 2,8 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pile cap arah y} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Jarak x} = 1 \text{ m}$$

Hasil analisa SAP2000v20 dengan beban $1,0D + 1,0L$ menghasilkan gaya – gaya pada ujung as C176 yang disesuaikan pada **Tabel 4.15**.

Sehingga dalam perencanaan gudang ini digunakan tahanan aksial satu tiang pancang adalah $Q_{\text{all}} = 694,90 \text{ kN}$.

b. Daya Dukung Kelompok Tiang

Efisiensi Kelompok Tiang

$$\text{Jumlah baris, m} = 1$$

$$\text{Jumlah tiang dalam satu baris, n} = 2$$

$$\theta = \arctan (d/s)$$

$$= \arctan (0,5/2)$$

$$= 15,945$$

Nilai Eff didapatkan berdasarkan persamaan (2.114) adalah sebagai berikut:

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right)$$

$$= 0,911$$

Daya Dukung Kelompok Tiang

$$P_{\text{all group}} = \text{Eff} \times (np \times Q_{\text{all}})$$

$$= 0,911 \times (2 \times 694,90)$$

$$= 1266,69 \text{ kN}$$

$$W_c = L_x \times L_y \times h \times w_c$$

$$= 2,8 \times 0,8 \times 0,8 \times 23,56$$

$$= 42,219 \text{ kN}$$

$$W_{\text{pancang}} = n \times A_b \times H \times w_c$$

$$= 2 \times 0,196 \times 18 \times 23,56$$

$$= 166,535 \text{ kN}$$

$$P_v = P_{uk} + W_c + W_{\text{pancang}}$$

$$= 674,779 \text{ kN}$$

Cek daya dukung terhadap gaya aksial akibat beban aksial terfaktor

$$1,0D + 1,0L$$

$$P_{\text{all group}} > P_v$$

$$1266,69 \text{ kN} > 674,779 \text{ kN [OK]}$$

Beban Maksimum Setiap Tiang Pada Kelompok Tiang

Beban maksimum setiap tiang < Daya dukung izin tiang

Kontrol, berdasarkan persamaan (2.119) maka:

$$P_{\text{max}} = \frac{P_v}{np} + \frac{M_y \cdot x_i}{n y \cdot \sum x^2} + \frac{M_x \cdot y_i}{n \cdot \sum y^2} \leq Q_{\text{all}}$$

Dimana,

$$P_v = 674,779 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all}} = 694,90 \text{ kN}$$

$$np = 2$$

$$M_y = 7972,19 \text{ kN.m}$$

$$M_x = 2,219 \text{E-10 kN.m}$$

$$x_i = 1 \text{ m}$$

$$y_i = 0 \text{ m}$$

$$n_x = 2$$

$$n_y = 1$$

$$\sum x^2 = 2(1^2) = 2$$

Beban maksimum setiap kolom dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_1 = (P_v/np) + ((M_x \times x_i)/(2 \times \sum x^2)) = 337 \text{ kN} < 694,90 \text{ kN}$$

$$P_2 = (P_v/np) + ((M_x \times x_i)/(2 \times \sum x^2)) = 337 \text{ kN} < 694,90 \text{ kN}$$

$$P_{\max} = 337 \text{ kN}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui daya dukung tanah maksimum tiap tiang pancang memenuhi persyaratan, sehingga 2 tiang pancang kelompok dapat dipakai. [OK]

4.1.2 Perencanaan Poer

1. Tinjauan Tegangan Geser 1 Arah

Tegangan satu arah hanya terjadi pada satu sisi, sehingga diperhitungkan terhadap daya dukung tiang pancang pada satu sisi saja.

Data – Data

$$\begin{aligned} \text{Selimut beton, } s_b &= 75 \text{ mm} \\ \text{D tulangan} &= 22 \text{ mm} \\ b &= 2800 \text{ mm} \\ d_s &= s_b + D_{\text{tul.}} / 2 \\ &= 75 + 22/2 \\ &= 86 \sim 90 \text{ mm} \\ d &= h - d_s \\ &= 0,8 - 0,09 \\ &= 0,7 \text{ m} = 710 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mencari Nilai V_u

$$\begin{aligned} \sum P_{U1} &= P_1 + P_2 \\ &= 337 + 337 \\ &= 674 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } V_u = 674 \text{ kN}$$

Tegangan geser yang dapat ditahan oleh beton V_c

Kuat Geser *Pile Cap* Satu Arah

$$\begin{aligned} \text{Rasio sisi panjang dan pendek kolom } \beta &= b_x/b_y \\ &= 0,55/0,55 = 1 \end{aligned}$$

Kuat Geser Arah X Diambil Yang Terkecil

Berdasarkan persamaan (2.127), maka:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f'c} \times b \times (d/6)$$

$$= 6886,634 \text{ kN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{as \times d}{b}\right) \times \sqrt{f'c} \times b \times (d/12)$$

$$= 13937,235 \text{ kN}$$

V_c dipilih yang terkecil yaitu sebesar $V_c = 6886,634 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 6886,634$$

$$= 5164,975 \text{ kN}$$

Cek kuat geser arah X terhadap gaya geser yang terjadi arah X

$$\phi V_c > V_{ux}$$

$$5164,975 \text{ kN} > 674 \text{ kN} [\text{OK}]$$

2. Tinjauan Tegangan Geser 2 Arah

Langkah – Langkah perhitungan dilaksanakan sebagai berikut:

β_c = rasio sisi panjang dan sisi pendek dimensi poer

$$\beta_c = L / B = 2,8 / 0,8 = 3,5$$

Nilai konstanta tergantung kolom bangunan

$$\text{Fondasi dengan kolom dalam bangunan (as)} = 40$$

$$\text{Fondasi dengan kolom tepi bangunan (as)} = 30$$

$$\text{Fondasi dengan kolom sudut bangunan (as)} = 20$$

Dimensi Bidang Kritis

Lebar bidang geser pons (B), berdasarkan persamaan (2.130) dan persamaan (2.131), maka:

$$B_x = b_x + d = 0,55/0,71 = 1,26 \text{ m}$$

$$B_y = b_y + d = 0,55/0,71 = 1,26 \text{ m}$$

Luas Bidang Geser Pons (A_p)

$$\begin{aligned} A_p &= 2 (B_x + B_y) \times d \\ &= 2 (1,26 + 1,26) \times 0,7 \\ &= 3,57 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Lebar Bidang Geser Pons (b_p)

$$\begin{aligned} b_p &= 2 (B_x + B_y) \\ &= 2 (1,26 + 1,26) \end{aligned}$$

$$= 5,04 \text{ m}$$

Tegangan Geser Pons

Rasio sisi panjang dan pendek kolom

$$\begin{aligned}\beta &= b_x/b_y \\ &= 0,5/0,5 \\ &= 1\end{aligned}$$

Tegangan Geser Pons (f_p) diambil nilai terkecil, berdasarkan persamaan (2.135), (2.136) dan persamaan (2.137) maka:

$$\begin{aligned}f_p &= (1 + 2/\beta c) \times \sqrt{f'c} / 6 \\ &= (1 + 2/1) \times \sqrt{48} / 6 \\ &= 3,46 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_p &= (2 + a_s.d/b_p) \times \sqrt{f'c} / 12 \\ &= (2 + 40.710/5,04) \times \sqrt{48} / 12 \\ &= 4,41 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_p &= 1/3 \times \sqrt{f'c} \\ &= 1/3 \times \sqrt{48} \\ &= 2,309 \text{ MPa}\end{aligned}$$

f_p dipilih yang terkecil yaitu sebesar 2,309 MPa

Sehingga nilai V_{np} , berdasarkan persamaan (2.138) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_{np} &= A_p \times f_p \\ &= 3,57 \times 10^6 \times 2,309 \\ &= 8263,96 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_{np} &= 0,75 \times 8263,96 \\ &= 6197,97 \text{ kN}\end{aligned}$$

Cek terhadap gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom

$$\phi V_{np} > P_v$$

$$6197,97 \text{ kN} > 674,779 \text{ kN [OK]}$$

4.1.3 Perencanaan Penulangan *Pile Cap*

Data bahan sesuai dengan data yang dicantumkan diawal. Perhitungan penulangan *pile cap* yang ditunjukkan adalah sebagai berikut:

Penulangan Lentur *Pile Cap* P1 (2800 x 800 x 800)

1. Momen Yang Terjadi Pada *Pile Cap*

$$\begin{aligned}C_x &= (L_x - b_x)/2 \\&= (2,8 - 0,55)/2 \\&= 1,125 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_x &= C_x - a \\&= 1,125 - 0,4 \\&= 0,725 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_1 &= C_x \times L_y \times h \times w_c \\&= 1,125 \times 2,8 \times 0,8 \times 23,56 \\&= 16,963 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= \sum P_u \times e_x - W_1 \times (C_x/2) \\&= 674 \times 0,725 - 16,963 \times (1,125/2) \\&= 479,108 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

2. Mencari Batas – Batas Rasio Tulangan ($\rho_{\min}$, ρ_b , $\rho_{\max}$)

Rasio tulangan minimum

$$\begin{aligned}\rho_{\min 1} &= 1,4/400 \\&= 0,0035 \\ \rho_{\min 2} &= \sqrt{\frac{f'_c}{4}} \times 400 \\&= \sqrt{\frac{48}{4}} \times 400 \\&= 0,00433\end{aligned}$$

$\rho_{\min}$ dipilih yang paling besar sehingga $\rho_{\min} = 0,00433$

Rasio tulangan kondisi *balance* (ρ_b)

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\&= \frac{0,85 \times (0,85 - (48 - 28) \times (\frac{0,05}{7})) \times 48}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\&= 0,043\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ($\rho_{\max}$)

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= \frac{\varepsilon_c + f_y/E_s}{\varepsilon_c + \varepsilon_c} \times \rho_b \\ &= \frac{0,003 + 400 \times 200000}{0,003 + 0,005} \times 0,043 \\ &= 0,0723\end{aligned}$$

3. Desain Penulangan *Pile Cap*

Mencari rasio tulangan

$$\begin{aligned}m &= f_y / 0,85 \times f'_c \\ &= 400 / 0,85 \times 48 \\ &= 9,803\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_x &= b \\ &= 2800 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= M_u / (\phi \times b \times d^2) \\ &= 479,108 \times 10^6 / (0,9 \times 2800 \times (0,71 \times 1000)^2) \\ &= 0,377\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{9,803} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,803 \times 0,377}{400}}\right) \\ &= 0,000947\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &< \rho_{\min} \\ 0,000947 &< 0,00433 \text{ [OK]}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } \rho &= \rho_{\min} \\ &= 0,00433\end{aligned}$$

Desain tulangan

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,00433 \times 2800 \times 0,71 \times 1000 \\ &= 8608,29 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Trial/Error

Tulangan yang di pasang daerah tarik D 22 75

$$A_{s \text{ tarik}} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (\text{lebar plat/jarak})$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \times \left(\frac{2800}{75}\right)$$

$$= 14191,29 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tarik} > A_s \text{ min}$$

$$14191,29 > 8608,29 \text{ [OK]}$$

Tulangan yang dipasang di daerah tekan D 22 175

$$A_s \text{ tekan} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (\text{lebar plat/jarak})$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \times \left(\frac{2800}{175}\right)$$

$$= 6082,123 \text{ mm}^2$$

Nilai regangan (ϵ) dan faktor reduksi (ϕ) pile cap

$$a = \frac{A_s \text{ tarik} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{14191,29 \times 400}{0,85 \times 48 \times 2800}$$

$$= 49,69 \text{ mm}$$

$$C = A/\beta_1$$

$$= 49,6905/0,707$$

$$= 70,283$$

$$\epsilon_s = (d-c)/c \times 0,003$$

$$= 0,027$$

$$\epsilon_s > 0,005$$

$$0,027 > 0,005 \text{ (OK)}$$

Maka penampang terkendali tarik $\phi = 0,9$

Momen Nominal

$$M_n = A_s \text{ tarik} \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= (14191,29 \times 400 \times ((0,71 \times 1000) - (49,69/2)))/10^6$$

$$= 3889,38 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 3889,38$$

$$= 3500,44 \text{ kN.m}$$

Syarat jarak antar tulangan

$$S = 150 \text{ mm} \leq 3 \times \text{tebal pile cap}$$

$$150 \leq 3 \times (0,8 \times 1000)$$

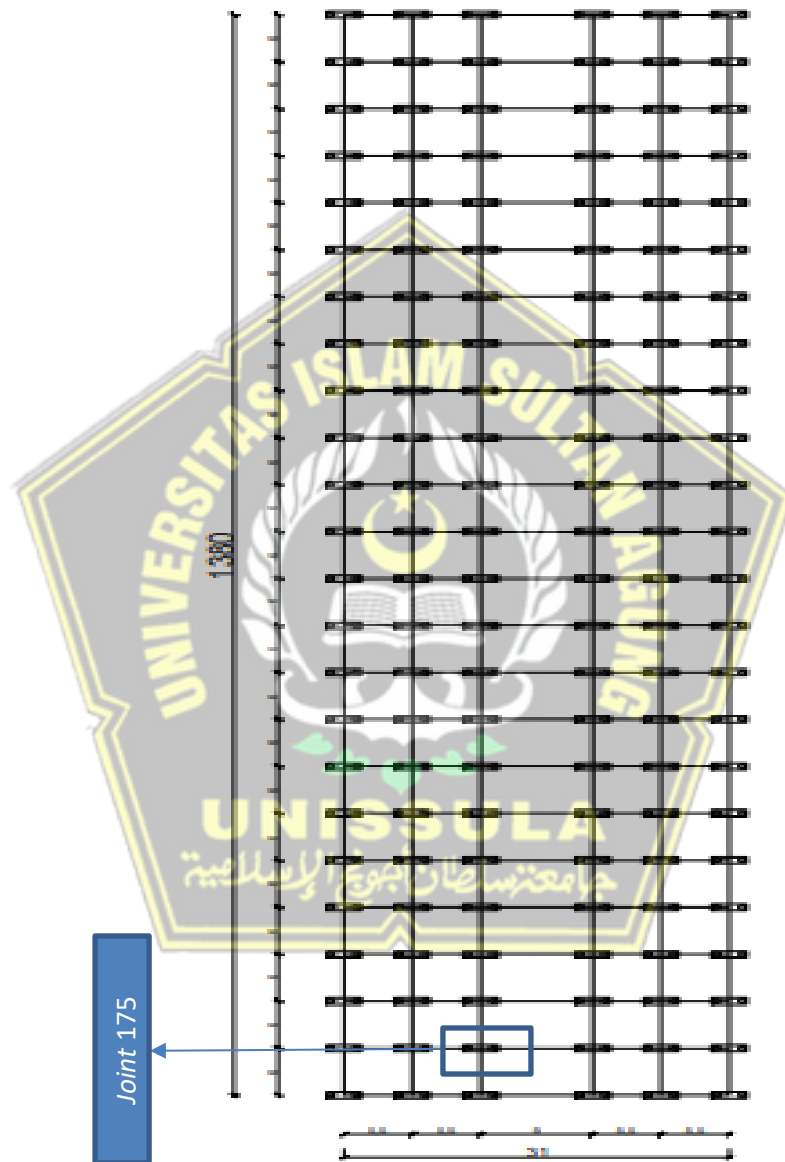
150 $\leq$ 2400 (Terpenuhi)

150 mm $\leq$ 450 (Terpenuhi)

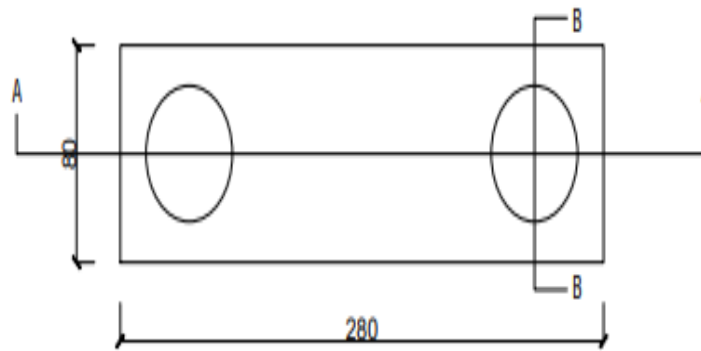
Jadi penulangan pile cap PI (2800 x 800 x 800) menggunakan :

Tulangan tarik D 22 75

Tulangan tekan D 22 175



Gambar 4. 35 Denah Fondasi



Gambar 4. 36 Tampak Atas *Pile Cap*

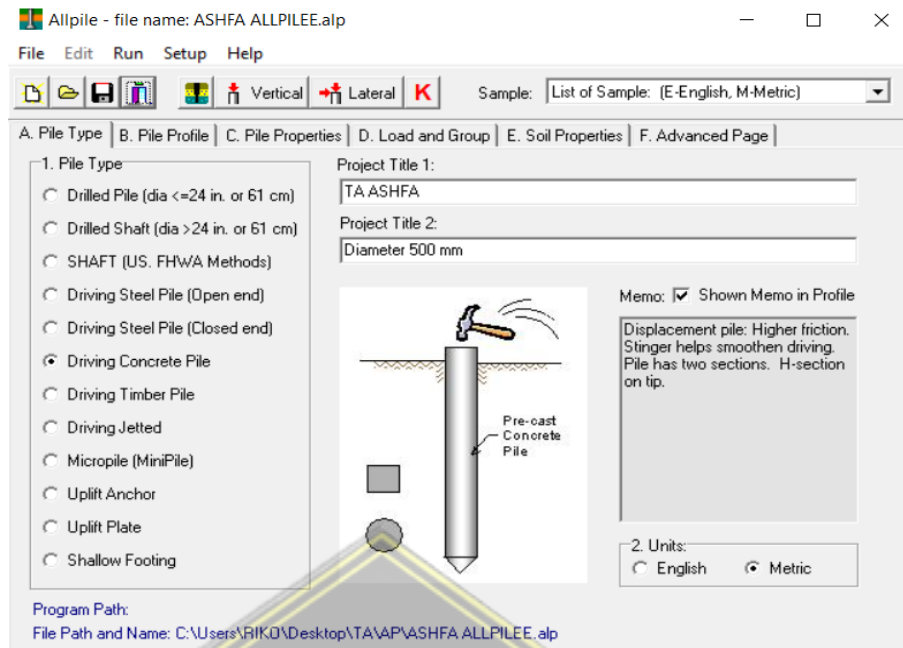
4.1.4 Analisa Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Software *Allpile*

Allpile merupakan suatu *software* yang dapat membantu dalam menganalisa penurunan sebuah fondasi. Salah satunya adalah fondasi tiang pancang. Permodelan yang dipakai pada *Allpile* diawali dengan pemilihan *pile type* kemudian *pile profile* yang telah direncanakan sebelumnya oleh perencana. Kemudian *input data pile properties* mulai dari jenis, bentuk pondasi, dimensi serta bahan atau mutu tiang pancang yang digunakan. Tak lupa, disesuaikan dengan kedalaman fondasi yang direncanakan. Pembebanan pada *Allpile* ini didapatkan dari *output SAP2000v20*. Sedangkan *soil propertiesnya* diperoleh dari parameter tanah yang diuji menggunakan alat *Standart Penetration Test* yang menghasilkan data berupa N-SPT. Selain itu, *input* angka keamanan atau *safety factor* (SF) serta nilai kohesi dan sudut geser dalam sesuai jenis tanah yang direncanakan. Adapun data dan hasil analisa penurunan fondasi pada tiang pancang adalah sebagai berikut:

Data Input *Allpile*

1. *Pile Type*

Pile Type pada perencanaan ini menggunakan jenis *Driving Concrete Pile* yang memiliki diameter 500 mm.

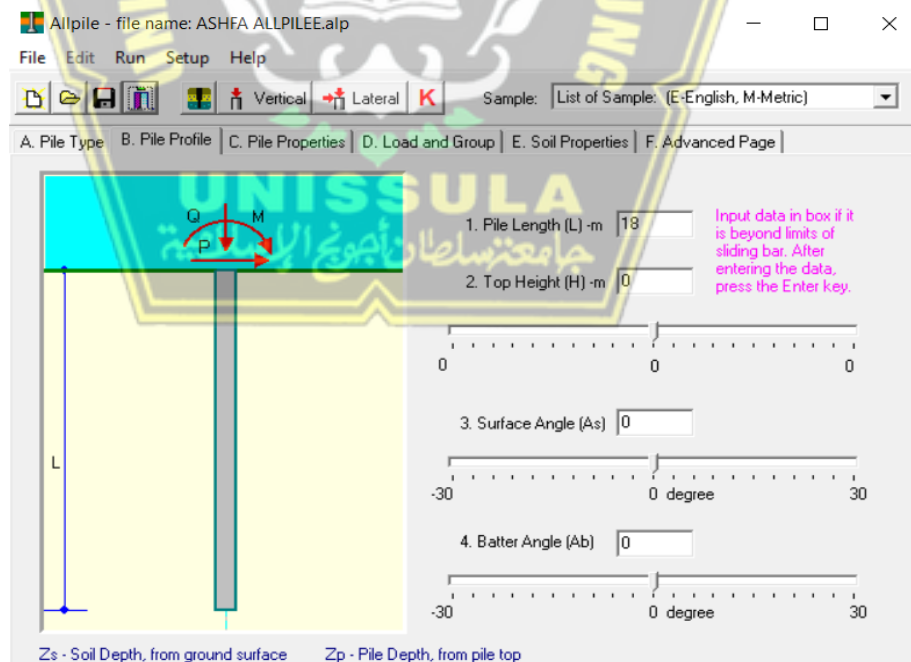


Gambar 4. 37 Pile Type

(Sumber: Hasil Analisa Allpile, 2021)

2. Pile Profile

Pile Profile pada Allpile ini diinput data kedalaman pile yang telah direncanakan.

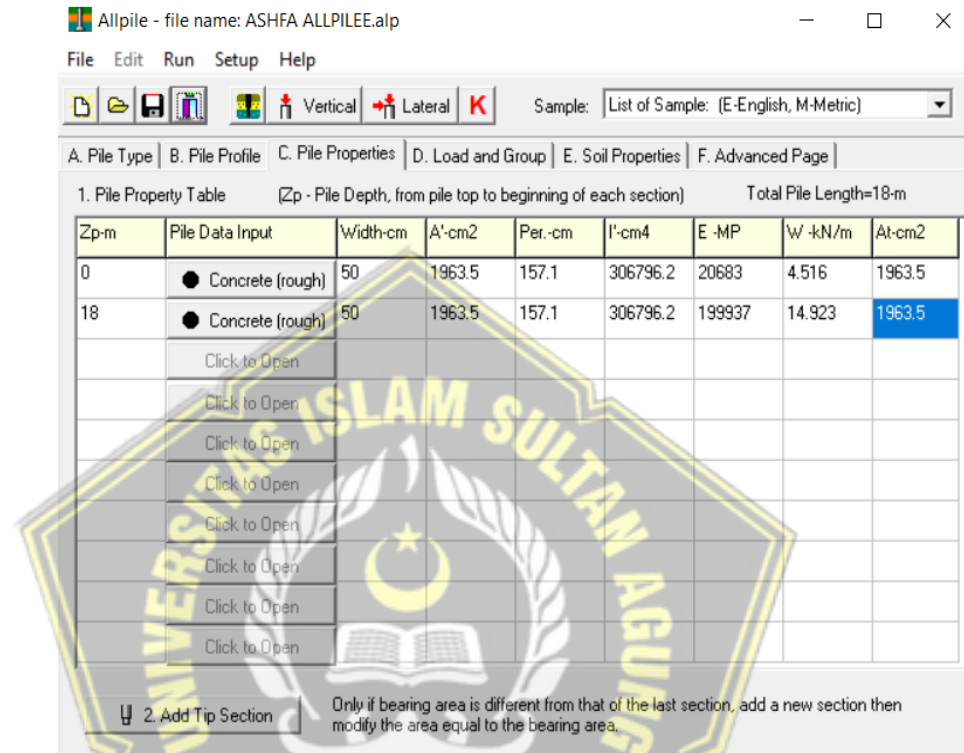


Gambar 4. 38 Pile Profile

(Sumber: Hasil Analisa Allpile, 2021)

3. *Pile Properties*

Pile Properties merupakan *input* data jenis, bentuk pondasi, dimensi serta bahan atau mutu tiang pancang yang digunakan. Tak lupa, disesuaikan dengan kedalaman fondasi yang direncanakan. Kemudian akan ter-*calculate* otomatis pada *software Allpile*.

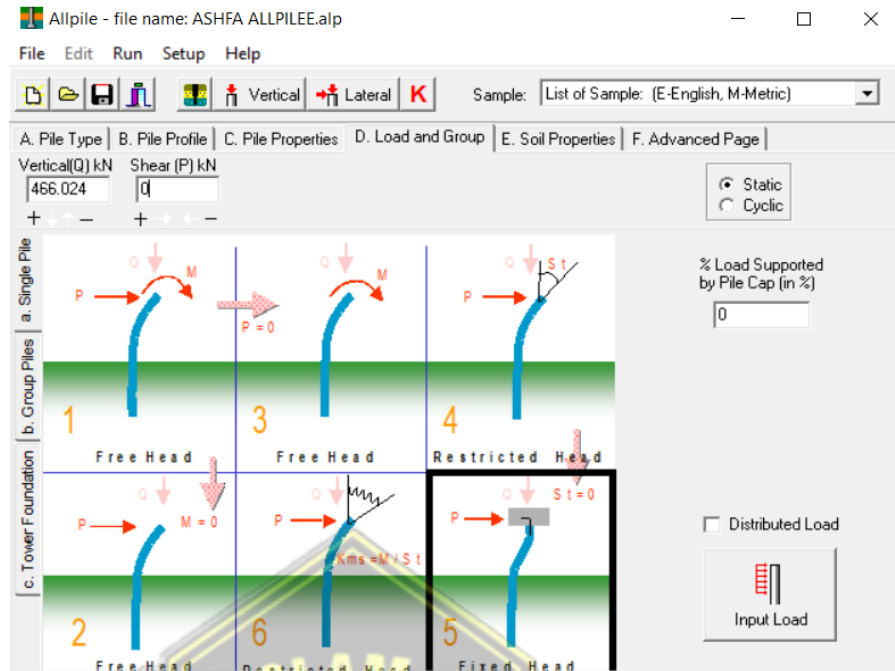


Gambar 4. 39 *Pile Properties*

(Sumber: Hasil Analisa *Allpile*, 2021)

4. *Load and Group*

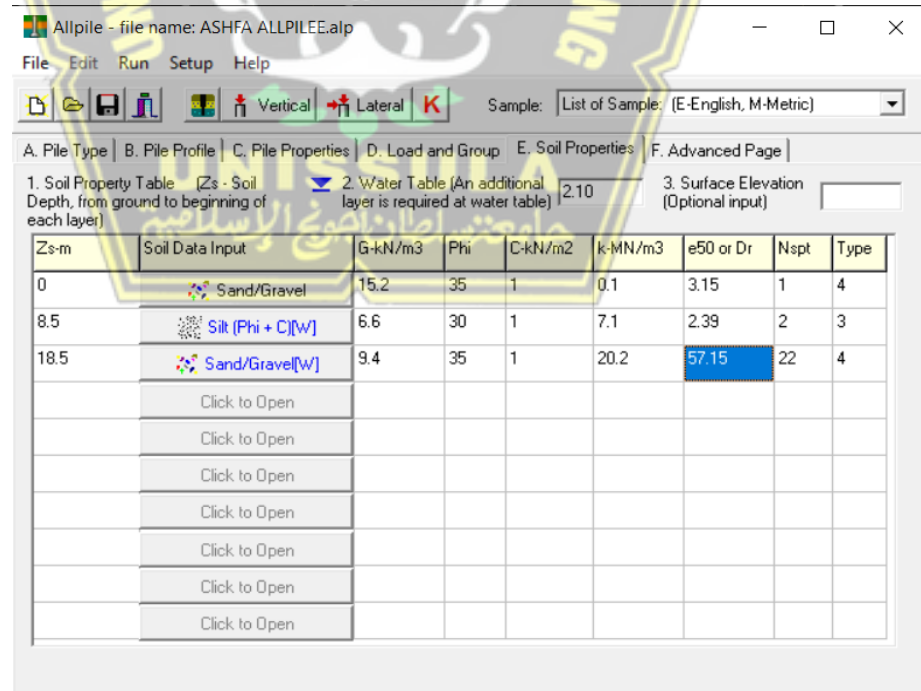
Pada *Load and Group* ini perencana menentukan pembebanan yang akan ditumpu oleh tiang pancang. Beban yang akan diterima setiap tiang pancang didapatkan pada *output SAP2000v20* dimana terjadi pada *joint* 175 yaitu sebesar 466,024 kN untuk *Vertikal* (Q) sedangkan untuk *Shear* (P) dalam *output SAP2000v20* tidak terjadi *shear* atau nilainya nol. Pada perencanaan ini penurunan tanah akan dianalisis berdasarkan satu tiang pancang.



Gambar 4. 40 Load and Group
(Sumber: Hasil Analisa Allpile, 2021)

5. Soil Properties

Soil Properties yang diinput dalam software Allpile disesuaikan dengan data parameter tanah yang ada.



Gambar 4. 41 Soil Properties
(Sumber: Hasil Analisa Allpile, 2021)

6. Advanced Page

Advanced Page disini perencana meng-input nilai *safety factor*.

File Edit Run Setup Help

Sample: List of Sample: (E-English, M-Metric)

A. Pile Type | B. Pile Profile | C. Pile Properties | D. Load and Group | E. Soil Properties | F. Advanced Page

1. Zero Friction (Non-load zone) and Negative Friction (Downdrag force): Input Soil Depth (Zs)

☐ Zero Friction from [] to [] ☐ Negative Friction from [] to [] Factor 1

☐ Zero Friction from [] to [] ☐ Negative Friction from [] to [] Factor 1

2. ☐ Zero Tip Resistance

3. Tip resistance based on stratum from pile tip extends to 10 times of pile diameter (10 recommended).

4. Analysis Parameters:

Parameters: Value [1]: Value [2]	Value [1]	Value [2]
FS for Downward: [1] FS_side; [2] FS_tip	3,0	3,0
FS for Uplift: [1] FS_side; [2] FS_weight	5,0	1,0
Load Factor: [1] Vertical,Q; [2] Lateral,P,M,T	1,0	1,0
(Critical Depth)/(Pile Diameter): [1] Side; [2] Tip	20,0	20,0
Resistance Limits: [1] Side; [2] Tip -kN/m2 (No Limit: 9999)	9999,0	9999,0
Allowable Deflection: [1] Vertical, x_allow [2] Lateral, y_allow -cm	2,0	2,0
Group Deduction Factor for Lateral Analysis: [1] Rfront [2] Rside	1,0	1,0

5. Load - Settlement Relation (t-z curve)

☒ Vesic Method ☐ Reese Method

6. Define p-y, t-z Output Points

Gambar 4. 42 Advanced Page
(Sumber: Hasil Analisa Allpile, 2021)

7. Vertical Analysis

Vertical Analysis pada perencanaan ini merupakan *analysis* pada *single pile vertical analysis (in group)* dengan *vertical load* sebesar 466,024 kN. *Sattlement* dibeban 466,02 kN sebesar 0,465 cm sedangkan pada Q_{allow} (1242,54 kN) sebesar 2,00 cm.

Result :

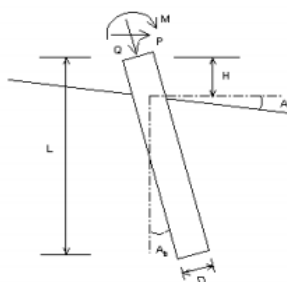
Tabel 4.20 Allpile Result

	Down	Up
	(kN)	(kN)
Total Ultimate Capacity	1272.404	79,028
Total Allowable Capacity	424.135	56

(Sumber: Output Allpile,2021)

VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Driving Concrete Pile

Loads:

Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 466.0 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restrain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:

Pile Length, L= 18.0 -m
Top Height, H= 0 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m ³	Phi	C -kN/m ²	K -MN/m ³	e50 or Dr %	Nspt	Depth -m	Width -cm	Area -cm ²	Per. -cm	I -cm ⁴	E -MP	Weight -kN/m
0	15.2	35	1	0.1	3.15	1	0.0	50	1963.5	157.1	306796.2	20683	4.516
8.5	6.6	30	1	7.1	2.39	2	18.0	50	1963.5	157.1	306796.2	199937	14.923
18.5	9.4	35	1	20.2	57.15	22							

Pile Data:

Vertical capacity:

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 50.75-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 28,264-kN Side Resistance (Up)= 28,278-kN
Tip Resistance (Down)= 1244,140-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 1272,404-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 79,026-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 424,135-kN Total Allowable Capacity (Up)= 56,403-kN
N/G! Qallow < Q

Settlement Calculation:

At Q= 466.02-kN Settlement= 0.46562-cm
At Xallow= 2.00-cm Qallow= 1242,54529-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 43 Vertical Analysis
(Sumber: Hasil Analisa Allpile, 2021)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dihasilkan dari penulisan Tugas Akhir dengan judul “*Perencanaan Struktur Gudang dengan Struktur Baja pada Tanah Lunak*” antara lain sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur atas dengan mengacu pada standar peraturan yang berlaku di Indonesia menghasilkan desain sebagai berikut,
 - a. Perencanaan atap menggunakan profil baja tipe Pipa 4 in., yang digunakan untuk lengkung atap dan Pipa 2 in., yang digunakan untuk *truss* pada lengkung atap. Sedangkan untuk gording digunakan profil baja C 150 x 75 x 12,5 x 9.
 - b. Pelat lantai didesain dengan ketebalan 200 mm berdasarkan SNI 2847:2019, serta penulangan pada pelat tipe 5,5 x 6 m digunakan D25-100 mm dengan jumlah tulangan 10 tulangan serta momen nominal sebesar 159,916 kN.m dan pelat tipe 6 x 6 m digunakan D25-100 mm dengan jumlah tulangan 10 tulangan.
 - c. Desain balok yang menggunakan material baja ditinjau pada *frame* 4383 dengan dimensi 400 x 200 x 8 x 13.
 - d. Desain kolom yang menggunakan material baja ditinjau pada *frame* 4404 dengan dimensi 400 x 400 x 13 x 21.
 - e. Sambungan yang digunakan pada perencanaan ini menggunakan sambungan las E70xx (ksi) dan sambungan baut M16 diameter 18 mm.
2. Hasil perencanaan gudang ini menggunakan jenis-jenis profil baja sebagai berikut,
 - a. Atap Lengkung Pipa 4 in.
 - b. Truss Atap Lengkung Pipa 2 in.
 - c. Gording C 150 x 75 x 12,5 x 9
 - d. Balok I/WF 400 x 200 x 8 x 13
 - e. Kolom I/WF 400 x 400 x 13 x 21

3. Perencanaan fondasi tiang pancang diambil *sample* pada *joint* 176 yang memiliki beban sebesar 466,024 kN yang keseluruhan *joint* dikalkulasikan menggunakan 2 tiang dalam satu jenis *pile cap* (2800 x 800 x 800) serta digunakan D22-75 pada wilayah tarik dan D22-175 di wilayah tekan. Fondasi yang digunakan yaitu tiang pancang ukuran 500 mm produksi PT. WIKA Beton yang diperoleh tahanan aksial tanah, $Q_{ult} = 2084,70$ kN dan daya dukung *allowable* fondasi, $Q_{all} = 694,90$ kN.
4. Analisa penurunan fondasi tiang pancang digunakan *software Allpile* yang menunjukkan adanya *settlement* 0,465 cm pada beban *single pile* 466,024 kN. Sedangkan pada Q_{allow} sebesar 1242,54 kN menunjukkan *settlement* sebesar 2,00 cm.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil Tugas Akhir ini, beberapa saran yang bias dilakukan apabila akan melakukan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut,

1. Penguasaan *software* yang akan digunakan dalam perencanaan merupakan suatu hal yang penting dalam mendukung hasil analisa *output software* tersebut selain itu penginputan data dalam *software* serta satuan yang digunakan dapat dilakukan secara benar dan teliti sehingga meminimalisir terjadinya kesalahan hasil *output* yang dikeluarkan oleh *software*.
2. Sebaiknya sebelum melakukan suatu perencanaan struktur tentukan dahulu jenis struktur yang digunakan, agar saat dilakukan perhitungan secara manual diperoleh kesesuaian terhadap hasil *output software* yang digunakan sehingga akan lebih baik dan efisien.
3. Perencanaan harus disesuaikan dengan peraturan dan persyaratan struktur yang berlaku di Indonesia. Sebaiknya menggunakan peraturan dan persyaratan terbaru yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2021. *SNI 03-1729:2002 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2021. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2021. *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2021. *SNI 1727:2020 Peraturan Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2021. *SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2021. *SNI 8640:2020 Persyaratan Perencanaan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- ASTM. 2021. *ASTM International, 2016, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2019c, 2020*
- AISC. 2021. *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10) - 2010*
- Indonesia. 2021. *Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia, Nomor 42 Pasal 1 Ayat 2*.
- Arifi, E. dan Setyowulan, D. 2021. *Perencanaan Struktur Baja Berdasarkan SNI 1729:2020*. Malang: UB Press
- Putra, E.A. dan Hasan, B. D. K. 2012. *Perencanaan Ulang Struktur Gedung Laboratorium Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan Struktur Baja Metode LRFD*, Proyek Akhir. Surabaya: Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- Arifianto, D. 2015. *Studi Perilaku Sambungan T-Joint Pipa Baja Akibat Beban Cyckic Dengan Simulasi Finite Element Method*, Tesis. Surabaya: Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Pratama, R.P. dan Muzakky, I. 2016. *Perencanaan Struktur Bangunan Gudang Menggunakan Material Baja*. Tugas Akhir. Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung
- Subagio, A.S. 2017. *Modifikasi Struktur Atap Stadion Mimika-Papua Menggunakan Rangka Baja Ruang Tipe Busur*, Tugas Akhir. Surabaya: Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Beton, WIKA. 2017. *PC PILES WIKA Beton*. Diakses pada Juni 2021, dari <https://www.wika-beton.co.id/uploads/2-PC-PILES.pdf>
- Sulistyo, Gunawan. 2018. *Tabel Profil Wide Flange Berdasarkan Metode Load Resistance Factor Design (LRFD) SNI 03-1729:2002*. Diakses pada April 2021, dari <https://www.slideshare.net/gnwnsulistyotabel-bajawflrfd>
- Wahyudi, M.I. dan Saptayoga, A. 2019. *Perencanaan Struktur Gedung 7 Tingkat FK Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2021*. Tugas Akhir. Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung.
- Merdanti, L.R. dan Maulida, I. 2020. *Perencanaan Struktur Bangunan Pabrik dan Kantor PT. Geomed Indonesia Menggunakan Struktur Baja*. Tugas Akhir. Teknik Sipil: Universitas Islam Sultan Agung

LAMPIRAN





LEMBAR ASISTENSI

Nama : 1. Ashfa Taqiya
2. Isnah Nur Aenin

NIM : 30201700031
30201700088

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	8-4/2021	- Buat model struktur Judey.	
2	31-5/21	- buat & lt dasar book skn - hitung pen beban ser. manual → tentukan angle, luas, daya. SN 1727-2020.	
3	12 Juni 2021	- perbaiki asumsi pemodelan di SAP - Balok di pinggir dihilangkan - run kembali struktur atas	
4	30 Juni 2021	- cek rasio tegangan yg terjadi di struktur atas - jika terlalu kecil rasio stressnya, dimensi kuda2 maupun kolom dikecilkan agar efisien - rencanakan struktur bawah	

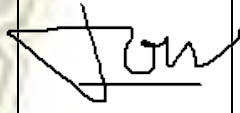


LEMBAR ASISTENSI

Nama : 1. Ashfa Taqiya
2. Isnah Nur Aenin

NIM : 30201700031
30201700088

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	8 Juli 2021	- gunakan data tanah yg ada utk desain fondasi - perhitungan plat utk beban 1600 kg/m² (beban hidup) - mulai digambar bertahap: denah, tampak, potongan dan detail.	
6	19 Juli 2021	- lengkapi gambar secara detail, jika pembimbing 2 sdh acc, lembar pengesahan kirim ke sy.	
7	20 Juli 2021	TA Acc, bisa seminar TA	



LEMBAR ASISTENSI

Nama

: 1. Ashfa Taqiya
2. Isnah Nur Aenin

NIM

: 30201700031

30201700088

Dosen Pembimbing II

: Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	14/04/2021	- Di perkelas lagi. Tugasan TA apa? - Lanjut bab 1 & 3! - diperbaiki suber pakuur pustaka!	lf
2.	24/05/2021	- Di kelas pet bab 3: Data Primer & Sekunder apa saja! - Data tanah TS Roh diperbaiki PVD & prebay dihapus ambil dari jurnal ... disebutkan - bab 2: tambahkan materi mengenai PVD & prebay	lf
3.	29/06/21	- Tentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam sesuai jenis tanah yang direncanakan - Lanjutkan perhitungan fondasi tiang pancang.	lf



LEMBAR ASISTENSI

Nama

: 1. Ashfa Taqiya
2. Isnah Nur Aenin

NIM

: 30201700031

30201700088

Dosen Pembimbing II

: Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
4.	16/21 07	- Cek perhitungan N_1, N_2 dan N_b SPT nya - Lengkapi dengan perhitungan Penurunan pondasi yang pancang menggunakan Software Allpile	
5.	19/21 07	- Berikan penomoran pada rumus rumus yang di cantumkan pada bab 2 yang digunakan untuk aluan pada bab 4.	



LEMBAR ASISTENSI

Nama : 1. Ashfa Taqiya
2. Isnah Nur Aenin

NIM : 30201700031
30201700088

Dosen Pembimbing : Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	31 Juli 2021	• penulisan formula rusli ada yang lebih • simbol dibuat italic - penulisan desimal dirapikan	
2.	1 Agustus 2021	ACC laporan cetak dan lampirkan ke dosen pembimbing TA	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

**DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR**

Hari
Tanggal
Jam

Selasa
27 Juli 2021
09.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Bangunan Gudang Dengan Struktur Baja Pada Tanah Lunak

1	Ashfa Taqiya	30201700031	1	
2	Isnah Nur Aenin	30201700088	2	

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	
2	Lisa Fitriyana, ST, M. Eng	
3	Muhammad Rusli Ahyar, ST, M. Eng	

Semarang, 27 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil





YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

**JUDUL TUGAS AKHIR
DALAM BAHASA INGGRIS**

Hari
Tanggal
Jam

Selasa
27 Juli 2021
09.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Bangunan Gudang Dengan Struktur Baja Pada Tanah Lunak

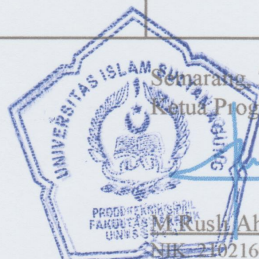
JUDUL TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

Design of Warehouse Building Using Steel Structure on Soft Soil

1	Ashfa Taqiya	30201700031	1	
2	Isnah Nur Aenin	30201700088	2	

Pembimbing Tugas Akhir

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	
2	Lisa Fitriyana, ST, M. Eng	



Semarang, 27 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Rusli Ahyar, ST, M. Eng
NIK 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax: (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 24 / A.2 / SA - T / VII / 2021

Pada hari ini, Selasa Tanggal 27 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Ashfa Taqiya	30201700031
2 Nama	Isnah Nur Aenin	30201700088

Judul TA Perencanaan Bangunan Gudang Dengan Struktur Baja Pada Tanah Lunak

Dengan Hasil

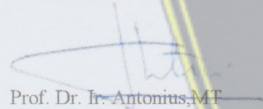
: Baik, prbaiki sesuai koreksi hasil seminar.....

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan penggunaan seperlunya.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT


Lisa Fitriyana, ST, M.Eng


Muhammad Rusli Ahyar, ST, M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


M. Rusli Ahyar, ST, M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR
MAHASISWA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Hari : Selasa
Tanggal : 27 Juli 2021
Tempat : Fakultas Teknik UNISSULA

NO	NAMA	NIM	TANDA TANGAN
1	Ashfa Taqiya	30201700031	1
2	Isnah Nur Aenin	30201700088	2
3			3
4			4
5			5
6			6
7			7
8			8
9			9
10			10
11			11
12			12
13			13
14			14
15			15
16			16
17			17
18			18
19			19
20			20
MENGETAHUI			
DOSEN PENGUJI		DOSEN PENGUJI	
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT		M. Rusli Ahyar, ST, M. Eng	

GEOLOGIC DRILLING LOG						Project : PEMBANGUNAN GUDANG PELINDO 1									
						Location : PELABUHAN BELAWAN									
COORDINATE :						BOR : BM (01)									
BEGINNING : 13/Mar/18						BORING MACH : YBM S 05									
ENDING : 17/Mar/18						DRILL MASTER : Nova Sembiring									
TOTAL DEPTH : 60.00 m						LOGGED BY : Nova Sembiring									
FINAL GWL : 1.60 m						CHECKED BY : Wardani Galton									
						Company Name									
						PT. MATRA BANGUN TECHNOCONSULT									
						STANDARD PENETRATION TEST (SPT)									
						GRAPH N - VALUE				N / 15 CM	N / 15 CM	N / 15 CM	N BLOW S		
										N 1	N 2	N 3	N 2 + N 3		
DEPTH (m)	THICKNESS (m)	GWL (m)	METHODS OF SMPLE UDSIDS	LITHOLOGY SYMBOL	SOIL AND / OR ROCK DESCRIPTION										
1	2.00				Top Soil : soil pile, sand, dark gray color, non plastic, low water content, solid density										
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10	17.00				type of sandy silt soil and profil clam, dark gray color, medium plastic, medium water content, very soft density,										
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20	24.00				soil type of fine sand a little silt and tupa, dark gray color, low plastic, medium water content, density rather dense										
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27	40.00				type of sandy loam soil clay, bright gray color, medium plastic, moderate water content, slightly stiff density										
28															
29															
30															
LEGEND :															
Disturbed Sample															
Undisturbed Sample															
Ground Water Level (GWL)															
Gravel or Gravelly Sand															
Medium Sand or Rough Sand															
Fine Sand															
Silty Sand or Sandy Silt															
Clayey Sand or Sandy Clay															
Clayey Silt or Silty Clay															
Clay or Silt															

GEOLOGIC DRILLING LOG					Project : PEMBANGUNAN GUDANG PELINDO 1						
					Location : PELABUHAN BELAWAN						
COORDINATE :					BOR : BM (01)						
BEGINNING : 13/Mar/18					BORING MACHINE : YBM S 05						
ENDING : 17/Mar/18					DRILL MASTER : Nova Sembiring						
TOTAL DEPTH : 60.00 m					LOGGED BY : Nova Sembiring						
FINAL GWL : 1.60 m					CHECKED BY : Wardani Gultom						
					Company Name						
					PT. MATRA BANGUN TECHNOCONSULT						
					STANDARD PENETRATION TEST (SPT)						
DEPTH (m)	THICKNESS (m)	GWL (m)	METHODS OF SMPLE UDS/DS	LITHOLOGY SYMBOL	SOIL AND / OR ROCK DESCRIPTION	GRAPH	N / 15 CM	N / 15 CM	N / 15 CM	N BLOWS	
						N - VALUE					
						10 20 30 40 50 60 70	N 1	N 2	N 3	N 2 + N 3	
31								4	4	4	8
32								4	8	8	16
33								1	3	7	10
34								2	6	8	14
35								5	5	7	12
36								3	7	7	14
37								1	4	9	13
38								2	6	6	12
39								6	9	9	18
40								1	12	15	27
41								4	8	11	19
42								4	7	11	18
43								8	9	12	21
44								9	9	19	28
45								12	21	21	42
46								16	18	24	42
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											

GEOLOGIC DRILLING LOG					Project : PEMBANGUNAN GUDANG PELINDO 1									
Location : PELABUHAN BELAWAN					BOR : BM (02)									
COORDINATE : BEGINNING : 18/Mar/18 ENDING : 21/Mar/18 TOTAL DEPTH : 60.00 m FINAL GWL : 2.10 m					BORING MACH : YBM S 05 DRILL MASTER : Nova Sembiring LOGGED BY : Nova Sembiring CHECKED BY : Wardani Galum									
					Company Name PT. MATRA BANGUN TECHNOCONSULT									
					STANDARD PENETRATION TEST (SPT)									
					GRAPH N - VALUE						N / 15 CM	N / 15 CM	N / 15 CM	N / 15 CM
					10 20 30 40 50 60 70						N 1	N 2	N 3	N 2 + N 3

LEGEND :			
	: Disturbed Sample		: Gravel or Gravelly Sand
	: Undisturbed Sample		: Medium Sand or Rough Sand
	: Ground Water Level (GWL)		: Fine Sand
			: Silty Sand or Sandy Silt
			: Clayey Sand or Sandy Clay
			: Clayey Silt or Silty Clay
			: Clay or Silt

GEOLOGIC DRILLING LOG					Project : PEMBANGUNAN GUDANG PELINDO 1				
					Location : PELABUHAN BELAWAN				
COORDINATE :					BOR : BM (02)				
BEGINNING : 18/Mar/18					BORING MACHINE : YBM S 05				
ENDING : 21/Mar/18					DRILL MASTER : Nova Sembiring				
TOTAL DEPTH : 60.00 m					LOGGED BY : Nova Sembiring				
FINAL GWL : 2.10 m					CHECKED BY : Wardani Gultom				
					Company Name				
					PT. MATRA BANGUN TECHNOCONSULT				
					STANDARD PENETRATION TEST (SPT)				
DEPTH (m)	THICKNESS (m)	GWL (m)	METHODS OF SAMPLE UDS/DS	LITHOLOGY SYMBOL	SOIL AND / OR ROCK DESCRIPTION	GRAPH N - VALUE			
						N 1	N 2	N 3	N 2 + N 3
31						7	10	13	23
32						9	13	16	29
33						10	14	17	31
34						7	7	9	16
35						8	10	14	24
36						5	9	14	23
37						6	8	8	16
38						3	6	9	15
39						6	7	14	21
40						8	8	13	21
41						10	10	12	22
42						5	10	10	20
43						3	7	12	19
44						9	17	21	38
45						13	20	24	44
46						18	18	21	39
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									

sandy clay, bright gray, high plastic, low moisture content, slightly stiff density

60.00

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

UNISSULA

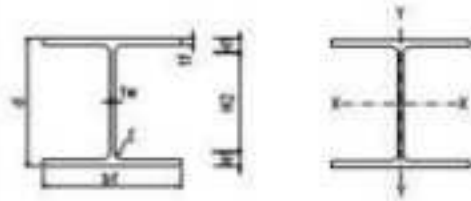
**TABEL PROFIL WIDE FLANGE BERDASARKAN
METODE**

LOAD RESISTANT FACTOR DESIGN (LRFD)

Berdasarkan SNI 03 -1729-2002



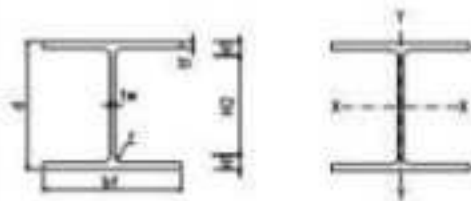
Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

		Sifat Mekanis Baja Struktural			$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad *$ $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad *$		$Z_x = \frac{t_w d^2}{4} + (b_f - t_w) * (d - t_f) \quad **$ $Z_y = \frac{t_f d^2}{2} + (h - 2t_f) * \frac{t_w^2}{4} \quad **$												
		Jenis	fu (Mpa)	fy (Mpa)															
		BJ 34	340	210															
		BJ 37	370	240															
		BJ 41	410	250															
		BJ 50	500	290															
		BJ 55	510	410															
		*Tabel 8.3.2 SNI 03-1729-2002					**PPBBI 1984 Chapter 10.												
Sectional Dimension								Sectional Properties								Compact Section Criteria			
	d	x	bf	tw	tf	r	H2	Sec. of Area	Unit Weight	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration of Area (cm)		Elastic Modulus of Section (cm ³)				Plastic Modulus of Section (cm ³)	
	mm		mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy	b/2tf	h/tw
WF	100	x	50	5.0	7.0	8.0	70.0	11.85	9.30	187	15	3.97	1.13	37	6	42	9	3.57	14.00
	100		100	6.0	8.0	10.0	64.0	21.90	17.19	383	134	4.18	2.47	77	27	84	41	6.25	10.67
WF	125	x	60	6.0	8.0	9.0	91.0	16.84	13.22	413	29	4.95	1.31	66	10	74	15	3.75	15.17
	125		125	6.5	9.0	10.0	87.0	30.31	23.79	847	293	5.29	3.11	136	47	149	71	6.94	13.38
WF	150	x	75	5.0	7.0	8.0	120.0	17.85	14.01	666	49	6.11	1.66	89	13	98	21	5.36	24.00
	148	x	100	6.0	9.0	11.0	108.0	26.8	21.07	1020	151	6.16	2.37	138	30	150	46	5.56	18.00
	150	x	150	7.0	10.0	11.0	108.0	40.1	31.51	1640	563	6.39	3.75	219	75	240	114	7.50	15.43
WF	175	x	90	5.0	8.0	9.0	141.0	23.1	18.09	1210	98	7.25	2.06	138	22	152	33	5.63	28.20
	175		175	7.5	11.0	12.0	129.0	51.2	40.20	2880	984	7.50	4.38	329	112	360	171	7.95	17.20
WF	198	x	99	4.5	7.0	11.0	162.0	23.2	18.20	1580	114	8.26	2.22	160	23	170	35	7.07	36.00
	200	x	100	5.5	8.0	11.0	162.0	27.2	21.32	1840	134	8.23	2.22	184	27	200	41	6.25	29.45
	194	x	150	6.0	9.0	13.0	150.0	39.0	30.62	2690	507	8.30	3.61	277	58	296	103	8.33	25.00
	200	x	200	8.0	12.0	13.0	150.0	63.53	49.87	4720	1600	8.62	5.02	472	160	513	243	8.33	18.75
WF	248	x	124	5.0	8.0	12.0	208.0	32.68	25.65	3540	255	10.41	2.79	285	41	305	63	7.75	41.60
	250	x	125	6.0	9.0	12.0	208.0	37.66	29.56	4050	294	10.37	2.79	324	47	352	72	6.94	34.67
	244	x	175	7.0	11.0	16.0	190.0	56.24	44.15	6120	984	10.43	4.18	502	112	535	171	7.95	27.14
	250	x	250	9.0	14.0	16.0	190.0	92.18	72.36	10800	3650	10.82	6.29	864	292	937	442	8.93	21.11
WF	298	x	149	5.5	8.0	13.0	256.0	40.80	32.03	6320	442	12.45	3.29	424	59	455	91	9.31	46.55
	300	x	150	6.5	9.0	13.0	256.0	46.78	36.72	7210	508	12.41	3.30	481	68	522	104	8.33	39.38
	294	x	200	8.0	12.0	18.0	234.0	72.38	56.82	11300	1600	12.49	4.70	769	160	823	244	8.33	29.25
	300	x	300	10.0	15.0	18.0	234.0	119.80	94.04	20400	6750	13.05	7.51	1360	450	1465	682	10.00	23.40
	300		305	15.0	15.0	18.0	234.0	134.80	105.82	21500	7100	12.63	7.26	1433	466	1577	713	10.17	15.60

*Tabel 8.3.2 SNI 03-1729-2002

**PPBB1 1984 Chapter 10.

Standard Sectional Dimension of WF-steel and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

		Sifat Mekanis Baja Struktural			$ix = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \quad *$		$iy = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \quad *$		$Zx = \frac{t_w d^2}{4} + (b_f - t_w) * (d - t_f) t_f \quad **$		$Zy = \frac{t_f d^2}{2} + (h - 2t_f) * \frac{t_w^2}{4} \quad **$								
		Jenis			fu (Mpa)		fy (Mpa)												
		BJ 34			340		210												
		BJ 37			370		240												
		BJ 41			410		250												
		BJ 50			500		290												
		BJ 55			510		410												
									*Tabel 8.3.2 SNI 03-1729:2002		**PPBBI 1984 Chapter 10.								
Sectional Dimension								Sectional Properties											
d x bf tw tf r H2								Sec. of Area	Unit Weight	Geometrical Moment of Inertia (cm ⁴)		Radius of Gyration of Area (cm)		Elastic Modulus of Section (cm ³)		Plastic Modulus of Section (cm ³)		Compact Section Criteria	
								cm ²	kg/m	Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy	b _f /2t _f	h/t _w
WF	346	x	174	6.0	9.0	14.0	300.0	52.68	41.35	11100	792	14.52	3.88	642	91	689	139	9.67	50.00
	350	x	175	7.0	11.0	14.0	300.0	63.14	49.56	13600	984	14.68	3.95	777	112	841	172	7.95	42.86
	340	x	250	9.0	14.0	20.0	272.0	101.50	79.68	21700	3650	14.62	6.00	1276	292	1360	444	8.93	30.22
	350	x	350	12.0	19.0	20.0	272.0	173.90	136.51	40300	13600	15.22	8.84	2303	777	2493	1175	9.21	22.67
WF	396	x	199	7.0	11.0	16.0	342.0	72.16	56.65	20000	1450	16.65	4.48	1010	146	1088	222	9.05	48.86
	400	x	200	8.0	13.0	16.0	342.0	84.12	66.03	23700	1740	16.79	4.55	1185	174	1286	266	7.69	42.75
	390	x	300	10.0	16.0	22.0	314.0	136.00	106.76	38700	7210	16.87	7.28	1985	481	2116	729	9.38	31.40
	400	x	400	13.0	21.0	22.0	314.0	218.70	171.68	66600	22400	17.45	10.12	3330	120	3600	1695	9.52	24.15
WF	450	x	200	9.0	14.0	18.0	386.0	96.76	75.96	33500	1870	18.61	4.40	1489	187	1621	289	7.14	42.89
	440	x	300	11.0	18.0	24.0	356.0	157.40	123.56	56100	8110	18.88	7.18	2550	541	2728	822	8.33	32.36
WF	496	x	199	9.0	14.0	20.0	428.0	101.30	79.52	41900	1840	20.34	4.26	1690	185	1836	287	7.11	47.56
	500	x	200	10.0	16.0	20.0	428.0	114.20	89.65	47800	2140	20.46	4.33	1912	214	2096	332	6.25	42.80
	482	x	300	11.0	15.0	26.0	400.0	145.50	114.22	60400	6760	20.37	6.82	2506	451	2663	689	1.000	36.36
	488	x	300	11.0	18.0	26.0	400.0	163.50	128.35	71000	8110	20.84	7.04	2910	541	3100	824	8.33	36.36
WF	596	x	199	10.0	15.0	22.0	522.0	120.50	94.59	68700	1980	23.88	4.05	2305	199	2535	311	6.63	52.20
	600	x	200	11.0	17.0	22.0	522.0	134.40	105.50	77600	2280	24.03	4.12	2587	228	2863	357	5.88	47.45
	582	x	300	12.0	17.0	28.0	492.0	174.50	136.98	103000	7670	24.30	6.63	3540	511	3782	785	8.82	41.00
	588	x	300	12.0	20.0	28.0	492.0	192.50	151.11	118000	9020	24.76	6.85	4014	601	4309	920	7.50	41.00
WF	700	x	300	13.0	24.0	28.0	596.0	215.50	184.87	201000	10800	30.54	7.08	5743	720	6249	1108	6.25	45.85
WF	800	x	300	14.0	26.0	28.0	692.0	267.40	209.91	292000	11700	33.05	6.61	7300	780	7995	1207	5.77	49.43
WF	900	x	300	16.0	28.0	28.0	788.0	309.80	243.19	411000	12600	36.42	6.38	9133	840	10174	1314	5.36	49.25

*Tabel 8.3.2 SNI 03-1729-2002

**PPBBI 1984 Chapter 10.

Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional
Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

Created by Anggry (2010)

Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	fu (Mpa)	fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

Penampang Kompak $M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$ **

**Tabel 7.5.1 .SNI-03-1729-2002.

Sectional Dimension								Compact Section Criteria											
	d mm	x	bf mm	tw mm	tf mm	r mm	H2 mm	bf/2tf	h/tw	BJ 34		BJ 37		BJ 41		BJ 50		BJ 55	
										$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$
WF	100	x	50	5.0	7.0	8.0	70.0	3.57	14.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	100		100	6.0	8.0	10.0	64.0	6.25	10.67	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	125	x	60	6.0	8.0	9.0	91.0	3.75	15.17	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	125		125	6.5	9.0	10.0	87.0	6.94	13.38	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	150	x	75	5.0	7.0	8.0	120.0	5.36	24.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	148	x	100	6.0	9.0	11.0	108.0	5.56	18.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	150	x	150	7.0	10.0	11.0	108.0	7.50	15.43	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	175	x	90	5.0	8.0	9.0	141.0	5.63	28.20	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	175		175	7.5	11.0	12.0	129.0	7.95	17.20	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	198	x	99	4.5	7.0	11.0	162.0	7.07	36.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	200	x	100	5.5	8.0	11.0	162.0	6.25	29.45	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	194	x	150	6.0	9.0	13.0	150.0	8.33	25.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	200	x	200	8.0	12.0	13.0	150.0	8.33	18.75	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	248	x	124	5.0	8.0	12.0	208.0	7.75	41.60	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	250	x	125	6.0	9.0	12.0	208.0	6.94	34.67	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	244	x	175	7.0	11.0	16.0	190.0	7.95	27.14	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	250	x	250	9.0	14.0	16.0	190.0	8.93	21.11	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40

Standard Sectional Dimension of WF-steel and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	f_u (Mpa)	f_y (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

Penampang Kompak $M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$ **

**Tabel 7.5.1 .SNI-03-1729-2002.

Sectional Dimension								Compact Section Criteria											
d mm		x	bf mm	tw mm	tf mm	r mm	H2 mm	bf/2tf	h/tw	BJ 34		BJ 37		BJ 41		BJ 50		BJ 55	
										$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$
WF	298	x	149	5.5	8.0	13.0	256.0	9.31	46.55	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	300	x	150	6.5	9.0	13.0	256.0	8.33	39.38	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	294	x	200	8.0	12.0	18.0	234.0	8.33	29.25	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	300	x	300	10.0	15.0	18.0	234.0	10.00	23.40	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	300		305	15.0	15.0	18.0	234.0	10.17	15.60	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	346	x	174	6.0	9.0	14.0	300.0	9.67	50.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	350	x	175	7.0	11.0	14.0	300.0	7.95	42.86	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	340	x	250	9.0	14.0	20.0	272.0	8.93	30.22	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	350	x	350	12.0	19.0	20.0	272.0	9.21	22.67	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	396	x	199	7.0	11.0	16.0	342.0	9.05	48.86	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	400	x	200	8.0	13.0	16.0	342.0	7.69	42.75	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	390	x	300	10.0	16.0	22.0	314.0	9.38	31.40	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	400	x	400	13.0	21.0	22.0	314.0	9.52	24.15	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	450	x	200	9.0	14.0	18.0	386.0	7.14	42.89	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	440	x	300	11.0	18.0	24.0	356.0	8.33	32.36	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	496	x	199	9.0	14.0	20.0	428.0	7.11	47.56	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	500	x	200	10.0	16.0	20.0	428.0	6.25	42.80	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	482	x	300	11.0	15.0	26.0	400.0	1.000	36.36	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40

Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	fu (Mpa)	fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

Penampang Kompak $M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$ **

**Tabel 7.5.1 .SNI-03-1729-2002.

Sectional Dimension							Compact Section Criteria												
d mm		x	bf mm	tw mm	tf mm	r mm	H2 mm	bf/2tf	h/tw	BJ 34		BJ 37		BJ 41		BJ 50		BJ 55	
										$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$
	488	x	300	11.0	18.0	26.0	400.0	8.33	36.36	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	596	x	199	10.0	15.0	22.0	522.0	6.63	52.20	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	600	x	200	11.0	17.0	22.0	522.0	5.88	47.45	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	582	x	300	12.0	17.0	28.0	492.0	8.82	41.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
	588	x	300	12.0	20.0	28.0	492.0	7.50	41.00	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	700	x	300	13.0	24.0	28.0	596.0	6.25	45.85	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	800	x	300	14.0	26.0	28.0	692.0	5.77	49.43	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40
WF	900	x	300	16.0	28.0	28.0	788.0	5.36	49.25	115.93	11.73	108.44	10.97	106.25	10.75	98.65	9.98	82.97	8.40



Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

Created by Anggry (2010)

Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	f_u (Mpa)	f_y (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

$$Z_{xx} = 1,76 \cdot I_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$A_k = I_y \cdot \left[\frac{S_y}{f_y - f_r} \sqrt{1 + x_2 f_k^2} \right]$$

$$x_1 = \left[\frac{S_y}{S_x} \right] \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$x_2 = 4 \cdot \left[\frac{S_y}{G \cdot J} \right] \cdot \frac{I_y}{I_x}$$

$$I_y = I_x \cdot \frac{h^2}{4}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3$$

Dimana :

f_r : 70 MPa (Tegangan Sisa)
 f_L : $f_y - f_r$
 E : 200000 MPa (Modulus section Baja)
 G : 80000 Mpa (Modulus Geser Baja.)
 J : Konstanta Putir Torsi (cm⁴)
 I_y : Konstanta Putir Lengkung (cm⁶)

Sectional Dimension								BJ 34			BJ 37			BJ 41			BJ 50			BJ 55		
	d	x	hf	tw	tf	r	H2	Mn (Ton.M) Zx*fy	lp	lx	Mn (Ton.M) Zx*fy	lp	lx	Mn (Ton.M) Zx*fy	lp	lx	Mn (Ton.M) Zx*fy	lp	lx	Mn (Ton.M) Zx*fy	lp	lx
WF	100	x	50	5.0	7.0	8.0	70.0	0.878	61.11	371.07	1.003	57.16	308.14	1.045	56.01	291.90	1.212	52.00	242.01	1.714	43.73	164.09
	100		100	6.0	8.0	10.0	64.0	1.768	134.35	865.26	2.020	125.68	716.28	2.105	123.14	677.78	2.441	114.33	559.27	3.452	96.15	373.54
WF	125	x	60	6.0	8.0	9.0	91.0	1.554	71.28	400.18	1.776	66.67	333.27	1.850	65.33	316.03	2.145	60.65	263.09	3.033	51.01	180.54
	125		125	6.5	9.0	10.0	87.0	3.131	168.87	966.24	3.579	157.97	802.09	3.728	154.77	759.74	4.324	143.70	629.55	6.113	120.86	426.18
WF	150	x	75	5.0	7.0	8.0	120.0	2.062	89.99	369.21	2.357	84.18	313.63	2.455	82.48	299.32	2.848	76.58	255.32	4.026	64.40	185.59
	148	x	100	6.0	9.0	11.0	108.0	3.159	128.83	631.72	3.611	120.51	528.26	3.761	118.07	501.62	4.363	109.63	419.93	6.168	92.20	292.51
	150	x	150	7.0	10.0	11.0	108.0	5.031	203.42	1068.96	5.750	190.28	889.88	5.989	186.43	843.73	6.948	173.10	702.01	9.823	145.58	481.00
WF	175	x	90	5.0	8.0	9.0	141.0	3.189	111.99	437.45	3.644	104.76	372.95	3.796	102.64	356.33	4.403	95.30	305.13	6.225	80.15	223.54
	175		175	7.5	11.0	12.0	129.0	7.551	238.09	1175.37	8.630	222.71	981.06	8.990	218.21	931.02	10.428	202.60	777.49	14.743	170.39	538.12
WF	198	x	99	4.5	7.0	11.0	162.0	3.579	120.45	398.90	4.091	112.67	347.12	4.261	110.40	333.61	4.943	102.50	291.39	6.988	86.20	221.39
	200	x	100	5.5	8.0	11.0	162.0	4.203	120.64	438.17	4.804	112.85	377.12	5.004	110.57	361.32	5.804	102.66	312.38	8.206	86.34	233.04
	194	x	150	6.0	9.0	13.0	150.0	6.220	195.81	746.81	7.109	183.16	636.00	7.305	179.46	607.45	8.590	166.63	519.58	12.145	140.14	379.77
	200	x	200	8.0	12.0	13.0	150.0	10.776	272.58	1277.00	12.316	254.97	1068.60	12.829	249.82	1014.96	14.881	231.95	850.45	21.039	195.08	593.78
WF	248	x	124	5.0	8.0	12.0	208.0	6.413	151.72	480.42	7.329	141.92	420.71	7.634	139.06	405.04	8.855	129.11	355.77	12.520	108.58	272.90
	250	x	125	6.0	9.0	12.0	208.0	7.389	151.76	514.39	8.445	141.96	446.52	8.797	139.09	428.84	10.204	129.14	373.74	14.426	108.61	282.85
	244	x	175	7.0	11.0	16.0	190.0	11.230	227.19	844.77	12.835	212.52	721.48	13.369	208.22	689.68	15.508	193.33	591.68	21.926	162.60	435.02
	250	x	250	9.0	14.0	16.0	190.0	19.675	341.78	1495.04	22.485	319.71	1256.29	23.422	313.25	1194.88	27.170	290.84	1006.53	38.412	244.60	711.88
WF	298	x	149	5.5	8.0	13.0	256.0	9.556	178.77	537.52	10.921	167.23	475.16	11.376	163.85	458.61	13.196	152.13	406.07	18.656	127.94	315.64
	300	x	150	6.5	9.0	13.0	256.0	10.964	178.99	566.49	12.530	167.43	497.21	13.052	164.04	478.98	15.140	152.31	421.54	21.405	128.10	324.40
	294	x	200	8.0	12.0	18.0	234.0	17.275	255.37	901.72	19.742	238.88	775.64	20.565	234.05	743.01	23.855	217.31	642.00	33.727	182.76	478.45
	300	x	300	10.0	15.0	18.0	234.0	30.760	407.70	1621.03	35.154	381.37	1372.42	36.619	373.66	1308.46	42.478	346.94	1112.00	60.055	291.78	802.13
	300		305	15.0	15.0	18.0	234.0	33.122	394.19	1754.88	37.854	368.73	1476.08	39.431	361.28	1404.37	45.740	335.44	1184.42	64.667	282.11	840.05
WF	346	x	174	6.0	9.0	14.0	300.0	14.471	210.60	623.34	16.539	197.00	552.04	17.228	193.02	533.08	19.984	179.21	472.73	28.254	150.72	368.39
	350	x	175	7.0	11.0	14.0	300.0	17.658	214.42	674.27	20.180	200.57	591.15	21.021	196.52	569.31	24.385	182.46	500.56	34.475	153.45	384.60
	340	x	280	9.0	14.0	20.0	272.0	28.561	325.71	1138.57	32.641	304.67	979.17	34.001	298.52	937.93	39.441	277.17	810.27	55.761	233.10	603.63
	350	x	350	12.0	19.0	20.0	272.0	52.357	480.33	2033.88	59.836	449.31	1712.67	62.330	440.23	1630.05	72.302	408.74	1376.61	102.220	343.76	979.38
WF	396	x	199	7.0	11.0	16.0	342.0	22.839	243.47	731.43	26.101	227.75	645.90	27.189	223.15	623.23	31.539	207.19	551.35	44.589	174.25	427.96
	400	x	200	8.0	13.0	16.0	342.0	27.005	247.03	785.17	30.863	231.07	687.09	32.149	226.40	661.37	37.293	210.21	580.56	52.724	176.79	444.85
	390	x	300	10.0	16.0	22.0	314.0	44.428	395.47	1368.67	50.775	369.93	1177.66	52.890	362.46	1128.23	61.353	336.53	975.14	86.740	283.03	727.13
	400	x	400	13.0	21.0	22.0	314.0	75.603	549.69	2254.25	86.403	514.19	1902.73	90.003	503.80	1812.32	104.404	467.77	1534.84	147.605	393.40	999.99
WF	450	x	200	9.0	14.0	18.0	386.0	34.051	238.78	759.40	38.916	223.35	666.08	40.537	218.84	641.54	47.023	203.19	564.28	66.481	170.89	433.83
	440	x	300	11.0	18.0	24.0	356.0	57.281	389.88	1356.09	65.463	364.70	1167.31	68.191	357.33	1118.44	79.102	331.77	967.07	111.833	279.03	721.62



Standard Sectional Dimension of **WF-steel** and Its Sectional Area, Unit Weight and Sectional Characteristic

Created by Anggry (2010)

Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis	fu (Mpa)	fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	50	290
BJ55	51	410

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{f_y} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{S_x}{f_y - f_{cr}}} \sqrt{1 + \lambda_k^2}$$

$$\lambda_s = \left[\frac{S_x}{S_y} \right] \sqrt{\frac{E}{G} \frac{J}{I_y}}$$

$$\lambda_k = 4 \sqrt{\frac{S_x}{G \times J} \times \frac{I_y}{I_x}}$$

$$I_{ux} = I_y \frac{h^2}{4}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3$$

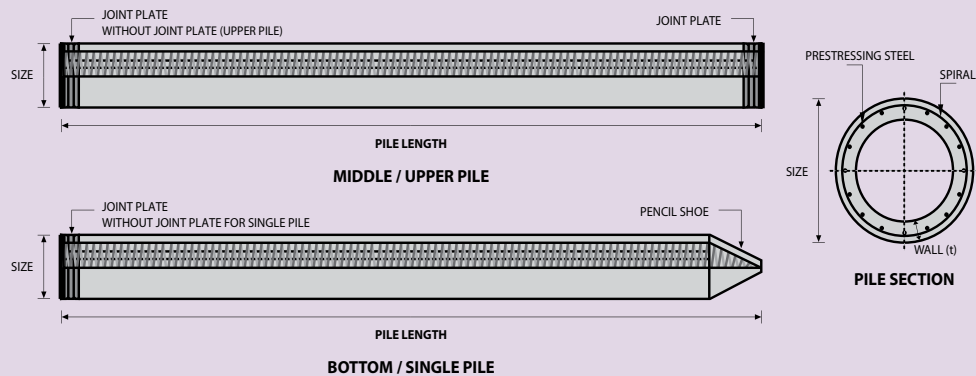
Dimana :

fr : 70 MPa (Tegangan Sisa)
 fl : fy - fr
 E : 200000 MPa (Modulus section Baja)
 G : 80000 Mpa (Modulus Geser Baja)
 J : Konstanta Puntir Torsi (cm⁴)
 I_u : Konstanta Puntir Lengkung (cm⁶)

Sectional Dimension																								
	d mm	x	bf mm	tw mm	tf mm	r mm	H2 mm	BJ 34			BJ 37			BJ 41			BJ 50						BJ 55	
								Mn (Ton.M) Zx*fy	λp	λx	Mn (Ton.M) Zx*fy	λp	λx	Mn (Ton.M) Zx*fy	λp	λx	Mn (Ton.M) Zx*fy	λp	λx	Mn (Ton.M) Zx*fy	λp	λx	Mn (Ton.M) Zx*fy	λp
WF	496	x	199	9.0	14.0	200	68.0	38.549	231.48	717.06	44.056	216.53	632.58	45.891	212.16	610.22	53.234	196.98	539.38	75.262	165.67	418.09		
	500	x	200	10.0	16.0	20.0	428.0	44.024	235.12	762.77	50.313	219.94	668.01	52.409	215.49	643.14	60.794	200.08	564.94	85.951	168.27	433.37		
	482	x	300	11.0	15.0	26.0	400.0	55.930	370.22	1159.95	63.920	346.31	1016.29	66.583	339.31	978.56	77.237	315.04	859.90	109.197	264.96	660.06		
	488	x	300	11.0	18.0	26.0	400.0	65.097	382.53	1261.26	74.396	357.83	1094.55	77.496	350.60	1051.15	89.895	325.52	915.86	127.093	273.77	692.83		
WF	596	x	199	10.0	15.0	22.0	522.0	53.239	220.17	678.32	60.844	205.95	601.42	63.379	201.79	580.94	73.520	187.36	515.66	103.942	157.57	402.46		
	600	x	200	11.0	17.0	22.0	522.0	60.127	223.71	712.28	68.716	209.26	627.97	71.579	205.03	605.67	83.032	190.37	535.08	117.390	160.10	414.39		
	582	x	300	12.0	17.0	28.0	492.0	79.431	360.10	1113.80	90.778	336.84	979.90	94.560	330.03	944.58	109.690	306.43	833.01	155.079	257.71	643.23		
	588	x	300	12.0	20.0	28.0	492.0	90.487	371.80	1195.89	103.414	347.78	1043.95	107.723	340.76	1004.19	124.958	316.39	879.59	176.665	266.09	671.51		
WF	700	x	300	13.0	24.0	28.0	596.0	131.225	384.51	1191.94	139.971	359.68	1040.70	156.220	352.41	1001.12	181.215	327.20	877.05	256.200	275.18	669.77		
WF	800	x	300	14.0	26.0	28.0	692.0	167.905	359.28	1149.59	191.891	336.07	1007.41	199.887	329.28	970.06	231.868	305.73	852.58	327.814	257.13	654.63		
WF	900	x	300	16.0	28.0	28.0	788.0	213.657	346.39	1118.03	244.179	324.02	981.68	254.354	317.47	945.78	295.050	294.76	832.65	417.140	247.90	641.14		



PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE PRETENSION SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE PRETENSION SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

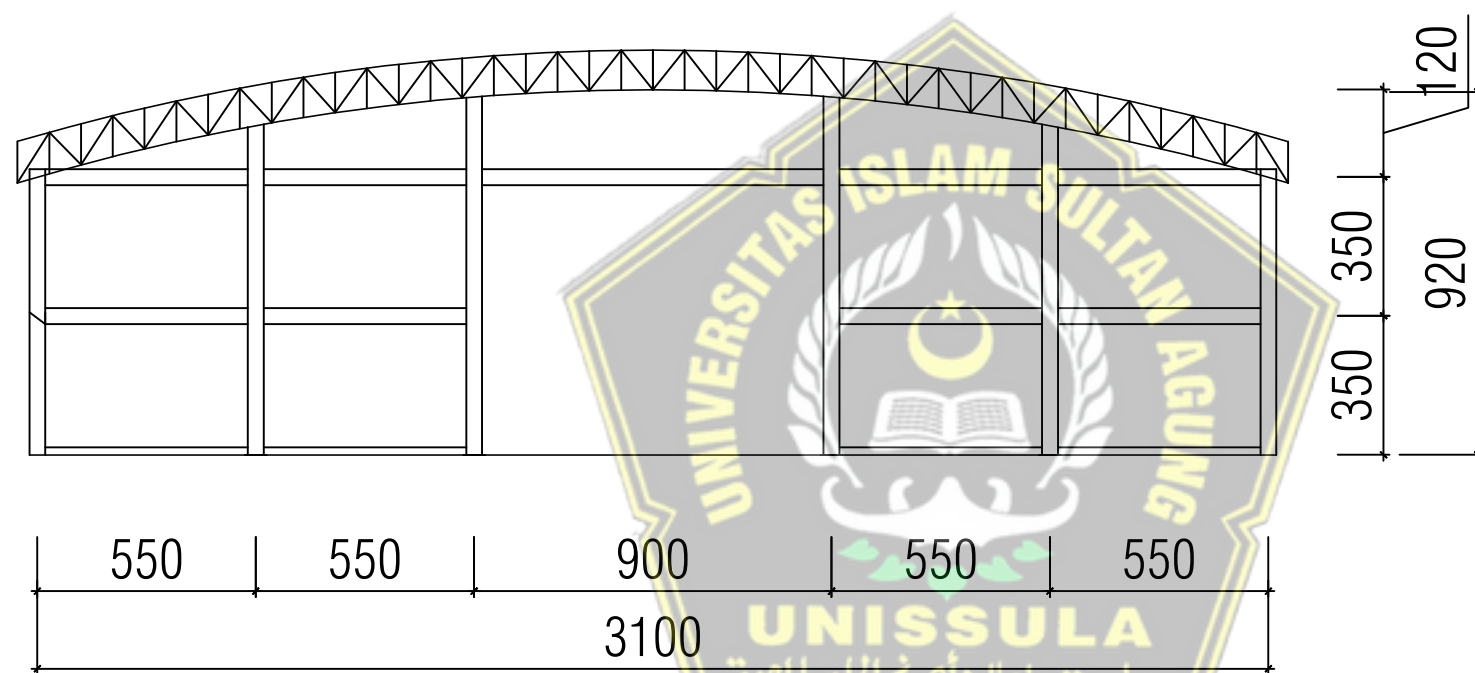
Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack *	Break			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

**) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

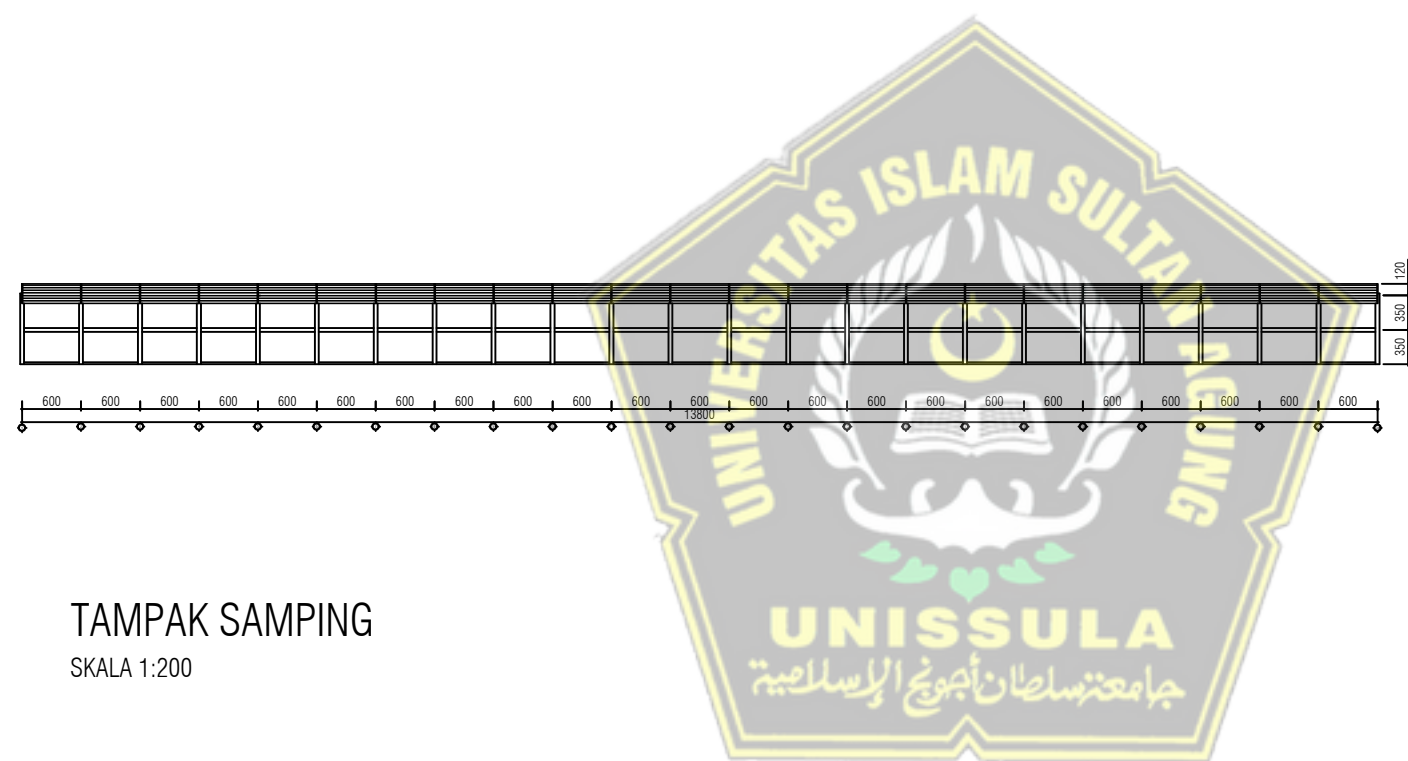
**) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe



TAMPAK DEPAN
SKALA 1:200

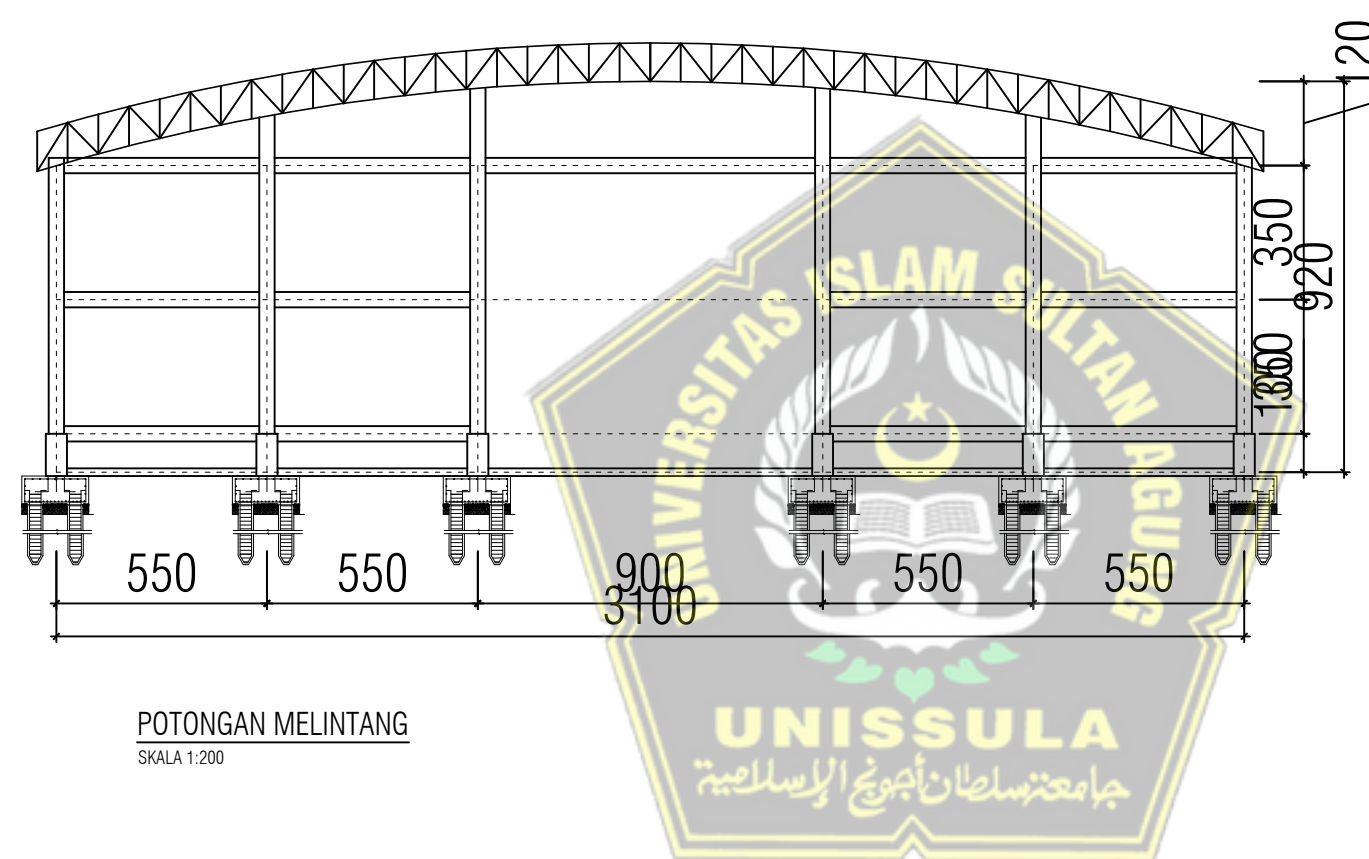
KETERANGAN

TUGAS	TUGAS AKHIR	
DISETUJUI		TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIPERIKSA		TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIGAMBAR		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
DIKERJAKAN		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
TAMPAK DEPAN		
JUMLAH GAMBAR		NO. GAMBAR



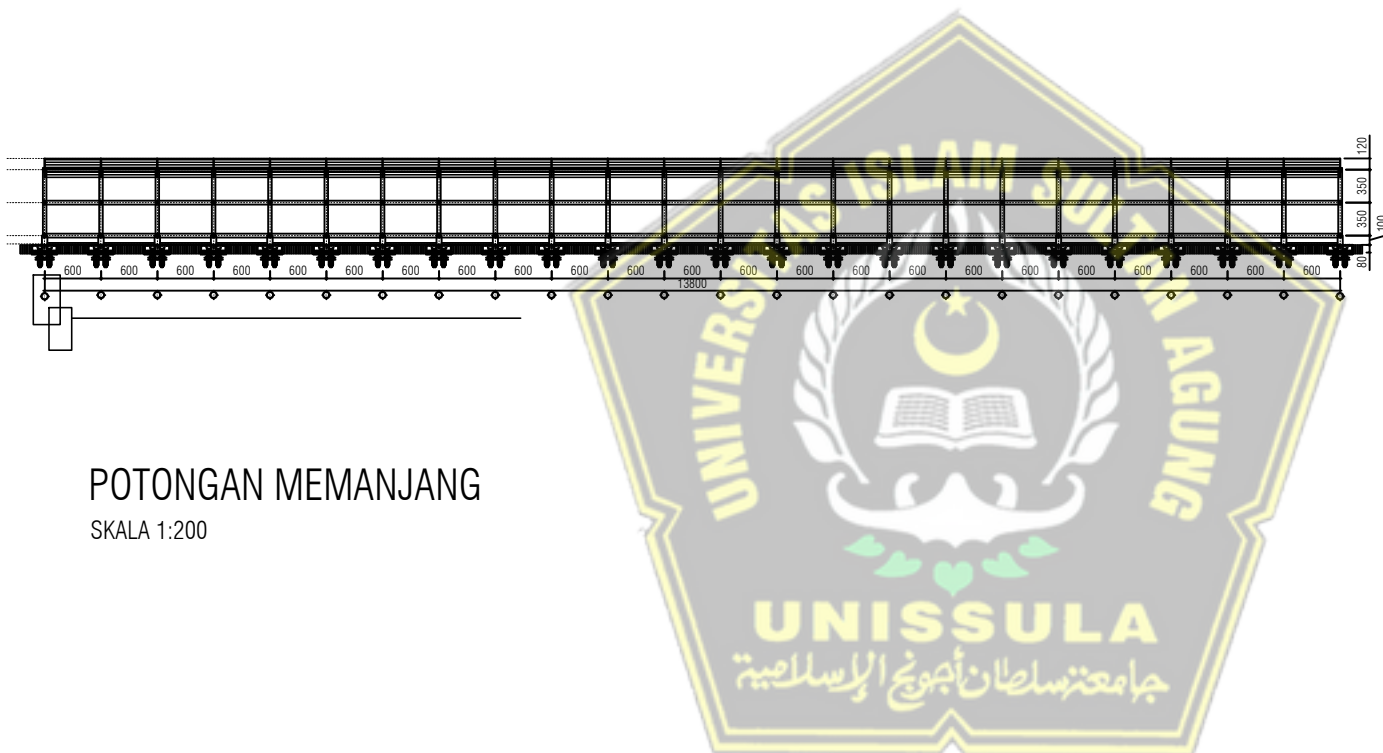
TAMPAK SAMPING
SKALA 1:200

KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
TAMPAK SAMPING	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR



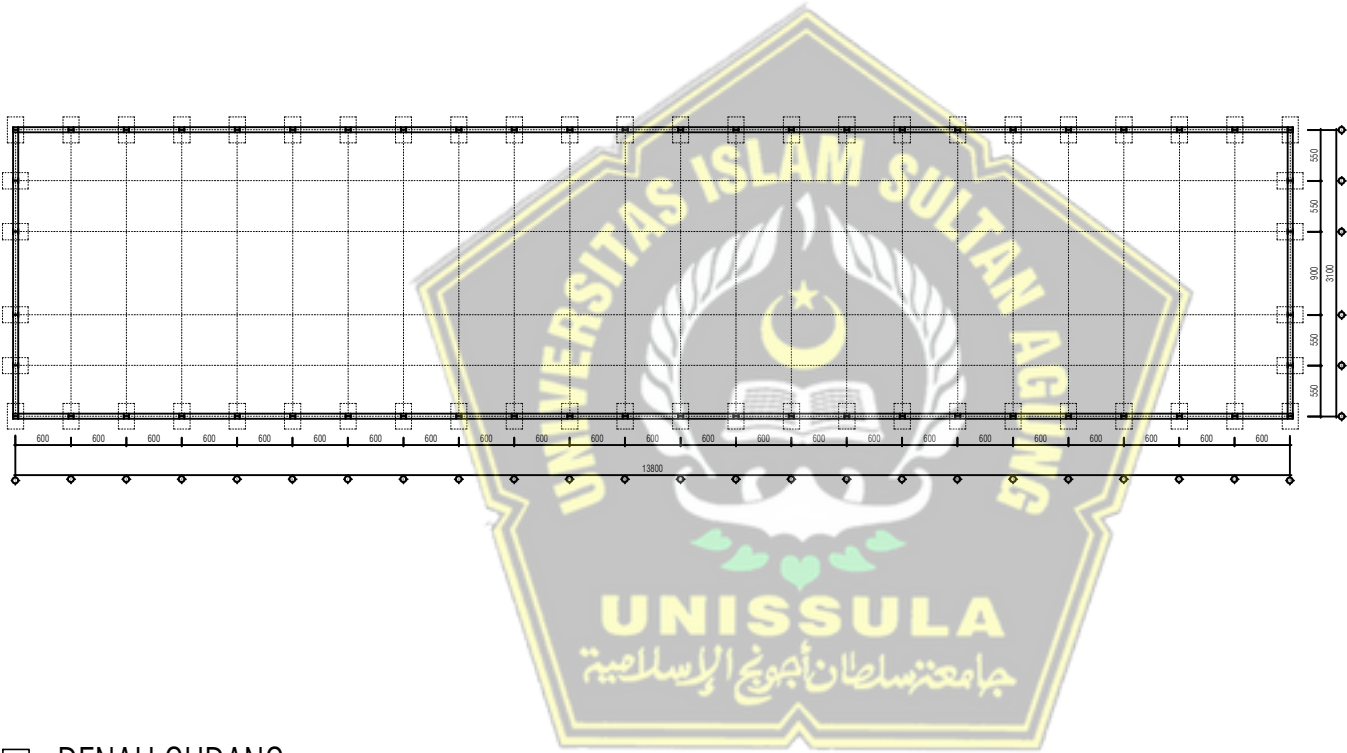
POTONGAN MELINTANG
SKALA 1:200

KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyan, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyan, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
POTONGAN MELINTANG	
JUMLAH GAMBAR	NO. GAMBAR



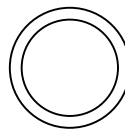
POTONGAN MEMANJANG
SKALA 1:200

KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2.Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2.Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
POTONGAN MEMANJANG	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR

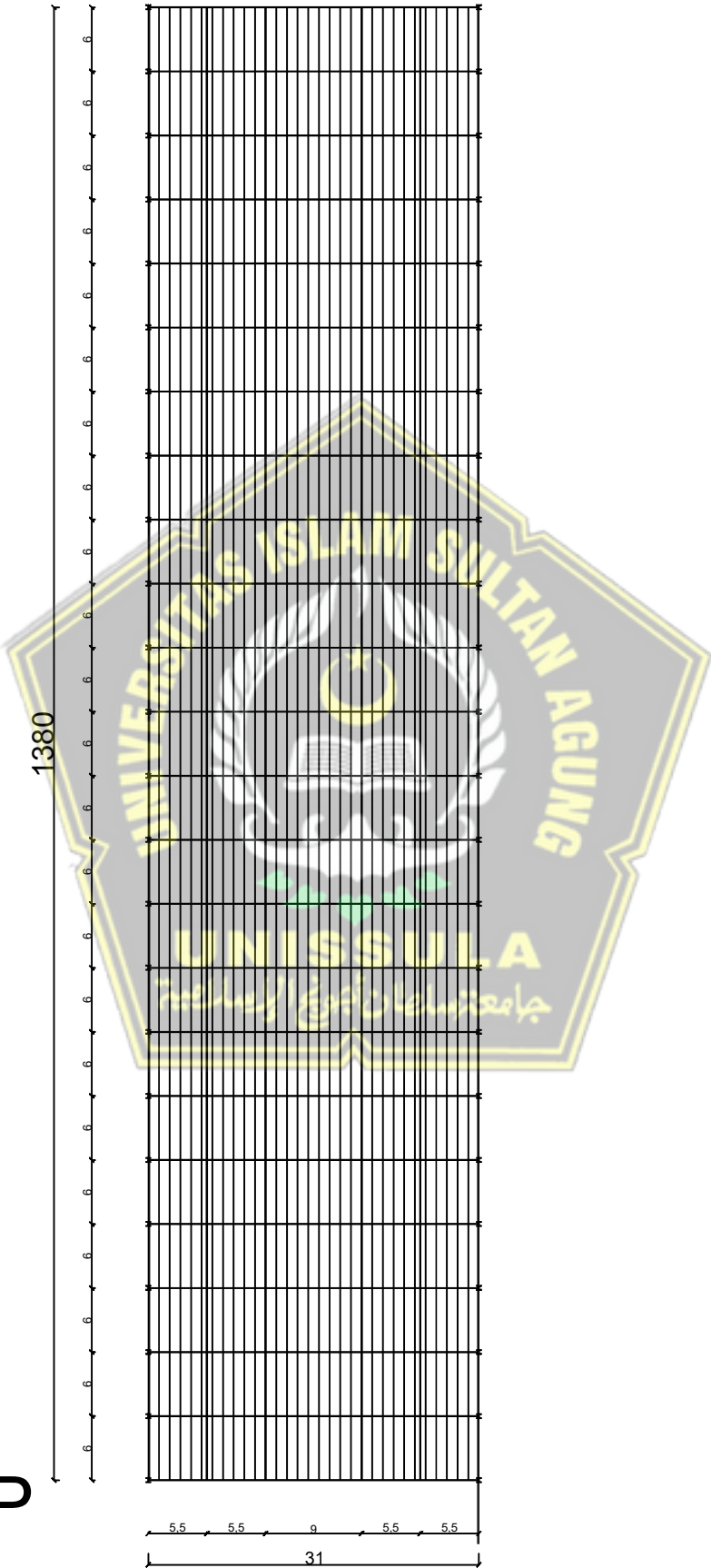


DENAH GUDANG
SKALA 1:200

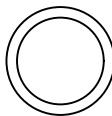
KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
POTONGAN MEMANJANG	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR



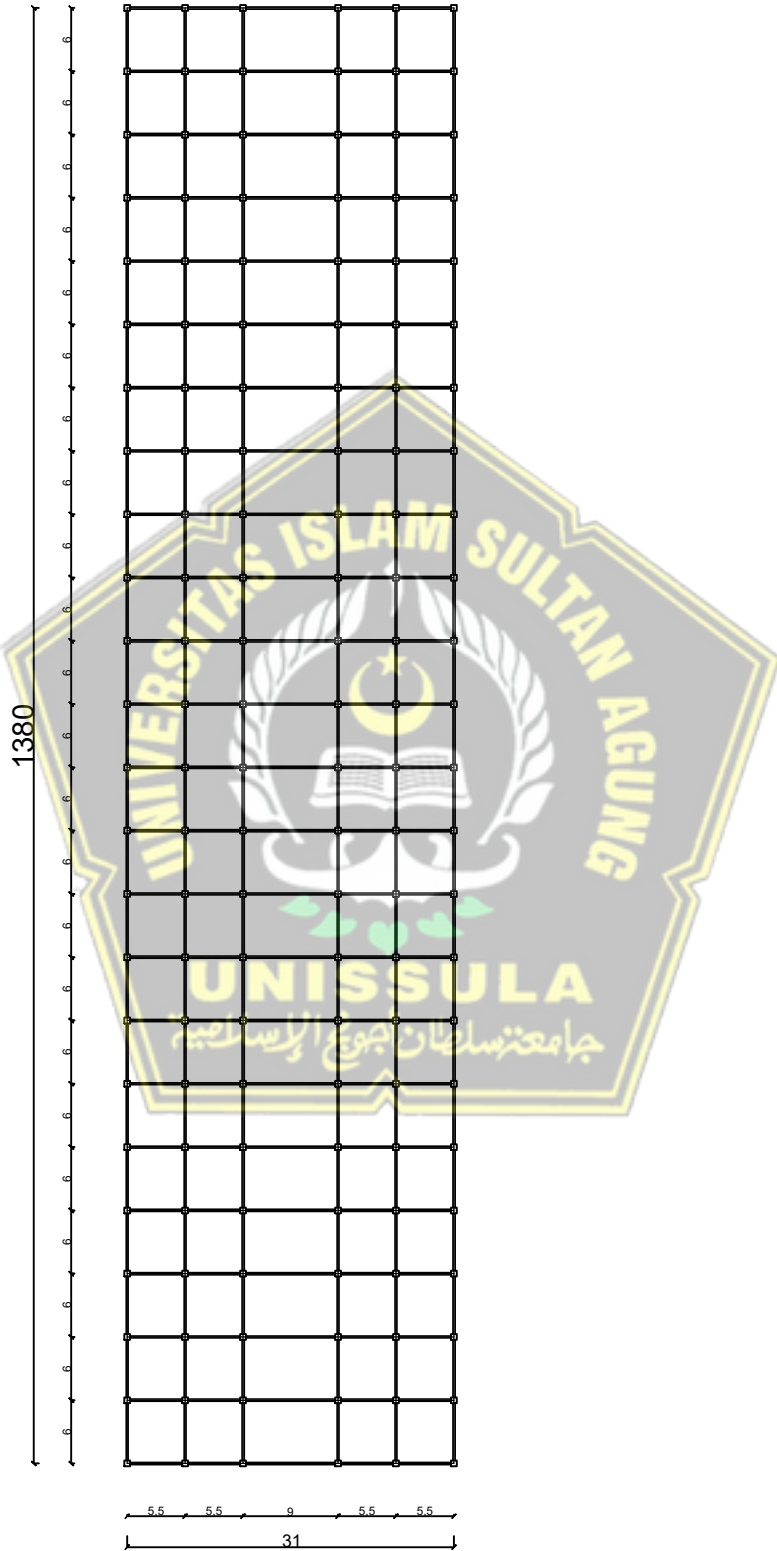
DENAH RANGKA ATAP



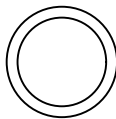
KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIPERIKSA	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DENAH RANGKA ATAP	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR



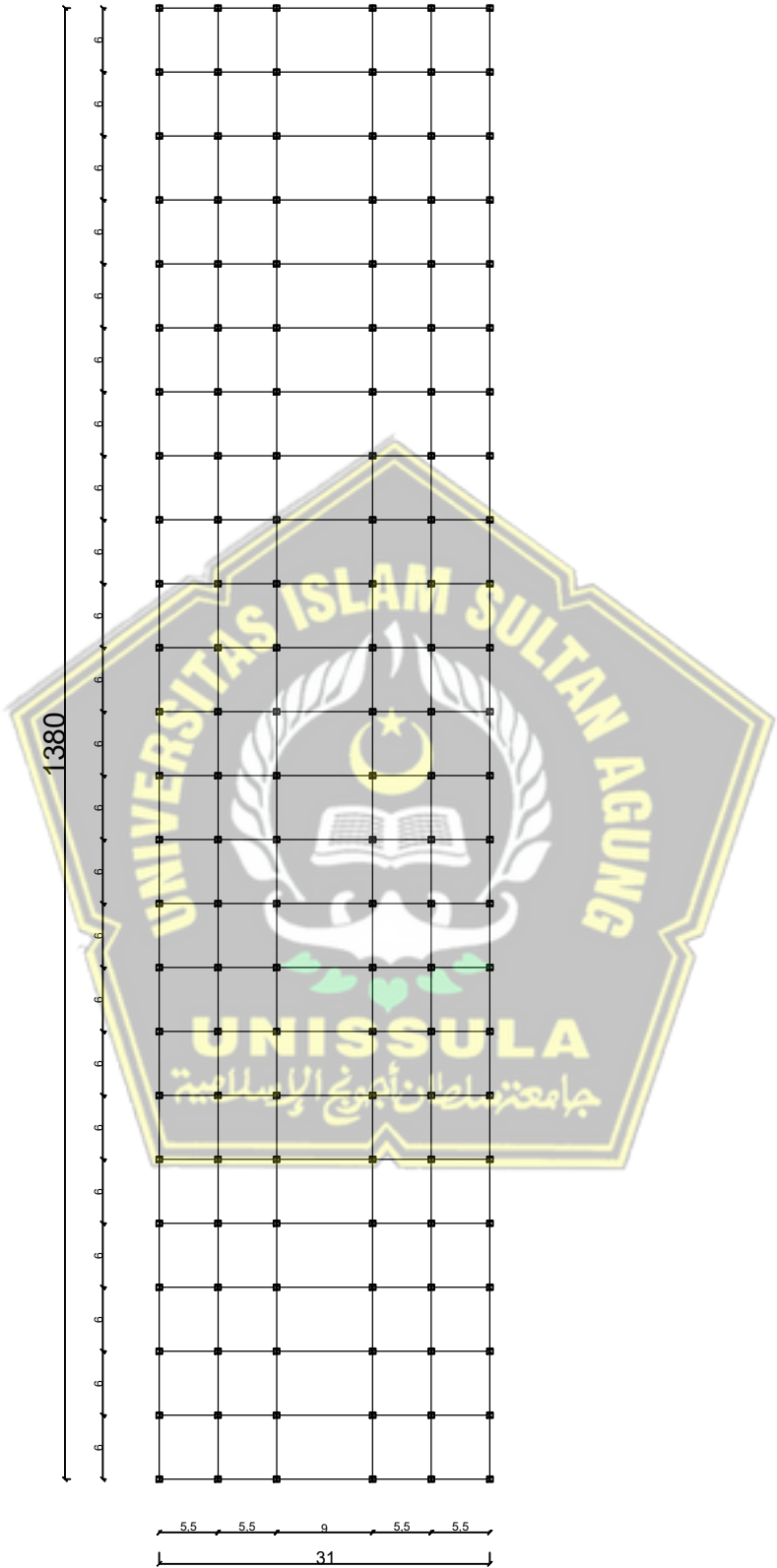
DENAH BALOK



KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIPERIKSA	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DENAH BALOK	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR

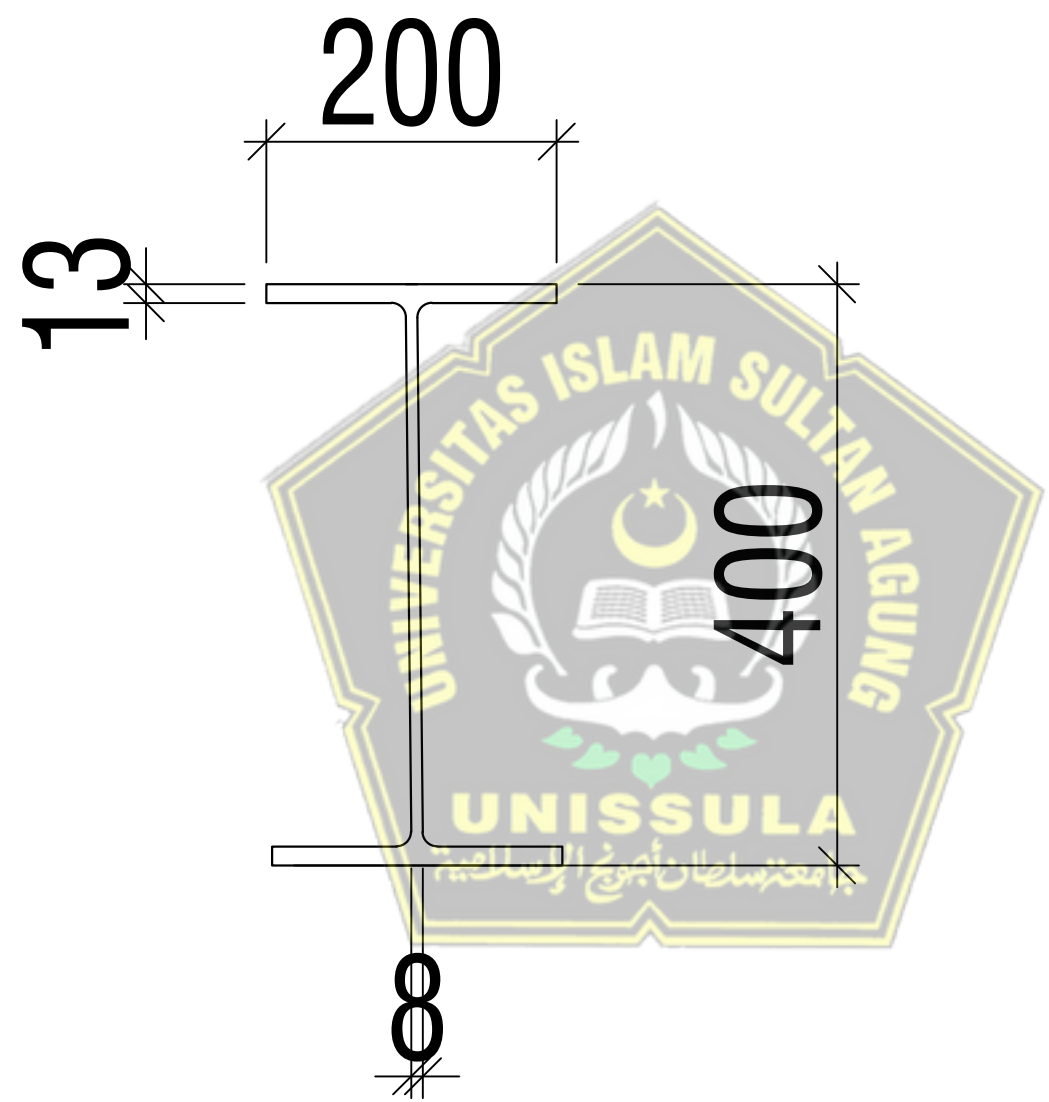


DENAH KOLOM



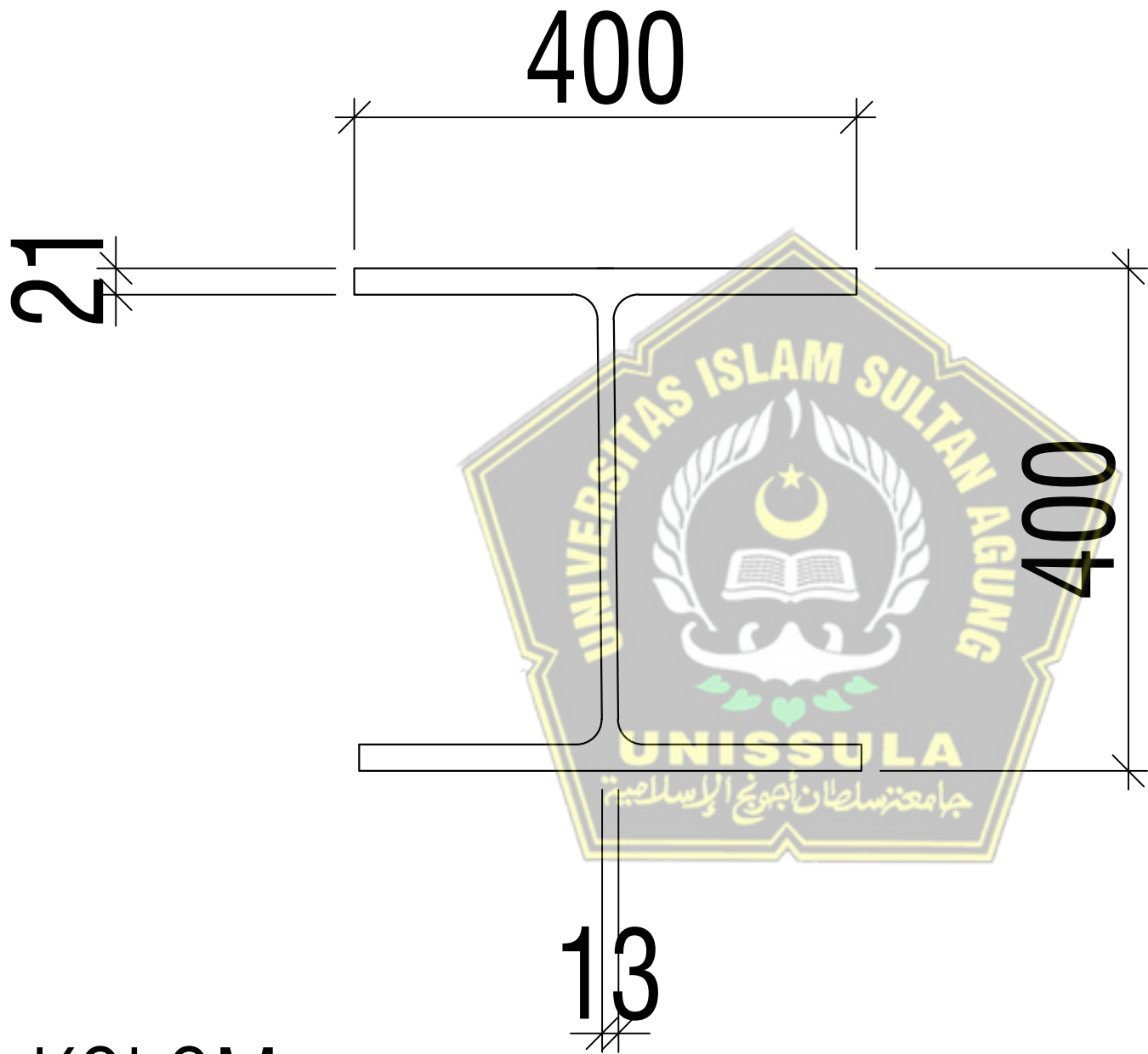
KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIPERIKSA	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DENAH KOLOM	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR

DETAIL BALOK

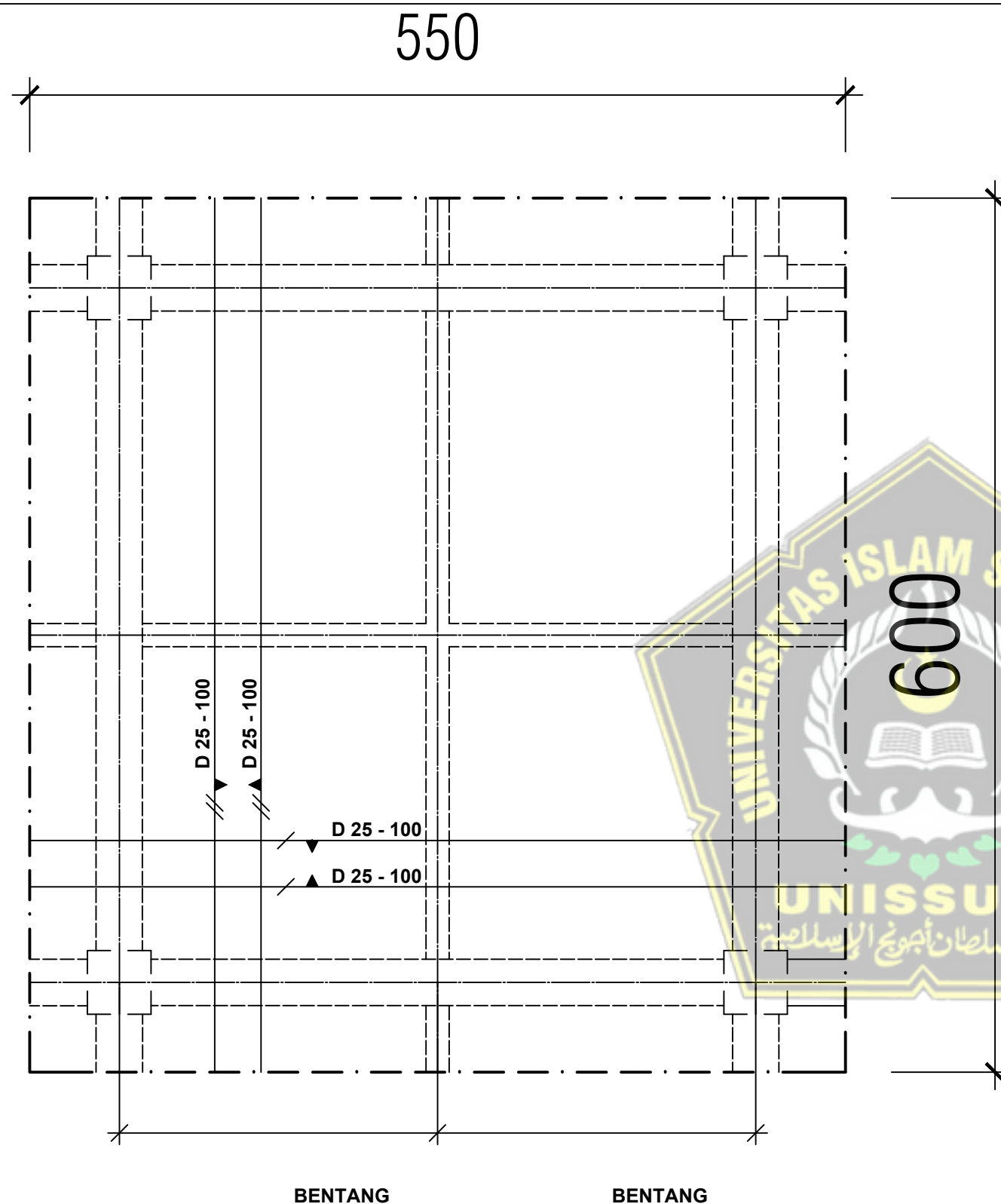


KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	
TANGGAL	
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyan, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	
TANGGAL	
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyan, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	
TANGGAL	
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	
TANGGAL	
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DETAIL BALOK	
JUMLAH GAMBAR	NO. GAMBAR

DETAIL KOLOM

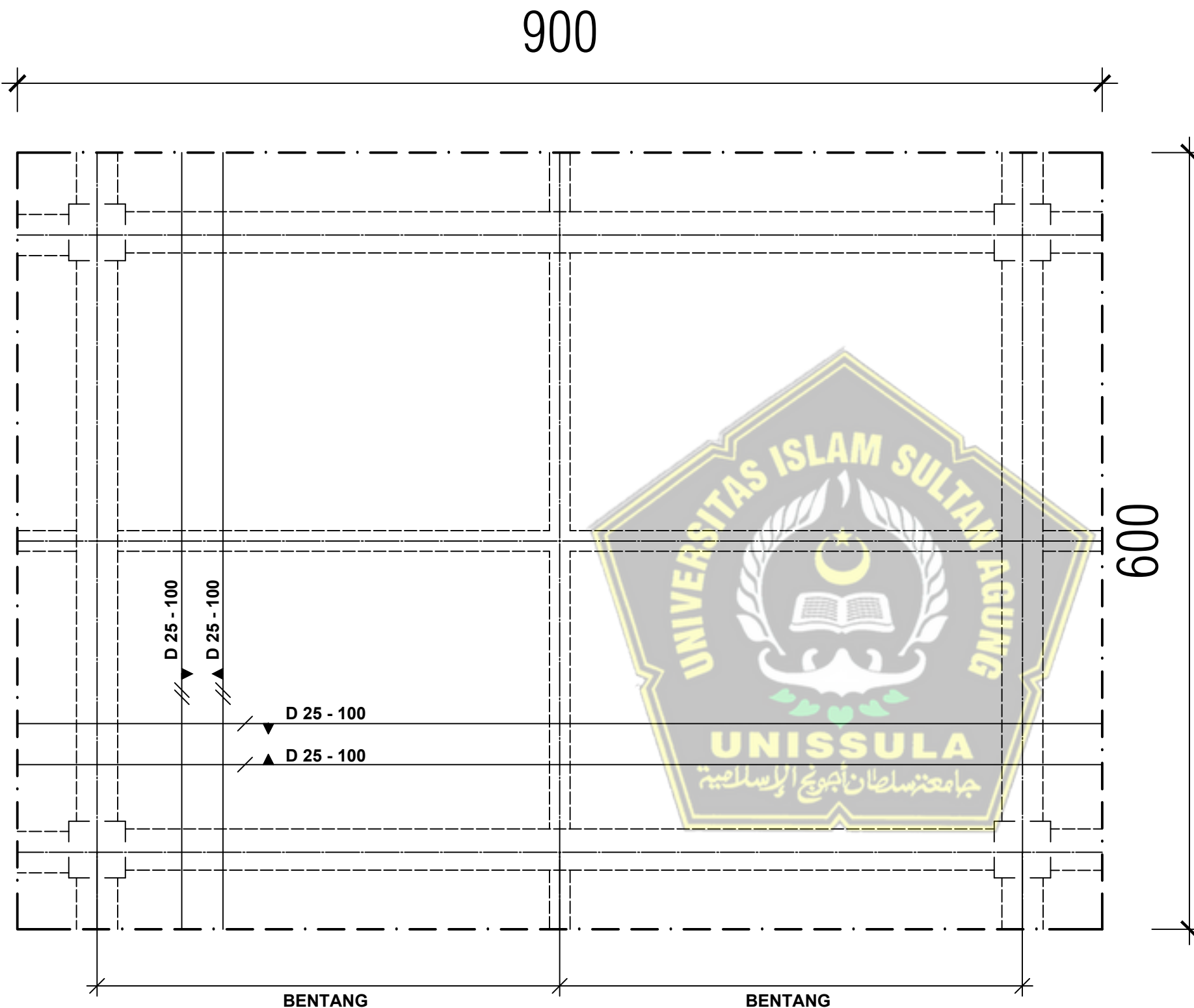


KETERANGAN		
TUGAS	TUGAS AKHIR	
DISETUJUI		TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyan, ST., M.Eng		
DIPERIKSA		TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyan, ST., M.Eng		
DIGAMBAR		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
DIKERJAKAN		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
DETAIL KOLOM		
JUMLAH GAMBAR	NO. GAMBAR	



DETAIL PLAT LANTAI 1

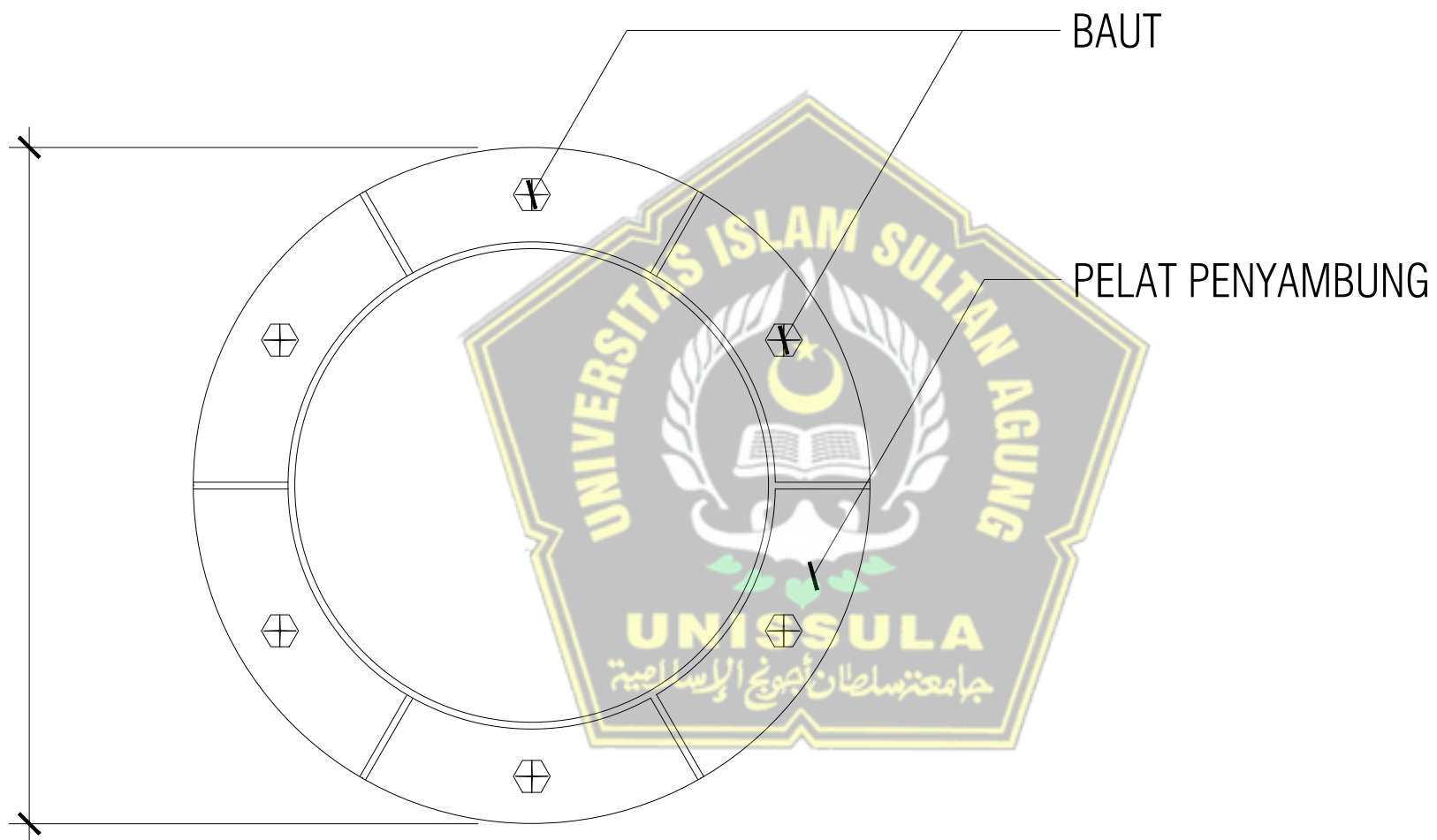
KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2.Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2.Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DETAIL PLAT LANTAI 1	
JUMLAH GAMBAR	NO. GAMBAR



DETAIL PLAT LANTAI 2

KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2.Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2.Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DETAIL PLAT LANTAI 2	
JUMLAH GAMBAR	NO. GAMBAR

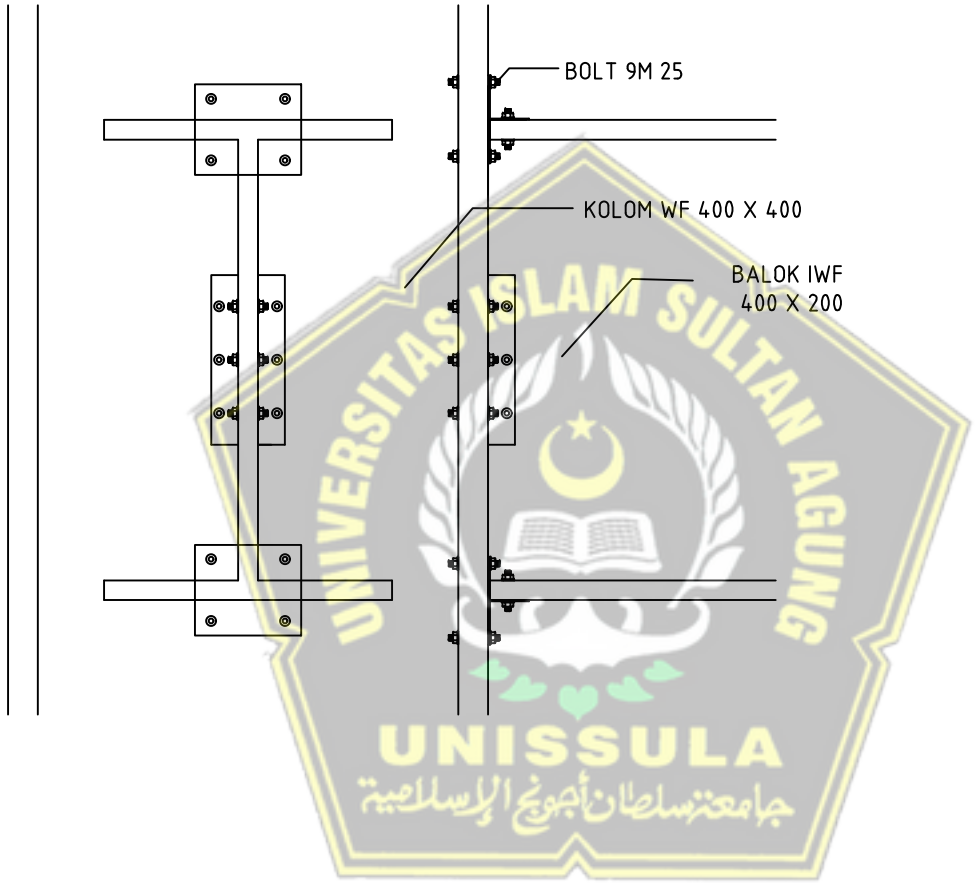
500



DETAIL SAMBUNGAN BAJA PIPA

KETERANGAN

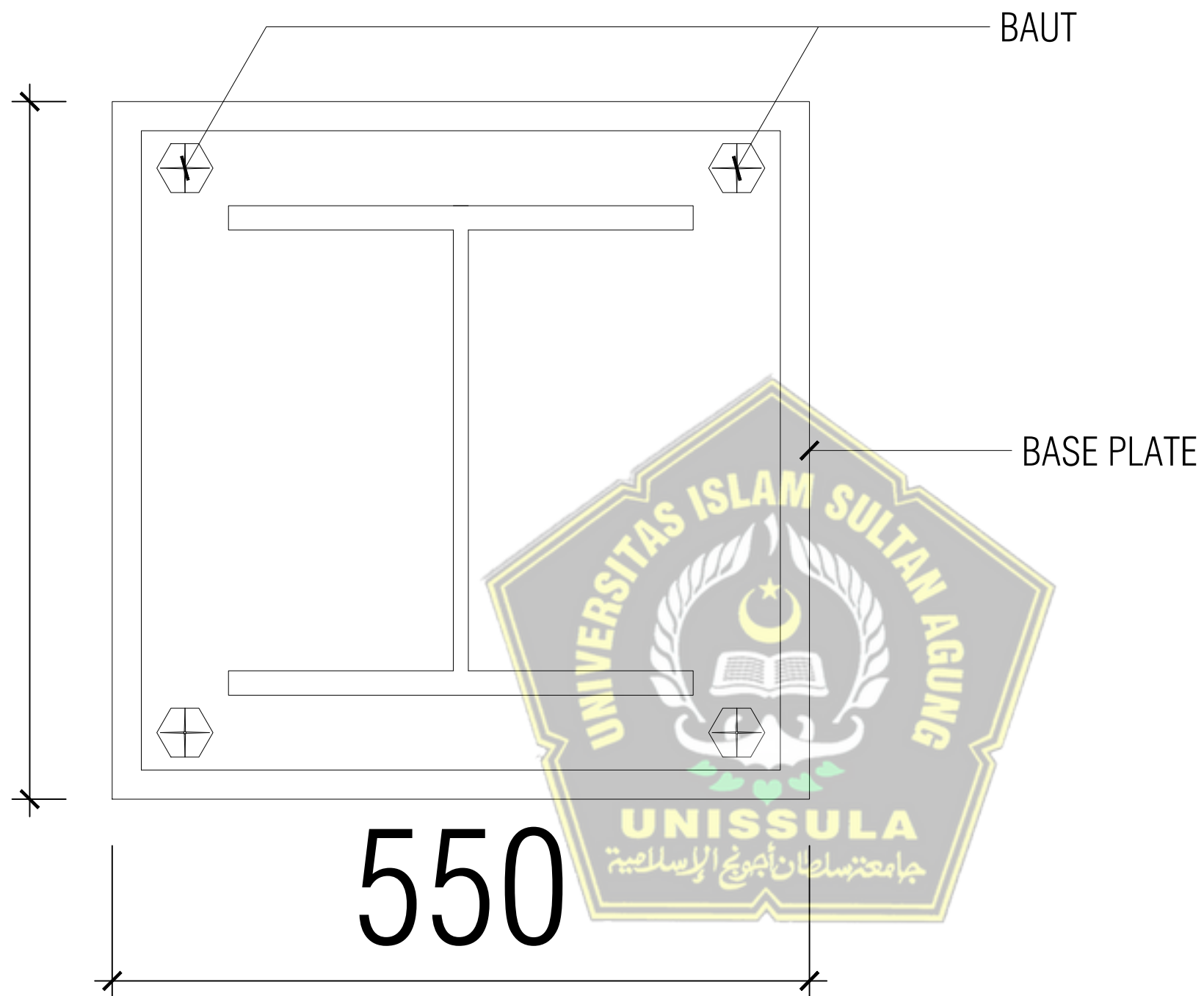
TUGAS	TUGAS AKHIR	
DISETUJUI		TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIPERIKSA		TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIGAMBAR		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
DIKERJAKAN		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
SAMBUNGAN BAJA PIPA		
JUMLAH GAMBAR		NO. GAMBAR



DETAIL SAMBUNGAN KOLOM-BALOK

KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIPERIKSA	TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
SAMBUNGAN KOLOM-BALOK	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR

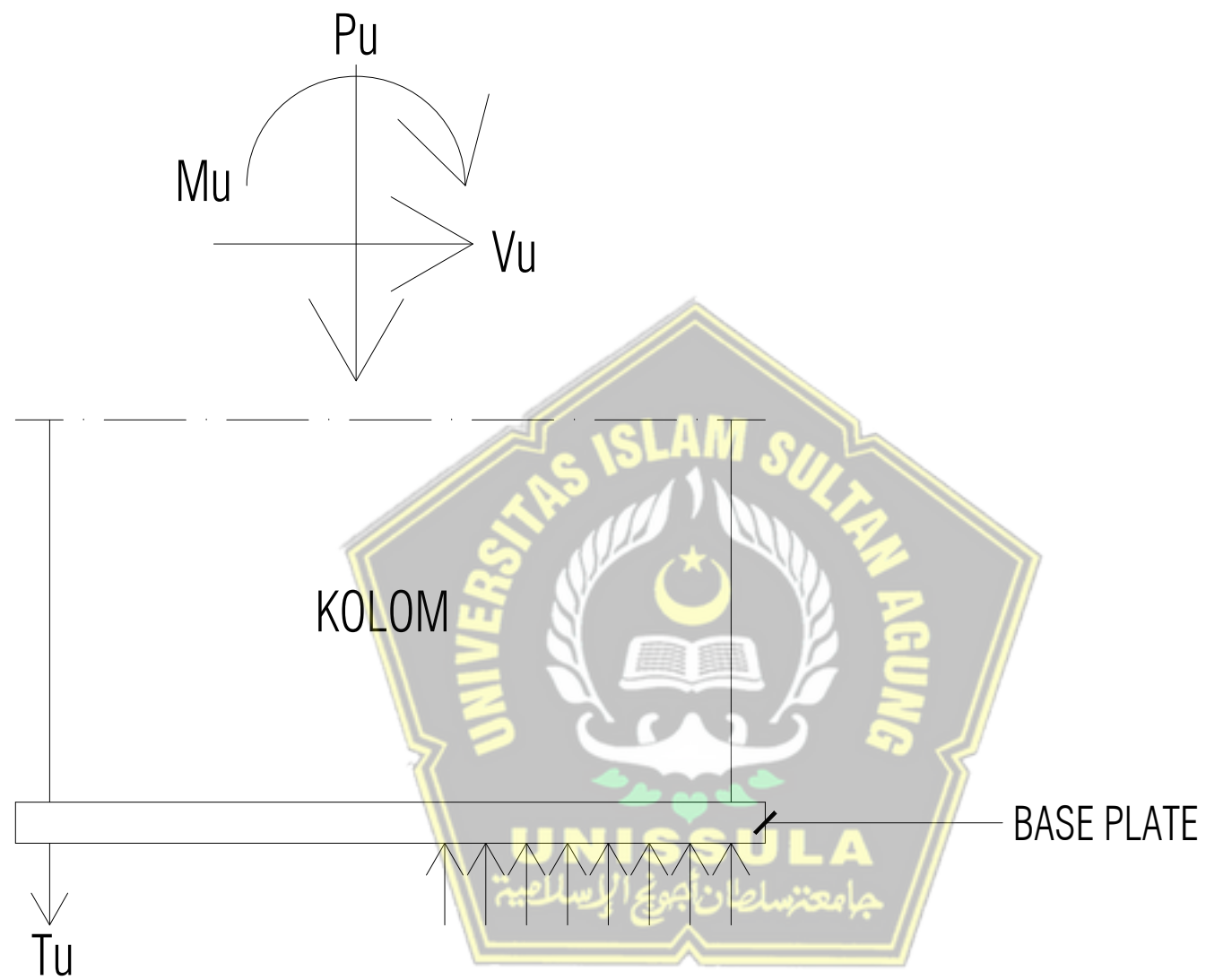
550



DETAIL SAMBUNGAN KOLOM- BASE PLATE

KETERANGAN

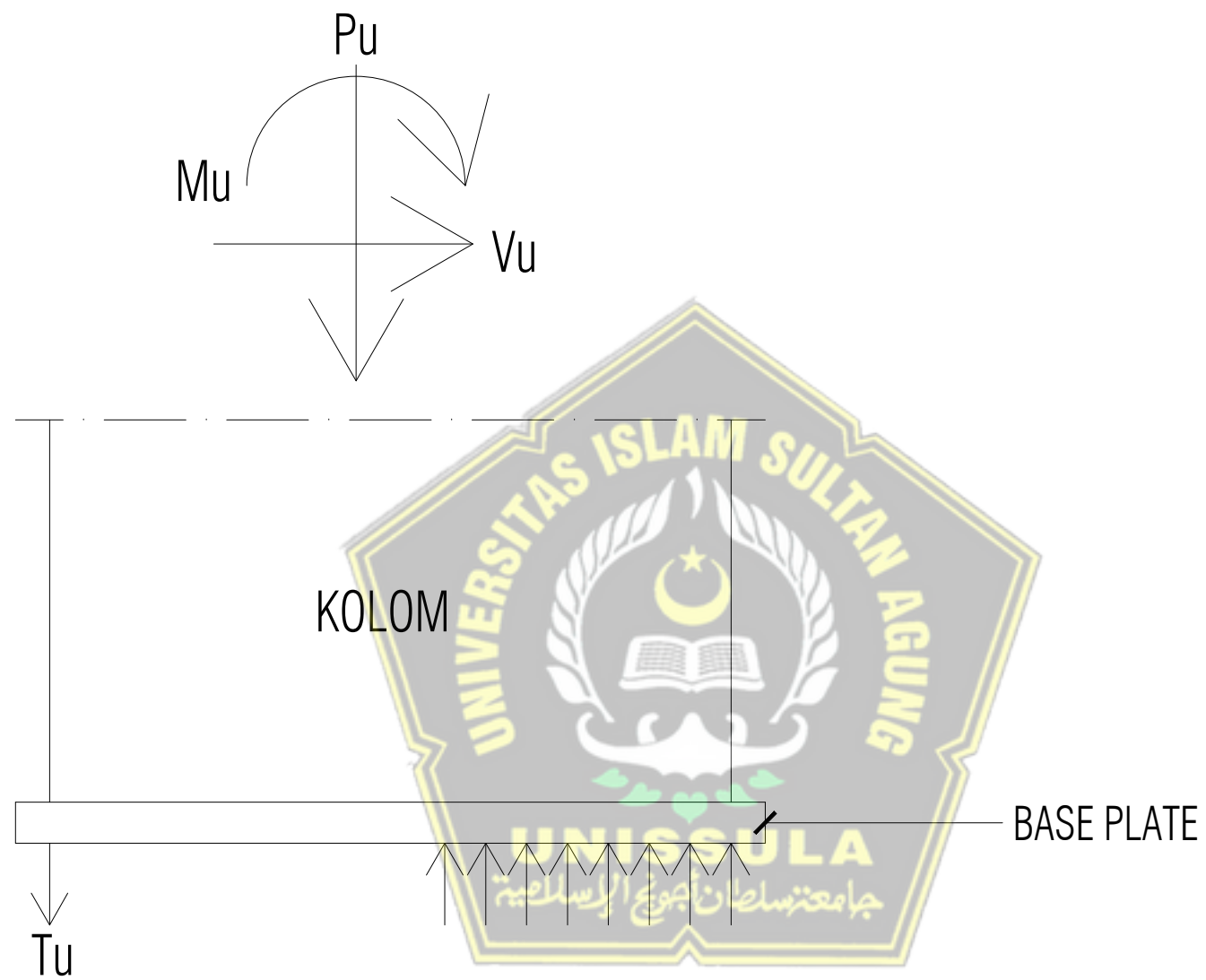
TUGAS	TUGAS AKHIR	
DISETUJUI		TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIPERIKSA		TANGGAL
1.Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2.Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIGAMBAR		TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
DIKERJAKAN		TANGGAL
1.Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
SAMBUNGAN KOLOM-BASE PLATE		
JUMLAH GAMBAR		NO. GAMBAR



DETAIL BASE PLATE ARAH X

KETERANGAN

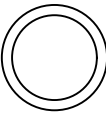
TUGAS	TUGAS AKHIR	
DISETUJUI		TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIPERIKSA		TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIGAMBAR		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
DIKERJAKAN		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
DETAIL BASE PLATE ARAH X		
JUMLAH GAMBAR		NO. GAMBAR



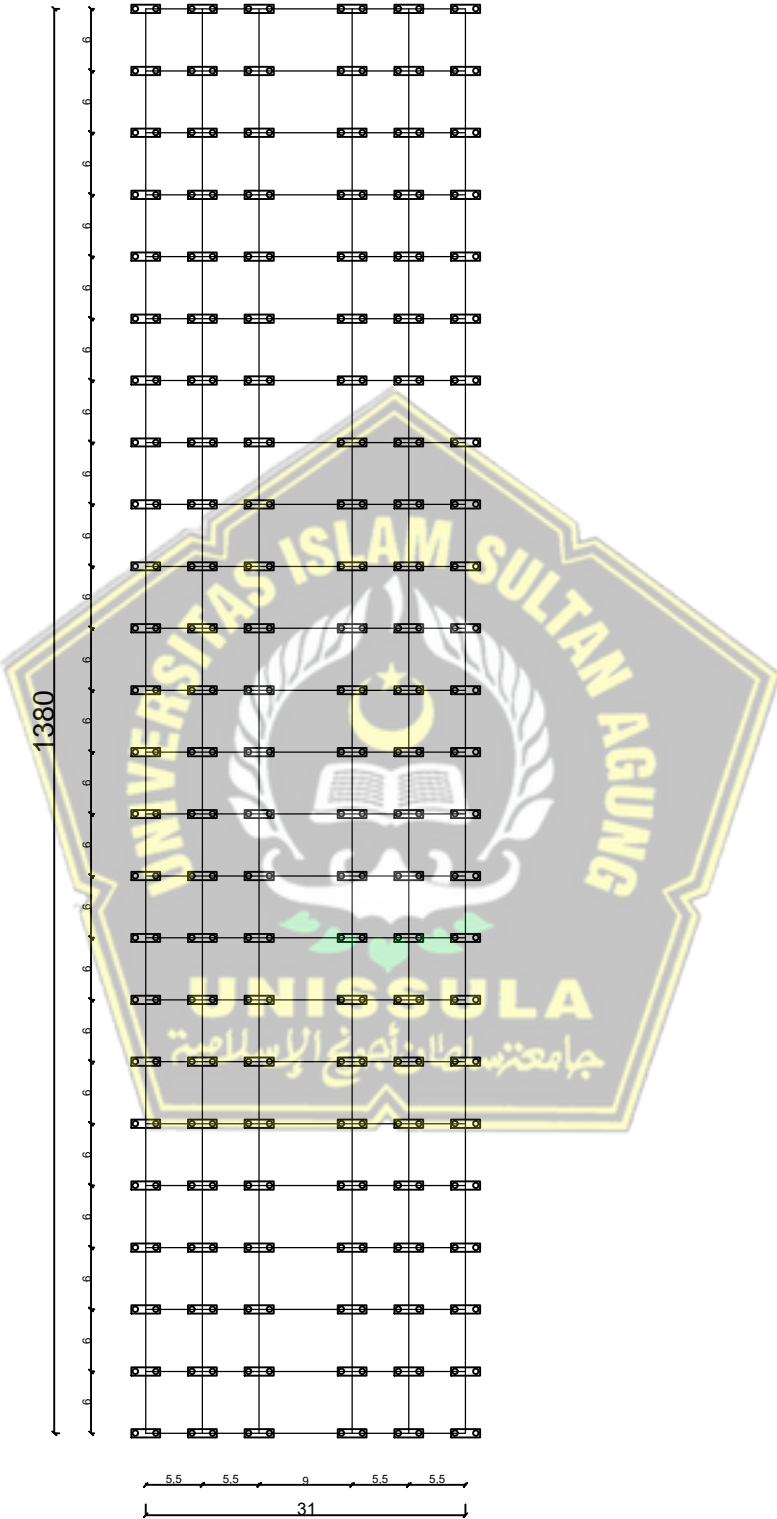
DETAIL BASE PLATE ARAH X

KETERANGAN

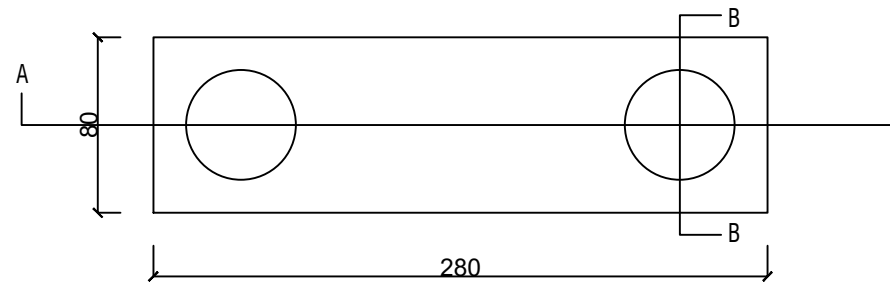
TUGAS	TUGAS AKHIR	
DISETUJUI		TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIPERIKSA		TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
DIGAMBAR		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
DIKERJAKAN		TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
DETAIL BASE PLATE ARAH X		
JUMLAH GAMBAR		NO. GAMBAR



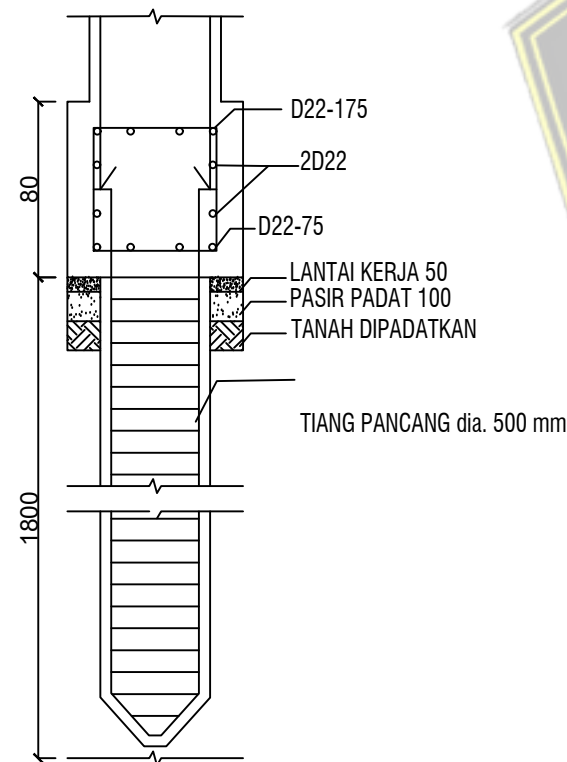
DENAH PONDASI



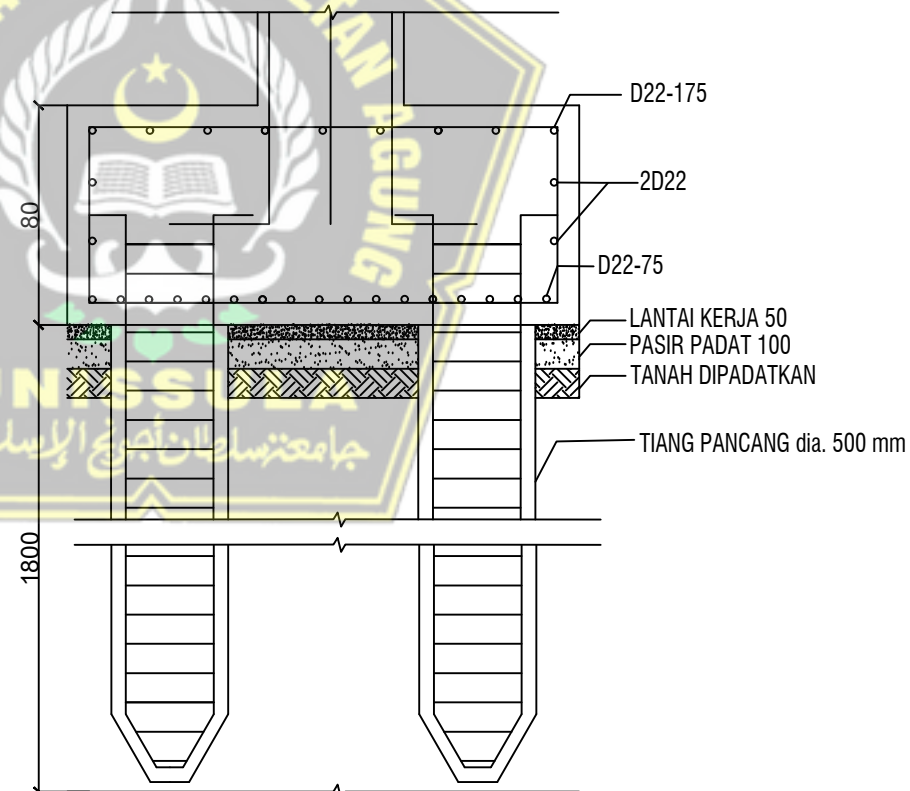
KETERANGAN	
TUGAS	TUGAS AKHIR
DISETUJUI	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIPERIKSA	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.	
DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin	
JUDUL GAMBAR	
DENAH PONDASI	
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR



TAMPAK ATAS PILECAP



POTONGAN B - B
Skala 1:10



POTONGAN A - A
Skala 1:10

KETERANGAN

TUGAS	TUGAS AKHIR	
	DISETUJUI	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
	DIPERIKSA	TANGGAL
1. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. 2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng		
	DIGAMBAR	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
	DIKERJAKAN	TANGGAL
1. Ashfa Taqiya 2. Isnah Nur Aenin		
JUDUL GAMBAR		
DETAIL PILE CAP		
NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR	

PERENCANAAN BANGUNAN GUDANG DENGAN STRUKTUR BAJA PADA TANAH LUNAK

ORIGINALITY REPORT

24%

SIMILARITY INDEX

23%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

10%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.scribd.com Internet Source	3%
2	id.123dok.com Internet Source	1%
3	doku.pub Internet Source	1%
4	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1%
5	Submitted to Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta Student Paper	1%
6	idoc.pub Internet Source	1%
7	text-id.123dok.com Internet Source	1%
8	repository.usm.ac.id Internet Source	1%

eprints.undip.ac.id

9	Internet Source	1 %
10	mohammadagung62.blogspot.com Internet Source	1 %
11	dokumen.tips Internet Source	1 %
12	abstrak.ta.uns.ac.id Internet Source	1 %
13	id.scribd.com Internet Source	1 %
14	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
15	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1 %
16	repositori.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
17	Abdul Hafid. "Desain dan Analisis Struktur Rangka Baja Gedung Turbin Reaktor Daya Eksperimental", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 2019 Publication	<1 %
18	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
19	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %

20	herbycalvinpascal.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
21	lppm-unissula.com Internet Source	<1 %
22	ocw.upj.ac.id Internet Source	<1 %
23	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Student Paper	<1 %
24	digilib.its.ac.id Internet Source	<1 %
25	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
26	repo.itera.ac.id Internet Source	<1 %
27	Submitted to Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
28	repository.usu.ac.id Internet Source	<1 %
29	repository.ub.ac.id Internet Source	<1 %
30	yandratekniksipil.blogspot.com Internet Source	<1 %

31

ejurnal.its.ac.id

Internet Source

<1 %

32

repository.unhas.ac.id

Internet Source

<1 %

33

M.Y. Zachari, G. Turuallo. "Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2020

Publication

<1 %

34

dspace.uji.ac.id

Internet Source

<1 %

35

repository.ummat.ac.id

Internet Source

<1 %

36

Chen, Z.. "Late Quaternary evolution of the sub-aqueous Yangtze Delta, China: sedimentation, stratigraphy, palynology, and deformation", Marine Geology, 20000115

Publication

<1 %

37

fr.scribd.com

Internet Source

<1 %

38

repository.ump.ac.id

Internet Source

<1 %

repositori.usu.ac.id

39

Internet Source

<1 %

40

Submitted to Universitas Negeri Surabaya The
State University of Surabaya

Student Paper

<1 %

41

anzdoc.com

Internet Source

<1 %

42

www.wika-beton.co.id

Internet Source

<1 %

43

eprints.ums.ac.id

Internet Source

<1 %

44

eprints.uny.ac.id

Internet Source

<1 %

45

Submitted to Unika Soegijapranata

Student Paper

<1 %

46

edoc.site

Internet Source

<1 %

47

eprints.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

48

Dyah Setyati Budiningrum, Anik Kustirini.
"ANALISA DAYA DUKUNG TIANG PANCANG
BETON RUMAH SAKIT BRAYAT MINULYA
SURAKARTA - JAWA TENGAH", Teknika, 2019

Publication

<1 %

49

G.J. Padondan, S. Ramadhani. "Kajian Penerapan Fondasi Sumuran Pada Jembatan Pombeve di Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2020
Publication

<1 %

50

Submitted to LL Dikti IX Turnitin Consortium
Student Paper

<1 %

51

digilib.itb.ac.id
Internet Source

<1 %

52

repository.itltrisakti.ac.id
Internet Source

<1 %

53

docplayer.info
Internet Source

<1 %

54

documents.mx
Internet Source

<1 %

55

Submitted to University of Malaya
Student Paper

<1 %

56

simak-unwiku.ac.id
Internet Source

<1 %

57

Claudio Bernuzzi, Benedetto Cordova. "Structural Steel Design to Eurocode 3 and AISC Specifications", Wiley, 2016
Publication

<1 %

58

mahasiswa.yai.ac.id
Internet Source

<1 %

59

Submitted to Universitas International Batam

Student Paper

<1 %

60

scholar.unand.ac.id

Internet Source

<1 %

61

repository.unpar.ac.id

Internet Source

<1 %

62

www.perencanaanstruktur.com

Internet Source

<1 %

63

Submitted to Universitas Merdeka Malang

Student Paper

<1 %

64

digilib.polban.ac.id

Internet Source

<1 %

65

repository.upi.edu

Internet Source

<1 %

66

www.dspace.espol.edu.ec

Internet Source

<1 %

67

Akbar Giynasiar Fatah, Ahmad Ridwan, Sigit Winarto. "Studi Perencanaan Bangunan Atas Gedung Permata Indah di Desa Kedung Dowo Kabupaten Nganjuk", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2020

Publication

<1 %

Submitted to Universidad Continental

68

Student Paper

<1 %

69

repository.bakrie.ac.id

Internet Source

<1 %

70

repository.unj.ac.id

Internet Source

<1 %

71

ojsmhs.poltekba.ac.id

Internet Source

<1 %

72

repository.iainpurwokerto.ac.id

Internet Source

<1 %

73

vdocuments.mx

Internet Source

<1 %

74

zbook.org

Internet Source

<1 %

75

Submitted to Universitas Atma Jaya
Yogyakarta

Student Paper

<1 %

76

edoc.pub

Internet Source

<1 %

77

123dok.com

Internet Source

<1 %

78

distributorbesibaja.co.id

Internet Source

<1 %

79

ciptakarya.pu.go.id

Internet Source



<1 %

80

repository.unej.ac.id

Internet Source

<1 %

81

I Wayan Ariyana Basoka. "PERBANDINGAN DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN PENGUJIAN CONE PENETRATION TEST (CPT) DAN STANDARD PENETRATION TEST (SPT) PADA TANAH BERPASIR", UKaRsT, 2020

Publication

<1 %

82

Moh. Idham Cholid, Sigit Winarto, Yosef Cahyo, Agata Iwan Candra. "PERENCANAAN PONDASI SUMURAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG ASRAMA BALAI PEMBANGUNAN SDM DAN PERTANIAN BANTUL DIY", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2020

Publication

<1 %

83

ar.scribd.com

Internet Source

<1 %

84

feri82.blogspot.com

Internet Source

<1 %

85

ojs.unr.ac.id

Internet Source

<1 %

86

www.slideshare.net

Internet Source

<1 %

87

"ICCOEE2020", Springer Science and Business Media LLC, 2021

Publication

<1 %

88

canszzgocanszz.blogspot.com

Internet Source

<1 %

89

download.garuda.ristekdikti.go.id

Internet Source

<1 %

90

kuliahteksipil.blogspot.com

Internet Source

<1 %

91

vdocuments.site

Internet Source

<1 %

92

Gunarto .. "MODEL PERALATAN PRAKTIKUM POMPA SENTRIFUGAL (PRACTICUM MODEL EQUIPMENT CENTRIFUGAL PUMP)", Jurnal Buletin Al-Ribaath, 2015

Publication

<1 %

93

repository.umpwr.ac.id:8080

Internet Source

<1 %

94

Submitted to Heriot-Watt University

Student Paper

<1 %

95

Submitted to Korea National Open University

Student Paper

<1 %

Submitted to Syiah Kuala University

96

Student Paper

<1 %

97

multiparadigma.lecture.ub.ac.id

Internet Source

<1 %

98

repository.unika.ac.id

Internet Source

<1 %

99

Imam kholiq Imam Imam. "PERANCANGAN MEJA PUTAR ROLL WELDING SEBAGAI ALAT BANTU PENGELASAN (STUDI KASUS : ART WELDING PT. MECO INOXPRIMA)", MATRIK, 2019

Publication

<1 %

100

ohtheme.com

Internet Source

<1 %

101

radarmas.blogspot.com

Internet Source

<1 %

102

adoc.tips

Internet Source

<1 %

103

hrcak.srce.hr

Internet Source

<1 %

104

journal.ppns.ac.id

Internet Source

<1 %

105

psv3.blogspot.my

Internet Source

<1 %

106	Ahmada Khotibul Umam, Sigit Winarto, Ahmad Ridwan, Agata Iwan Candra. "PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG GEDUNG DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2020 Publication	<1 %
107	docsplayer.org Internet Source	<1 %
108	eprints.ubhara.ac.id Internet Source	<1 %
109	erepository.uwks.ac.id Internet Source	<1 %
110	iauzabol.ac.ir Internet Source	<1 %
111	jayateknik04borepile.blogspot.com Internet Source	<1 %
112	library.binus.ac.id Internet Source	<1 %
113	repository.maranatha.edu Internet Source	<1 %
114	repository.polimdo.ac.id Internet Source	<1 %
115	repository.uinjkt.ac.id Internet Source	<1 %

116

repository.unair.ac.id

Internet Source

<1 %

117

sinta.unud.ac.id

Internet Source

<1 %

118

Bagus Anggoro Wiratmoko, Sigit Winarto, Yosef Cahyo. "PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG GEDUNG KETAHANAN PANGAN NGANJUK", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2019

Publication

<1 %

119

Nurul Anggraini Usmat I, Imran Imran, Mufti Amir Sultan. "ANALISA LETAK DINDING GESER (SHEAR WALL) TERHADAP PERILAKU STRUKTUR GEDUNG AKIBAT BEBAN GEMPA", TECHNO: JURNAL PENELITIAN, 2019

Publication

<1 %

120

de.slideshare.net

Internet Source

<1 %

121

digilib.uinsby.ac.id

Internet Source

<1 %

122

digilib.unila.ac.id

Internet Source

<1 %

123

dokumen.pub

Internet Source

<1 %

124

eprints.binus.ac.id

Internet Source

<1 %

125	f.library.uny.ac.id Internet Source	<1 %
126	fik.unissula.ac.id Internet Source	<1 %
127	heryudhahendra.blogspot.com Internet Source	<1 %
128	perpajakan.ddtc.co.id Internet Source	<1 %
129	play.google.com Internet Source	<1 %
130	publication.petra.ac.id Internet Source	<1 %
131	repositori.unsil.ac.id Internet Source	<1 %
132	www.montanstahl.com Internet Source	<1 %
133	core.ac.uk Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off