

**TUGAS AKHIR**

**KOMPARASI VARIASI PENEMPATAN PENGAKU  
TERHADAP RESPONS DAN KAPASITAS STRUKTUR  
BANGUNAN PABRIK FABRIKASI BAJA  
PT. WIKA INDUSTRI DAN KONSTRUKSI  
MAJALENGKA JALUR 5  
(COMPARATION OF PLACEMENT VARIATIONS  
BRACING ON RESPONSE AND STRUCTURE  
CAPACITY STEEL FACTORY BUILDING  
PT. WIKA INDUSTRY AND CONSTRUCTION  
MAJALENGKA LINE 5)**

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



**Taufiq M Iqbal Alqusyairi**

**18511105**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2022**

## TUGAS AKHIR

# KOMPARASI VARIASI PENEMPATAN PENGAKU TERHADAP RESPONS DAN KAPASITAS STRUKTUR BANGUNAN PABRIK FABRIKASI BAJA PT. WIKA INDUSTRI DAN KONSTRUKSI MAJALENGKA JALUR 5 (COMPARATION OF PLACEMENT VARIATIONS BRACING ON RESPONSE AND STRUCTURE CAPACITY STEEL FACTORY BUILDING PT. WIKA INDUSTRY AND CONSTRUCTION MAJALENGKA LINE 5)

Disusun Oleh

**Taufiq M Iqbal Alqusyairi**  
18511105

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

Diuji pada tanggal 23 November 2022

Oleh Dewan Penguji



Pembimbing

 13/12 '22

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

Penguji I



Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.  
NIK: 855110201

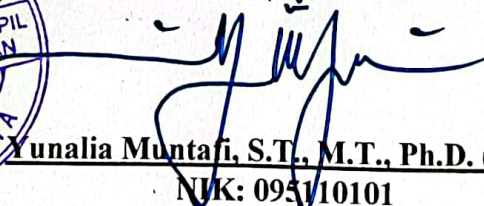
Penguji II



Elvis Saputra, S.T., M.T.  
NIK: 205111302



Mengesahkan  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.)  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 23 November 2022

Yang membuat pernyataan,



Taufiq M Iqbal Alqusyairi

(18511105)

## KATA PENGANTAR

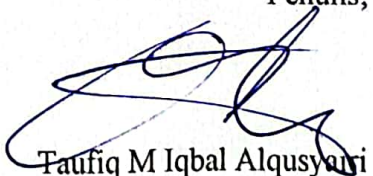
Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir yang berjudul *Komparasi Variasi Penempatan Pengaku Terhadap Respons Dan Kapasitas Struktur Bangunan Pada Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, diucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan nasehat dan saran selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D., selaku dosen penguji 1.
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku dosen penguji 2.
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng). selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Revolwan dan Ibu Megawati selaku orang tua tercinta yang yang tak henti-hentinya memberikan dukungan materiel dan spiritual.

Yogyakarta, 23 November 2022

Penulis,



Taufiq M Iqbal Alqusyairi

(18511105)

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Definisi Istilah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Penelitian Sebelumnya	6
2.3 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Tinjauan Umum	12
3.2 Sistem Rangka Pemikul Momen	12
3.2.1 Sistem Rangka Baja Pemikul Momen	12
3.2.2 Sistem Rangka dengan Pengaku Konsentrik	13
3.2.3 Sistem Rangka dengan Pengaku Eksentrik	13
3.3 Pembebanan	14
3.3.1 Beban Hidup Atap	14

3.3.2	Beban Mati	14
3.3.3	Beban Angin	15
3.3.4	Beban Gempa	19
3.4	Kombinasi Pembebanan	31
3.5	Penentuan Skala Gaya	31
3.6	Simpangan	32
3.7	Ketidakteraturan Horizontal	33
3.8	Komponen Struktur Baja	36
3.8.1	Rasio Lebar Terhadap Tebal	36
3.8.2	Komponen Struktur untuk Tarik	37
3.8.3	Komponen Struktur untuk Tekan	39
3.8.4	Komponen Struktur untuk Lentur	42
3.8.5	Komponen Struktur untuk Geser	47
3.8.6	Komponen Struktur Kombinasi Gaya dan Torsi	49
3.9	Dilatasi	50
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		<b>53</b>
4.1	Tinjauan Umum	53
4.2	Lokasi Objek Penelitian	53
4.3	Data Penelitian	53
4.4	Pemodelan Struktur	55
4.4.1	Pemodelan Eksisting Bangunan (T1)	57
4.4.2	Pemodelan Dengan Penempatan Pengaku Jarak 2 Segmen (T2)	57
4.4.3	Pemodelan Dengan Penempatan Pengaku Jarak 6 Segmen (T3)	58
4.4.4	Pemodelan Dengan Pengaku Dipasang Hanya Pada Segmen 8 m (T4)	58
4.4.5	Pemodelan Dengan Pengaku Dipasang Hanya Pada Segmen 12 m (T5)	59
4.5	Perhitungan Kapasitas Komponen Struktur	59
4.6	Tahapan Penelitian	59
4.7	Bagan Alir Penelitian	60
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		<b>63</b>
5.1	Pendahuluan	63
5.2	Data	63

5.3 Analisis Pembebanan	63
5.3.1 Pembebanan Atap	63
5.3.2 Beban <i>Overhead Crane</i>	65
5.3.3 Beban Angin	67
5.3.4 Beban Gempa	69
5.4 Kombinasi Pembebanan	78
5.5 Simpangan	79
5.5.1 Simpangan Bangunan	79
5.5.2 Persentase Penurunan Nilai Simpangan	80
5.6 Ketidakberaturan Horizontal	82
5.7 Pengecekan Kapasitas Profil Struktur	84
5.7.1 Pengecekan Kapasitas Profil Kolom	84
5.7.2 Pengecekan Kapasitas Profil Rafter	118
5.7.3 Pengecekan Kapasitas Profil Balok Rel <i>Overhead Crane</i>	140
5.7.4 Pengecekan Kapasitas Profil Balok Boks	166
5.7.5 Pengecekan Kapasitas Profil Pengaku	183
5.8 Dilatasi	203
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>206</b>
6.1 Kesimpulan	206
6.2 Saran	206
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>208</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>209</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rincian Penelitian Sebelumnya	9
Tabel 3.1 Berat Sendiri Bangunan Dan Komponen Bangunan	15
Tabel 3.2 Kategori Eksposur Tekanan Kecepatan	17
Tabel 3.3 Koefisien Tekanan Internal	17
Tabel 3.4 Koefisien Tekanan Eksternal Kasus Beban A	19
Tabel 3.5 Koefisien Tekanan Eksternal Kasus Beban B	19
Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa	20
Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa	22
Tabel 3.8 Koefisien Situs ( $F_a$ )	23
Tabel 3.9 Koefisien Situs ( $F_v$ )	24
Tabel 3.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	26
Tabel 3.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	27
Tabel 3.12 Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	27
Tabel 3.13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung ( $C_u$ )	29
Tabel 3.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$	30
Tabel 3.15 Simpangan Antar Tingkat Izin ( $\Delta_a$ )	32
Tabel 3.16 Rasio Lebar Terhadap Tebal Pada Komponen Struktur Yang Mengalami Aksial Tekan	36
Tabel 3.17 Rasio Lebar Terhadap Tebal Pada Komponen Struktur Yang Mengalami Lentur	37
Tabel 3.18 Faktor <i>Shear Lag</i> ( $U$ )	38
Tabel 3.19 Penyesuaian Ketidaksempurnaan Lebar Efektif	41
Tabel 5.1 Beban Penutup Atap	64
Tabel 5.2 Beban Sagrod	64



Tabel 5.3 Beban Air Hujan	65
Tabel 5.4 Hasil Perbandingan Berat Struktur Bangunan	72
Tabel 5.5 Rekapitulasi Periode Fundamental Bangunan	75
Tabel 5.6 Rekapitulasi Koefisien Respons Seismik	76
Tabel 5.7 Rekapitulasi Gaya Geser Statik ( $V_{statik}$ )	76
Tabel 5.8 Rekapitulasi Gaya Geser Setelah Dilakukan Skala Gaya	77
Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Simpangan	80
Tabel 5.10 Persentase Penurunan Simpangan Dibandingkan Dengan Model Tanpa Pengaku	80
Tabel 5.11 Persentase Penurunan Simpangan Dibandingkan Dengan Model T1 (Bangunan Eksisting)	81
Tabel 5.12 Pengecekan Terhadap Ketidakberaturan Torsi Dan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan Pada Arah X	83
Tabel 5.13 Pengecekan Terhadap Ketidakberaturan Torsi Dan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan Pada Arah Y	84
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Kolom Utama Segmen 1	85
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Kolom Utama Segmen 2	97
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser <i>Endwall Column</i>	107
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Kolom	116
Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengecekan Kombinasi Aksial-Lentur Kolom	117
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Rafter Segmen 1	119
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Rafter Segmen 2	129
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Rafter	139
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Rel <i>Overhead Crane</i>	140
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Rel <i>Overhead Crane</i>	152
Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan	164
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Pengecekan Kombinasi Aksial Lentur Balok <i>Overhead Crane</i>	165
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Boks 150×150×2,5×2,5	166
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Boks 200×200×3×3	175

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Balok Boks	182
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Pengaku 150×150×4,5×4,5	183
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Momen dan Gaya Gese Pengaku Boks 150×150×2,5×2,5	192
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Pengaku	202
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Analisis Tipe Batang Pengaku	202
Tabel 5. 33 Simpangan Pada Bangunan Eksisting Yang Telah Di Dilatasi	204
Tabel 5.34 Persentase Penurunan Simpangan	205



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Bentuk-Bentuk Pengaku Konsentrik	2
Gambar 1. 2 Struktur Bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5	3
Gambar 1. 3 Istilah Segmen	5
Gambar 3.1 Bentuk-Bentuk Pengaku Konsentrik	13
Gambar 3.2 Bentuk-Bentuk Pengaku Eksentrik	14
Gambar 3.3 Kasus A Beban Angin Prosedur Amplop	18
Gambar 3.4 Kasus B Beban Angin Prosedur Amplop	18
Gambar 3.5 Parameter Gerak Tanah ( $S_s$ ), Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)	22
Gambar 3.6 Parameter Gerak Tanah ( $S_l$ ), Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 1 Detik (Redaman Kritis 5%)	23
Gambar 3.7 Spektrum Respons Desain	26
Gambar 3.8 Ketidakberaturan Torsional	33
Gambar 3.9 Ketidakberaturan Sudut Dalam	34
Gambar 3.10 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	34
Gambar 3.11 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	35
Gambar 3.12 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	35
Gambar 3.13 Denah Bangunan Yang Baik Dan Kurang Baik	51
Gambar 4.1 Konfigurasi Pengaku Inverted-V	55
Gambar 4.2 Tampak Depan	55
Gambar 4.3 Potongan Melintang	56
Gambar 4.4 Denah Bangunan	56
Gambar 4.5 Posisi Penempatan Pengaku Bangunan Eksisting (T1)	57
Gambar 4.6 Posisi Penempatan Pengaku Dengan Jarak 2 Segmen (T2)	57

Gambar 4. 7 Posisi Penempatan Pengaku Dengan Jarak 6 Segmen (T3)	58
Gambar 4. 8 Posisi Pengaku Pada Segmen 8 m	58
Gambar 4.9 Posisi Pengaku Pada Segmen 12 m	59
Gambar 5.1 Peletakan <i>Sagrod</i>	64
Gambar 5.2 Penampang Profil <i>Overhead Crane</i>	66
Gambar 5.3 Kasus Beban A Beban Angin Prosedur Amplop	67
Gambar 5.4 Kasus Beban B Beban Angin Prosedur Amplop	67
Gambar 5. 5 Titik Tinjau Simpangan	79
Gambar 5.6 Pembagian Segmen Pada Bangunan	82
Gambar 5. 7 Kodefikasi Segmen Kolom Utama	85
Gambar 5. 8 Penampang Profil	86
Gambar 5. 9 Penampang Profil Sumbu Kuat	90
Gambar 5. 10 Penampang Profil Sumbu Lemah	93
Gambar 5. 11 Kodefikasi Segmen Kolom Utama	96
Gambar 5. 12 Penampang Profil	97
Gambar 5. 13 Penampang Profil Sumbu Kuat	102
Gambar 5. 14 Penampang Profil Sumbu Lemah	104
Gambar 5. 15 Penampang Profil	107
Gambar 5. 16 Penampang Profil Sumbu Kuat	111
Gambar 5. 17 Penampang Profil Sumbu Lemah	113
Gambar 5. 18 Kodefikasi Rafter Segmen 1	118
Gambar 5. 19 Penampang Profil	119
Gambar 5. 20 Penampang Profil Sumbu Kuat	124
Gambar 5. 21 Penampang Profil Sumbu Lemah	126
Gambar 5.22 Kodefikasi Rafter Segmen 2	129
Gambar 5. 23 Penampang Profil	130
Gambar 5. 24 Penampang Profil Sumbu Kuat	134
Gambar 5. 25 Penampang Profil Sumbu Lemah	137
Gambar 5. 26 Tampak Atas Balok Rel <i>Overhead Crane</i>	140
Gambar 5. 27 Balok Rel <i>Overhead Crane</i> (Bentang 8 m dan 9 m)	140
Gambar 5. 28 Penampang Profil	141

Gambar 5. 29 Penampang Profil Sumbu Kuat	146
Gambar 5. 30 Penampang Profil Sumbu Lemah	148
Gambar 5. 31 Balok Rel <i>Overhead Crane</i> (Bentang 12 m)	151
Gambar 5. 32 Tampak Atas Balok Rel <i>Overhead Crane</i>	152
Gambar 5. 33 Penampang Profil	152
Gambar 5. 34 Penampang Profil Sumbu Kuat	159
Gambar 5. 35 Penampang Profil Sumbu Lemah	161
Gambar 5. 36 Kodefikasi Balok Boks 150×150×2,5×2,5	166
Gambar 5. 37 Penampang Profil	167
Gambar 5. 38 Penampang Profil Sumbu Kuat	171
Gambar 5.39 Kodefikasi Balok Boks 200×200×3×3	174
Gambar 5. 40 Penampang Profil	175
Gambar 5. 41 Penampang Profil Sumbu Kuat	179
Gambar 5. 42 Kodefikasi Pengaku	183
Gambar 5. 43 Penampang Profil	184
Gambar 5. 44 Detail Sambungan Pengaku	185
Gambar 5. 45 Penampang Profil Sumbu Kuat	187
Gambar 5. 46 Kodefikasi Pengaku	192
Gambar 5. 47 Penampang Profil	193
Gambar 5. 48 Detail Sambungan Pengaku	194
Gambar 5. 49 Penampang Profil Sumbu Kuat	197
Gambar 5. 50 Denah Pemisahan Struktur Atau Dilatasi	203

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Komponen Struktur	210
Lampiran 2 Gambar Teknis	214
Lampiran 3 Pemodelan SAP2000	234



## ABSTRAK

Faktor geografis wilayah Indonesia yang sangat rawan terjadinya gempa bumi mendorong inovasi pada bangunan supaya tahan terhadap peristiwa alam tersebut. Bangunan dengan struktur baja memiliki keunggulan dari aspek daktilitasnya yang lebih tinggi daripada struktur beton dalam menahan gaya lateral yang terjadi. Selain itu, peningkatan komponen struktur juga dapat dilakukan dengan memberikan pengaku, sehingga simpangan horizontal yang terjadi akan dapat dikurangi. Bangunan yang digunakan sebagai model adalah bangunan tipe *warehouse*, yaitu Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5 yang memiliki 1 lantai dengan lebar 25 m dan panjang 270 m, serta segmen antar kolom yang tidak seragam (8 m, 9 m, dan 12 m). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan penempatan pengaku pada bangunan struktur baja tipe *warehouse* (gudang).

Pemodelan menggunakan program komputer SAP2000. Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 menggunakan metode statik dan dinamik respons spektrum. Parameter yang dibandingkan adalah kapasitas komponen struktur dan simpangan. Posisi penempatan pengaku yang dibandingkan yaitu struktur T1 (pengaku tiap 4 segmen) sebagai eksisting bangunan, struktur T2 (pengaku tiap 2 segmen), dan struktur T3 (pengaku tiap 6 segmen). Pada penelitian ini dilakukan juga penempatan pengaku hanya pada segmen 8 m (struktur T4) atau hanya pada segmen 12 m (struktur T5) untuk mengantisipasi jika dilakukan perbaikan struktur atau penggantian lokasi pintu keluar samping bangunan. Pada penelitian ini juga dilakukan dilatasi pada bangunan eksisting (struktur T1) dikarenakan rasio panjang terhadap lebar bangunan yang sangat besar, kemudian akan dibandingkan nilai simpangan yang terjadi. Bangunan dikategorikan aman jika simpangan yang terjadi lebih kecil daripada simpangan izin, sedangkan komponen struktur dikategorikan aman jika gaya dan momen nominal lebih besar daripada gaya dan momen ultimit.

Dari penelitian ini, didapatkan bahwa bangunan dengan struktur T2 sebagai struktur terbaik. Bangunan tetap harus menggunakan pengaku dikarenakan simpangan tanpa pengaku melebihi simpangan izin. Dari hasil analisis tidak terjadi perbedaan nilai simpangan dan keamanan komponen struktur yang signifikan diantara semua tipe struktur. Bangunan dengan struktur T2 lebih baik dari segi simpangan dan keamanan komponen struktur terhadap gaya-gaya dalam yang terjadi. Komponen struktur balok rel *overhead crane* bentang 8 m dan 9 m pada semua komponen struktur dikategorikan tidak aman dalam menahan kombinasi aksial-lentur yang terjadi. Ketidakberaturan horizontal tidak terjadi pada semua tipe struktur. Bangunan awal (eksisting) tanpa dilatasi mendapatkan nilai simpangan yang lebih baik dibandingkan bangunan yang di dilatasi.

Kata Kunci: bangunan baja, pengaku, kapasitas struktur, pabrik, simpangan

## **ABSTRACT**

*The geographical factor of the Indonesian region which is very prone to earthquakes encourages innovation in buildings so that they are resistant to these natural events. Buildings with steel structures have the advantage of being ductile which is higher than concrete structures in resisting the lateral forces that occur. In addition, the increase in structural components can also be done by providing stiffeners, so that the horizontal displacement that occurs can be reduced. The building used as a model is a warehouse-type building, namely the Steel Fabrication Factory of PT. WIKA Industri and Majalengka Construction Line 5 which has 1 floor with a width of 25 m and a length of 270 m, as well as segments between columns that are not uniform (8 m, 9 m, and 12 m). This study aims to compare the placement of stiffeners in warehouse-type steel structure buildings.*

*Modeling using the SAP2000 computer program. Earthquake load calculation refers to SNI 1726: 2019 using static and dynamic response spectrum methods. The parameters being compared are the capacity of the structural components and the deviations. The positions of the stiffeners being compared are the T1 structure (stiffeners every 4 segments) as the existing building, the T2 structure (stiffeners every 2 segments), and the T3 structure (stiffeners every 6 segments). In this study, stiffeners were also placed only on the 8 m segments (T4 structure) or only on the 12 m segment (T5 structure) to anticipate structural repairs or replacement of the location of the side exit door to the building. In this study, dilatation was also carried out on the existing building (T1 structure) because the ratio of the length to the width of the building was very large, then the deviation values that occurred would be compared. The building is categorized as safe if the deviation that occurs is smaller than the allowable deviation, while the structural component is categorized as safe if the nominal force and moment are greater than the ultimate force and moment.*

*From this study, it was found that buildings with T2 structures were the best structures. The building must still use stiffeners because the deviation without stiffeners exceeds the permit deviation. From the results of the analysis, there is no significant difference in the value of drift and safety of structural components between all types of structures. Buildings with T2 structures are better in terms of deviation and safety of structural components against internal forces that occur. Overhead crane rail beam structural components with spans of 8 m and 9 m for all structural components are categorized as unsafe in resisting the axial-bending combination that occurs. Horizontal irregularities do not occur in all types of structures. The initial (existing) building without dilatation has a better deviation value than the dilated building.*

*Keywords: steel building, bracing, structure capacity, warehouse, deviation*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

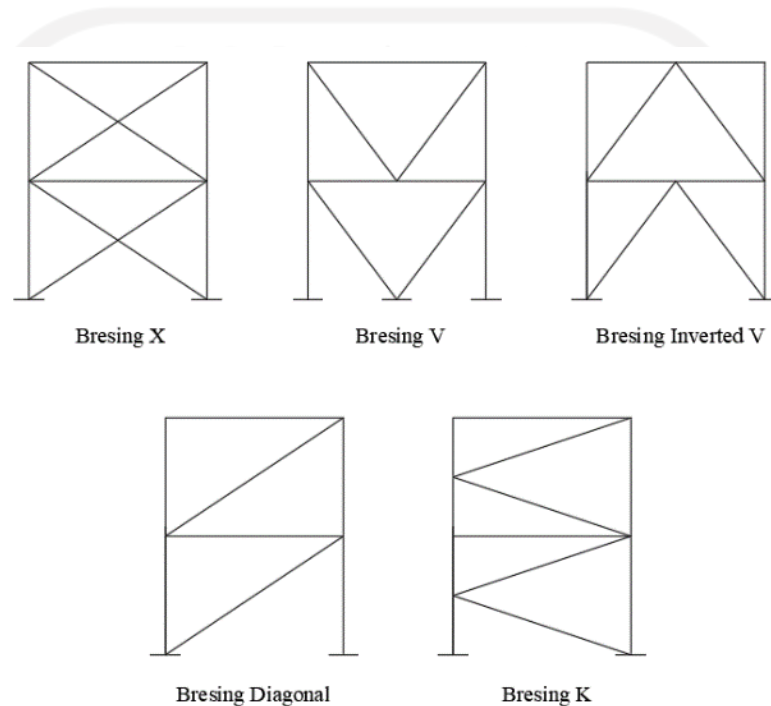
### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Hal ini mengakibatkan hampir seluruh wilayah di Indonesia rentan mengalami peristiwa bencana alam seperti gunung berapi dan gempa bumi. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2020 telah terjadi gempa bumi sebanyak 8.264 kali di seluruh wilayah di Indonesia. Dengan data gempa bumi sebanyak itu tercatat 244 kali gempa bumi yang terjadi memiliki kekuatan lebih dari M5,0. Gempa bumi yang terjadi memberikan dampak terhadap struktur bangunan yang berada di sekitarnya.

Beban gempa yang terjadi ditahan oleh struktur bangunan, sehingga kemampuan dari komponen struktur sangat berpengaruh dalam menahan struktur agar tetap stabil. Apabila beban yang bekerja lebih besar dari kemampuan struktur dalam menahan beban maka struktur dapat mengalami kegagalan. Dalam hal menahan beban gempa penggunaan material baja memiliki keunggulan dari sifat daktilitasnya yang lebih tinggi daripada material beton, sehingga baja masih dapat mengalami deformasi yang besar apabila batas kekuatan elastisnya telah terlampaui. Selain itu peningkatan komponen struktur juga diperlukan pada bangunan jika terjadi gempa bumi untuk memberikan tingkat keamanan yang lebih baik.

Peningkatan komponen struktur dapat dilakukan dengan memberikan pengaku atau pengaku. Pawirodikromo (2017:137) menyatakan bahwa “untuk mengurangi terjadinya simpangan horizontal yang berlebihan, suatu struktur kadang-kadang dipasang sistem pengaku terutama pada struktur baja. Dengan adanya sistem ini, maka struktur akan menjadi kaku, karena pengaku mempunyai kekakuan yang cukup besar”.

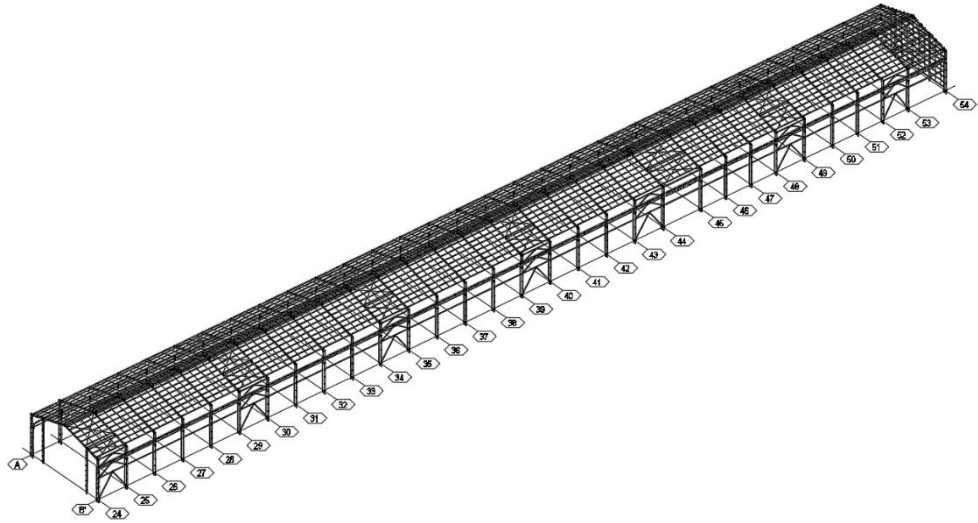
Sistem rangka pengaku dapat dibedakan menjadi dua kategori yakni Sistem Rangka Pengaku Konsentrik (SRBK) dan Sistem Rangka Pengaku Eksentrik (SRBE). Sistem rangka pengaku konsentrik memiliki beberapa tipe, antara lain yakni tipe X, V, inverted V, diagonal, dan K. beberapa tipe pengaku konsentrik tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



**Gambar 1. 1 Bentuk-Bentuk Pengaku Konsentrik**

(Sumber: Engelhardt, 2007)

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan kapasitas dari profil struktur bangunan baja dalam menahan beban gempa serta pengaruh dari variasi penempatan pengaku pada kapasitas struktur serta melihat respons dari struktur bangunan dalam menahan beban gempa yang bekerja. Pada penelitian ini dilakukan analisis kapasitas dari suatu struktur bangunan tipe *warehouse*. Struktur bangunan *warehouse* dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut ini.



**Gambar 1. 2 Struktur Bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5**

Penelitian ini mengambil studi kasus pada pabrik fabrikasi baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka jalur 5. Pada pabrik tersebut digunakan pengaku konsentrik tipe inverted-V untuk meningkatkan komponen strukturnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis dari respons struktur dan kapasitas dari komponen struktur pada bangunan tersebut. Adapun nilai kapasitas yang dihitung meliputi kuat tarik, kuat tekan, kuat lentur, dan kuat geser. Selain itu, dilakukan pengecekan terhadap simpangan dan dikarenakan rasio lebar terhadap panjang sangat besar, maka pada eksisting bangunan dilakukan dilatasi untuk melihat simpangan yang terjadi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diuraikan dari permasalahan diatas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana nilai simpangan dan hasil ketidakberaturan yang terjadi pada berbagai posisi penempatan pengaku?
2. Bagaimana rasio perbandingan dari gaya dan momen nominal terhadap gaya dan momen ultimit komponen struktur pada berbagai posisi penempatan pengaku?

3. Bagaimana pengaruh dilatasi terhadap nilai simpangan pada bangunan eksisting?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai simpangan dan hasil ketidakberaturan yang terjadi pada bangunan dengan berbagai posisi penempatan pengaku.
2. Mengetahui nilai perbandingan gaya dan momen nominal terhadap gaya dan momen ultimit dari komponen struktur pada berbagai posisi penempatan pengaku.
3. Mengetahui pengaruh dilatasi terhadap nilai simpangan pada bangunan eksisting.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini didapatkan manfaat sebagai berikut.

1. Hasil dari penelitian ini memberikan gambaran mengenai keamanan dari komponen struktur bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5 dalam menahan beban yang bekerja.
2. Penelitian ini menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh pengaku dalam meningkatkan kekakuan struktur bangunan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian adalah sebagai berikut ini:

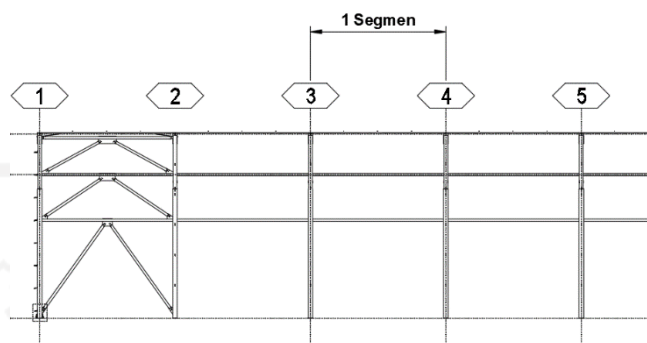
1. Struktur bangunan yang dianalisis adalah struktur Pabrik Fabrikasi Baja PT. Wijaya Karya Industri Dan Konstruksi Majalengka Jalur 5
2. Jenis pengaku mengikuti eksisting bangunan yang sudah ada yakni pengaku konsentrik tipe inverted V dengan ukuran dimensi yang sama.
3. Model struktur bangunan yang dilakukan perhitungan gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser menggunakan variasi letak pengaku berupa pengaku dengan jarak 2 segmen kolom, pengaku dengan jarak 4 segmen kolom (eksisting bangunan), pengaku dengan jarak 6 segmen kolom.
4. Jenis tanah tempat berdirinya bangunan merupakan tanah sedang.

5. Analisis struktur menggunakan program komputer SAP2000.
6. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan pemodelan frame 3 dimensi.
7. Beban gempa yang digunakan meliputi beban statik dan dinamik.
8. Struktur portal yang digunakan merupakan struktur portal baja murni.
9. Struktur bangunan terdiri dari 1 lantai dan memanjang kebelakang sejauh 270 m dan lebar 25 m dengan kolom berjumlah 31 kolom pada satu sisi.
10. Perhitungan kapasitas struktur bangunan meliputi perhitungan kapasitas profil kolom, rafter, rill *overhead crane*, balok boks dan pengaku.
11. Tidak melakukan perhitungan kapasitas sambungan.

### 1.6 Definisi Istilah

Berikut ini merupakan istilah-istilah khusus yang dipakai dalam penelitian ini.

1. Pengaku  
Komponen struktur atau sistem yang memberikan kekakuan dan kekuatan untuk membatasi pergerakan komponen struktur lain.
2. Segmen  
Bagian-bagian yang berada diantara dua kolom pada suatu arah.



**Gambar 1. 3 Istilah Segmen**

3. Kekuatan tersedia  
Kekuatan desain atau kekuatan izin.
4. *Buckling*/Tekuk  
Keadaan batas berupa perubahan geometri secara tiba-tiba pada struktur atau elemen-elemennya akibat kondisi beban kritis.

5. **Komponen struktur baja canai dingin**  
Profil yang dipabrikasi baik melalui proses penekanan dari lembaran, potongan koil atau pelat, maupun melalui proses pembentukan dingin, dari koil atau lembaran pelat gilas panas. Kedua proses pembentukan tersebut dilakukan pada temperatur ruang, tanpa pemanasan tambahan sebagaimana dibutuhkan pada pembentukan dengan panas.
6. **Penampang kompak**  
Penampang yang mampu mengembangkan distribusi tegangan plastis secara penuh dan memiliki kapasitas rotasi kurang lebih tiga sebelum terjadi tekuk lokal.
7. **Panjang efektif**  
Panjang komponen struktur tekan identik dengan kekuatan yang sama apabila dianalisis dengan menggunakan kondisi ujung sederhana.
8. **Luas neto efektif**  
Luas neto yang dimodifikasi untuk memperhitungkan efek *shear lag*.
9. **Tekuk lentur**  
Modus tekuk berupa komponen struktur tekan melentur secara lateral tanpa puntir dan tanpa perubahan bentuk penampang.
10. **Tekuk torsi-lentur**  
Modus tekuk berupa komponen struktur tekan melentur dan memuntir secara bersamaan tanpa perubahan bentuk penampang.
11. **PSR (Penampang Struktur Berongga)**  
Penampang baja struktur berongga berbentuk bujur sangkar, persegi panjang atau bundar.
12. **Pengaku lateral**  
Komponen struktur atau sistem yang didesain untuk mencegah tekuk lateral atau tekuk torsi-lateral pada komponen-komponen struktur.
13. **Tekuk lokal**  
Keadaan batas berupa tekuk elemen tekan di suatu penampang.
14. **DFBT (Desain Faktor Beban dan Ketahanan)**

Metode yang memproporsikan komponen struktur sedemikian sehingga kekuatan desain sama atau melebihi kekuatan perlu komponen tersebut akibat aksi kombinasi beban DFBT.

15. Luas neto  
Luas bruto yang direduksi untuk memperhitungkan material yang dihilangkan.
16. Penampang nonkompak  
Penampang yang dapat mengembangkan tegangan leleh dalam elemen tekannya sebelum tekuk lokal terjadi, tetapi tidak dapat mengembangkan kapasitas rotasi sebesar 3.
17. Kekuatan perlu  
Gaya-gaya, tegangan-tegangan, dan deformasi-deformasi yang bekerja pada komponen struktur, yang ditentukan dari analisis struktur.
18. Kekuatan runtuh  
Kekuatan yang dibatasi oleh retak atau sobek pada komponen struktur elemen-elemen penyambung.
19. Beban  
Gaya atau aksi lainnya akibat beban material bangunan gedung, penghuni dan barang-barang didalamnya, efek lingkungan, perbedaan pergerakan atau perubahan dimensi yang terkekang.
20. Beban lateral  
Beban yang bekerja dalam arah lateral, misalnya efek angin atau gempa.
21. Tekuk torsi-lateral  
Pola tekuk komponen lentur yang melibatkan lendutan di luar bidang lentur yang terjadi serentak dengan torsi terhadap pusat geser penampang.
22. Gaya geser dasar  
Gaya lateral atau geser desain total yang terjadi pada tingkat dasar.
23. Gempa desain  
Pengatur suatu gempa yang besarnya dua per tiga gerak tanah  $MCE_R$  nya.
24. Tekuk torsi

Modus tekuk berupa puntir pada komponen struktur tekan terhadap sumbu pusat gesernya.

25. Pengaku transversal  
Pengaku badan dalam arah tegak lurus sayap, terpasang badan.
26. Sumbu lemah  
Sumbu berat utama minor suatu penampang melintang.
27. Leleh  
Keadaan batas deformasi inelastis yang terjadi sesudah tegangan leleh tercapai.
28. Gerak tanah seismik desain  
Gerak tanah suatu seismik yang besarnya dua per tiga gerak tanah  $MCE_R$  nya.
29. Kategori risiko  
Pengelompokan bangunan-bangunan gedung atau struktur-struktur lainnya untuk menentukan besaran beban-beban gempa berdasarkan risiko terjadinya kinerja yang tidak dapat diterima.
30. Kelas situs  
Klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan.
31. Komponen  
Bagian dari suatu sistem.
32. Rangka dengan pengaku  
Sistem rangka batang vertikal, atau yang setara dengan jenis konsentris, atau eksentris, yang disediakan pada sistem rangka bangunan atau sistem ganda untuk menahan gaya lateral gempa.
33. Rangka dengan pengaku konsentris  
Sistem rangka dengan pengaku yang elemen-elemen strukturnya difungsikan utamanya untuk menahan gaya-gaya aksial.
34. Rangka dengan pengaku eksentris  
Sistem rangka yang diberi pengaku diagonal dimana minimal salah satu ujung dari masing-masing elemen pengakunya merangka pada balok sejarak tertentu dari lokasi sambungan balok-kolom, atau dari ujung pengaku diagonal lainnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Dalam suatu penelitian diperlukan teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Untuk menunjang keilmiahannya penelitian diperlukannya tinjauan pustaka yang berisi beberapa penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan dengan topik yang diteliti. Sehingga dengan adanya tinjauan pustaka bisa didapatkan informasi mengenai metode maupun langkah-langkah pengerjaan dan informasi lainnya yang bermanfaat bagi penelitian yang dilakukan.

#### **2.2 Penelitian Sebelumnya**

Berikut ini beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai pengaku dan penggunaan baja struktural.

1. Analisis Pengaruh Penggunaan pengaku Tipe K Terhadap Respons Struktur Bangunan Portal Baja Bertingkat.

Penelitian yang dilakukan oleh Tahtadu (2020) ini bertujuan untuk mengetahui nilai simpangan antar lantai, nilai perpindahan maksimum dilokasi kritis, hasil ketidakberaturan horizontal dan vertikal, serta untuk mengetahui nilai stabilitas struktur pada bangunan eksisting sebelum dan sesudah ditambah pengaku tipe K. Objek penelitian ini berupa struktur bangunan Gedung Kampus Amikom Purwokerto, Jawa Tengah. Dengan bangunan menggunakan struktur baja 6 lantai dan 1 basement tanpa pengaku (eksisting). Hasil dari penelitian ini ialah terjadi penurunan nilai simpangan antar lantai pada model dengan pengaku konsentris sebesar 80,512% dibandingkan dengan model bangunan tanpa pengaku. Terjadi juga penurunan nilai perpindahan maksimum pada lokasi kritis pada model dengan pengaku konsentris dengan rata-rata penurunan sebesar 73,930% pada arah X dan 74,395% pada arah Y dibandingkan dengan bangunan tanpa pengaku. Kemudian bangunan yang dilengkapi dengan pengaku konsentris mengalami

peningkatan kestabilan struktur sebesar 76,848% dibandingkan dengan bangunan tanpa pengaku.

2. Pengaruh Konfigurasi Dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa.

Penelitian yang dilakukan oleh Elvarando (2020) ini bertujuan untuk melakukan analisis pengaruh dari konfigurasi *D-brace* dan *Split-K brace* terhadap struktur baja serta untuk mengetahui pengaruh dari variasi posisi pengaku terhadap perilaku struktur bangunan. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan bangunan *non-existing*, kemudian dilakukan analisis terhadap konfigurasi dan posisi pengaku, yang meliputi: *split-K* posisi muka, *D-shape* posisi muka, bangunan tanpa pengaku, *split-K* posisi dalam, dan *D-shape* posisi dalam. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa bangunan dengan konfigurasi pengaku *split-K* memiliki kemampuan lebih baik daripada konfigurasi *D-shape* terhadap respons struktur. Sedangkan untuk posisi pengaku yang dipakai dalam analisis didapatkan bahwa posisi pengaku pada posisi luar bekerja lebih baik daripada posisi dalam baik pada konfigurasi *split-K* maupun pada konfigurasi *D-shape*.

3. Perancangan Ulang Gedung Dinas Pendidikan Yogyakarta Menggunakan Struktur Baja Dengan Metode Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus.

Penelitian yang dilakukan oleh Baskoro (2019) ini bertujuan untuk mendesain profil baja serta sambungan dengan konsep desain kapasitas, serta melakukan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperlukan untuk kebutuhan struktur dari pembangunan Gedung Dinas Pendidikan Yogyakarta. Dalam penelitian ini dilakukan analisis struktur menggunakan SAP 2000 setelah itu dilakukan perhitungan dari profil yang digunakan yang memenuhi konsep desain kapasitas dengan kondisi *Strong Column Weak Beam* (SCWB). Dari penelitian ini didapatkan hasil profil struktur yang digunakan meliputi kolom, balok anak, balok induk, dan sambungan.

### 2.3 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Terdapat beberapa persamaan dan perbedaan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya. Rincian mengenai penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.



Tabel 2. 1 Rincian Penelitian Sebelumnya

No	Keterangan	Penelitian I	Penelitian II	Penelitian III	Penelitian Sekarang
1		Baskoro (2019)	Elvarando (2020)	Tahtadu (2020)	Alqusyairi (2022)
2	<b>Judul</b>	Perancangan Ulang Gedung Dinas Pendidikan Yogyakarta Menggunakan Struktur Baja Dengan Metode Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus	Pengaruh Konfigurasi Dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa	Analisis Pengaruh Penggunaan Pengaku Tipe K Terhadap Respons Struktur Bangunan Portal Baja Bertingkat	Komparasi Variasi Penempatan Pengaku Terhadap Respons Dan Kapasitas Struktur Pada Bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5
3	<b>Parameter Yang Diteliti</b>	Melakukan perencanaan ulang bangunan beton menjadi bangunan baja yang menerapkan kondisi <i>strong column weak beam</i>	Pengaruh penggunaan pengaku konsentrik tipe <i>D-shape</i> dan <i>split-K</i> serta membandingkan konfigurasi penempatan pengaku pada sisi muka dan sisi dalam	Pengaruh penggunaan pengaku tipe K terhadap respons struktur bangunan	Pengaruh penggunaan pengaku terhadap simpangan, ketidakberaturan horizontal, dan gaya-gaya dalam yang terjadi
4	<b>Metode Penelitian</b>	Statik	Statik dan dinamik	Statik dan dinamik	Statik dan dinamik

Lanjutan Tabel 2.1 Rincian Penelitian Sebelumnya

No	Keterangan	Penelitian I	Penelitian II	Penelitian III	Penelitian Sekarang
		Baskoro (2019)	Elvarando (2020)	Tahtadu (2020)	Alqusyairi (2022)
4	<b>Hasil Penelitian</b>	Didapatkan hasil profil dan sambungan dari struktur bangunan baja dengan memenuhi kondisi <i>strong column weak beam</i>	Penggunaan pengaku tipe <i>split-K</i> lebih baik dalam mengurangi nilai respons struktur daripada tipe <i>D-shape</i> . Konfigurasi pengaku pada kedua jenis tipe pengaku yang digunakan menunjukkan konfigurasi pengaku pada sisi muka/luar bekerja lebih baik daripada sisi dalam	Penggunaan pengaku tipe K menurunkan nilai simpangan antar lantai, menurunkan nilai perpindahan maksimum lokasi kritis, meningkatkan nilai stabilitas struktur	Penggunaan pengaku dengan penempatan yang lebih rapat membuat penurunan gaya-gaya dalam dan simpangan yang terjadi pada bangunan tipe <i>warehouse</i> (gudang) dibandingkan dengan penempatan pengaku yang lebih jarang walaupun tidak signifikan.

Dari rincian penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat dilihat beberapa persamaan dan perbedaan antara penelitian yang dilakukan dan penelitian sebelumnya sebagai berikut:

1. Persamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tahtadu (2020) adalah menganalisis pengaruh penggunaan pengaku tipe konsentrik pada struktur bangunan. Perbedaannya adalah struktur bangunan yang diteliti oleh Tahtadu (2020) ialah struktur portal baja bertingkat sedangkan penelitian yang dilakukan ialah struktur baja tipe *warehouse* satu lantai.
2. Persamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Elvarando (2020) adalah melakukan variasi penempatan pengaku untuk mengetahui perilaku struktur. Perbedaannya adalah pada penelitian Elvarando (2020) digunakan tipe pengaku *D-shape* dan *split-K* dan parameter yang diamati adalah respons struktur. Sedangkan pada penelitian ini digunakan pengaku sesuai dengan kondisi eksisting bangunan yakni konsentrik tipe inverted-V dan parameter yang diteliti adalah respons dan kapasitas dari komponen struktur.
3. Persamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Baskoro (2019) adalah dilakukannya perhitungan untuk memeriksa komponen struktur baja. Perbedaannya adalah Baskoro (2019) melakukan penelitian berupa perencanaan ulang struktur bangunan beton menjadi struktur bangunan baja. Sedangkan pada penelitian ini yang diteliti ialah pengaruh dari pengaku konsentrik inverted-V pada respons dan kapasitas komponen struktur bangunan baja.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tinjauan Umum**

Pada pembahasan sebelumnya sudah dijelaskan mengenai penelitian-penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini. Pada BAB III ini dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam penelitian. Teori-teori tersebut berisi pedoman dan analisis dalam menyelesaikan permasalahan penelitian.

#### **3.2 Sistem Rangka Pemikul Momen**

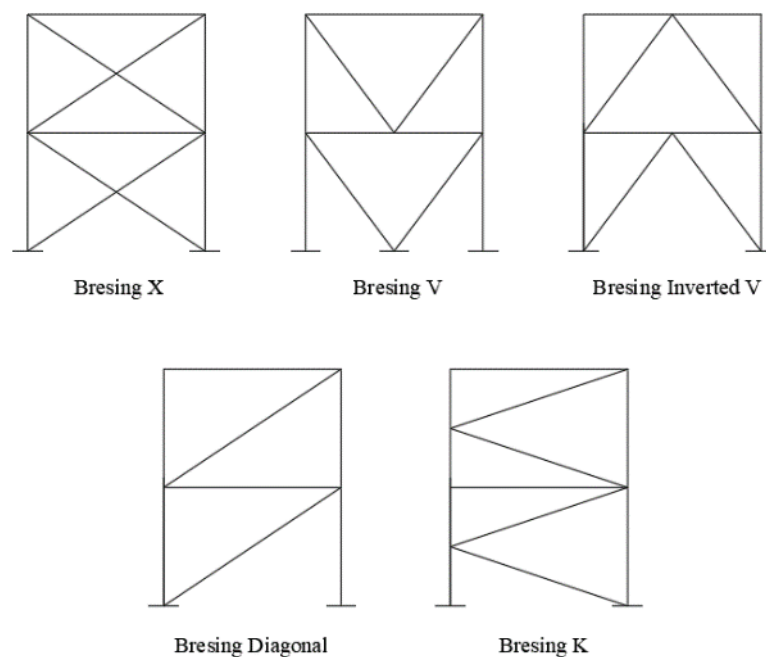
##### **3.2.1 Sistem Rangka Baja Pemikul Momen**

Berdasarkan SNI 2847:2019, Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem rangka dimana komponen balok, pelat, kolom dan *joint* bersama-sama menahan gaya yang diakibatkan oleh beban melalui mekanisme lentur, geser, dan gaya aksial. Sistem rangka pemikul momen dibedakan menjadi beberapa jenis seperti berikut ini.

1. Sistem Pemikul Momen Biasa (SRPMB) Pada Rangka Baja  
Rangka baja pemikul momen biasa adalah sistem rangka yang didesain dengan harapan struktur bangunan dapat mengalami deformasi inelastik sampai 2,5 kali lebih besar dari deformasi elastiknya apabila dikenai oleh beban.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)  
Rangka baja pemikul momen menengah adalah sistem rangka yang didesain dapat mengalami deformasi inelastik yang cukup besar yakni sampai 4.5 kali lebih besar dari deformasi elastiknya jika dikenai oleh beban.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK)  
Rangka baja pemikul momen khusus adalah sistem rangka yang didesain dengan harapan struktur bangunan dapat mengalami deformasi inelastik yang cukup besar yakni sampai 5,5 kali lebih besar dari deformasi elastiknya.

### 3.2.2 Sistem Rangka dengan Pengaku Konsentrik

Menurut SNI 1726:2019, sistem rangka pengaku konsentrik adalah rangka pengaku dengan elemen-elemen utama strukturnya difungsikan untuk menahan gaya-gaya aksial. Sistem rangka pengaku konsentrik dibagi menjadi dua yakni Sistem Rangka Pengaku Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Pengaku Konsentrik Khusus (SRBKK). SRBKB didesain dengan harapan struktur dapat mengalami deformasi inelastik secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya horizontal. Sedangkan, SRBKK didesain dengan harapan struktur dapat mengalami deformasi inelastik yang cukup besar apabila dibebani oleh gaya-gaya horizontal. Contoh jenis-jenis pengaku konsentrik dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1 Bentuk-Bentuk Pengaku Konsentrik**

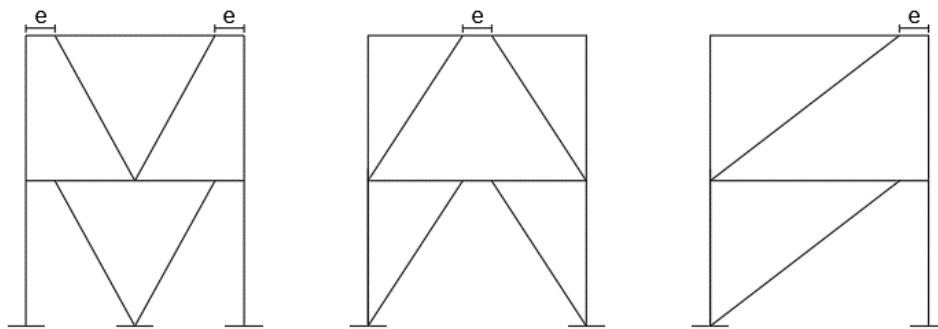
(Sumber: Engelhardt, 2007)

### 3.2.3 Sistem Rangka dengan Pengaku Eksentrik

Menurut SNI 1726:2019, sistem rangka pengaku eksentrik adalah sistem rangka yang salah satu ujung dari elemen-elemennya merangka pada balok pada jarak tertentu dari lokasi sambungan balok-kolom atau dari ujung pengaku diagonal lainnya. Jarak tertentu dari lokasi sambungan bolok kolom atau dari ujung pengaku



diagonal lainnya itu disebut dengan *link*. *Link* merupakan bagian dari balok yang didesain untuk mengantisipasi energi yang timbul saat terjadinya gempa. Bohl (2005) dalam Tahtadu (2020) menyebutkan “ketika struktur menerima beban horizontal, elemen *link* mengalami leleh geser atau leleh lentur.” Contoh jenis-jenis pengaku eksentrik dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



**Gambar 3.2 Bentuk-Bentuk Pengaku Eksentrik**

(Sumber: Engelhardt, 2007)

### 3.3 Pembebanan

#### 3.3.1 Beban Hidup Atap

SNI 1727:2020 menyebutkan bahwa beban hidup atap merupakan beban pada atap yang diakibatkan (1) selama pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material, dan (2) selama masa layan struktur akibat benda bergerak, seperti tanaman pot atau perlengkapan dekoratif kecil serupa lainnya yang bukan terkait hunian. Beban hidup atap yang digunakan tidak boleh lebih kecil dari beban minimum yang ditetapkan berdasarkan Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020.

#### 3.3.2 Beban Mati

Menurut SNI 1727:2020 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, 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. Berat sendiri bangunan dihitung dengan menggunakan

program komputer SAP2000. Sedangkan untuk beban mati tambahan hanya mempunyai satu beban yakni beban atap, yang ditambahkan secara manual pada saat analisis. Beban mati pada penelitian ini ditentukan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983. Berat sendiri bangunan dan komponen gedung dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Berat Sendiri Bangunan Dan Komponen Bangunan**

<b>Bahan Bangunan</b>	<b>Berat</b>	<b>Satuan</b>
Baja	7850	kg/m <sup>3</sup>
<b>Komponen Gedung</b>	<b>Berat</b>	<b>Satuan</b>
Penutup atap seng gelombang tanpa gordeng	10	kg/m <sup>2</sup>

(Sumber: PPIUG 1983)

### 3.3.3 Beban Angin

Menurut SNI 1727:2020 semua bangunan gedung, serta semua komponen gedung dan struktur lainnya, harus dirancang untuk menahan beban angin. Pada penelitian ini ketentuan-ketentuan mengenai beban angin dihitung berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya. Dikarenakan bangunan yang diteliti merupakan bangunan bertingkat rendah, sehingga penelitian ini menggunakan Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) Prosedur Amplop, Langkah-langkah dalam menentukan parameter bebang angin pada Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) Prosedur Amplop adalah sebagai berikut ini.

#### 1. Kecepatan Angin Dasar ( $V$ )

Kecepatan angin dasar ditentukan berdasarkan Buku Peta Angin Indonesia berdasarkan kategori risiko bangunan atau dapat diperkirakan dari data iklim regional. Beban angin dasar nantinya digunakan dalam menentukan beban angin desain. Berdasarkan data PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka pada pembangunan Pabrik Fabrikasi Baja Jalur 1- 4 prakiraan kecepatan angin dasar ( $V$ ) adalah 120 km/jam.

#### 2. Faktor Arah Angin ( $K_d$ )

Faktor arah angin harus disesuaikan berdasarkan tipe struktur bangunan. Faktor arah angin untuk bangunan dengan tipe struktur bangunan Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) ditentukan sebesar 0,85.

3. Kategori Eksposur

Kategori eksposur ditentukan berdasarkan kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari vegetasi, topografi alam, dan fasilitas yang telah dibangun yang ada disekitar. Kekasaran permukaan pada setiap sektor  $45^\circ$  harus ditentukan untuk suatu jarak lawan angin dari situs. Kategori kekasaran permukaan bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka ini masuk dalam kategori C, dikarenakan lokasi bangunan tersebut terletak di daerah pedesaan dengan sebaran penghalang dengan tinggi kurang dari 9,1 m. Adapun tinggi bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka ini lebih dari 9,1 m dan kekasaran permukaan C, maka kategori eksposur masuk dalam kategori C.

4. Faktor Topografi ( $K_{zt}$ )

Faktor topografi ditentukan dari peningkatan kecepatan angin di atas bukit, bukit memanjang, dan tebing curam, karena lokasi bangunan berada di daerah terbuka datar, sehingga tidak ada efek peningkatan kecepatan angin. Oleh karena itu, nilai faktor topografi boleh diambil sebesar 1,0.

5. Faktor Elevasi Permukaan Tanah ( $K_e$ )

Faktor elevasi permukaan tanah menyesuaikan kondisi tekanan udara, tetapi untuk semua elevasi faktor elevasi permukaan tanah boleh diambil sebesar 1,0

6. Faktor Hembusan Angin ( $G$ )

Faktor hembusan angin boleh diambil sebesar 0,85 untuk bangunan gedung atau struktur lain yang kaku.

7. Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan ( $K_z$ ) dan ( $K_h$ )

Koefisien eksposur tekanan kecepatan ditentukan berdasarkan ketinggian diatas permukaan tanah dan kategori eksposur. Nilai  $K_z$  dan  $K_h$  ditentukan berdasarkan Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2 Kategori Eksposur Tekanan Kecepatan**

Ketinggian di atas permukaan tanah	Kategori Eksposur		
	B	C	D
m			
0 – 4,6	0,57	0,85	1,03
6,1	0,62	0,90	1,08
7,6	0,66	0,94	1,12
9,1	0,70	0,98	1,16
12,2	0,76	1,04	1,12
15,2	0,81	1,09	1,27
18,0	0,85	1,13	1,31
21,3	0,89	1,17	1,34
24,4	0,93	1,21	1,38
27,4	0,96	1,24	1,40

(Sumber: SNI 1727:2020)

8. Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )

Koefisien tekanan internal ditentukan berdasarkan klasifikasi ketertutupan. Nilai  $GC_{pi}$  dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.3 berikut ini.

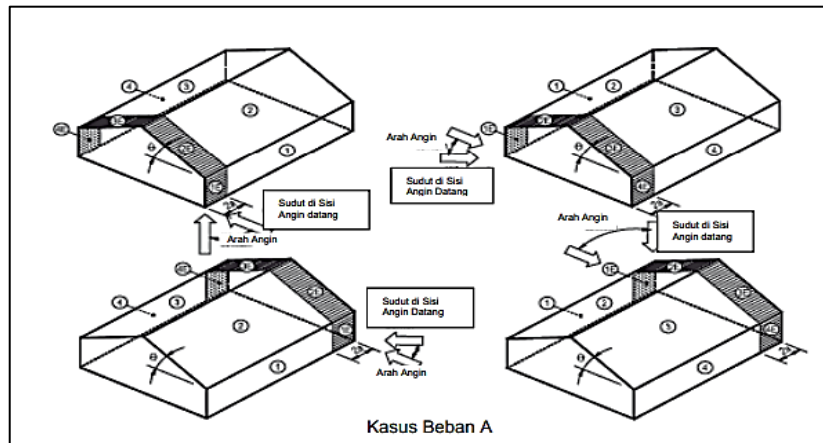
**Tabel 3.3 Koefisien Tekanan Internal**

Klasifikasi Ketertutupan	Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )
Bangunan Tertutup	+0,18
	-0,18
Bangunan Tertutup Sebagian	+0,55
	-0,55
Bangunan Terbuka	0,00

(Sumber: SNI 1727:2020)

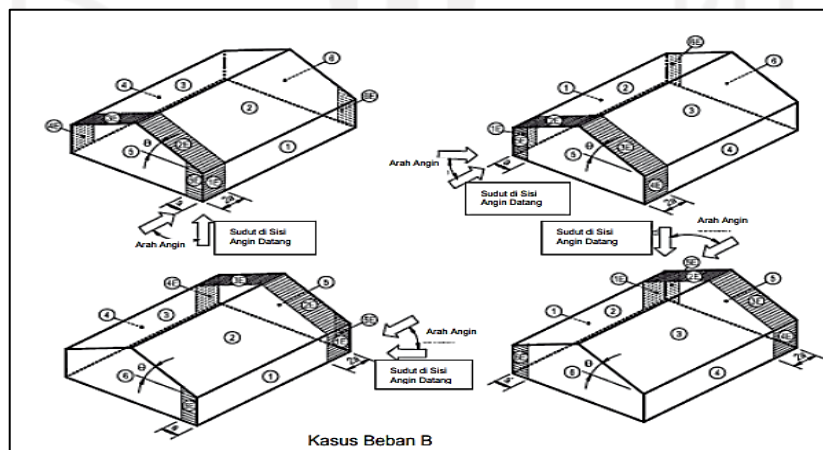
9. Koefisien Tekanan Eksternal ( $C_{pf}$ )

Terdapat dua kasus beban untuk menentukan koefisien Tekanan Eksternal SPGAU (Prosedur Amplop), yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut ini.



**Gambar 3.3 Kasus A Beban Angin Prosedur Amplop**

(Sumber: SNI 1727:2020)



**Gambar 3.4 Kasus B Beban Angin Prosedur Amplop**

(Sumber: SNI 1727:2020)

Nilai koefisien tekanan eksternal ( $C_{pf}$ ) pada setiap permukaan bangunan ditentukan berdasarkan Tabel 3.4 dan 3.5 berikut ini.

**Tabel 3.4 Koefisien Tekanan Eksternal Kasus Beban A**

Sudut Atap $\theta$ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung			
	1	2	3	4
0 – 5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,43
30 – 45	0,56	0,21	-0,43	-0,37
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37

(Sumber: SNI 1727:2020)

**Tabel 3.5 Koefisien Tekanan Eksternal Kasus Beban B**

Sudut Atap $\theta$ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung					
	1	2	3	4	5	6
0 – 90	-0,45	-0,69	-0,37	-0,45	0,40	-0,29

(Sumber: SNI 1727:2020)

Tanda positif menandakan angin datang menuju permukaan bangunan, sedangkan tanda negatif menandakan angin pergi menjauhi permukaan bangunan.

### 3.3.4 Beban Gempa

Pada penelitian ini beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung. Langkah-langkah perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.

#### 1. Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan dibedakan berdasarkan jenis pemanfaatannya. Kategori risiko bangunan didapatkan dari SNI 1726:2019 yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

**Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa**

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	III

**Lanjutan Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung  
Untuk Beban Gempa**

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV

(Sumber: SNI 1726:2019)



2. Faktor Keutamaan Gempa

Nilai faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019, yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

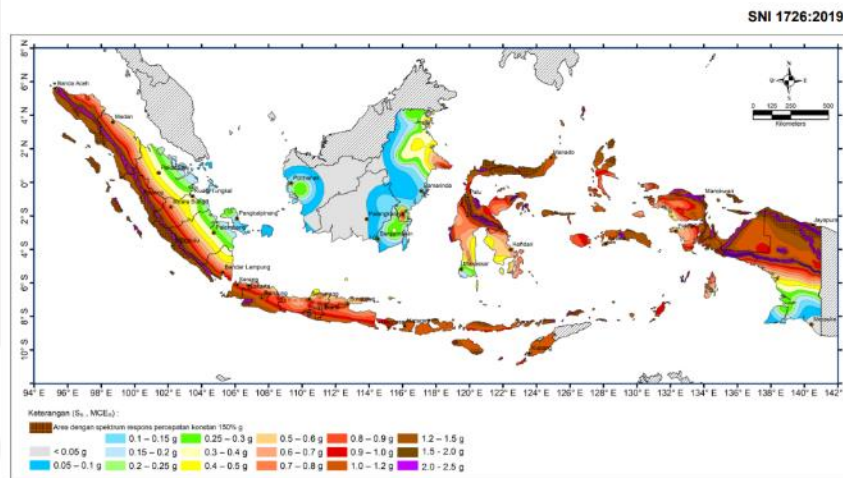
**Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa**

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019)

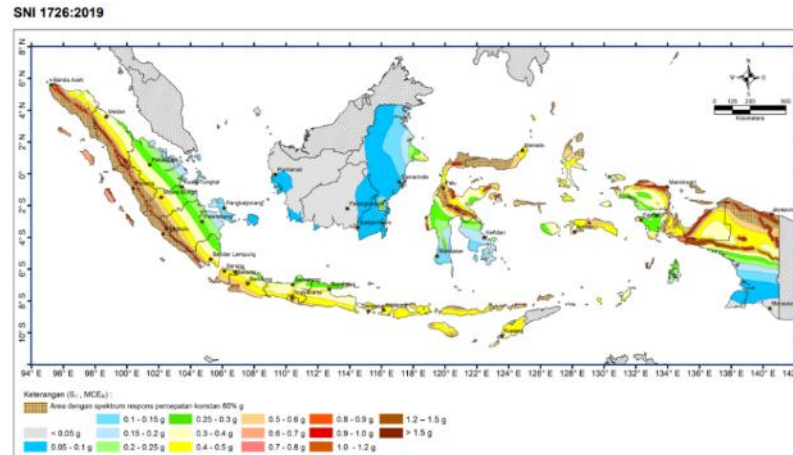
3. Parameter Gerak Tanah

Parameter gerak tanah ditentukan berdasarkan Gambar 15 dan Gambar 16 pada SNI 1726:2019. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 berikut ini.



**Gambar 3.5 Parameter Gerak Tanah ( $S_s$ ), Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)**

(Sumber: SNI 1726:2019)



**Gambar 3.6 Parameter Gerak Tanah ( $S_I$ ), Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 1 Detik (Redaman Kritis 5%)**

(Sumber: SNI 1726:2019)

4. Koefisien-Koefisien Situs

Koefisien situs ditentukan berdasarkan jenis kelas situs yaitu: SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus), dan juga ditentukan berdasarkan nilai parameter respons spektral percepatan gempa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 berikut ini.

**Tabel 3.8 Koefisien Situs ( $F_a$ )**

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan Pada Periode Pendek $T = 0,2$ Detik ( $S_s$ )					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$S_s^{(a)}$					

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 3.9 Koefisien Situs ( $F_v$ )

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan Pada Periode Pendek $T = 1$ Detik ( $S_1$ )					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$S_1^{(a)}$					

(Sumber: SNI 1726:2019)

5. Parameter Percepatan Respons Spektral  $MCE_R$ 

Untuk menentukan parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ), harus diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.2)$$

Keterangan:

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik.

$F_a$  = koefisien situs pada percepatan gempa maksimum periode pendek.

$F_v$  = koefisien situs pada percepatan gempa maksimum periode 1 detik.

## 6. Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai parameter percepatan spektral desain pada periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan spektral desain pada periode 1 detik ( $S_{D1}$ ), dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.4)$$

## 7. Spektrum Respons Desain

Ketentuan-ketentuan yang digunakan dalam spektrum respons desain adalah sebagai berikut.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.5)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.6)$$

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ), harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) sama dengan  $S_{DS}$ .

- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_S$ , tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain ( $S_a$ ), diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektral percepatan desain ( $S_a$ ), diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \quad (3.9)$$

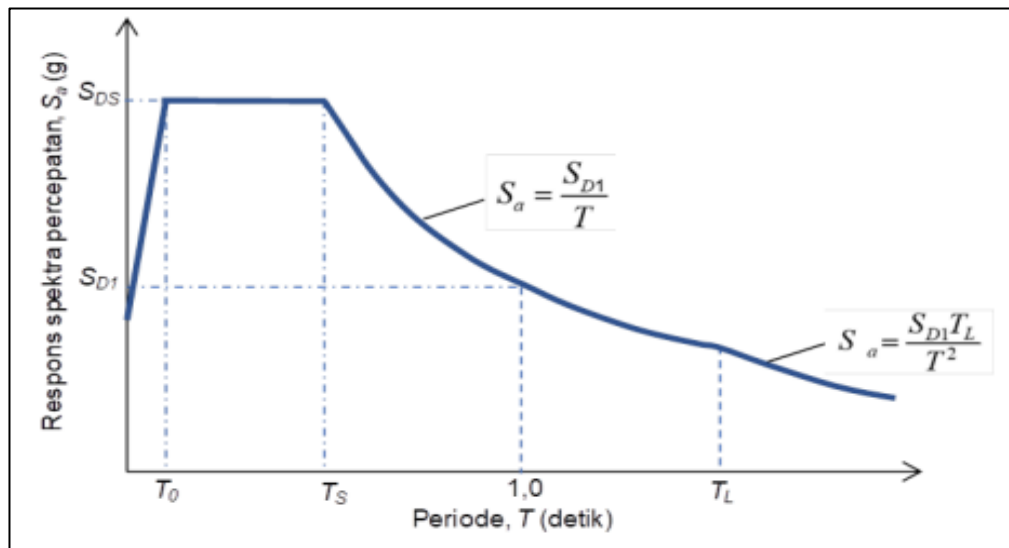
Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

$T$  = periode getar fundamental struktur.

$T_L$  = peta transisi periode panjang.



**Gambar 3.7 Spektrum Respons Desain**

(Sumber: SNI 1726:2019)

8. Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik diambil berdasarkan perbandingan parameter respons percepatan desain dengan kategori risiko bangunan. penentuan kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan Tabel 3.11 berikut ini.

**Tabel 3.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	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)

**Tabel 3.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik**

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

9. Kombinasi Sistem Struktur Dalam Arah Yang Berbeda

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda memiliki nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  yang berbeda pula. Penentuan nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  dapat ditentukan berdasarkan Tabel 12 pada SNI 1726:2019. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

**Tabel 3.12 Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik**

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons ( $R$ )	Faktor Kuat Lebih Sistem ( $\Omega_0$ )	Faktor Pembesaran defleksi ( $C_d$ )	Batasan Sistem Struktur Dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka baja dengan pengaku eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan pengaku konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan pengaku konsentris biasa	3 1/4	2	3 1/4	TB	TB	10	10	10

**Lanjutan Tabel 3.12 Faktor  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik**

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons ( $R$ )	Faktor Kuat Lebih Sistem ( $\Omega_0$ )	Faktor Pembesaran defleksi ( $C_d$ )	Batasan Sistem Struktur Dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 1/4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja pemikul momen menengah	4 1/2	3	4	TB	TB	10	TI	TI
Rangka baja pemikul momen biasa	3 1/2	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726:2019)

10. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

a. Gaya Dasar Seismik

Gaya dasar seismik ( $V$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$V = C_S \times W \quad (3.10)$$

Keterangan:

$C_S$  = koefisien respons seismik.

$W$  = berat sesmik efektif.

b. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien respons seismik ( $C_S$ )

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.11)$$

Nilai  $C_S$  tidak perlu melebihi perhitungan berikut ini.

Untuk  $T \leq T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.12)$$

Untuk  $T > T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.13)$$

Dan nilai  $C_S$  tidak boleh kurang dari perhitungan berikut.

$$C_S = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \quad (3.14)$$

c. Penentuan Periode

Syarat-syarat dalam menentukan periode fundamental struktur ( $T$ ), harus mengikuti persamaan berikut.

$$T_C > C_u \times T_a \quad \rightarrow T = C_u \times T_a$$

$$T_a < T_C < C_u \times T_a \quad \rightarrow T = T_C$$

$$T_C < T_a \quad \rightarrow T = T_a$$

Untuk nilai koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.13 berikut ini.

**Tabel 3.13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung ( $C_u$ )**

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik ( $S_{D1}$ )	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2019)

d. Periode Fundamental Pendekatan

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ).



$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.15)$$

Keterangan:

$h_n$  = ketinggian struktur. (m)

Nilai  $C_t$  dan  $x$  ditentukan berdasarkan Tabel 18 dalam SNI 1726-2019, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut ini.

**Tabel 3.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan pengaku eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan pengaku terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019)

#### 11. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Penentuan gaya seismik lateral ( $F_x$ ), ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$F_x = C_{VX} \times V \quad (3.16)$$

dan

$$C_{VX} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3.17)$$

Keterangan:

$C_{VX}$  = faktor distribusi vertikal.

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur. (kN)

$W_i$  dan  $W_x$  = berat sesimik efektif total ( $W$ ) pada tingkat  $i$  atau  $x$ .

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ . (m)

$k$  = eksponensial yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$

untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$

untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

### 3.4 Kombinasi Pembebanan

Dalam pemodelan struktur digunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 1726-2019. Kombinasi pembebanan yang digunakan antara lain sebagai berikut.

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5.  $0,9D + 1,0W$
6.  $1,2D + Ev + Eh + L$
7.  $0,9D - Ev + Eh$

Keterangan:

- D = beban mati yang diakibatkan oleh berat sendiri bangunan.
- L = beban hidup yang diakibatkan oleh fungsi dari bangunan.
- Lr = beban hidup pada atap yang diakibatkan oleh beban pekerja pada atap.
- R = beban yang diakibatkan oleh hujan.
- W = beban yang diakibatkan oleh angin.
- Ev = beban gempa akibat gaya gempa vertikal.
- Eh = beban gempa akibat gaya gempa horizontal.

### 3.5 Penentuan Skala Gaya

Apabila nilai periode fundamental lebih besar dari nilai  $C_u \times T_a$ , maka nilai periode struktur ( $T$ ) diambil sebesar nilai  $C_u \times T_a$ . Untuk nilai kombinasi respons untuk gaya geser dasar ( $V_t$ ) kurang dari nilai gaya geser ( $V$ ) yang dihitung dengan

metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dihitung dengan dikalikan dengan  $V/V_t$ .

### 3.6 Simpangan

Menurut SNI 1726:2019, simpangan merupakan perpindahan horizontal dibagian atas tingkat yang ditinjau terhadap bagian bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan pada pusat massa tingkat-x ( $\delta_x$ ) dihitung dengan persamaan 3.18 berikut ini.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.18)$$

Keterangan:

$\delta_{xe}$  = simpangan tingkat-x yang disyaratkan

$C_d$  = faktor pembesaran simpangan lateral

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat yang didesain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ). Simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.15 berikut ini.

**Tabel 3.15 Simpangan Antar Tingkat Izin ( $\Delta_a$ )**

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengamodisi simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

### 3.7 Ketidakberaturan Horizontal

Berdasarkan SNI 1726:2019 ketidakberaturan horizontal dibedakan menjadi 5 tipe, berikut ini penjelasannya.

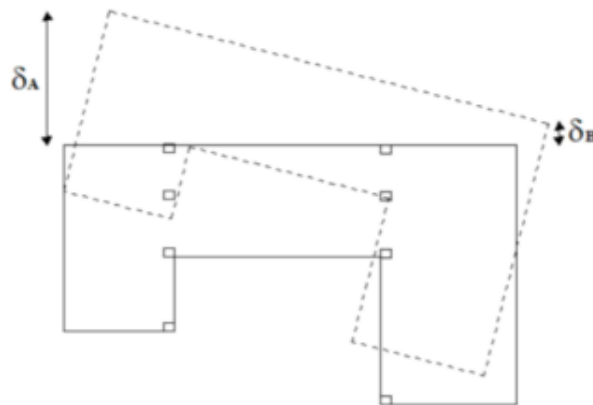
#### 1. Ketidakberaturan Torsional

##### a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi terjadi apabila simpangan antar tingkat maksimum pada salah satu ujung struktur melintang didapat lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung strukturnya.

##### b. Ketidakberaturan Torsi Berlebihan

Ketidakberaturan torsi berlebihan terjadi apabila simpangan antar tingkat maksimum pada salah satu ujung struktur melintang didapat lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung strukturnya.

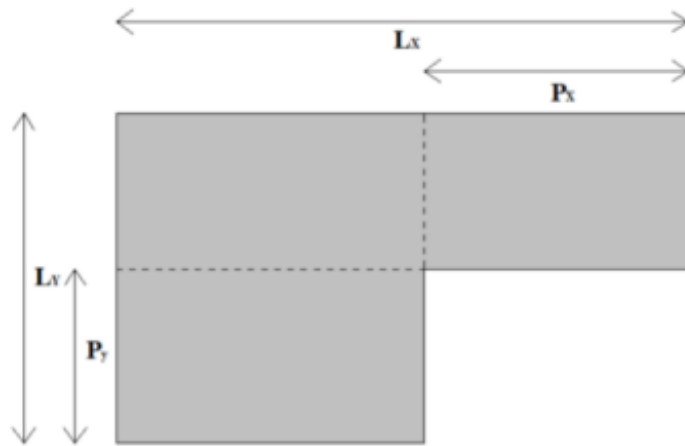


**Gambar 3.8 Ketidakberaturan Torsional**

(Sumber: SNI 1726:2019)

#### 2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila kedua proyeksi denah struktur yang didapat dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dari arah yang ditinjau. Ketidakberaturan sudut dalam dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



**Gambar 3.9 Ketidakberaturan Sudut Dalam**

(Sumber: SNI 1726:2019)

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma terjadi apabila terdapat diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka > 50% daerah diafragma bruto yang tertutup. Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.



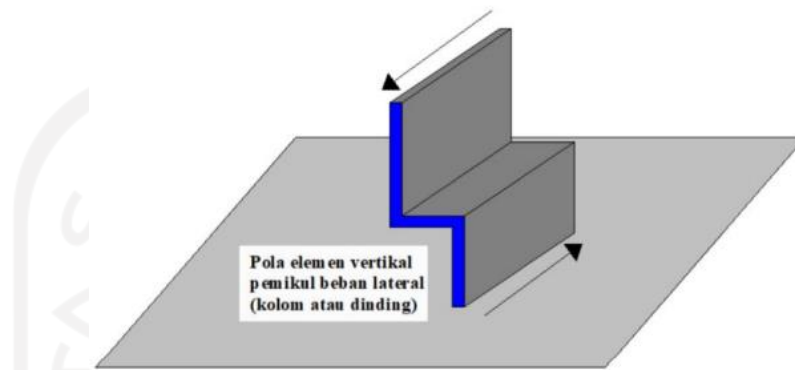
**Gambar 3.10 Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma**

(Sumber: SNI 1726:2019)

4. Ketidakteraturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang terjadi apabila diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral bangunan, seperti

terjadinya pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut ini.

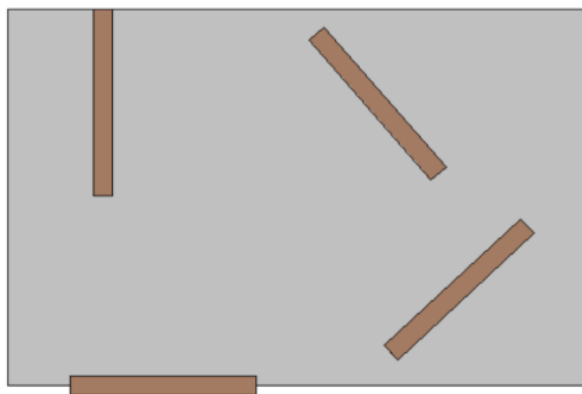


**Gambar 3.11 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang**

(Sumber: SNI 1726:2019)

5. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Ketidakteraturan sistem nonparalel terjadi apabila elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel dengan sumbu-sumbu ortogonal utama. Ketidakteraturan sistem nonparalel dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut ini.



**Gambar 3.12 Ketidakteraturan Sistem Nonparalel**

(Sumber: SNI 1726:2019)

### 3.8 Komponen Struktur Baja

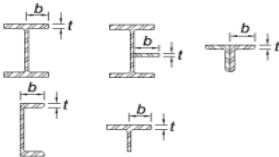
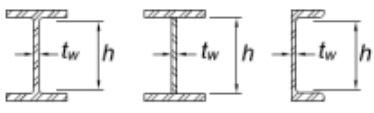
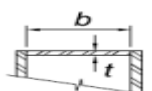
Profil struktur yang digunakan harus memenuhi parameter yang sesuai dengan SNI 1729:2020 berikut.

#### 3.8.1 Rasio Lebar Terhadap Tebal

Untuk komponen struktur yang mengalami tekan aksial jika rasio lebar terhadap tebal lebih kecil dari  $\lambda_r$  maka penampang diklasifikasikan sebagai elemen langsing/tidak kompak, sedangkan jika rasio lebar terhadap tebal melebihi  $\lambda_r$  maka diklasifikasikan sebagai elemen tidak langsing/kompak.

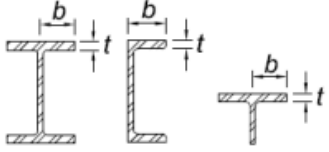
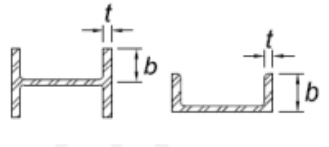
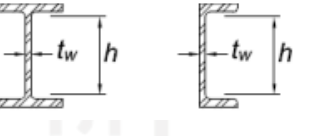
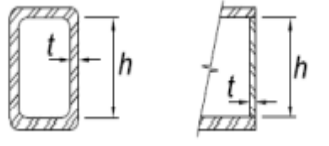
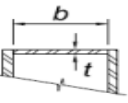
Untuk komponen struktur yang mengalami lentur jika rasio lebar terhadap tebal lebih kecil dari  $\lambda_p$  maka penampang diklasifikasikan sebagai elemen kompak, jika rasio lebar terhadap tebal melebihi  $\lambda_p$  dan kurang dari  $\lambda_r$  maka diklasifikasikan sebagai elemen tidak kompak, sedangkan jika rasio lebar terhadap tebal melebihi  $\lambda_r$  maka penampang diklasifikasikan sebagai elemen langsing.

**Tabel 3.16 Rasio Lebar Terhadap Tebal Pada Komponen Struktur Yang Mengalami Aksial Tekan**

No	Deskripsi	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal ( $\lambda_r$ )	Contoh
1	Sayap profil I gilas panas	$b/t$	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
2	Badan profil I	$h/t_w$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
3	Semua elemen diperkaku lainnya	$b/t$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

(Sumber: SNI 1729:2020)

**Tabel 3.17 Rasio Lebar Terhadap Tebal Pada Komponen Struktur Yang Mengalami Lentur**

No	Deskripsi	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar Terhadap Tebal		Contoh
			$\lambda_p$ (kompak)	$\lambda_r$ (nonkompak)	
1	Sayap profil I gilas panas, kanal dan T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
2	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
3	Badan profil I simetris ganda dan kanal	h/t <sub>w</sub>	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
4	Badan PSR persegi panjang dan boks	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
5	Sayap penampang boks	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

(Sumber: SNI 1729:2020)

### 3.8.2 Komponen Struktur untuk Tarik

Kekuatan tarik desain ( $\phi P_n$ ) dari komponen struktur berdasarkan SNI 1729:2020 ditentukan sebagai berikut ini.

#### 1. Batasan kelangsingan

Untuk komponen struktur yang mengalami tarik tidak mempunyai batasan kelangsingan, tetapi didalam SNI 1729:2020 disarankan rasio kelangsingan  $L/r < 300$



## 2. Luas Neto Efektif

Luas neto efektif ditentukan dengan persamaan berikut:

$$A_e = A_n U \quad (3.19)$$

Keterangan:

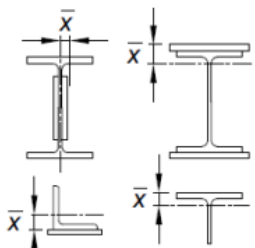
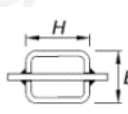
$A_e$  = luas neto efektif. (mm<sup>2</sup>)

$A_n$  = luas neto. (mm<sup>2</sup>)

$U$  = faktor shear lag.

Faktor *shear lag* untuk sambungan komponen struktur tarik dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.18 berikut ini.

**Tabel 3.18 Faktor *Shear Lag* ( $U$ )**

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor <i>Shear Lag</i> ( $U$ )	Contoh
1	Komponen struktur tarik dengan beban yang disalurkan secara langsung ke setiap elemen profil melintang	$U = 1,0$	-
2	Komponen struktur tarik kecuali PSR, dengan beban yang disalurkan tetapi tidak semua bagian profil melintang.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
s3	PSR persegi panjang dengan pelat buhun konsentris tunggal	$l \geq H, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	

(Sumber: SNI 1729:2020)

### 3. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik nominal ( $\phi P_n$ ) dari komponen struktur tarik harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh dari keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

#### a. Leleh tarik pada penampang bruto

$$\phi P_n = \phi F_y A_g \quad (3.20)$$

$$\phi = 0,90 \text{ (DFBT)}$$

#### b. Keruntuhan tarik pada penampang neto

$$\phi P_n = \phi F_u A_e \quad (3.21)$$

$$\phi = 0,75 \text{ (DFBT)}$$

Keterangan:

$P_n$  = kekuatan tarik nominal. (N)

$A_g$  = luas bruto. (mm<sup>2</sup>)

$A_e$  = luas neto efektif. (mm<sup>2</sup>)

$F_y$  = kuat leleh minimum. (MPa)

$F_u$  = kuat tarik minimum. (MPa)

### 3.8.3 Komponen Struktur untuk Tekan

Kekuatan tekan desain ( $\phi P_n$ ) dari komponen struktur berdasarkan SNI 1729:2020 ditentukan sebagai berikut ini.

#### 1. Batasan Kelangsingan

Untuk komponen struktur yang mengalami tekan rasio kelangsingan ditentukan dengan  $L_c/r < 200$ .

Keterangan:

$L_c = KL$  = panjang efektif. (mm)

$K$  = faktor panjang efektif.

$L$  = panjang tak terbreis lateral. (mm)

$r$  = radius girasi. (mm)

#### 2. Tegangan Tekuk Elastis ( $F_e$ )

Perhitungan untuk tekuk elastis ( $F_e$ ) pada *Flexural Buckling* (FB) dan *Torsional Buckling* (TB) ditentukan sebagai berikut.

##### a. *Flexural Buckling* (FB)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \quad (3.22)$$

b. *Torsional Buckling* (TB)

Untuk komponen struktur simetris ganda menggunakan persamaan berikut ini.

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \times \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.23)$$

Keterangan:

$F_e$  = tegangan tekuk elastis. (MPa)

$E$  = modulus elastis baja. = 200000. Mpa

$C_w$  = konstanta pilin. (mm<sup>6</sup>)

$L_{cz} = K_z \times L_z$  = Panjang efektif. (mm)

$G$  = modulus elastisitas geser baja. (77200 MPa)

$J$  = konstanta torsi. (mm<sup>4</sup>)

$I_x$  = momen inersia terhadap sumbu X.

$I_y$  = momen inersia terhadap sumbu Y.

3. Kekuatan Tekan Nominal ( $\phi P_n$ )

Kekuatan tekan nominal ( $\phi P_n$ ) untuk kondisi *Flexural Buckling* (FB) dan Kondisi *Torsional Buckling* (TB) dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g \quad (3.24)$$

$$\phi = 0,90 \text{ (DFBT)}$$

a. Bila  $L_c/r < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \left( 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) \times F_y \quad (3.25)$$

b. Bila  $L_c/r > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e \quad (3.26)$$

Keterangan:

$A_g$  = luas penampang bruto. (mm<sup>2</sup>)

$F_{cr}$  = tegangan kritis. (Mpa)

4. Kekuatan Tekan Nominal ( $\phi P_n$ ) Dengan elemen langsing

Jika pada komponen struktur terdapat elemen langsing/tidak kompak, maka perhitungan kekuatan tekan nominal harus ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_e \quad (3.27)$$

$$\phi = 0,90 \text{ (DFBT)}$$

Keterangan:

$A_g$  = luas penampang efektif berdasarkan lebar efektif tereduksi. (mm<sup>2</sup>)

$F_{cr}$  = tegangan kritis. (Mpa)

Lebar efektif ( $b_e$  untuk sayap dan  $h_e$  untuk badan) ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$F_{el} = \left( C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y \quad (3.28)$$

a. Apabila  $\lambda \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $b_e = b$

b. Apabila  $\lambda > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $b_e = b \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$A_e = A_g - (b - b_e)t \quad (3.29)$$

**Tabel 3.19 Penyesuaian Ketidaksempurnaan Lebar Efektif**

Elemen Langsing	$C_1$	$C_2$
Elemen diperkaku	0,18	1,31
Dinding PSR persegi panjang dan bujur sangkang	0,20	1,38
Semua elemen-elemen lainnya	0,22	1,49

(Sumber: SNI 1729:2020)

Keterangan:

$F_{el}$  = tegangan tekuk lokal elastis. (MPa)

$C_1$  dan  $C_2$  = faktor penyesuaian ketidaksempurnaan lebar efektif.

$\lambda$  = rasio lebar terhadap tebal.

$\lambda_r$  = batas rasio lebar terhadap tebal.

### 3.8.4 Komponen Struktur untuk Lentur

Kekuatan lentur desain ( $\phi M_n$ ) dari komponen struktur berdasarkan SNI 1729:2020 ditentukan sebagai berikut ini.

#### 1. Ketentuan umum

$$\phi = 0,90 \text{ (DFBT)}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (3.30)$$

Keterangan:

$C_b$  = faktor modifikasi tekuk torsi lateral.

$M_{maks}$  = nilai momen maksimum pada segmen tanpa pengaku. (Nmm)

$M_A$  = nilai momen pada 1/4 segmen tanpa pengaku. (Nmm)

$M_B$  = nilai momen pada 1/2 segmen tanpa pengaku. (Nmm)

$M_C$  = nilai momen pada 3/4 segmen tanpa pengaku. (Nmm)

#### 2. Komponen Struktur Profil I Yang Melentur Terhadap Sumbu Kuat

##### a. Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (3.31)$$

Keterangan:

$M_n$  = kekuatan lentur nominal.

$F_y$  = tegangan leleh minimum. (MPa)

$Z_x$  = modulus penampang plastis terhadap sumbu X. (mm<sup>3</sup>)

##### b. Tekuk torsi lateral

1) Jika  $L_b \leq L_p$ , maka keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku.

2) Jika  $L_p < L_b \leq L_r$ , maka:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.32)$$

3) Jika  $L_b > L_r$ , maka:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (3.33)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (3.34)$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.35)$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (3.36)$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (3.37)$$

Keterangan:

$L_b$  = panjang penampang melintang tanpa pengaku lateral (mm)

$F_{cr}$  = tegangan kritis (MPa)

$E$  = modulus elastisitas baja (200000 MPa)

$J$  = konstanta torsi (mm<sup>4</sup>)

$S_x$  = modulus penampang elastis terhadap sumbu X (mm<sup>3</sup>)

$S_0$  = jarak antara titik berat sayap (mm)

$L_p$  = batas panjang untuk keadaan plastis (mm)

$L_r$  = batas panjang untuk keadaan elastis (mm)

$r_y$  = radius girasi terhadap sumbu y (mm)

$c$  = 1 (untuk profil I simetris ganda)

Nilai  $r_{ts}$  juga dapat dihitung secara akurat dan konservatif sebagai radius girasi sayap tekan ditambah 1/6 badan:

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1 h_{tw}}{6 b_f t_f}\right)}} \quad (3.38)$$

### 3. Komponen Struktur Profil I Yang Melentur Terhadap Sumbu Kuat Dengan Elemen Tidak Kompak Atau Langsing.

Persamaan di bawah ini berlaku untuk profil I dengan badan kompak atau tidak kompak dan sayap tidak kompak, atau langsing.

#### a. Tekuk Torsi Lateral

Perhitungan untuk tekuk torsi lateral sesuai dengan persamaan (3.32) atau (3.33).

b. Tekuk Lokal Sayap Tekan

1) Untuk Penampang Dengan Sayap Tidak Kompak

$$M_n = M_p (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (3.39)$$

2) Untuk Penampang Dengan Sayap Langsing

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (3.40)$$

$$k_c = 0,35 \leq \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \leq 0,76 \quad (3.41)$$

$$M_n = \frac{0,9Ek_c S_x}{\lambda^2} \quad (3.42)$$

Keterangan:

$h$  = jarak bersih antara sayap. (mm)

$b_f$  = lebar sayap. (mm)

$t_f$  = tebal sayap. (mm)

$\lambda_{pf}$  = batas kelangsingan untuk sayap kompak.

$\lambda_{rf}$  = batas kelangsingan untuk sayap tidak kompak.

4. Komponen Struktur Profil I Yang Melentur Terhadap Sumbu Lemah

a. Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1,6F_y S_y \quad (3.43)$$

Keterangan:

$M_n$  = kekuatan lentur nominal

$F_y$  = tegangan leleh minimum (MPa)

$Z_y$  = modulus penampang plastis terhadap sumbu Y ( $\text{mm}^3$ )

$S_y$  = modulus penampang elastis terhadap sumbu Y ( $\text{mm}^3$ )

b. Tekuk Lokal Sayap

1) Keadaan tekuk lokal sayap tidak berlaku pada penampang dengan sayap kompak.

2) Penampang dengan sayap tidak kompak

$$M_n = \left[ M_p - (M_p - 0,7F_y S_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (3.44)$$

3) Penampang dengan sayap langsing

$$M_n = F_{cr} S_y \quad (3.45)$$

$$F_{cr} = \frac{0,69E}{(b/t_f)^2} \quad (3.46)$$

$$\lambda = \frac{b}{t_f} \quad (3.47)$$

Keterangan:

$b$  = setengah lebar sayap total. (mm)

$t_f$  = tebal sayap. (mm)

$\lambda_{pf}$  = batas kelangsingan untuk sayap kompak.

$\lambda_{rf}$  = batas kelangsingan untuk sayap tidak kompak.

5. PSR Bujur Sangkar

a. Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (3.48)$$

Keterangan:

$M_n$  = kekuatan lentur nominal.

$F_y$  = tegangan leleh minimum. (MPa)

$Z$  = modulus penampang plastis terhadap sumbu lentur, (mm<sup>3</sup>)

b. Tekuk Lokal Sayap

1) Keadaan tekuk lokal sayap tidak berlaku pada penampang dengan sayap kompak.

2) Penampang dengan sayap tidak kompak.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left( 3,57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4 \right) \leq M_p \quad (3.49)$$

3) Penampang dengan sayap langsing

$$M_n = F_y S \quad (3.50)$$

$$b_e = 1,92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y} \left[ 1 - \frac{0,38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right]} \leq b \quad (3.51)$$

Keterangan:



$S$  = modulus penampang elastis terhadap sumbu lentur. ( $\text{mm}^3$ )

$b$  = lebar sayap tekan. (mm)

$S_e$  = modulus penampang efektif. ( $\text{mm}^3$ )

c. Tekuk Lokal Badan

1) Keadaan tekuk lokal badan tidak berlaku pada penampang dengan badan kompak.

2) Penampang dengan badan tidak kompak.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left( 0,305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0,738 \right) \leq M_p \quad (3.52)$$

3) Penampang dengan badan langsing

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left( \frac{h_c}{t_w} - 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1 \quad (3.53)$$

$$a_w = \frac{2ht_w}{bt_f} \quad (3.54)$$

a) Leleh sayap tekan

$$M_n = R_{pg} F_y S \quad (3.55)$$

b) Tekuk lokal sayap tekan

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (3.56)$$

$$F_{cr} = \frac{0,9Ek_c}{(b/t_f)^2} \quad (3.57)$$

Keterangan:

$R_{pg}$  = faktor reduksi kekuatan lentur.

$S$  = modulus penampang elastis terhadap sumbu lentur. ( $\text{mm}^3$ )

$S_{xc}$  = modulus penampang elastis sayap tekan. ( $\text{mm}^3$ )

$F_{cr}$  = tegangan kritis. (MPa)

$k_c$  = 4

$b$  = lebar sayap tekan. (mm)

d. Tekuk Torsi Lateral

1) Jika  $L_b \leq L_p$ , maka keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku.

2) Jika  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.58)$$

3) Jika  $L_b > L_r$

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{J A_g}}{L_b/r_y} \leq M_p \quad (3.59)$$

$$L_p = 0,13Er_y \sqrt{\frac{J A_g}{M_p}} \quad (3.60)$$

$$L_r = 2Er_y \sqrt{\frac{J A_g}{0,7F_y S_x}} \quad (3.61)$$

Keterangan:

$L_b$  = panjang penampang melintang tanpa pengaku lateral (mm)

$E$  = modulus elastisitas baja (200000 MPa)

$J$  = konstanta torsi (mm<sup>4</sup>)

$S_x$  = modulus penampang elastis terhadap sumbu X (mm<sup>3</sup>)

$L_p$  = batas panjang untuk keadaan plastis (mm)

$L_r$  = batas panjang untuk keadaan elastis (mm)

$r_y$  = radius girasi terhadap sumbu y (mm)

$A_g$  = luas penampang bruto (mm<sup>2</sup>)

### 3.8.5 Komponen Struktur untuk Geser

Kekuatan geser desain ( $\phi V_n$ ) dari komponen struktur berdasarkan SNI 1729:2020 ditentukan sebagai berikut ini.

1. Kekuatan Geser Badan (sumbu kuat profil)

$$\phi V_n = \phi 0,6 F_y A_w C_v \quad (3.62)$$

Keterangan:

$F_y$  = tegangan leleh (MPa)

$A_w$  = luas badan (mm<sup>2</sup>)

$C_v$  = koefisien geser badan

a. Untuk badan komponen struktur profil I gelas panas nilai koefisien geser badan ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\text{Syarat: } h/t_w \leq 2,2,4\sqrt{E/F_y}$$

$$\phi = 1,00 \text{ (DFBT)}$$

$$C_v = 1,0$$

b. Untuk semua komponen struktur profil I dan kanal nilai koefisien geser badan, ditentukan dengan persamaan berikut ini.

1) Apabila:

$$h/t_w \leq 1,10\sqrt{K_v E/F_y} \quad (3.63)$$

$$C_V = 1,0$$

2) Apabila:

$$h/t_w > 1,10\sqrt{K_v E/F_y} \quad (3.64)$$

$$C_V = \frac{1,10\sqrt{K_v E/F_y}}{h/t_w}$$

Koefisien tekuk geser pelat badan ( $k_V$ ), dihitung dengan persamaan berikut ini:

1) Untuk badan tanpa pengaku transversal, maka  $k_V = 5,34$

2) Untuk badan dengan pengaku transversal, maka  $k_V = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$

Keterangan:

$k_V$  = koefisien tekuk geser.

$h$  = jarak bersih antara sayap-sayap. (mm)

$t_w$  = tebal badan. (mm)

$a$  = jarak bersih antara pengaku transversal. (mm)

2. Kekuatan Geser Sayap (sumbu lemah profil)

$$\phi V_n = \phi 0,6 F_y b_t t_f C_V \quad (3.65)$$

Keterangan:

$C_V$  = koefisien geser badan, seperti perhitungan  $C_V$  untuk kuat geser sumbu kuat profil dengan  $h/t_w = b_f/2t_f$  dan  $k_V = 1,2$ .

$F_y$  = tegangan leleh. (MPa)

$b_t$  = lebar sayap. (mm)

$t_f$  = tebal sayap. (mm)

3. Komponen Struktur Profil Berbentuk Boks

$$\phi V_n = \phi 0,6 F_y A_w C_V \quad (3.66)$$

Keterangan:

$C_V$  = koefisien geser badan, seperti perhitungan  $C_V$  untuk kuat geser sumbu

kuat profil dengan  $h/t_w = h/t$  dan  $k_V = 5$ .

$F_y$  = tegangan leleh. (MPa)

$A_w$  = luas badan atau badan-badan. (mm)

$h$  = jarak bersih antara sayap. (mm)

$t$  = tebal badan. (mm)

### 3.8.6 Komponen Struktur Kombinasi Gaya dan Torsi

Berdasarkan SNI 1729:2020, untuk komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang memikul lentur dan gaya aksial ditentukan sebagai berikut.

1. Untuk komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang memikul lentur dan tekan

Interaksi lentur dan gaya tekan pada komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang melentur terhadap sumbu geometris x dan y dibatasi dengan persamaan berikut ini.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2 \quad \rightarrow \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \times \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.67)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0,2 \quad \rightarrow \quad \frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.68)$$

Keterangan:

$P_r$  = kekuatan aksial perlu (N).

$P_c$  = kekuatan aksial tersedia (N).

$M_r$  = kekuatan lentur perlu (Nmm).

$M_c$  = kekuatan lentur tersedia (Nmm).

$x$  = indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor.

$y$  = indeks sehubungan dengan lentur sumbu minor.

2. Untuk komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang memikul lentur dan Tarik

Interaksi lentur dan gaya tarik pada komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang melentur terhadap sumbu geometris x dan y dibatasi dengan persamaan (3.38) dan persamaan (3,39).

3. PSR yang memikul kombinasi torsi, geser, lentur dan gaya aksial

$$\phi T_n = \phi F_{cr} C \quad (3.69)$$

$$\phi = 0,9 \text{ (DFBT)}$$

$$C = 2(B - t)(H - t) - 4,5 (4 - \pi)t^3 \quad (3.70)$$

a. Jika  $h/t \leq 2,45\sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = 0,6F_y \quad (3.71)$$

b. Jika  $2,45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3,07\sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = \frac{0,6F_y(2,45\sqrt{E/F_y})}{(h/t)} \quad (3.72)$$

c. Jika  $3,07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260$

$$F_{cr} = \frac{0,458\pi^2 E}{(h/t)^2} \quad (3.73)$$

$$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c}\right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c}\right) \leq 1 \quad (3.74)$$

Keterangan:

$P_r$  = kekuatan aksial perlu. (N)

$P_c$  = kekuatan aksial tersedia. (N)

$M_r$  = kekuatan lentur perlu. (Nmm)

$M_c$  = kekuatan lentur tersedia. (Nmm)

$V_r$  = kekuatan geser perlu. (N)

$V_c$  = kekuatan geser tersedia. (N)

$T_r$  = kekuatan torsi perlu. (Nmm)


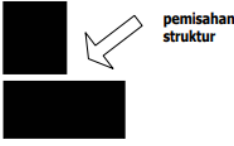

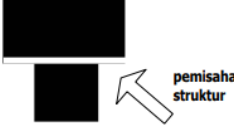



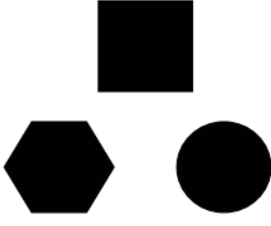
$T_c$  = kekuatan torsi tersedia. (Nmm)

Untuk struktur PSR yang memiliki torsi perlu ( $T_r$ ) lebih kecil atau sama dengan 20% dari torsi tersedia ( $T_c$ ) maka efek torsi dapat diabaikan dan interaksi lentur dan gaya aksial dapat menggunakan persamaan (3.67) atau (3.68).

### 3.9 Dilatasi

Dilatasi atau pemisahan struktur diartikan sebagai alur pemisah dari bangunan yang tidak simetris sehingga menjadi rangkaian bangunan yang simetris atau alur pemisah dari bangunan baru dengan bangunan lama. Dilatasi dilakukan untuk menghindari kerusakan akibat gempa atau benturan. Selain itu menurut Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung (2006) bangunan yang berbentuk

sentris (bujur sangkar atau lingkaran) lebih baik dari daripada denah bangunan yang berbentuk memanjang dalam menghindari kerusakan akibat gempa.

KURANG BAIK	SEBAIKNYA
	
	
	
	

**Gambar 3.13 Denah Bangunan Yang Baik Dan Kurang Baik**

(Sumber: Pedoman Persyaratan Teknis Gedung, 2006)

Menurut SNI 1726:2019 pemisahan struktur harus memperhatikan perpindahan simpangan inelastik maksimum ( $\delta_M$ ) yang terjadi pada lokasi kritis, dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\delta_M = \frac{(C_d \times \delta_{max})}{I_e} \quad (3.75)$$

Untuk bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar  $\delta_{MT}$ , dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (3.76)$$

Keterangan:

$\delta_{max}$  = simpangan elastik maksimum.

$C_d$  = faktor pembesaran simpangan lateral.

$I_e$  = faktor keutamaan gempa.

$\delta_{M1}$  dan  $\delta_{M2}$  = simpangan inelastik maksimum pada struktur bangunan yang bersebelahan.



## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Tinjauan Umum**

Dalam penelitian diperlukan metode penelitian yang tepat, supaya cara-cara atau prosedur yang digunakan oleh peneliti dapat menemukan solusi atau jawaban atas permasalahan yang diajukan. Pada bab ini dijelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan, yang berisi mengenai lokasi penelitian, data penelitian, pemodelan struktur, proses perhitungan, serta tahapan-tahapan dari penelitian.

### **4.2 Lokasi Objek Penelitian**

Lokasi penelitian ini berada di Kawasan Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka. Yang terletak di Jl. Raya Cirebon-Bandung KM 31, Desa Cisambeng, Kecamatan Palasah, Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat. Objek yang diteliti merupakan bangunan Pabrik Jalur 5 Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi.

### **4.3 Data Penelitian**

Bangunan yang diteliti merupakan bangunan berbentuk *warehouse* dengan struktur baja yang dilengkapi dengan pengaku (pengaku). Adapun data profil yang digunakan dalam pemodelan bangunan pabrik jalur 5 fabrikasi baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka, adalah sebagai berikut ini.

1. **Kolom**  
Kolom utama pada struktur bangunan ini terbagi menjadi dua segmen yakni segmen 1 yaitu profil IWF 774×300×8×12 dengan panjang 8572 mm, dan segmen 2 yaitu profil IWF 528×250×8×14 dengan panjang 3603 mm. sedangkan untuk kolom endwall memiliki dimensi profil IWF 512×180×8×8.
2. **Rafter**  
*Rafter* yang digunakan pada struktur bangunan ini dibagi menjadi dua segmen yakni segmen 1 yaitu profil IWF 512-312×180×8×8 dengan panjang 3854 mm, dan segmen 2 yaitu profil IWF 312×150×8×8 dengan panjang 9002 mm.
3. **Purlin**



*Purlin* yang digunakan pada struktur bangunan ini yaitu profil Z 200×60×20×2.

4. Pengaku

Pada struktur bangunan ini digunakan pengaku konsentrik yaitu profil boks 150×150×2,5×2,5 dan boks 150×150×4,5×4,5.

5. Balok Boks

Balok boks pada bentang 8 m dan 9 m menggunakan profil boks 150×150×2,5×2,5, sedangkan pada bentang 12 m menggunakan profil boks 200×200×3×3.

6. Balok Rel *overhead Crane*

Terdapat dua jenis profil balok rel *overhead crane* yang digunakan yakni IWF 928×250×10×14 untuk bentang antar kolom 8 m dan 9 m, dan IWF 1228×250×10×14 untuk bentang antar kolom 12 m.

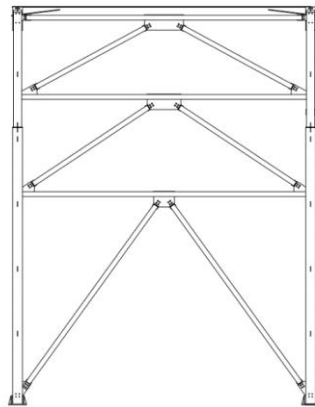
Material struktur bangunan pabrik jalur 5 fabrikasi baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi ini menggunakan material *Standard JIS G 3106 Grade SM490* untuk profil baja IWF dengan kuat leleh ( $F_y$ ) = 300 MPa, dan kuat tarik ( $F_u$ ) = 550 MPa. Sedangkan untuk profil Boks menggunakan material *Standard JIS G 3106 Grade SS400* dengan kuat leleh ( $F_y$ ) = 225 MPa, dan kuat tarik ( $F_u$ ) = 455 MPa

Desain Struktur yang digunakan dalam penelitian ini menyesuaikan dengan desain eksisting bangunan pabrik jalur 5 fabrikasi baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka, yakni sebagai berikut ini:

1. Berat volume baja diasumsikan berkisar 7850 kg/m<sup>3</sup>
2. Gedung memiliki fungsi sebagai fabrikasi baja
3. Sistem pengaku yang digunakan adalah tipe konsentrik bentuk inverted-V
4. Jarak antar kolom pada sumbu Y memiliki dimensi 25 m.
5. Jarak antar kolom pada sumbu X memiliki beberapa dimensi yakni 8 m, 9 m, dan 12 m.
6. Jumlah tingkat struktur 1 lantai

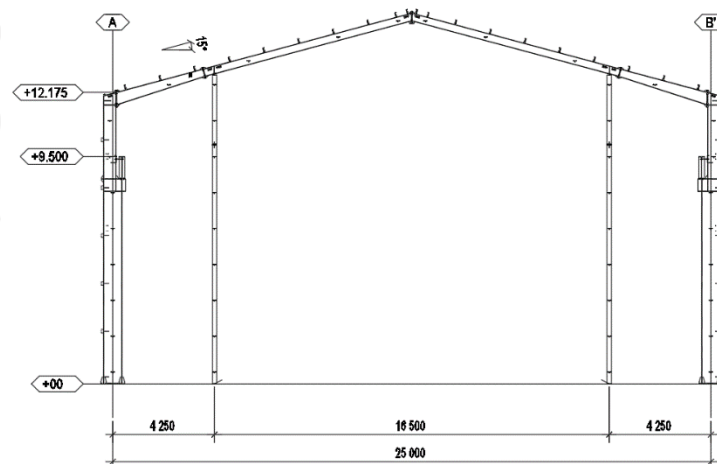
#### 4.4 Pemodelan Struktur

Bangunan dimodelkan secara tiga dimensi dengan menggunakan SAP2000. Bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka menggunakan pengaku konsentrik tipe inverted-V untuk memperkaku bangunan. Konfigurasi pengaku inverted-V dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.

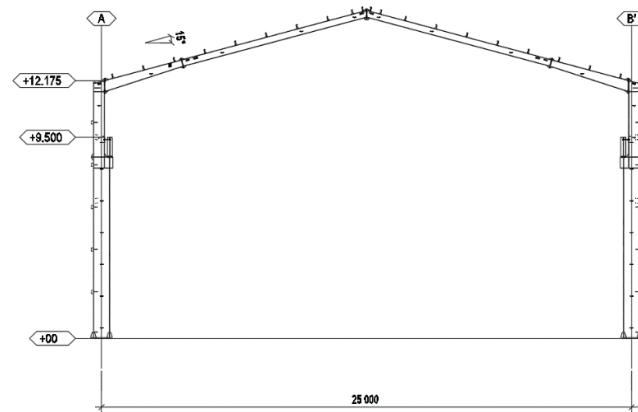


**Gambar 4.1 Konfigurasi Pengaku Inverted-V**

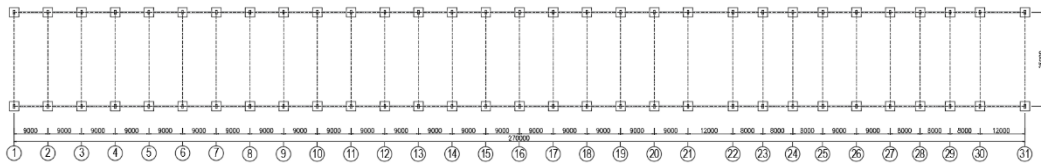
Tampak depan, potongan melintang dan denah bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5, dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 berikut ini.



**Gambar 4.2 Tampak Depan**



**Gambar 4.3 Potongan Melintang**



**Gambar 4.4 Denah Bangunan**

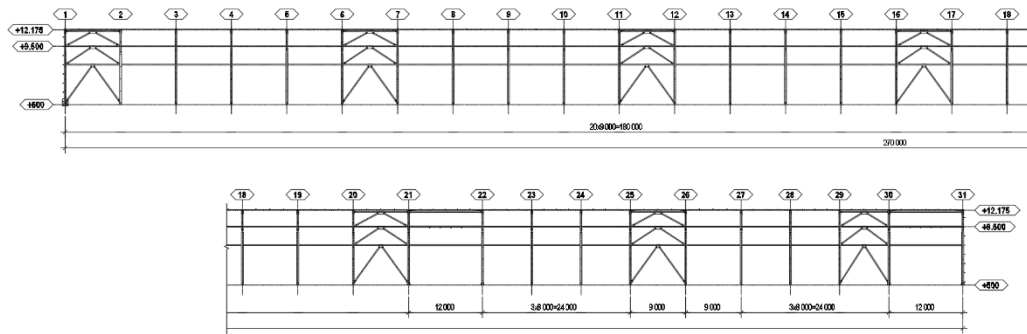
Pada penelitian ini dimodelkan beberapa tipe struktur dengan berbagai variasi penempatan pengaku untuk mengetahui kemampuan dari struktur dalam menahan beban lateral. Pada struktur Tipe 1, Tipe 2, dan Tipe 3 dilakukan perhitungan kapasitas komponen strukturnya dalam menahan gaya-gaya dalam (gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur) yang terjadi, sedangkan struktur Tipe 4 dan Tipe 5 hanya dilakukan pengecekan terhadap simpangan. Perbedaan tiap tipe struktur dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4. 1 Perbedaan Tipe Struktur**

Tipe Struktur	Jarak Antar Pengaku	Jumlah Pengaku	Keterangan
T1 (Eksisting)	4 Segmen	7	Gambar 4.5
T2	6 Segmen	5	Gambar 4.6
T3	2 Segmen	10	Gambar 4.7
T4	-	6	Gambar 4.8
T5	-	2	Gambar 4.9

#### 4.4.1 Pemodelan Eksisting Bangunan (T1)

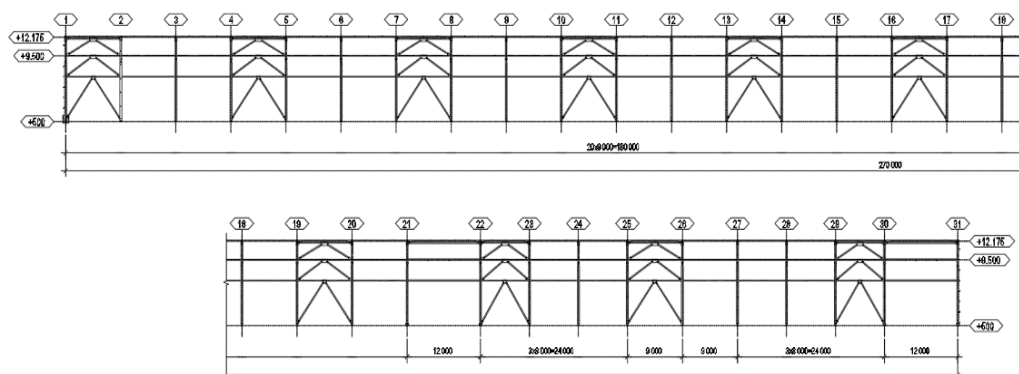
Pemodelan bangunan eksisting dilakukan dengan memasang pengaku inverted-V tiap jarak 4 segmen. Posisi penempatan pengaku pada bangunan eksisting dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



**Gambar 4.5 Posisi Penempatan Pengaku Bangunan Eksisting (T1)**

#### 4.4.2 Pemodelan Dengan Penempatan Pengaku Jarak 2 Segmen (T2)

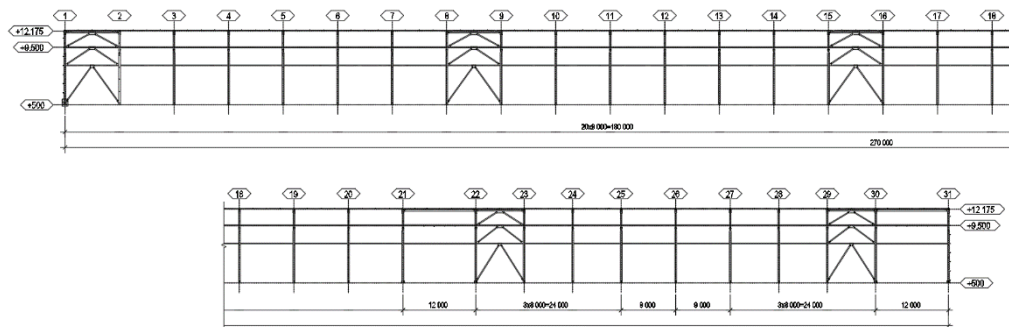
Bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka memiliki bentuk bangunan yang panjang pada satu arah sehingga diperlukan pengaku pada bangunan untuk mereduksi gaya-gaya dalam dan respons yang disebabkan oleh gaya lateral. Pada bangunan ini dilakukan penempatan pengaku yang berbeda dari eksisting bangunan. Pemodelan dilakukan dengan memasang pengaku inverted-V tiap jarak 2 segmen. Posisi penempatan pengaku jarak 2 segmen dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



**Gambar 4.6 Posisi Penempatan Pengaku Dengan Jarak 2 Segmen (T2)**

#### 4.4.3 Pemodelan Dengan Penempatan Pengaku Jarak 6 Segmen (T3)

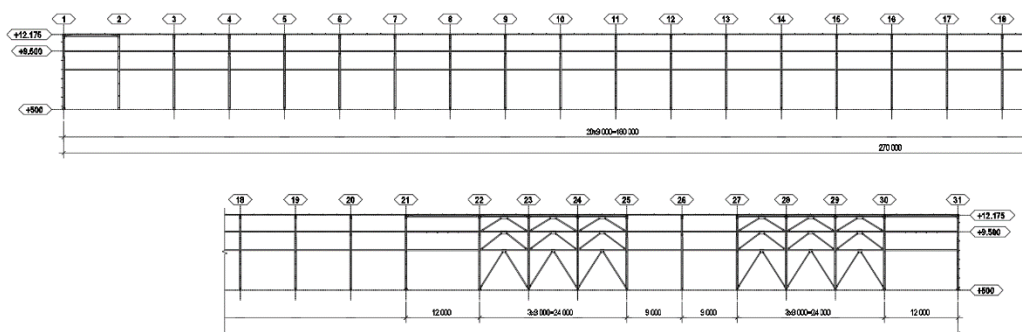
Pemodelan dengan penempatan pengaku inverted-V tiap 6 segmen dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya dalam dan respons bangunan apabila pengaku yang dipasang pada bangunan lebih sedikit dibandingkan pengaku yang dipasang pada bangunan eksisting. Posisi penempatan pengaku dengan jarak 6 segmen dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.



**Gambar 4. 7 Posisi Penempatan Pengaku Dengan Jarak 6 Segmen (T3)**

#### 4.4.4 Pemodelan Dengan Pengaku Dipasang Hanya Pada Segmen 8 m (T4)

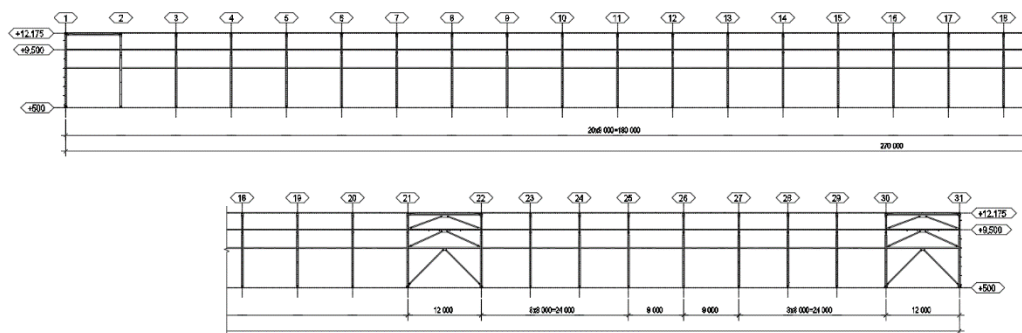
Pemodelan struktur dengan pengaku inverted-V yang dipasang hanya di segmen 8 m dilakukan untuk mengantisipasi jika dilakukan perubahan pintu samping pada bangunan yang sebelumnya pada segmen 9 m, kemudian simpangannya dibandingkan dengan eksisting bangunan (T1). Posisi pengaku pada segmen 8 m dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut ini.



**Gambar 4. 8 Posisi Pengaku Pada Segmen 8 m**

#### 4.4.5 Pemodelan Dengan Pengaku Dipasang Hanya Pada Segmen 12 m (T5)

Pemodelan struktur dengan pengaku inverted-V yang dipasang hanya di segmen 12 m dilakukan untuk mengantisipasi jika dilakukan perubahan pintu samping pada bangunan yang sebelumnya pada segmen 9 m, kemudian simpangannya dibandingkan dengan eksisting bangunan (T1). Posisi pengaku pada segmen 8 m dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



**Gambar 4.9 Posisi Pengaku Pada Segmen 12 m**

#### 4.5 Perhitungan Kapasitas Komponen Struktur

Perhitungan kapasitas komponen struktur dilakukan pada bangunan dengan struktur T1, T2 dan T3. Setelah melakukan pemodelan struktur dengan berbagai tipe penempatan pengaku, kemudian mengeluarkan *output* berupa gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiap komponen struktur bangunan. Setelah itu, dilakukan perhitungan kapasitas profil struktur bangunan yang meliputi struktur kolom, rafter, pengaku dan balok rel *overhead crane* dan balok boks. Perhitungan kapasitas profil struktur bangunan meliputi perhitungan kuat tarik, kuat tekan, kuat lentur, dan kuat geser.

#### 4.6 Tahapan Penelitian

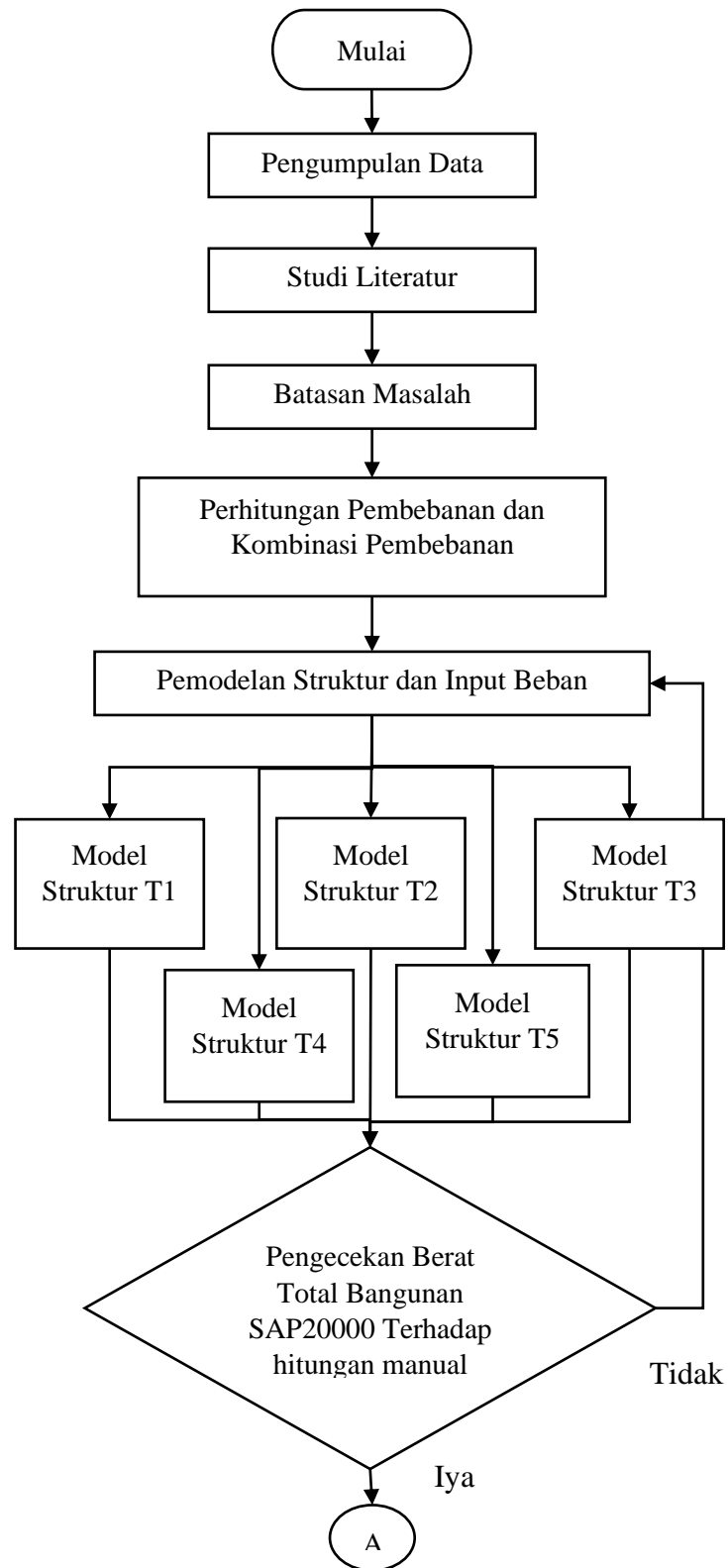
Tahapan penelitian diperlukan supaya proses penelitian dapat berjalan secara terstruktur. Berikut ini merupakan tahapan penelitian yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini.

1. Pengumpulan data yang mendukung penelitian.

2. Melakukan perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2020, SNI 1726:2019 dan PPIUG 1983.
3. Melakukan pemodelan struktur bangunan tiga dimensi dengan menggunakan SAP2000. Bangunan dimodelkan dengan variasi penempatan pengaku tipe inverted-V.
4. Melakukan input beban dan kombinasi pembebanan pada SAP2000.
5. Mengeluarkan *output* dari SAP 2000 berupa gaya-gaya dalam.
6. Melakukan pengecekan terhadap ketidakberaturan horizontal dan simpangan yang terjadi.
7. Melakukan perhitungan nilai kapasitas profil struktur bangunan berdasarkan SNI 1729:2020.
8. Membandingkan nilai keamanan kapasitas profil struktur pada tiap variasi penempatan pengaku.
9. Mengambil kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan.

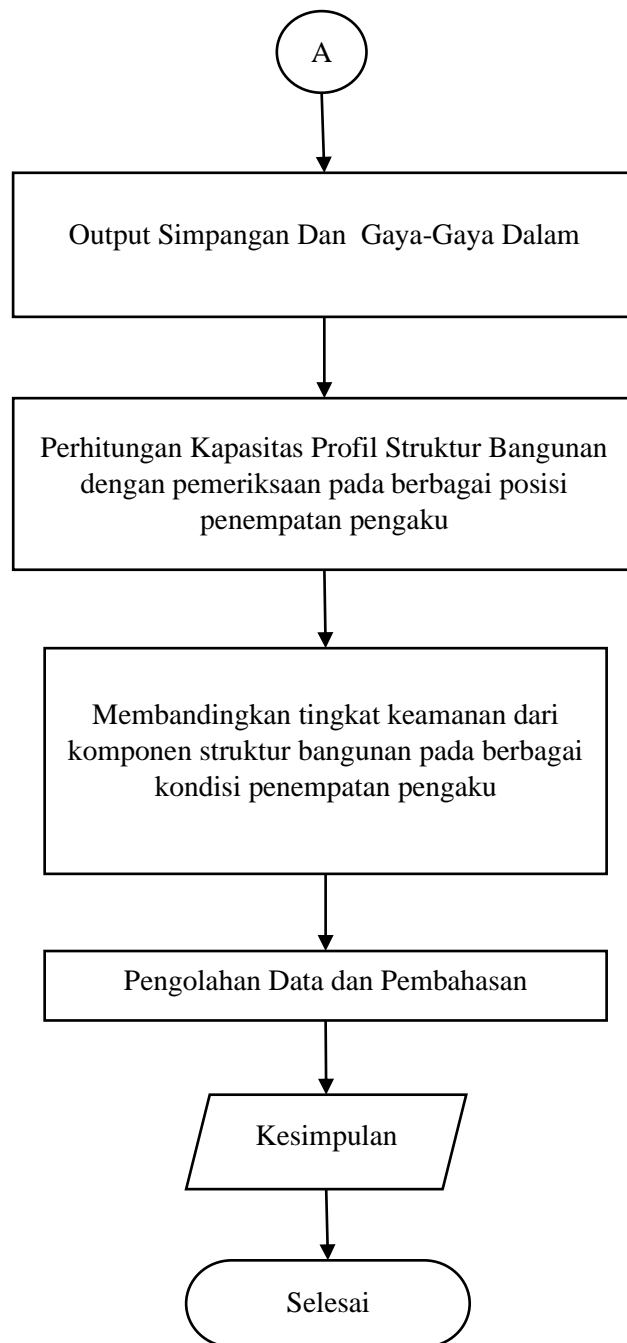
#### **4.7 Bagan Alir Penelitian**

Bagan alir penelitian diperlukan untuk membantu dalam memecahkan masalah penelitian. Bagan alir penelitian berisi tahapan-tahapan yang dilakukan yang dijelaskan dalam bentuk simbol-simbol. Bagan alir penelitian dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini.



**Gambar 4. 10 Diagram Alir Penelitian**





**Lanjutan Gambar 4.10 Diagram Alir Penelitian**

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan mengenai proses analisis data serta hasil dari penelitian yang dilakukan. Analisis data meliputi perhitungan pembebanan, analisis respons spektrum, pengecekan berat bangunan, pengecekan simpangan, dan analisis kapasitas komponen struktur. Hasil penelitian nantinya disajikan dalam bentuk tabel.

#### **5.2 Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada subbab 4.3 tentang data penelitian, dan subbab 4.4 tentang pemodelan struktur.

#### **5.3 Analisis Pembebanan**

##### **5.3.1 Pembebanan Atap**

Pada bangunan Pabrik Jalur 5 Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka terdapat beberapa beban yang menumpu pada atap meliputi beban mati tambahan dan beban hidup atap.

##### **1. Beban Mati Tambahan**

Beban mati tambahan merupakan beban selain dari beban sendiri struktur bangunan yang dimodelkan dalam SAP2000. Beban mati tambahan pada atap pada penelitian ini terdiri dari beban penutup atap dan beban sagrod.

##### **a. Beban Penutup Atap**

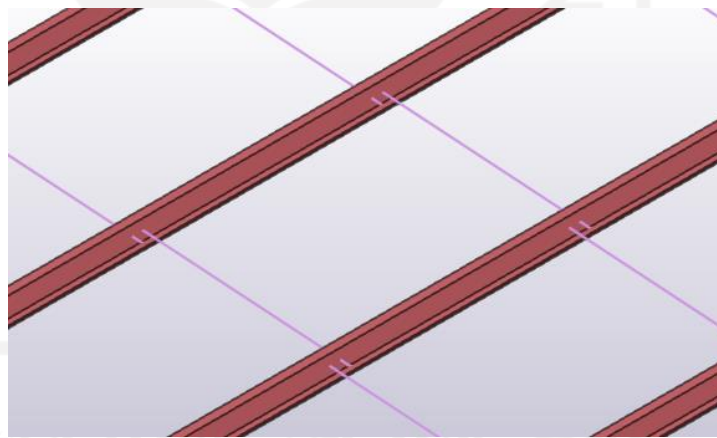
Beban penutup atap yang digunakan berupa atap spandek yang terbuat dari campuran aluminium dan seng. Berdasarkan PPIUG 1987 berat komponen penutup atap seng gelombang adalah sebesar  $0,1 \text{ kN/m}^2$ . Perhitungan beban penutup atap dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Beban Penutup Atap

Panjang	Berat Komponen Penutup Atap	Beban Penutup Atap
m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i> × <i>B</i>
1,5	0,1	0,15

b. Beban *Sagrod*

*Sagrod* merupakan besi bulat yang berbentuk batangan tulan pols dengan kedua ujung yang memiliki ulir dan baut. *Sagrod* memiliki fungsi untuk menghubungkan antara purlin satu dengan purlin lainnya supaya tidak terjadi lengkungan pada purlin. Berat *sagrod* diameter 16 mm adalah sebesar 0,016 kN/m. Peletakan *sagrod* dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.

Gambar 5.1 Peletakan *Sagrod*

Untuk perhitungan beban *sagrod* dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Beban *Sagrod*

Panjang	Berat <i>Sagrod</i>	Beban Titik <i>Sagrod</i>
m	kN/m	kN
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i> × <i>B</i>
1,6	0,016	0,0256

## 2. Beban Hidup Pada Atap

### a. Beban Air Hujan

Perhitungan beban air hujan menurut PPIUG 1987 bergantung pada sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) tetapi beban yang diambil tidak perlu melebihi  $20 \text{ kg/m}^2$ . Perhitungan beban air hujan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.3 Beban Air Hujan**

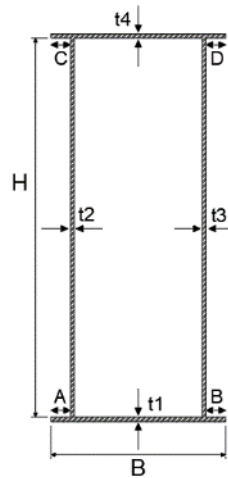
Panjang	Sudut Kemiringan	Beban Air Hujan	Beban Air Hujan Yang Diambil	Beban Air Hujan Per meter
m	$\alpha$	$\text{kg/m}^2$	$\text{kg/m}^2$	kN/m
A	B	$C = (40 - 0,8 \alpha)$	D	$(A \times D)/100$
1,5	15	28	20	0,3

### b. Beban Pekerja

Beban pekerja berupa beban terpusat menurut PPIUG 1987 diambil sebesar  $1 \text{ kN}$  yang berasal dari seorang pekerja dan peralatannya. Dalam analisis dimasukkan beban pekerja pada beberapa titik pada atap

### 5.3.2 Beban *Overhead Crane*

Beban overhead crane di modelkan dalam SAP2000 sebagai beban berjalan. Beban *overhead crane* merupakan penjumlahan dari berat sendiri dan kapasitas angkat dari overhead crane. Panjang *overhead crane* yang digunakan adalah sebesar  $24 \text{ m}$  dengan kapasitas angkat sebesar  $10.000 \text{ Kg}$  dan untuk berat sendiri *overhead crane* dimodelkan di SAP2000 untuk dicari beratnya. Adapun profil dari *overhead crane* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



**Gambar 5.2 Penampang Profil *Overhead Crane***

Data penampang profil *overhead crane* adalah sebagai berikut ini.

H	= 1000 mm	A	= 50 mm
B	= 450 mm	B	= 50 mm
t1	= 12 mm	C	= 50 mm
t2	= 10 mm	D	= 50 mm
t3	= 10 mm	Panjang	= 24000 mm
t4	= 10 mm		

Berdasarkan hasil pemodelan SAP2000 didapatkan berat *overhead crane* sebesar 5550,26 Kg. untuk perhitungan beban crane dapat dilihat dibawah ini.

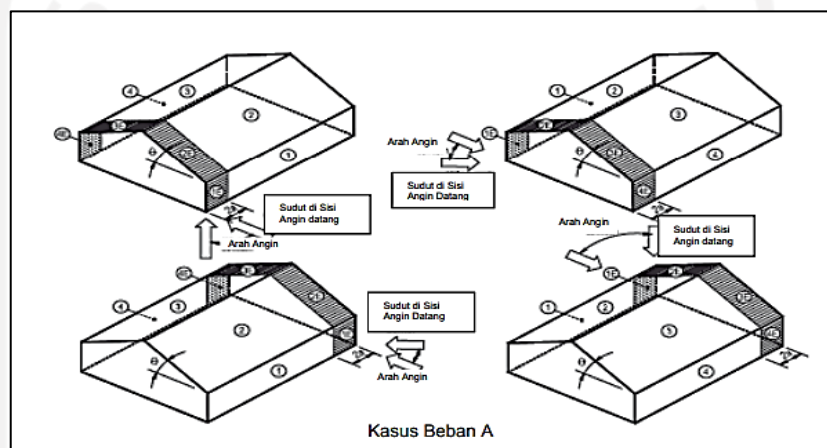
Beban crane = berat sendiri crane + kapasitas angkat

$$= 5.633,16 + 10.000$$

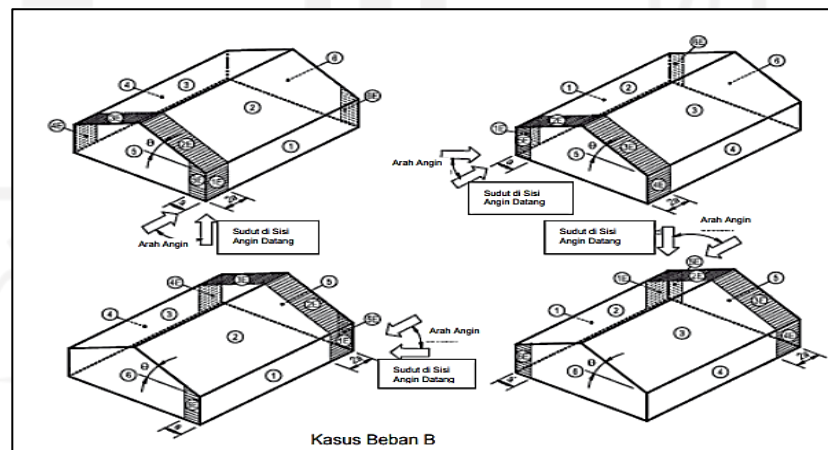
$$= 15633,16 \text{ Kg}$$

### 5.3.3 Beban Angin

Pada penelitian ini metode perhitungan beban angin menggunakan metode Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) prosedur amplop sesuai dengan pedoman SNI 1727:2020. SPGAU prosedur amplop merupakan metode yang memperhitungkan pengaruh beban angin dari semua sisi bangunan. Untuk kasus beban angin dengan prosedur amplop dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut ini.



**Gambar 5.3 Kasus Beban A Beban Angin Prosedur Amplop**



**Gambar 5.4 Kasus Beban B Beban Angin Prosedur Amplop**

Berikut ini merupakan data beban angin yang digunakan pada Gedung Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka.

1. Kecepatan angin dasar ( $V$ ) = 120 km/jam

- = 33,33 m/s  
= 74,56 Mph  
(sumber: Data WIKON)
2. Faktor arah angin ( $K_d$ ) = 0,85
  3. Kategori kekasaran permukaan = Kategori C
  4. Kategori eksposur ( $E$ ) = Kategori C
  5. Faktor topografi ( $K_{zt}$ ) = 1
  6. Faktor elevasi permukaan tanah ( $K_e$ ) = 1
  7. Faktor efek hembusan angin ( $G$ ) = 0,85
  8. Ketinggian struktur bangunan ( $z$ ) = 12,175 m
  9. Ketinggian atap rata-rata ( $h$ ) = 13,832 m
  10. Koef. eksposur tekanan velositas ( $K_z$ ) = 1,04
  11. Koef. eksposur tekanan velositas ( $K_h$ ) = 1,09
  12. Koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ) =  $\pm 0,18$
  13. Koefisien tekan eksternal ( $C_p$ )
    - a. Kasus beban A :
      - $C_{p1}$  = 0,53
      - $C_{p2}$  = -0,69
      - $C_{p3}$  = -0,48
      - $C_{p4}$  = -0,43
    - b. Kasus beban B :
      - $C_{p1}$  = -0,45
      - $C_{p2}$  = -0,69
      - $C_{p3}$  = -0,37
      - $C_{p4}$  = -0,45
      - $C_{p5}$  = 0,4
      - $C_{p6}$  = -0,29

Tanda negatif menandakan tekanan angin pergi (hisap) dan tanda positif menandakan tekanan angin datang (tekan)

### 5.3.4 Beban Gempa

#### 5.3.4.1 Berat Sendiri Struktur

Berat sendiri struktur dihitung secara manual menggunakan Ms. Excel yang kemudian dibandingkan dengan berat sendiri struktur output dari SAP2000. Perhitungan berat sendiri struktur bangunan pabrik fabrikasi baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka secara manual dapat dilihat dibawah ini.

#### 1. Berat Rafter

$$\text{Rafter 1} = H \times A \times n \times \rho$$

$$= 3,854 \text{ m} \times 0,0068 \text{ m}^2 \times 62 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 12845,080 \text{ Kg}$$

$$\text{Rafter 2} = H \times A \times n \times \rho$$

$$= 9,002 \text{ m} \times 0,0048 \text{ m}^2 \times 62 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 20889,912 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat Total Rafter} = 12845,080 + 20889,912$$

$$= 33734,991 \text{ Kg}$$

#### 2. Berat Kolom

$$\text{Kolom Utama 1} = H \times A \times n \times \rho$$

$$= 8,572 \text{ m} \times 0,0132 \text{ m}^2 \times 62 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 55070,300 \text{ Kg}$$

$$\text{Kolom Utama 2} = H \times A \times n \times \rho$$

$$= 3,603 \text{ m} \times 0,0110 \text{ m}^2 \times 62 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 19289,381 \text{ Kg}$$

$$\text{Kolom Regel Depan} = H \times A \times n \times \rho$$

$$= 12,894 \text{ m} \times 0,00525 \text{ m}^2 \times 2 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 1062,383 \text{ Kg}$$

$$\text{Kolom Regel Belakang} = H \times A \times n \times \rho$$

$$= 13,363 \text{ m} \times 0,00525 \text{ m}^2 \times 2 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 1101,026 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat Total Kolom} = 55070,300 + 19289,381 + 1062,383 + 1101,026$$



$$= 76523,090 \text{ Kg}$$

3. Berat Bracket =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 0,541 \text{ m} \times 0,018 \text{ m}^2 \times 62 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 4714,21 \text{ Kg}$
4. Berat Rell Crane
- Rell Crane Panjang 8 m =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 8 \text{ m} \times 0,016 \text{ m}^2 \times 12 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 12057,6 \text{ Kg}$
- Rell Crane Panjang 9 m =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 9 \text{ m} \times 0,016 \text{ m}^2 \times 44 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 49737,6 \text{ Kg}$
- Rell Crane Panjang 12 m =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 12 \text{ m} \times 0,019 \text{ m}^2 \times 4 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 7159,2 \text{ Kg}$
- Berat Total Rell Crane =  $12057,6 + 49737,6 + 7159,2$   
 $= 68954,4 \text{ Kg}$
5. Berat Purlin
- Purlin Panjang 8 m =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 8 \text{ m} \times 0,00068 \text{ m}^2 \times 120 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 5124,48 \text{ Kg}$
- Purlin Panjang 9 m =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 9 \text{ m} \times 0,00068 \text{ m}^2 \times 440 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 21138,48 \text{ Kg}$
- Purlin Panjang 12 m =  $H \times A \times n \times \rho$   
 $= 12 \text{ m} \times 0,00068 \text{ m}^2 \times 40 \times 7850 \text{ Kg/m}^3$   
 $= 2562,24 \text{ Kg}$
- Berat Total Purlin =  $5124,48 + 21138,48 + 2562,24$   
 $= 28825,2 \text{ Kg}$
6. Berat Tube Beam

$$\begin{aligned}
 \text{Tube Beam Panjang 8 m} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 8 \text{ m} \times 0,00148 \text{ m}^2 \times 26 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 2408,38 \text{ Kg} \\
 \text{Tube Beam Panjang 9 m} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 8 \text{ m} \times 0,00148 \text{ m}^2 \times 100 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 10420,88 \text{ Kg} \\
 \text{Tube Beam Panjang 12 m} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 8 \text{ m} \times 0,00236 \text{ m}^2 \times 12 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 2672,266 \text{ Kg} \\
 \text{Berat Total Tube Beam} &= 2408,38 + 10420,88 + 2672,266 \\
 &= 15501,52 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

7. Berat Pengaku

a. Pada Bentang 8 m

$$\begin{aligned}
 \text{Elemen Pengaku 1} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 6,43 \text{ m} \times 0,00262 \text{ m}^2 \times 4 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 528,78 \text{ Kg} \\
 \text{Elemen Pengaku 2} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 3,915 \text{ m} \times 0,00148 \text{ m}^2 \times 4 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 181,32 \text{ Kg} \\
 \text{Elemen Pengaku 3} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 3,482 \text{ m} \times 0,00148 \text{ m}^2 \times 4 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 161,27 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

b. Pada Bentang 9 m

$$\begin{aligned}
 \text{Elemen Pengaku 1} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 6,732 \text{ m} \times 0,00262 \text{ m}^2 \times 24 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 3321,7 \text{ Kg} \\
 \text{Elemen Pengaku 2} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 4,258 \text{ m} \times 0,00148 \text{ m}^2 \times 24 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 1183,26 \text{ Kg} \\
 \text{Elemen Pengaku 3} &= H \times A \times n \times \rho \\
 &= 3,832 \text{ m} \times 0,00148 \text{ m}^2 \times 24 \times 7850 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 1064,88 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Total Pengaku} &= 528,78 + 181,32 + 161,27 + 3321,7 + 1183,26 + \\ &1064,88 \\ &= 6441,2 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8. \quad \text{Total Berat Struktur Bangunan} &= 33734,991 + 76523,09 + 4714,21 + 68954,4 \\ &+ 28825,2 + 15501,52 + 6441,2 \\ &= 234584,77 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Perbandingan berat sendiri struktur bangunan hasil hitungan manual menggunakan Ms. Excel dan SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

**Tabel 5.4 Hasil Perbandingan Berat Struktur Bangunan**

No	Tipe Struktur	Berat Bangunan Hitungan Ms. Excel	Berat Bangunan <i>Output SAP</i> 2000	Persentase Perbedaan
		Kg	Kg	%
1	Tanpa Pengaku	219784,77	225847,89	2,68
2	T1 (Eksisting)	234584,77	234584,77	0,05
3	T2	238024,69	239140,99	0,47
4	T3	231406,3	231406,30	0,4
5	T4	223003,3	233417,53	4,46
6	T5	220882,33	228524,34	3,34

Dari Tabel 5.4 diatas didapatkan bahwa perbedaan antara berat struktur bangunan dengan hitungan manual dan *output* dari SAP2000 adalah kurang dari 5% sehingga pemodelan struktur dengan menggunakan SAP2000 dapat diterima dan dapat digunakan.

#### 5.3.4.2 Analisis Pembebanan Gempa

Pada penelitian ini digunakan pembebanan gempa beban statik ekuivalen dan beban dinamik respon spektrum. Perhitungan beban gempa mengikuti pedoman SNI 1726:2019 tentang perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Berikut ini Analisa perhitungan beban gempa.

1. Lokasi bangunan = Majalengka
2. Jenis tanah = SD (Tanah sedang)
3. Jenis struktur = Struktur baja
4. Kategori risiko = II
5. Faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1
6. Parameter percepatan dasar periode pendek ( $S_s$ )  
 Nilai  $S_s$  berdasarkan peta parameter gerak tanah yang terdapat di SNI 1726:2019 berada diantara 0,7-0,8 dan berdasarkan *website rsa.ciptakarya.pu.go.id* nilai  $S_s$  adalah sebesar 0,7957
7. Parameter percepatan dasar periode 1 detik ( $S_1$ )  
 Nilai  $S_1$  berdasarkan peta parameter gerak tanah yang terdapat di SNI 1726:2019 berada diantara 0,3-0,4 dan berdasarkan *website rsa.ciptakarya.pu.go.id* nilai  $S_1$  adalah sebesar 0,3667
8. Faktor percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) = 1,182
9. Faktor percepatan pada getaran periode 1 detik ( $F_v$ ) = 1,933
10. Parameter respons spektrum percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ )  

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$= 1,182 \times 0,7957$$

$$= 0,9403$$
11. Parameter respons spektrum percepatan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ )  

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$= 1,933 \times 0,3667$$

$$= 0,7089$$
12. Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ )  

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,9403$$

$$= 0,6269$$
13. Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik ( $S_{D1}$ )  

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,7089$$

$$= 0,4726$$

14. Koefisien risiko terpetakan spektrum respons periode pendek ( $C_{RS}$ ) = 0,95

15. Koefisien risiko terpetakan spektrum respons periode 1 detik ( $C_{R1}$ ) = 0,9

16.  $S_{DSR} = S_{DS} \times C_{RS}$

$$= 0,6269 \times 0,95$$

$$= 0,596$$

17.  $S_{D1R} = S_{D1} \times C_{R1}$

$$= 0,4726 \times 0,9$$

$$= 0,425$$

18. Kategori desain seismik (KDS) = D

19. Koefisien modifikasi respons ( $R$ ) = 6

20. Faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ) = 2

21. Fakor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) = 5

22. Koefisien batas atas ( $C_u$ ) = 1,4

23. Parameter periode pendekatan

$$C_t = 0,0488$$

$$h_n = 12,175 \text{ m}$$

$$x = 0,75$$

24. Periode fundamental ( $T$ )

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$T_c = (\text{dari hasil analisis program SAP2000})$$

Untuk penentuan  $T_{pakai}$  harus berdasarkan ketentuan berikut ini.

a. Jika  $T_c > T_{max}$ , maka  $T_{pakai} = T_{max}$

b. Jika  $T_a < T_c < T_{max}$ , maka  $T_{pakai} = T_c$

c. Jika  $T_c < T_a$ , maka  $T_{pakai} = T_a$

Berdasarkan hasil rumusan diatas didapatkan hasil periode fundamental struktur bangunan seperti pada Tabel 5.5 berikut ini.

**Tabel 5.5 Rekapitulasi Periode Fundamental Bangunan**

Tipe Struktur	$T_a$ (detik)	$T_{cx}$ (detik)	$T_{cy}$ (detik)	$T_{max}$ (detik)	$T_{pakai}$ arah X (detik)	$T_{pakai}$ arah Y (detik)
Tanpa Pengaku	0,318	1,126	0,399	0,45	0,45	0,399
T1 (Eksisting)	0,318	0,357	0,404	0,45	0,357	0,404
T2	0,318	0,121	0,405	0,45	0,318	0,405
T3	0,318	0,373	0,401	0,45	0,373	0,401
T4	0,318	0,351	0,406	0,45	0,351	0,406
T5	0,318	0,413	0,403	0,45	0,413	0,403

25. Koefisien respons seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{S_{DSR}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,596}{\left(\frac{6}{1}\right)}$$

$$= 0,099$$

$$C_{S\ min} = 0,044 \times S_{DSR} \times I_e$$

$$= 0,044 \times 0,596 \times 1$$

$$= 0,026$$

Contoh perhitungan  $C_{S\ max}$  untuk struktur T1:

Arah X:

$$C_{S\ max} = \frac{S_{D1R}}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,425}{0,357 \times \left(\frac{6}{1}\right)}$$

$$= 0,199$$

Arah Y:

$$C_{S\ max} = \frac{S_{D1R}}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,425}{0,404 \times \left(\frac{6}{1}\right)}$$

$$= 0,175$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan hasil koefisien respons seismik seperti pada Tabel 5.6 berikut ini.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Koefisien Respons Seismik**

Tipe Struktur	$C_s$	$C_{s \max}$ arah x	$C_{s \max}$ arah y	$C_{s \min}$	$C_s$ pakai untuk arah x dan y
Tanpa Pengaku	0,099	0,158	0,178	0,026	0,099
T1 (Eksisting)	0,099	0,199	0,175	0,026	0,099
T2	0,099	0,223	0,175	0,026	0,099
T3	0,099	0,190	0,177	0,026	0,099
T4	0,099	0,202	0,175	0,026	0,099
T5	0,099	0,172	0,176	0,026	0,099

26. Perhitungan gaya geser statik ( $V$ )

Contoh perhitungan  $V_{\text{statik}}$  untuk struktur T1:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{statik}} &= C_s \times W \\
 &= 0,099 \times 234584,77 \text{ Kg} \\
 &= 23283,317 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan gaya geser statik ( $V_{\text{statik}}$ ) dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Gaya Geser Statik ( $V_{\text{statik}}$ )**

Tipe Struktur	$V_{\text{statik}}$
	Kg
Tanpa Pengaku	22416,153
T1 (Eksisting)	23283,317
T2	23735,537
T3	22967,838
T4	23167,465
T5	22681,799

## 27. Skala gaya

Contoh perhitungan skala gaya untuk struktur T1:

$$V_{\text{statik}} = 23283,317 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{dinamik Arah X}} = 14301,2 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{dinamik Arah Y}} = 19479,95 \text{ Kg}$$

Karena  $V$  dinamik Arah X dan  $V$  dinamik Arah Y kurang dari  $V_{\text{statik}}$  maka harus dilakukan skala gaya ulang seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Skala } V_{\text{dinamik Arah X}} &= \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik Arah X}}} \\ &= \frac{23283,317}{14301,2} \\ &= 1,628 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Skala } V_{\text{dinamik Arah Y}} &= \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik Arah Y}}} \\ &= \frac{23283,317}{19479,95} \\ &= 1,195 \end{aligned}$$

Rekapitulasi gaya geser setelah dilakukan skala gaya pada SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Gaya Geser Setelah Dilakukan Skala Gaya**

Tipe Struktur	$V_{\text{statik}}$	$V_{\text{dinamik Arah X}}$	$V_{\text{dinamik Arah Y}}$
	Kg	Kg	Kg
Tanpa Pengaku	22416,153	22412,61	22420,38
T1 (Eksisting)	23283,317	23283,96	23280,63
T2	23735,537	232738,08	23741,04
T3	22967,838	22969,24	22970,03
T4	23167,465	23170,63	23169,89
T5	22681,799	22683,57	22679,36



#### 5.4 Kombinasi Pembebanan

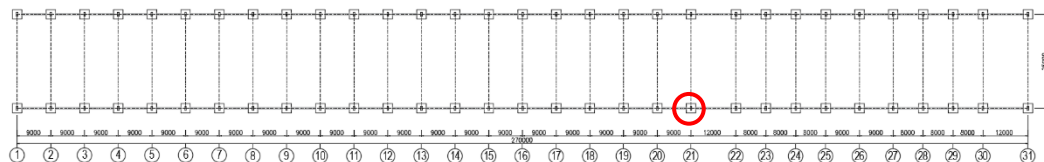
Kombinasi pembebanan yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan SNI 1726:2019. Berdasarkan perhitungan beban gempa sebelumnya didapatkan bahwa bangunan masuk kedalam kategori desain seismik D dengan nilai SDS sebesar 0,605. Karena nilai  $SDS > 0,125$  maka harus memperhitungkan pengaruh beban seismik vertikal ( $E_v$ ). Dan nilai redundansi diambil sebesar 1,3 yang ditentukan berdasarkan KDS. Berikut ini adalah kombinasi pembebanan yang digunakan.

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$
3.  $1,2D + 1,6L + 0,5R$
4.  $1,2D + 1,6L_r + L$
5.  $1,2D + 1,6L_r + 0,5W_x$
6.  $1,2D + 1,6L_r + 0,5W_y$
7.  $1,2D + 1,6R + L$
8.  $1,2D + 1,6R + 0,5W_x$
9.  $1,2D + 1,6R + 0,5W_y$
10.  $1,2D + W_x + L + 0,5L_r$
11.  $1,2D + W_y + L + 0,5L_r$
12.  $1,2D + W_x + L + 0,5R$
13.  $1,2D + W_y + L + 0,5R$
14.  $0,9D + W_x$
15.  $0,9D + W_y$
16.  $1,319D + 1,3E_x + 0,39E_y + L$
17.  $1,319D + 1,3E_x - 0,39E_y + L$
18.  $1,319D - 1,3E_x + 0,39E_y + L$
19.  $1,319D - 1,3E_x - 0,39E_y + L$
20.  $1,319D + 0,39E_x + 1,3E_y + L$
21.  $1,319D + 0,39E_x - 1,3E_y + L$
22.  $1,319D - 0,39E_x + 1,3E_y + L$
23.  $1,319D - 0,39E_x - 1,3E_y + L$
24.  $0,781D + 1,3E_x + 0,39E_y$
25.  $0,781D + 1,3E_x - 0,39E_y$
26.  $0,781D - 1,3E_x + 0,39E_y$
27.  $0,781D - 1,3E_x - 0,39E_y$
28.  $0,781D + 0,39E_x + 1,3E_y$
29.  $0,781D + 0,39E_x - 1,3E_y$
30.  $0,781D - 0,39E_x + 1,3E_y$
31.  $0,781D - 0,39E_x - 1,3E_y$

## 5.5 Simpangan

### 5.5.1 Simpangan Bangunan

Dalam analisis struktur menggunakan SAP2000 didapatkan nilai simpangan elastis ( $\delta_e$ ), yang kemudian digunakan untuk menghitung simpangan inelastik ( $\delta_i$ ). Simpangan yang terjadi harus lebih kecil dari simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ). Penentuan titik yang ditinjau didasarkan pada nilai simpangan yang terbesar dan lokasi yang paling kritis pada bangunan. Pada bangunan ini titik tinjau berada pada segmen terpanjang yaitu segmen 12 m. Titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini



**Gambar 5. 5 Titik Tinjau Simpangan**

Berikut ini contoh perhitungan simpangan pada struktur T1:

$$\begin{aligned}
 C_d &= 5 & I_e &= 1 \\
 \rho &= 1,3 & h_{sx} &= 12,175 \text{ m} \\
 \delta_{e1x} &= 0,001797 \text{ m} & \delta_{e1y} &= 0,02861 \text{ m} \\
 \delta_{1x} &= (C_d \times \delta_{e1x})/I_e & \delta_{1y} &= (C_d \times \delta_{e1y})/I_e \\
 &= (5 \times 0,001797)/1 & &= (5 \times 0,02861)/1 \\
 &= 0,009 \text{ m} & &= 0,1430 \text{ m} \\
 \Delta_a &= (0,002h_{sx})/\rho \\
 &= (0,002 \times 12,175)/1,3 \\
 &= 0,187 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan bahwa  $\delta_{1x}$  dan  $\delta_{1y} < \Delta_a$ , maka simpangan bangunan masuk dalam kategori aman. Rekapitulasi hasil pengecekan keamanan simpangan dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Simpangan**

Tipe Struktur	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$	$\Delta_a$	Cek
	m	m	m	m	m	$\delta < \Delta_a$
Tanpa pengaku	0,073124	0,029031	0,3656	0,1452	0,187	Tidak aman
T1 (Eksisting)	0,001797	0,02861	0,009	0,1430	0,187	Aman
T2	0,001209	0,02825	0,006	0,1413	0,187	Aman
T3	0,002381	0,02878	0,0119	0,1439	0,187	Aman
T4	0,002288	0,028612	0,0114	0,1431	0,187	Aman
T5	0,008492	0,028941	0,0425	0,1447	0,187	Aman

Berdasarkan Tabel 5.9 diatas didapatkan simpangan arah X pada struktur bangunan tanpa pengaku melebihi batasan simpangan izin sehingga tetap diperlukan pengaku pada bangunan ini. Dari hasil rekapitulasi simpangan didapatkan tidak ada perbedaan nilai simpangan yang signifikan diantara berbagai tipe struktur pada arah X maupun arah Y. Nilai simpangan pada arah X dan arah Y terkecil didapatkan pada struktur T2 dikarenakan memiliki jumlah pengaku yang paling banyak, sedangkan nilai simpangan terbesar didapatkan pada struktur T5 dikarenakan pengaku memiliki jumlah pengaku yang paling sedikit.

#### 5.5.2 Persentase Penurunan Nilai Simpangan

Persentase penurunan nilai simpangan jika dibandingkan dengan model bangunan tanpa pengaku dan struktur T1 (Eksisting) dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut ini.

**Tabel 5.10 Persentase Penurunan Simpangan Dibandingkan Dengan Model Tanpa Pengaku**

Tipe Struktur	% penurunan simpangan arah X dibandingkan model tanpa pengaku	% penurunan simpangan arah Y dibandingkan model tanpa pengaku
	%	%
T1 (Eksisting)	97,543	1,467

**Lanjutan Tabel 5.10 Persentase Penurunan Simpangan Dibandingkan Dengan Model Tanpa Pengaku**

Tipe Struktur	% penurunan simpangan arah X dibandingkan model tanpa pengaku	% penurunan simpangan arah Y dibandingkan model tanpa pengaku
	%	%
T2	98,347	2,690
T3	96,744	0,851
T4	96,871	1,443
T5	88,387	0,310

Dari Tabel 5.10 diatas didapatkan bangunan struktur T2 mengalami penurunan simpangan yang paling besar pada arah X dan arah Y jika dibandingkan dengan bangunan tanpa pengaku.

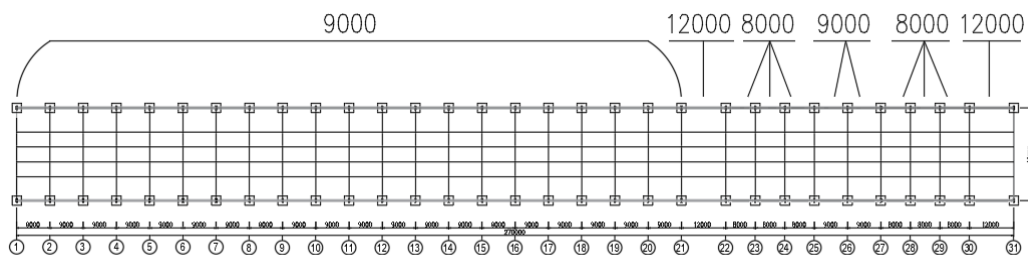
**Tabel 5.11 Persentase Penurunan Simpangan Dibandingkan Dengan Model T1 (Bangunan Eksisting)**

Tipe Struktur	% penurunan simpangan arah X struktur T1 (Eksisting)	% penurunan simpangan arah Y struktur T1 (Eksisting)
	%	%
T2	32,721	1,241
T3	-32,499	-0,626
T4	-27,323	-0,024
T5	-372,565	-1,175

Dari Tabel 5.11 diatas didapatkan hanya bangunan dengan struktur T2 yang mengalami penurunan nilai simpangan pada arah X sebesar 32,721% dan arah Y sebesar 1,241% jika dibandingkan dengan bangunan eksisting (T1). Sedangkan bangunan dengan posisi penempatan pengaku lain mengalami peningkatan nilai simpangan.

## 5.6 Ketidakberaturan Horizontal

Struktur bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5 yang memiliki segmen yang tidak seragam (segmen 8 m, segmen 9 m dan segmen 12 m) membuat perlu dilakukan pengecekan terhadap ketidakberaturan horizontal. Pembagian panjang segmen pada denah bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



**Gambar 5.6 Pembagian Segmen Pada Bangunan**

### 1. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi dibagi menjadi ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan. Ketidakberaturan torsi terjadi jika simpangan maksimum lebih besar dari 1,2 simpangan rata-rata dari kedua ujung struktur ( $\delta_{max} > 1,2\delta_{avg}$ ), sedangkan ketidakberaturan torsi berlebihan terjadi jika simpangan maksimum lebih besar dari 1,4 simpangan rata-rata dari kedua ujung struktur ( $\delta_{max} > 1,4\delta_{avg}$ ). Contoh perhitungan torsi bangunan dapat dilihat dibawah ini.

Contoh perhitungan ketidakberaturan torsi struktur T1:

Arah X:

$$\begin{aligned}\delta_{1113} &= 0,00176 \text{ m} \\ \delta_{1114} &= 0,001797 \text{ m} \\ \delta_{max} &= 0,001797 \text{ m} \\ \delta_{avg} &= (\delta_{1113} + \delta_{1114})/2 \\ &= (0,00176 + 0,001797)/2 \\ &= 0,001779 \text{ m}\end{aligned}$$

Arah Y:

$$\begin{aligned}\delta_8 &= 0,026578 \text{ m} \\ \delta_{1114} &= 0,028605 \text{ m} \\ \delta_{max} &= 0,028605 \text{ m} \\ \delta_{avg} &= (\delta_8 + \delta_{1114})/2 \\ &= (0,026578 + 0,028605)/2 \\ &= 0,027592 \text{ m}\end{aligned}$$

$$1,2\delta_{avg} = 1,2 \times 0,001779$$

$$= 0,002134 \text{ m}$$

$$1,4\delta_{avg} = 1,4 \times 0,001779$$

$$= 0,00249 \text{ m}$$

$$1,2\delta_{avg} = 1,2 \times 0,027592$$

$$= 0,03311 \text{ m}$$

$$1,4\delta_{avg} = 1,4 \times 0,027592$$

$$= 0,038628 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa pada bangunan dengan struktur T1 untuk arah X dan Y didapat nilai  $\delta_{max} < 1,2\delta_{avg}$  dan  $\delta_{max} < 1,4\delta_{avg}$ , sehingga tidak terjadi ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan pada bangunan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.12 berikut ini.

**Tabel 5.12 Pengecekan Terhadap Ketidakberaturan Torsi Dan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan Pada Arah X**

Tipe Struktur	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_{avg}$	$\delta_{max}$	1,2 $\delta_{avg}$	1,4 $\delta_{avg}$	Cek
	m	m	m	m	m	m	
Tanpa pengaku	0,0730 81	0,0731 24	0,0731 03	0,0731 24	0,0877 23	0,1023 44	Tanpa Torsi
T1 (Eksisting)	0,0017 6	0,0017 97	0,0017 79	0,0017 97	0,0021 34	0,0024 9	Tanpa Torsi
T2	0,0263 94	0,0282 5	0,0273 22	0,0282 5	0,0327 86	0,0382 51	Tanpa Torsi
T3	0,0023 42	0,0023 81	0,0023 62	0,0023 81	0,0028 34	0,0033 06	Tanpa Torsi
T4	0,0022 48	0,0022 88	0,0022 68	0,0022 88	0,0027 22	0,0031 75	Tanpa Torsi
T5	0,0084 5	0,0084 92	0,0084 71	0,0084 92	0,0101 65	0,0118 59	Tanpa Torsi

**Tabel 5.13 Pengecekan Terhadap Ketidakberaturan Torsi Dan Ketidakberaturan Torsi Berlebih Pada Arah Y**

Tipe Struktur	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_{avg}$	$\delta_{max}$	1,2	1,4	Cek
	m	m	m	m	$\delta_{avg}$	$\delta_{avg}$	
Tanpa pengaku	0,0270 16	0,0290 31	0,0280 24	0,0290 31	0,0336 28	0,0392 33	Tanpa Torsi
T1 (Eksisting)	0,0265 78	0,0286 05	0,0275 92	0,0286 05	0,0331 1	0,0386 28	Tanpa Torsi
T2	0,0263 94	0,0282 5	0,0273 22	0,0282 5	0,0327 86	0,0382 51	Tanpa Torsi
T3	0,0266 7	0,0287 84	0,0277 27	0,0287 84	0,0332 72	0,0388 18	Tanpa Torsi
T4	0,0267 87	0,0286 12	0,0277	0,0286 12	0,0332 39	0,0387 79	Tanpa Torsi
T5	0,0270 02	0,0289 41	0,0279 72	0,0289 41	0,0335 66	0,0391 6	Tanpa Torsi

Dari Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 diatas didapatkan bahwa pada bangunan tanpa pengaku dan bangunan dengan berbagai posisi penempatan pengaku pada arah X dan Y tidak terjadi ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan. Sehingga walaupun bangunan Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri Dan Konstruksi Majalengka Jalur 5 ini memiliki segmen pada arah X yang tidak seragam (8 m, 9 m, dan 12 m) tetapi tidak terjadi ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan.

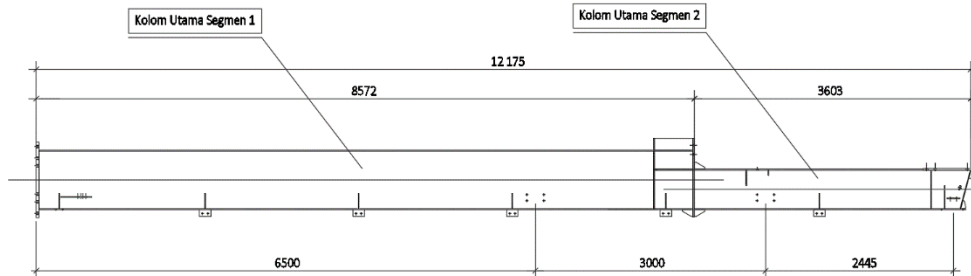
## 5.7 Pengecekan Kapasitas Profil Struktur

Pengecekan kapasitas profil struktur bangunan dilakukan berdasarkan SNI 1729:2020 dan SNI 7860:2020. Berikut ini adalah pengecekan kapasitas profil struktur bangunan.

### 5.7.1 Pengecekan Kapasitas Profil Kolom

1. Kolom IWF 774×300 (Kolom utama segmen 1)

Kodefikasi segmen kolom utama dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



**Gambar 5.7 Kodefikasi Segmen Kolom Utama**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen kolom utama segmen 1 dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

**Tabel 5. 14 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Kolom Utama Segmen 1**

Tipe Struktur	Tipe Kolom	L	Pu max	Vg max	Mux max	Muy max
		m	kN	kN	kNm	kNm
T1	IWF 774×300	8572	534,105	81,611	163,1962	7,4681
T2	IWF 774×300	8572	540,762	81,672	162,8633	7,4577
T3	IWF 774×300	8572	540,778	81,534	163,3269	7,4823

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil kolom seperti berikut ini.



Properti profil IWF 774×300:

$$L = 8572 \text{ mm}$$

$$H = 774 \text{ mm}$$

$$b_f = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$A = 13200 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 132649,56 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 5403,2 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 317 \text{ mm}$$

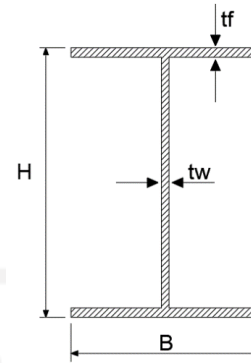
$$r_y = 63,98 \text{ mm}$$

$$S_x = 3427,637 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 360,213 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 7,84 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$J = 475648 \text{ mm}^4$$



**Gambar 5. 8 Penampang Profil**

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (300/2)/12 = 12,5$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 774 - 2 \times 12 = 750 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 750/8 = 93,75$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r$ , maka badan profil tidak kompak/langsing.

## 2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 6500 \text{ mm}$$

$$r_y = 63,98 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 6500/63,98 = 101,596 < 200 \text{ (Tak Langsing)}$$

## 3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(101,596)^2} = 191,241 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{191,241}\right) 300 = 155,586 \text{ MPa}$$

## 4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,61$$

Karena  $KL/r_y > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right)}{I_x + I_y}$$

$$= \frac{\left(\frac{\pi^2 \times 200000 \times 7,84 \times 10^{12}}{(1 \times 6500)^2} + 77200 \times 475648\right)}{132649,56 \times 10^4 + 5403 \times 10^4}$$

$$= 292,034 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{292,034}\right) 300 = 195,159 \text{ MPa}$$

## 5) Luas Penampang

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa badan profil kolom utama segmen 1 termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk torsi dan tekuk lentur harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ ).

## a) Luas Penampang untuk Tekuk Lentur

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{155,586}} = 53,421$$

$$\lambda_w = 93,75$$

$$\text{Karena } \lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}, \text{ maka } h_e = h \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left( C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y = \left( 1,31 \times \frac{38,472}{93,75} \right)^2 \times 300 = 86,697 \text{ MPa}$$

$$h_e = 750 \left( 1 - 0,18 \sqrt{\frac{86,697}{155,586}} \right) \sqrt{\frac{86,697}{155,586}} = 484,631 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h_0 - h_e) \times t \\ &= 13200 - (750 - 484,631) \times 8 \\ &= 11077,049 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

## b) Luas Penampang untuk Tekuk Torsi

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{195,159}} = 52,850$$

$$\lambda_w = 93,75$$

$$\text{Karena } \lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}, \text{ maka } h_e = h \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left( C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y = \left( 1,31 \times \frac{38,472}{93,75} \right)^2 \times 300 = 86,697 \text{ MPa}$$

$$h_e = 750 \left( 1 - 0,18 \sqrt{\frac{86,697}{195,159}} \right) \sqrt{\frac{86,697}{195,159}} = 439,911 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t \\ &= 13200 - (750 - 439,911) \times 8 \\ &= 10719,287 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

6) Kekuatan Tekan Nominal

a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 11077,049 \times 155,586 \\ &= 1551093,640 \text{ N} \\ &= 1551,094 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 10719,287 \times 195,159 \\ &= 1882769,665 \text{ N} \\ &= 1882,770 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua nilai kekuatan tekan nominal diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 1551,094 kN.

7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 534,105 / 1551,094 = 0,344 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 540,762 / 1551,094 = 0,349 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 540,778 / 1551,094 = 0,349 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (300/2)/12 = 12,5$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$

$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil tidak kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 774 - 2 \times 12 = 750 \text{ mm}$$

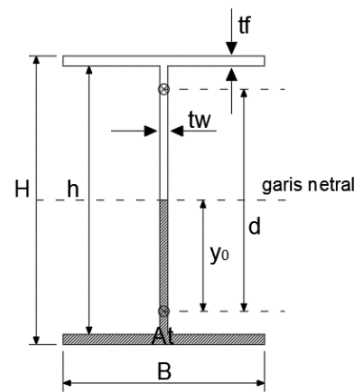
$$\lambda_w = h/t_w = 750/8 = 93,75$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 9 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 774 - 2 \times 12 = 750 \text{ mm}$$

$$A_t = B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 300 \times 12 + \frac{1}{2} \times 750 \times 8 = 6600 \text{ mm}^2$$

$$y_0 = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i}$$

$$= \frac{\left( B \times t_f \times \left( \frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f \right) \right) + \left( \frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h \right)}{A_t}$$

$$= \frac{(300 \times 12 \times (\frac{1}{2} \times 774 - \frac{1}{2} \times 12)) + (\frac{1}{2} \times 750 \times 8 \times \frac{1}{4} \times 750)}{6600}$$

$$= 293,045 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 293,045 = 586,09 \text{ mm}$$

$$Z_x = A_t \times d = 6600 \times 586,09 = 3868200 \text{ mm}^3$$

3) Leleh

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z_x \\ &= 300 \times 3868200 \\ &= 1160460000 \text{ Nmm} \\ &= 1160,460 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$L_b = 6500 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 63,98 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 2907,405 \text{ mm}$$

$$c = 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{5403,2 \times 10^4 \times 7,843 \times 10^{12}}}{3427,637 \times 10^3} = 6005,943$$

$$r_{ts} = \sqrt{6005,943} = 77,498 \text{ mm}$$

$$h_0 = H - t_f = 774 - 12 = 762 \text{ mm}$$

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

$$= 7256,523 \text{ mm}$$

$L_p < L_b \leq L_r$ , maka masuk kondisi inelastik

Struktur T1:

$$M_{maks} = 162,196 \text{ kNm}$$

$$M_A = 17,096 \text{ kNm}$$

$$M_B = 16,950 \text{ kNm}$$

$$M_C = 16,804 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \times 162,196}{2,5 \times 162,196 + 3 \times 17,096 + 4 \times 16,950 + 3 \times 16,804}$$

$$= 3,532$$

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

$$= 3,532 \left[ 1160460000 - (1160460000 - 0,7 \times 300 \times 3427637) \left( \frac{6500 - 2907,405}{7256,523 - 2907,405} \right) \right] \leq 1160,46 \text{ kNm}$$

$$= 2813,442 \text{ kNm} \leq 1160,460 \text{ kNm}$$

$$= 1160,460 \text{ kNm}$$

Dengan cara yang sama didapatkan Momen Nominal ( $M_n$ ) tekuk torsi-lateral untuk struktur T2 sebesar 1160,460 kNm dan struktur T3 sebesar 1160,460 kNm

#### 5) Tekuk Lokal Sayap Tekan

$$\lambda = \frac{B}{2t_f} = \frac{300}{2 \times 12} = 12,5$$

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$= 1160460000 - (1160460000 - 0,7 \times 300 \times 3427636) \left( \frac{12,5 - 9,812}{25,82 - 9,812} \right)$$

$$= 1086456116 \text{ Nmm}$$

$$= 1086,456 \text{ kNm}$$

#### 6) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat tekuk lokal sayap tekan sebagai keadaan batas sebesar 1086,456 kNm.

$$\phi = 0,9$$

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

$$= 0,9 \times 1086,456$$

$$= 977,811 \text{ kNm}$$

#### 7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 163,1962 / 977,811 = 0,167 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

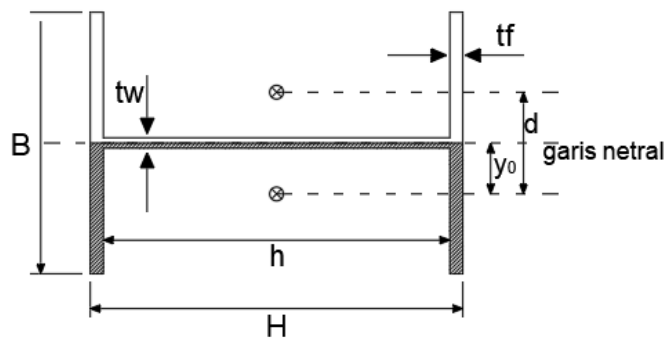
$$M_u / \phi M_n = 162,8633 / 977,811 = 0,167 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 163,3269 / 977,811 = 0,167 < 1 \text{ (aman)}$$

c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

1) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 10 Penampang Profil Sumbu Lemah**

$$h = H - 2 \times t_f = 774 - 2 \times 12 = 750 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_t &= (2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\ &= (2 \times (\frac{1}{2} \times 300 \times 12)) + 750 \times \frac{1}{2} \times 8 \\ &= 6600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{\sum (A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\ &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t} \\ &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 300 \times 12) \times \frac{1}{4} \times 300) + (750 \times \frac{1}{2} \times 8 \times \frac{1}{4} \times 8)}{6600} \\ &= 41,818 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 41,818 = 83,636 \text{ mm}$$

$$Z_y = A_t \times d = 6600 \times 83,636 = 552000 \text{ mm}^3$$

2) Leleh

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \\ &= 300 \times 552000 \leq 1,6 \times 300 \times 360213,3 \\ &= 165600000 \text{ Nmm} \leq 172902400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



$$M_p \text{ pakai} = 165,6 \text{ kNm}$$

### 3) Tekuk Lokal Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{(300/2)}{12} = 12,5$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - (M_p - 0,7F_y S_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \\ &= 165600000 - (165600000 - 0,7 \times 300 \times 360213,3) \left( \frac{12,5 - 9,812}{25,82 - 9,812} \right) \\ &= 150492907 \text{ Nmm} \\ &= 150,493 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 4) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu lemah diatas, diambil nilai terkecil akibat tekuk lokal sayap sebagai keadaan batas sebesar 150,493 kNm.

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 150,493 \\ &= 135,444 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 5) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 7,4681 / 135,444 = 0,055 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 7,4577 / 135,444 = 0,055 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 7,4723 / 135,444 = 0,055 < 1 \text{ (aman)}$$

## d. Periksa Kapasitas Geser

### 1) Kekuatan Geser Badan

$$\begin{aligned} h &= H - 2 \times t_f = 774 - 2 \times 12 = 750 \text{ mm} \\ A_w &= h \times t_w = 750 \times 8 = 6000 \text{ mm}^2 \\ h/t_w &= 750/8 = 93,75 \\ k_v &= 5,34 \end{aligned}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34 \times 200000}{300}} = 65,632$$

$$h/t_w > 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = \frac{1,1 \sqrt{k_v \times E/F_y}}{h/t_w}$$

$$C_v = \frac{65,632}{93,75} = 0,7$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 6000 \times 0,7 \\ &= 680475,8 \text{ N} \\ &= 680,476 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f/t_f = 300/12 = 12,5$$

$$A_w = 2 \times b_f \times t_f = 2 \times 300 \times 12 = 7200 \text{ mm}^2$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f/t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 300 \times 12 \times 1 \\ &= 583200 \text{ N} \\ &= 583,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan geser nominal diatas, diambil nilai kuat geser sayap sebagai keadaan batas sebesar 583,2 kN.

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 81,673/583,2 = 0,140 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$V_u/\phi V_n = 81,64/583,2 = 0,140 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 81,573/583,2 = 0,140 < 1 \text{ (aman)}$$

e. Periksa Kombinasi Lentur Dan Gaya Aksial

Apabila,  $P_u/\phi P_n \geq 0,2$

Maka:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

Struktur T1 ( $P_u/\phi P_n = 0,344 > 0,2$ ):

$$\frac{534,105}{2 \times 1551,094} + \frac{8}{9} + \left( \frac{163,196}{977,811} + \frac{7,468}{135,444} \right) \leq 1$$

$$0,542 \leq 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2 ( $P_u/\phi P_n = 0,348 > 0,2$ ):

$$\frac{540,762}{2 \times 1551,094} + \frac{8}{9} + \left( \frac{162,863}{977,811} + \frac{7,458}{135,444} \right) \leq 1$$

$$0,546 \leq 1 \text{ (aman)}$$

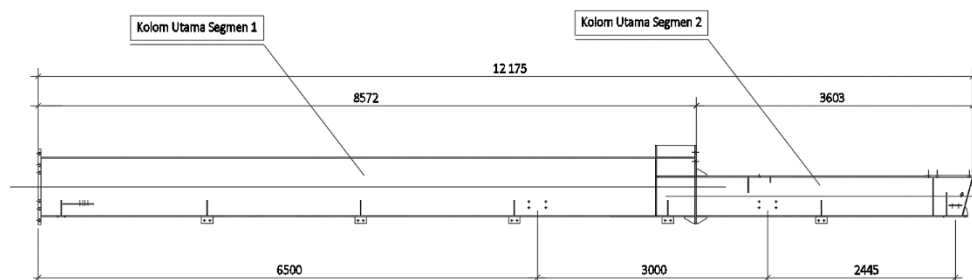
Struktur T3 ( $P_u/\phi P_n = 0,350 > 0,2$ ):

$$\frac{540,778}{2 \times 1551,094} + \frac{8}{9} + \left( \frac{163,327}{977,811} + \frac{7,482}{135,444} \right) \leq 1$$

$$0,546 \leq 1 \text{ (aman)}$$

2. Kolom IWF 528×250 (Kolom utama Segmen 2)

Kodefikasi segmen kolom utama dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



**Gambar 5. 11 Kodefikasi Segmen Kolom Utama**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen kolom utama segmen 2 dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

**Tabel 5. 15 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Kolom Utama Segmen 2**

Tipe Struktur	Tipe Kolom	L	Pu max	Vg max	Mux max	Muy max
		m	kN	kN	kNm	kNm
T1	IWF 528×250	3603	85,897	161,296	102,6492	10,7967
T2	IWF 528×250	3603	85,397	161,677	102,9107	10,776
T3	IWF 528×250	3603	85,236	161,759	102,5291	10,8212

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil kolom seperti berikut ini.

Properti profil IWF 528×250:

$$L = 3603 \text{ mm}$$

$$H = 528 \text{ mm}$$

$$b_f = 250 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

$$A = 11000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 54579,1 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 3648 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 222,7 \text{ mm}$$

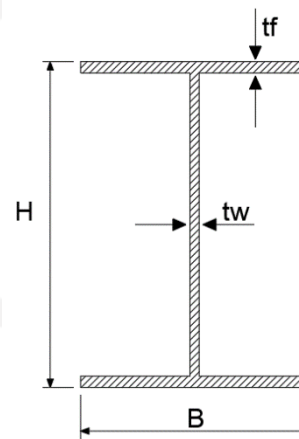
$$r_y = 57,6 \text{ mm}$$

$$S_x = 2067,39 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 291,84 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 2,409 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$J = 545056 \text{ mm}^4$$



**Gambar 5. 12 Penampang Profil**

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (250/2)/14 = 8,929$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 528 - 2 \times 14 = 500 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 500/8 = 62,5$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r$ , maka badan profil tidak kompak/langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 2445 \text{ mm}$$

$$r_y = 57,59 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 2445/57,59 = 42,457 < 200 \text{ (Tak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(42,457)^2} = 1095,041 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0,658^{\frac{300}{1095,041}}\right) \times 300 = 267,499 \text{ MPa}$$

## 4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y$

$$\begin{aligned} F_e &= \left(\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right) \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left(\frac{\pi^2 \times 200000 \times 2,41 \times 10^{12}}{(1 \times 2445)^2} + 77200 \times 545056\right) \frac{1}{54579,07 \times 10^4 + 3647,98 \times 10^4} \\ &= 1438,624 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0,658^{\frac{300}{1438,624}}\right) \times 300 = 274,926 \text{ MPa}$$

## 5) Luas Penampang

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa badan profil kolom utama segmen 2 termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk torsi dan tekuk lentur harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ )

## a) Luas Penampang untuk Tekuk Lentur

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{267,499}} = 40,742$$

$$\lambda_w = 62,5$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h \left(1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left(C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y = \left(1,31 \times \frac{38,472}{62,5}\right)^2 \times 300 = 195,068 \text{ MPa}$$

$$h_e = 500 \left(1 - 0,18 \sqrt{\frac{195,068}{267,499}}\right) \sqrt{\frac{195,068}{267,499}} = 361,344 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_g - (h - h_e) \times t \\
 &= 11000 - (500 - 361,344) \times 8 \\
 &= 9890,749 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b) Luas Penampang untuk Tekuk Torsi

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{274,926}} = 40,188$$

$$\lambda_w = 62,5$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left( C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y = \left( 1,31 \times \frac{38,472}{62,5} \right)^2 \times 300 = 195,068 \text{ MPa}$$

$$h_e = 500 \left( 1 - 0,18 \sqrt{\frac{195,068}{274,926}} \right) \sqrt{\frac{195,068}{274,926}} = 357,310 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_g - (h - h_e) \times t \\
 &= 11000 - (500 - 357,310) \times 8 \\
 &= 9858,480 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

6) Kekuatan Tekan Nominal

a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\
 &= 0,9 \times 9890,749 \times 267,499 \\
 &= 2381187,912 \text{ N} \\
 &= 2381,188 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\
 &= 0,9 \times 9858,480 \times 274,926 \\
 &= 2439314,931 \text{ N} \\
 &= 2439,315 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari kedua nilai kekuatan tekan nominal diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 2381,188 kN.

7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u/\phi P_n = 85,897/2381,188 = 0,036 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 85,397/2381,188 = 0,036 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 85,236/2381,188 = 0,036 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (250/2)/14 = 8,929$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$

$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 528 - 2 \times 14 = 500 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 500/8 = 62,5$$

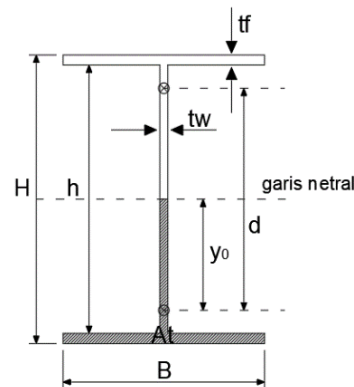
$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

2) Modulus Plastis Penampang





**Gambar 5. 13 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$\begin{aligned}
 h &= H - 2 \times t_f = 528 - 2 \times 14 = 500 \text{ mm} \\
 A_t &= B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 250 \times 14 + \frac{1}{2} \times 500 \times 8 = 5500 \text{ mm}^2 \\
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(B \times t_f \times (\frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f)) + (\frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h)}{A_t} \\
 &= \frac{(250 \times 14 \times (\frac{1}{2} \times 528 - \frac{1}{2} \times 14)) + (\frac{1}{2} \times 500 \times 8 \times \frac{1}{4} \times 500)}{5500} \\
 &= 209 \text{ mm} \\
 d &= 2 \times y_0 = 2 \times 209 = 418 \text{ mm} \\
 Z_x &= A_t \times d = 5500 \times 418 = 2299000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

3) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = F_y Z_x \\
 &= 300 \times 2299000 \\
 &= 689700000 \text{ Nmm} \\
 &= 689,7 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$\begin{aligned}
 L_b &= 2445 \text{ mm} \\
 L_p &= 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 57,59 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 2616,954 \text{ mm} \\
 c &= 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}
 \end{aligned}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{3647,967 \times 10^4 \times 2,409 \times 10^{12}}}{2067,389 \times 10^3} = 4534,838$$

$$r_{ts} = \sqrt{4534,838} = 67,341$$

$$h_0 = H - t_f = 774 - 14 = 514 \text{ mm}$$

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

$$= 6695,867 \text{ mm}$$

$L_b \leq L_p$ , maka masuk kondisi plastis sehingga keadaan tekuk torsi lateral tidak berlaku.

#### 5) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 689,7 kN.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 689,7 \\ &= 620,730 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 102,6492 / 620,730 = 0,165 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

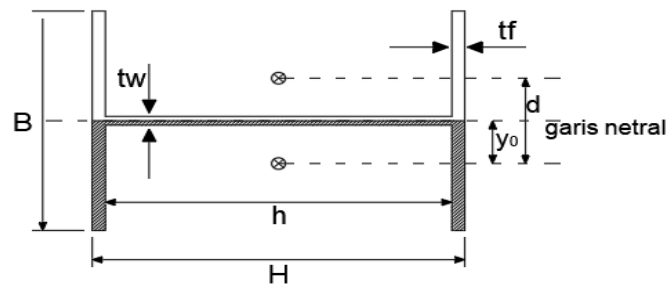
$$M_u / \phi M_n = 102,9107 / 620,730 = 0,166 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 103,5291 / 620,73 = 0,165 < 1 \text{ (aman)}$$

#### c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

##### 1) Modulus Plastis Penampang



$$h = H - 2 \times t_f = 528 - 2 \times 14 = 500 \text{ mm}$$

**Gambar 5. 14 Penampang Profil Sumbu Lemah**

$$A_t = (2 \times$$

$$\begin{aligned} & (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\ & = (2 \times (\frac{1}{2} \times 250 \times 14)) + 500 \times \frac{1}{2} \times 8 \\ & = 5500 \text{ mm}^2 \\ y_0 & = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\ & = \frac{(2 \times (\frac{1}{2} B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t} \\ & = \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 250 \times 14) \times \frac{1}{4} \times 250) + (5000 \times \frac{1}{2} \times 8 \times \frac{1}{4} \times 8)}{5500} \\ & = 40,5 \text{ mm} \\ d & = 2 \times y_0 = 2 \times 40,5 = 81 \text{ mm} \\ Z_y & = A_t \times d = 5500 \times 81 = 445500 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

2) Leleh

$$\begin{aligned} M_n = M_p & = F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \\ & = 300 \times 445500 \leq 1,6 \times 300 \times 291837,3 \\ & = 133650000 \text{ Nmm} \leq 140081920 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_p \text{ pakai} = 133,65 \text{ kNm}$$

3) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Pada kekuatan lentur nominal sumbu lemah hanya ada satu keadaan batas yaitu akibat leleh sebesar 133,65 kN

$$\phi = 0,9$$

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

$$= 0,9 \times 133,65$$

$$= 120,285 \text{ kNm}$$

## 4) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 10,7967 / 120,285 = 0,090 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 10,776 / 120,285 = 0,090 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 10,8212 / 120,285 = 0,090 < 1 \text{ (aman)}$$

## d. Periksa Kapasitas Geser

## 1) Kekuatan Geser Badan

$$h = H - 2 \times t_f = 528 - 2 \times 14 = 500 \text{ mm}$$

$$A_w = h \times t_w = 500 \times 8 = 4000 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 500/8 = 62,5$$

$$k_v = 5,34$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34 \times 200000}{300}} = 65,632$$

$$h/t_w \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\phi V_n = \phi 0,6 F_y A_w C_v$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 4000 \times 1$$

$$= 648000 \text{ N}$$

$$= 648 \text{ kN}$$

## 2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f/t_f = 250/14 = 8,929$$

$$A_w = 2 \times b_f \times t_f = 2 \times 250 \times 14 = 7000 \text{ mm}^2$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f/t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,9 \\
 \phi V_n &= \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v \\
 &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 250 \times 14 \times 1 \\
 &= 567000 \text{ N} \\
 &= 567 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Struktur T1:

$$V_u / \phi V_n = 161,296 / 567 = 0,284 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$V_u / \phi V_n = 161,677 / 567 = 0,285 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u / \phi V_n = 160,759 / 567 = 0,285 < 1 \text{ (aman)}$$

### e. Periksa Kombinasi Lentur Dan Gaya Aksial

$$P_u / \phi P_n \leq 0,2$$

Maka:

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

Struktur T1 ( $P_u / \phi P_n = 0,037 < 0,2$ ):

$$\begin{aligned}
 \frac{85,897}{2 \times 2381,188} + \left( \frac{102,649}{620,730} + \frac{10,797}{120,285} \right) &\leq 1 \\
 0,273 &\leq 1 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

Struktur T2 ( $P_u / \phi P_n = 0,036 < 0,2$ ):

$$\begin{aligned}
 \frac{85,397}{2 \times 2381,188} + \left( \frac{102,901}{620,730} + \frac{10,776}{120,285} \right) &\leq 1 \\
 0,273 &\leq 1 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

Struktur Tipe 3 ( $P_u / \phi P_n = 0,036 < 0,2$ ):

$$\begin{aligned}
 \frac{85,236}{2 \times 2381,188} + \left( \frac{102,529}{620,730} + \frac{10,821}{120,285} \right) &\leq 1 \\
 0,273 &\leq 1 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

3. Kolom IWF 312×180 (*Endwall Column*)

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen kolom regel depan dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

**Tabel 5. 16 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser *Endwall Column***

Tipe Struktur	Tipe Kolom	Pu max	Vg max	Mux max	Muy max
		kN	kN	kNm	kNm
T1	IWF 528×250	108,696	0,299	2,8245	1,6071
T2	IWF 528×250	108,576	0,298	2,7805	1,5894
T3	IWF 528×250	108,785	0,3	2,8853	1,6156

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari *SAP2000*, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil kolom seperti berikut ini.

Properti profil IWF 312×180:

$$L = 12.894 \text{ mm (endwall column depan)}$$

$$L = 13.363 \text{ mm (endwall column belakang)}$$

$$H = 312 \text{ mm}$$

$$B_f = 180 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$A = 5248 \text{ mm}^2$$

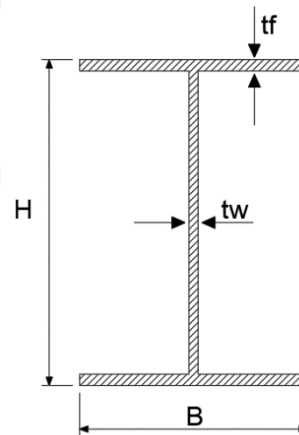
$$I_x = 8384,444 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 778,863 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 126,4 \text{ mm}$$

$$r_y = 38,52 \text{ mm}$$

$$S_x = 537,464 \times 10^3 \text{ mm}^3$$



**Gambar 5. 15 Penampang Profil**

$$S_y = 86,540 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 1,799 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$J = 113322,667 \text{ mm}^4$$

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (180/2)/8 = 11,25$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 296/8 = 37$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_r$ , maka badan profil kompak/tidak langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$r_y = 38,52 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 1500/38,52 = 38,94 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(38,94)^2} = 1302,01 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{1302,01}\right) \times 300 = 272,419 \text{ Mpa}$$

#### 4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left(\frac{\pi^2 \times 200000 \times 1,8 \times 10^{11}}{(1 \times 1500)^2} + 77200 \times 113322,7\right) \frac{1}{8384,44 \times 10^4 + 778,86 \times 10^4}$$

$$= 1818,306 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{1818,306}\right) \times 300 = 279,982 \text{ Mpa}$$

#### Kekuatan Tekan Nominal

##### a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\phi P_n = \phi \times A_g \times F_{cr}$$

$$= 0,9 \times 5248 \times 272,419$$

$$= 1286691,667 \text{ N}$$

$$= 1286,692 \text{ kN}$$

##### b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\phi = 0,9$$

$$\phi P_n = \phi \times A_g \times F_{cr}$$

$$= 0,9 \times 5248 \times 279,982$$

$$= 1322412,416 \text{ N}$$

$$= 1322,412 \text{ kN}$$



Dari kedua nilai kapasitas tekan diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 1286,692 kN

5) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u/\phi P_n = 108,696/1286,692 = 0,084 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 108,576/1286,692 = 0,084 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 108,785/1286,692 = 0,085 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (180/2)/8 = 11,25$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$

$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf}$  , maka sayap profil tidak kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

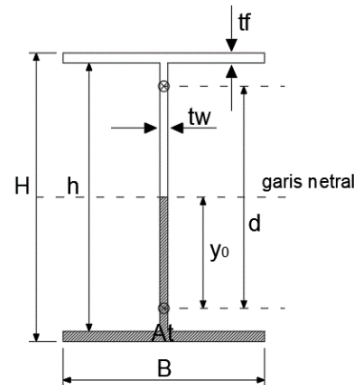
$$\lambda_w = h/t_w = 296/8 = 37$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$  , maka badan profil kompak.

2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 16 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$\begin{aligned}
 h &= H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm} \\
 A_t &= B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 180 \times 18 + \frac{1}{2} \times 296 \times 8 = 2642 \text{ mm}^2 \\
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(B \times t_f \times (\frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f)) + (\frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h)}{A_t} \\
 &= \frac{(180 \times 8 \times (\frac{1}{2} \times 312 - \frac{1}{2} \times 8)) + (\frac{1}{2} \times 296 \times 8 \times \frac{1}{4} \times 296)}{2642} \\
 &= 116,805 \text{ mm} \\
 d &= 2 \times y_0 = 2 \times 116,805 = 233,61 \text{ mm} \\
 Z_x &= A_t \times d = 2642 \times 233,61 = 612992 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

3) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = F_y Z_x \\
 &= 300 \times 612992 \\
 &= 183897600 \text{ Nmm} \\
 &= 183,898 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$\begin{aligned}
 L_b &= 1500 \text{ mm} \\
 L_p &= 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 38,52 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 1750,655 \text{ mm} \\
 c &= 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}
 \end{aligned}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{778,863 \times 10^4 \times 1,799 \times 10^{11}}}{537,464 \times 10^3} = 2202,698$$

$$r_{ts} = \sqrt{2202,698} = 46,933$$

$$h_0 = H - t_f = 312 - 8 = 304 \text{ mm}$$

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

$$= 4819,831 \text{ mm}$$

$L_b \leq L_p$ , maka masuk kondisi plastis sehingga tekuk torsi lateral tidak berlaku.

#### 5) Tekuk Lokal Sayap Tekan

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa sayap profil tidak kompak oleh karena itu maka perhitungan tekuk lokal sayap tekan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\lambda = \frac{B}{2t_f} = \frac{180}{2 \times 8} = 11,3$$

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$= 183897600 - (183897600 - 0,7 \times 300 \times 537464) \left( \frac{11,3 - 9,812}{25,82 - 9,812} \right)$$

$$= 177515131 \text{ Nmm}$$

$$= 177,515 \text{ kNm}$$

#### 6) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat tekuk lokal sayap tekan sebagai keadaan batas sebesar 177,515 kNm

$$\phi = 0,9$$

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

$$= 0,9 \times 177,515$$

$$= 159,764 \text{ kNm}$$

#### 7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 2,8245 / 159,764 = 0,018 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

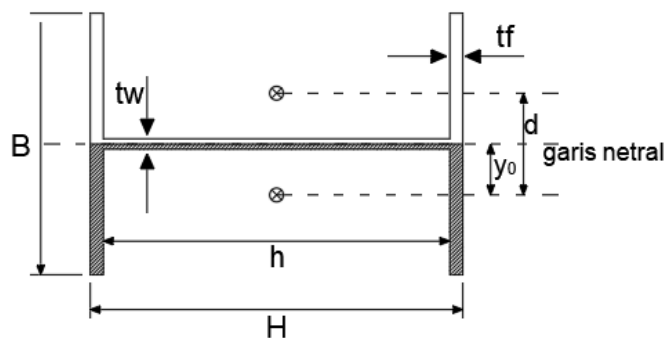
$$M_u / \phi M_n = 2,7805 / 159,764 = 0,017 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 2,8853 / 159,764 = 0,018 < 1 \text{ (aman)}$$

c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

1) Modulus Plastis Penampang



Gambar 5. 17 Penampang Profil Sumbu Lemah

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_t &= (2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\ &= (2 \times (\frac{1}{2} \times 180 \times 8)) + 312 \times \frac{1}{2} \times 8 \\ &= 2624 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$y_0 = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i}$$

$$= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t}$$

$$= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 180 \times 8) \times \frac{1}{4} \times 180) + (296 \times \frac{1}{2} \times 8 \times \frac{1}{4} \times 8)}{2624}$$

$$= 25,598 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 25,598 = 51,195 \text{ mm}$$

$$Z_y = A_t \times d = 2624 \times 51,195 = 134336 \text{ mm}^3$$

2) Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y$$

$$= 300 \times 134336 \leq 1,6 \times 300 \times 86540$$

$$= 40300800 \text{ Nmm} \leq 41539356,4 \text{ Nmm}$$

$$M_p \text{ pakai} = 40,301 \text{ kNm}$$

### 3) Tekuk Lokal Sayap Tekan

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa sayap profil tidak kompak oleh karena itu maka perhitungan tekuk lokal sayap tekan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{(180/2)}{8} = 11,25$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - (M_p - 0,7F_y S_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \\ &= 40300800 - (40300800 - 0,7 \times 300 \times 86540) \left( \frac{11,25 - 9,812}{25,82 - 9,812} \right) \\ &= 38312529,8 \text{ Nmm} \\ &= 38,313 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 4) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 38,313 \\ &= 34,481 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 5) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 1,6071 / 34,481 = 0,047 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 1,5894 / 34,481 = 0,046 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 1,6151 / 34,481 = 0,047 < 1 \text{ (aman)}$$

### d. Periksa Kapasitas Geser

#### 1) Kekuatan Geser Badan

$$\begin{aligned} h &= H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm} \\ A_w &= h \times t_w = 296 \times 8 = 2368 \text{ mm}^2 \\ h/t_w &= 296/8 = 37 \end{aligned}$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$h/t_w \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 2368 \times 1 \\ &= 383616 \text{ N} \\ &= 383,616 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f/t_f = 180/8 = 11,25$$

$$A_w = 2 \times b_f \times t_f = 2 \times 180 \times 8 = 2880 \text{ mm}^2$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f/t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 180 \times 8 \times 1 \\ &= 233280 \text{ N} \\ &= 233,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 0,299/233,28 = 0,001 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$V_u/\phi V_n = 0,298/233,28 = 0,001 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 0,3/233,28 = 0,001 < 1 \text{ (aman)}$$

### e. Periksa Kombinasi Lentur Dan Gaya Aksial

Apabila,  $P_u/\phi P_n \leq 0,2$

Maka:

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

Struktur T1 ( $P_u/\phi P_n = 0,084 < 0,2$ ):

$$\frac{108,696}{2 \times 1286,692} + \left( \frac{2,825}{159,764} + \frac{1,607}{34,481} \right) \leq 1$$

$$0,107 \leq 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2 ( $P_u/\phi P_n = 0,084 < 0,2$ ):

$$\frac{108,576}{2 \times 1286,692} + \left( \frac{2,781}{159,764} + \frac{1,589}{34,481} \right) \leq 1$$

$$0,106 \leq 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3 ( $P_u/\phi P_n = 0,084 < 0,2$ ):

$$\frac{108,785}{2 \times 1286,692} + \left( \frac{2,885}{159,764} + \frac{1,615}{34,481} \right) \leq 1$$

$$0,107 \leq 1 \text{ (aman)}$$

#### 4. Rekapitulasi Pengecekan Hasil Analisis

Rekapitulasi pengecekan hasil analisis kapasitas kolom dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan 5.18 berikut ini.

**Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Kolom**

Tipe Kolom	Tipe Struktur Bangunan	$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1$	$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \leq 1$	$\frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1$	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$
Kolom Utama Segmen1 1	T1	0,344 < 1 (aman)	0,167 < 1 (aman)	0,055 < 1 (aman)	0,140 < 1 (aman)
Kolom Utama Segmen1 1	T2	0,349 < 1 (aman)	0,167 < 1 (aman)	0,055 < 1 (aman)	0,140 < 1 (aman)
Kolom Utama Segmen1 1	T3	0,349 < 1 (aman)	0,167 < 1 (aman)	0,055 < 1 (aman)	0,140 < 1 (aman)
Kolom Utama Segmen1 2	T1	0,036 < 1 (aman)	0,165 < 1 (aman)	0,090 < 1 (aman)	0,284 < 1 (aman)

**Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Kolom**

Tipe Kolom	Tipe Struktur Bangunan	$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1$	$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \leq 1$	$\frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1$	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$
Kolom Utama Segmen1 2	T2	0,036 < 1 (aman)	0,166 < 1 (aman)	0,090 < 1 (aman)	0,285 < 1 (aman)
Kolom Utama Segmen1 2	T3	0,036 < 1 (aman)	0,165 < 1 (aman)	0,090 < 1 (aman)	0,285 < 1 (aman)
Kolom <i>Endwall</i>	T1	0,084 < 1 (aman)	0,018 < 1 (aman)	0,047 < 1 (aman)	0,001 < 1 (aman)
Kolom <i>Endwall</i>	T2	0,084 < 1 (aman)	0,017 < 1 (aman)	0,046 < 1 (aman)	0,001 < 1 (aman)
Kolom <i>Endwall</i>	T3	0,085 < 1 (aman)	0,018 < 1 (aman)	0,047 < 1 (aman)	0,001 < 1 (aman)

**Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengecekan Kombinasi Aksial-Lentur Kolom**

Tipe Kolom	Tipe Struktur Bangunan	Aksial Lentur	Cek $\leq 1$
Kolom Utama Segmen1 1	T1	0,542	Aman
Kolom Utama Segmen1 1	T2	0,546	Aman
Kolom Utama Segmen1 1	T3	0,546	Aman
Kolom Utama Segmen1 2	T1	0,273	Aman
Kolom Utama Segmen1 2	T2	0,273	Aman
Kolom Utama Segmen1 2	T3	0,273	Aman



**Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengecekan Kombinasi Aksial - Lentur Kolom**

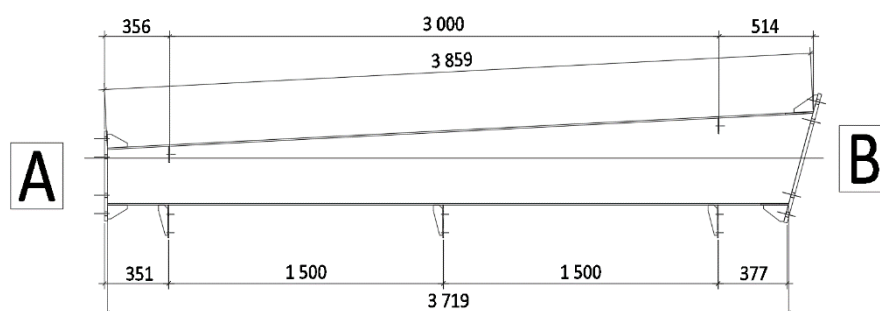
Tipe Kolom	Tipe Struktur Bangunan	Aksial Lentur	Cek $\leq 1$
Kolom <i>Endwall</i>	T1	0,107	Aman
Kolom <i>Endwall</i>	T2	0,106	Aman
Kolom <i>Endwall</i>	T3	0,107	Aman

Berdasarkan Tabel 5.17 yang merupakan hasil rekapitulasi pengecekan keamanan kolom terhadap gaya aksial, momen, dan gaya geser yang terjadi, didapatkan bahwa kolom utama segmen 1, kolom utama segmen 2, dan kolom *endwall* masih dalam kategori aman atau memenuhi persyaratan. Pengecekan terhadap aksial-lentur kolom juga masih sesuai dengan persyaratan yang ditentukan oleh SNI 1729:2020 yang menyatakan kombinasi aksial-lentur  $\leq 1$ , sehingga hasil perhitungan kombinasi aksial-lentur kolom utama segmen 1, kolom utama segmen 2 dan kolom *endwall* pada Tabel 5.18 masih dalam kategori memenuhi persyaratan SNI.

#### 5.7.2 Pengecekan Kapasitas Profil Rafter

##### 1. Rafter IWF 512×180 (Rafter segmen 1)

Kodefikasi rafter segmen 1 dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



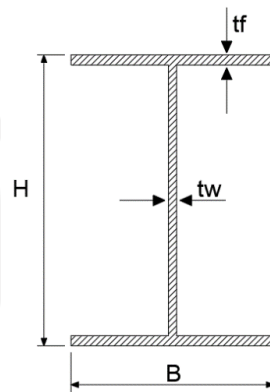
**Gambar 5. 18 Kodefikasi Rafter Segmen 1**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen rafter segmen 1 dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

**Tabel 5. 19 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Rafter Segmen 1**

Tipe Struktur	Tipe Kolom	L	Pu max	Vg max	Mux max	Muy max
		m	kN	kN	kNm	kNm
T1	IWF 512×180 - 312×180	3854	236,655	26,176	38,2033	2,5238
T2	IWF 512×180 - 312×180	3854	236,868	26,116	38,6565	2,3627
T3	IWF 512×180 - 312×180	3854	236,921	26,207	37,9875	2,7724

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari *SAP2000*, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil rafter seperti berikut ini.



**Gambar 5. 19 Penampang Profil**

Properti profil:

$$L = 3854 \text{ mm}$$

Dari sisi A:

$$H = 312 \text{ mm}$$

$$B_f = 180 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$A = 5248 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 8384,444 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 778,863 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 126,4 \text{ mm}$$

$$r_y = 38,52 \text{ mm}$$

$$S_x = 537,464 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 86,540 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 1,8 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$J = 113322,667 \text{ mm}^4$$

Dari Sisi B:

$$H = 512 \text{ mm}$$

$$B_f = 180 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$A = 6848 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 26425,617 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 779,716 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 196,44 \text{ mm}$$

$$r_y = 33,743 \text{ mm}$$

$$S_x = 1032,251 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 86,635 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 4,95 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$J = 147456 \text{ mm}^4$$

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

Perhitungan kapasitas profil rafter segmen 1 menggunakan penampang dari IWF 312×180 yang dianggap sebagai posisi kritis dari profil.

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$K = 1$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$r_y = 38,52 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 1500/38,52 = 38,94 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

2) Luas Penampang Efektif

$$A_n = A_g = 5248 \text{ mm}^2$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 5248 \times 1 = 5248 \text{ mm}^2$$

### 3) Kekuatan Tarik Nominal

#### a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_y A_g \\ &= 0,9 \times 300 \times 5248 \\ &= 1416960 \text{ N} \\ &= 1416,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_u A_e \\ &= 0,75 \times 550 \times 5248 \\ &= 2164800 \text{ N} \\ &= 2164,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 1416,96 kN.

### 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 236,655 / 1416,96 = 0,167 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 236,868 / 1416,96 = 0,167 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 236,921 / 1416,96 = 0,167 < 1 \text{ (aman)}$$

### b. Periksa Kapasitas Tekan

#### 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (180/2)/8 = 11,25$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 296/8 = 37$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_r$ , maka badan profil kompak/ tidak langsing.

## 2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$r_y = 38,52 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 1500/38,52 = 38,94 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

## 3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(38,94)^2} = 1302,01 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{1302,01}\right) \times 300 = 272,419 \text{ MPa}$$

## 4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left( \frac{\pi^2 \times 200000 \times 1,8 \times 10^{11}}{(1 \times 1500)^2} + 77200 \times 113323 \right) \frac{1}{8384,44 \times 10^4 + 778,86 \times 10^4}$$

$$= 1818,306 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left( 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) F_y = \left( 0,658^{\frac{300}{1818,306}} \right) \times 300 = 279,982 \text{ MPa}$$

#### 5) Kekuatan Tekan Nominal

##### a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_g \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 5248 \times 272,419 \\ &= 1286691,667 \text{ N} \\ &= 1286,692 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_g \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 5248 \times 279,982 \\ &= 1322412,416 \text{ N} \\ &= 1322,512 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua nilai kapasitas tekan diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 1286,692 kN

#### 6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 236,655 / 1286,692 = 0,184 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 236,868 / 1286,692 = 0,184 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 236,921 / 1286,692 = 0,184 < 1 \text{ (aman)}$$

#### c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

##### 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (180/2)/8 = 11,25$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$

$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil tidak kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

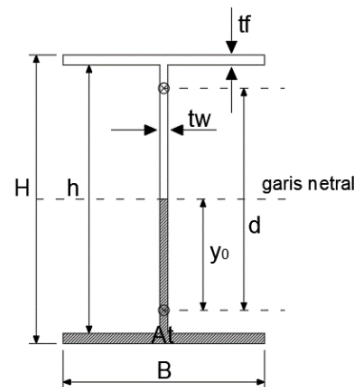
$$\lambda_w = h/t_w = 296/8 = 37$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 20 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$A_t = B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 180 \times 8 + \frac{1}{2} \times 296 \times 8 = 2624 \text{ mm}^2$$

$$y_0 = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i}$$

$$= \frac{(B \times t_f \times (\frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f)) + (\frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h)}{A_t}$$

$$= \frac{(180 \times 8 \times (\frac{1}{2} \times 312 - \frac{1}{2} \times 8)) + (\frac{1}{2} \times 296 \times 8 \times \frac{1}{4} \times 296)}{2624}$$

$$= 116,805 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 116,805 = 233,610 \text{ mm}$$

$$Z_x = A_t \times d = 2624 \times 233,610 = 612992 \text{ mm}^3$$

3) Leleh

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z_x \\ &= 300 \times 612992 \\ &= 183897600 \text{ Nmm} \\ &= 183,898 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$L_b = 1500 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 38,52 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 1750,655 \text{ mm}$$

$$c = 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{778,863 \times 10^4 \times 1,8 \times 10^{11}}}{537,464 \times 10^3} = 2202,698$$

$$r_{ts} = \sqrt{2202,698} = 46,933$$

$$h_0 = H - t_f = 312 - 8 = 304 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \\ &= 4819,831 \text{ mm} \end{aligned}$$

$L_b \leq L_p$ , maka masuk kondisi plastis sehingga tekuk torsi lateral tidak berlaku.

5) Tekuk Lokal Sayap Tekan

$$\lambda = \frac{B}{2t_f} = \frac{180}{2 \times 8} = 11,25$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \\ &= 183897600 - (183897600 - 0,7 \times 300 \times 537464) \left( \frac{11,25 - 9,812}{25,82 - 9,812} \right) \\ &= 177515131 \text{ Nmm} \\ &= 177,515 \text{ kNm} \end{aligned}$$

6) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat



Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat tekuk lokal sayap tekan sebagai keadaan batas sebesar 177,515 kN.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 177,515 \\ &= 159,764 \text{ kNm}\end{aligned}$$

7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 38,2033 / 159,764 = 0,239 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

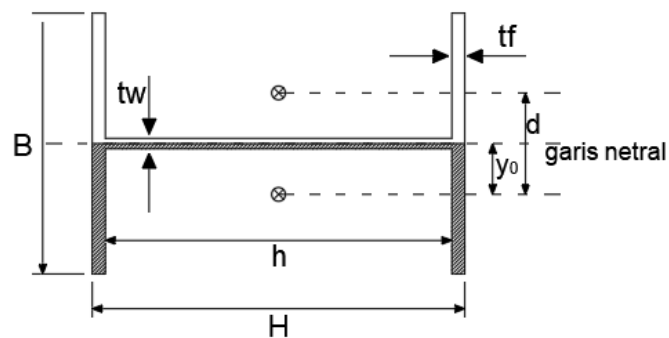
$$M_u / \phi M_n = 38,6565 / 159,764 = 0,242 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 37,9875 / 159,764 = 0,238 < 1 \text{ (aman)}$$

d. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

1) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 21 Penampang Profil Sumbu Lemah**

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}A_t &= (2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\ &= (2 \times (\frac{1}{2} \times 180 \times 8)) + 296 \times \frac{1}{2} 8 \\ &= 2624 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t} \\
 &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 180 \times 8) \times \frac{1}{4} \times 180) + (296 \times \frac{1}{2} \times 8 \times \frac{1}{4} \times 8)}{2624} \\
 &= 25,598 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 25,598 = 51,195 \text{ mm}$$

$$Z_y = A_t \times d = 2624 \times 51,195 = 134336 \text{ mm}^3$$

2) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n = M_p &= F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \\
 &= 300 \times 134336 \leq 1,6 \times 300 \times 86540 \\
 &= 40300800 \text{ Nmm} \leq 41539356,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_p \text{ pakai} = 40,301 \text{ kNm}$$

3) Tekuk Lokal Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{(180/2)}{8} = 11,25$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p - (M_p - 0,7 F_y S_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \\
 &= 40300800 - (40300800 - 0,7 \times 300 \times 86540) \left( \frac{11,25 - 9,812}{25,82 - 9,812} \right) \\
 &= 38312529,835 \text{ Nmm} \\
 &= 38,313 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu lemah diatas, diambil nilai terkecil akibat tekuk lokal sayap sebagai keadaan batas sebesar 38,313 kN.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 38,313 \\
 &= 34,481 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

5) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah Struktur T1:

$$M_u/\phi M_n = 2,5238/34,481 = 0,073 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u/\phi M_n = 2,3627/34,481 = 0,069 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u/\phi M_n = 2,7724/34,481 = 0,080 < 1 \text{ (aman)}$$

e. Periksa Kapasitas Geser

1) Kekuatan Geser Badan

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$A_w = h \times t_w = 296 \times 8 = 2368 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 296/8 = 37$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$h/t_w \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 2368 \times 1 \\ &= 383616 \text{ N} \\ &= 383,616 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f/2t_f = 180/(2 \times 8) = 11,25$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f/2t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 180 \times 8 \times 1 \\ &= 233280 \text{ N} \\ &= 233,280 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan geser nominal diatas, diambil nilai kuat geser sayap sebagai keadaan batas sebesar 233,280 kN.

Struktur Tipe 1:

$$V_u/\phi V_n = 26,176/233,280 = 0,112 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 2:

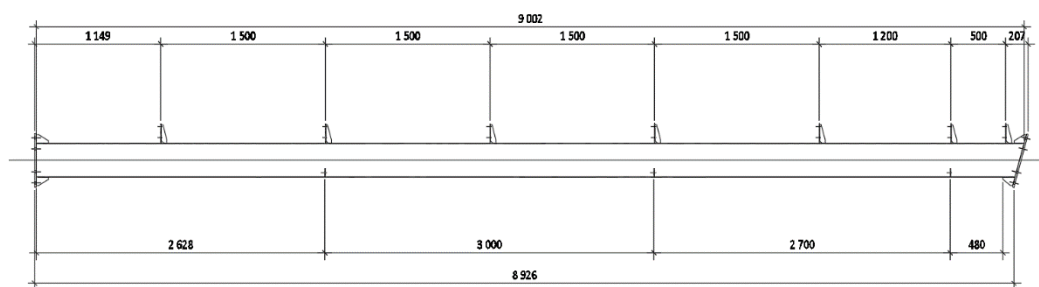
$$V_u/\phi V_n = 26,116/233,280 = 0,112 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 3:

$$V_u/\phi V_n = 26,207/233,280 = 0,112 < 1 \text{ (aman)}$$

## 2. Rafter IWF 312×150 (Rafter segmen 2)

Kodefikasi rafter segmen 2 dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



**Gambar 5.22 Kodefikasi Rafter Segmen 2**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen rafter segmen 2 dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

**Tabel 5. 20 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Rafter Segmen 2**

Tipe Struktur	Tipe Rafter	L	Pu max	Vg max	Mux max	Muy max
		m	kN	kN	kNm	kNm
T1	IWF 312×150	3603	172,992	83,803	26,1705	5,4723
T2	IWF 312×150	3603	173,232	83,644	26,0237	5,7249
T3	IWF 312×150	3603	173,283	83,886	26,2391	5,8137

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari *SAP2000*, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil rafter seperti berikut ini.

Properti profil IWF 528×250:

$$L = 9002 \text{ mm}$$

$$H = 312 \text{ mm}$$

$$b_f = 150 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$A = 4768 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 7275,196 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 451,263 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 123,52 \text{ mm}$$

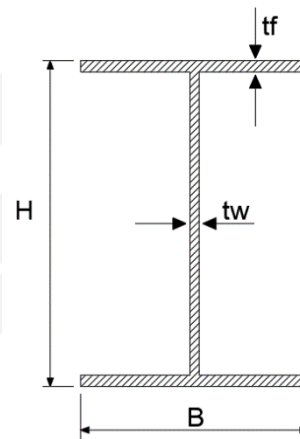
$$r_y = 30,76 \text{ mm}$$

$$S_x = 466,359 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 60,198 \text{ cm}^3$$

$$C_w = 1,043 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$J = 103082,667 \text{ mm}^4$$



**Gambar 5. 23 Penampang Profil**

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$K = 1$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$r_y = 30,76 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 1500/30,76 = 48,76 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

2) Luas Penampang Efektif

$$A_n = A_g = 4768 \text{ mm}^2$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 4768 \times 1 = 4768 \text{ mm}^2$$

### 3) Kekuatan Tarik Nominal

#### a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_y A_g \\ &= 0,9 \times 300 \times 4768 \\ &= 1289369 \text{ N} \\ &= 1289,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_u A_e \\ &= 0,75 \times 550 \times 4768 \\ &= 1966800 \text{ N} \\ &= 1966,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 1289,36 kN.

### 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 172,992 / 1289,36 = 0,134 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 173,232 / 1289,36 = 0,135 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 173,283 / 1289,36 = 0,135 < 1 \text{ (aman)}$$

### b. Periksa Kapasitas Tekan

#### 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (150/2)/8 = 9,375$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 296/8 = 37$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing

## 2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$r_y = 30,76 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 1500/30,76 = 48,76 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

## 3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(48,76)^2} = 830,311 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{830,311}\right) \times 300 = 257,896 \text{ MPa}$$

## 4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left(\frac{\pi^2 \times 200000 \times 1,04 \times 10^{11}}{(1 \times 1500)^2} + 77200 \times 108032,7\right) \frac{1}{7275,2 \times 10^4 + 451,263 \times 10^4}$$

$$= 1286,811 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0,658^{\frac{300}{1286,811}}\right) \times 300 = 272,109 \text{ MPa}$$

5) Kekuatan Tekan Nominal

a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times A_g \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 4768 \times 257,896 \\ &= 1106682,678 \text{ N} \\ &= 1106,683 \text{ kN}\end{aligned}$$

b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times A_g \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 4768 \times 272,109 \\ &= 1167675,569 \text{ N} \\ &= 1167,676 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dari kedua nilai kapasitas tekan diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 1106,683 kN

6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 172,992 / 1106,683 = 0,156 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 173,232 / 1106,683 = 0,157 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 173,283 / 1106,683 = 0,157 < 1 \text{ (aman)}$$

c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap :

$$\lambda_f = b/t = (150/2)/8 = 9,375$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$



$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

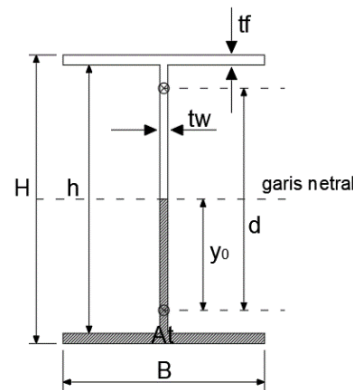
$$\lambda_w = h/t_w = 296/8 = 37$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 24 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$A_t = B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 150 \times 8 + \frac{1}{2} \times 296 \times 8 = 2384 \text{ mm}^2$$

$$y_0 = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i}$$

$$= \frac{\left( B \times t_f \times \left( \frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f \right) \right) + \left( \frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h \right)}{A_t}$$

$$= \frac{\left( 150 \times 8 \times \left( \frac{1}{2} \times 312 - \frac{1}{2} \times 8 \right) \right) + \left( \frac{1}{2} \times 296 \times 8 \times \frac{1}{4} \times 296 \right)}{2384}$$

$$= 113,262 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 113,262 = 226,523 \text{ mm}$$

$$Z_x = A_t \times d = 2384 \times 226,523 = 540032 \text{ mm}^3$$

3) Leleh

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y Z_x \\ &= 300 \times 540032 \\ &= 162009600 \text{ Nmm} \\ &= 162,01 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$L_b = 1500 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 30,76 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 1398,021 \text{ mm}$$

$$c = 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{451,263 \times 10^4 \times 1,043 \times 10^{11}}}{466,359 \times 10^3} = 1470,798$$

$$r_{ts} = \sqrt{1470,798} = 38,351$$

$$h_0 = H - t_f = 312 - 8 = 304 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \\ &= 3961,971 \text{ mm} \end{aligned}$$

$L_p < L_b \leq L_r$ , maka masuk kondisi inelastik.

Struktur Tipe 1:

$$M_{maks} = 26,1705 \text{ kNm}$$

$$M_A = 16,668 \text{ kNm}$$

$$M_B = 6,176 \text{ kNm}$$

$$M_C = 19,301 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 26,1705}{2,5 \times 26,1705 + 3 \times 16,668 + 4 \times 6,176 + 3 \times 19,301} \\ &= 1,652 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
&= 1,652 \left[ 162009600 - (162009600 - 0,7 \times 300 \times \right. \\
&\quad \left. 3427636) \left( \frac{1500 - 1398,021}{3961,97 - 1398,021} \right) \right] \leq 162,01 \text{ kNm} \\
&= 263,0414 \text{ kNm} \leq 162,01 \text{ kNm} \\
&= 162,01 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan Momen Nominal ( $M_n$ ) tekuk torsi-lateral untuk struktur tipe 2 sebesar 162,01 kNm dan struktur tipe 3 sebesar 162,01 kNm.

#### 5) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 162,01 kN.

$$\begin{aligned}
\phi &= 0,9 \\
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,9 \times 162,01 \\
&= 145,809 \text{ kN}
\end{aligned}$$

#### 6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 26,1705 / 145,809 = 0,179 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

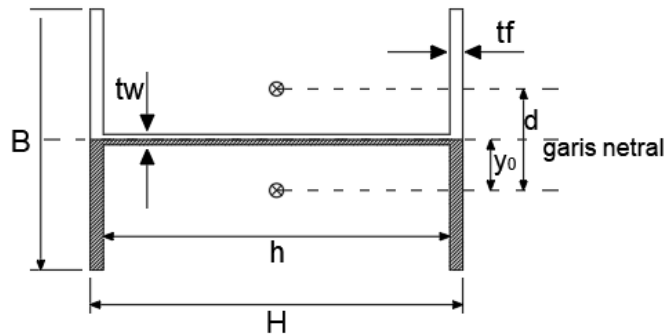
$$M_u / \phi M_n = 26,0237 / 145,809 = 0,178 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 26,2391 / 145,809 = 0,180 < 1 \text{ (aman)}$$

#### d. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

##### 1) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 25 Penampang Profil Sumbu Lemah**

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_t &= (2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\ &= (2 \times (\frac{1}{2} \times 150 \times 8)) + 296 \times \frac{1}{2} \times 8 \\ &= 2384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\ &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t} \\ &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 150 \times 8) \times \frac{1}{4} \times 150) + (296 \times \frac{1}{2} \times 8 \times \frac{1}{4} \times 8)}{2384} \\ &= 19,869 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 19,869 = 39,738 \text{ mm}$$

$$Z_y = A_t \times d = 2384 \times 39,738 = 94736 \text{ mm}^3$$

2) Leleh

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \\ &= 300 \times 94736 \leq 1,6 \times 300 \times 60168 \\ &= 28420800 \text{ Nmm} \leq 28880827,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_p \text{ pakai} = 28,421 \text{ kNm}$$

3) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Kapasitas lentur sumbu lemah yang terjadi pada profil rafter segmen 2 hanya keadaan batas leleh sebesar 28,421 kN.

$$\phi = 0,9$$

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

$$= 0,9 \times 28,421$$

$$= 25,579 \text{ kNm}$$

4) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 5,4723 / 25,579 = 0,214 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 5,7249 / 25,579 = 0,224 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 5,8137 / 25,579 = 0,227 < 1 \text{ (aman)}$$

e. Periksa Kapasitas Geser

1) Kekuatan Geser Badan

$$h = H - 2 \times t_f = 312 - 2 \times 8 = 296 \text{ mm}$$

$$A_w = h \times t_w = 296 \times 8 = 2368 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 296/8 = 37$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$h/t_w \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\phi V_n = \phi 0,6 F_y A_w C_v$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 2368 \times 1$$

$$= 383616 \text{ N}$$

$$= 383,616 \text{ kN}$$

2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f / 2t_f = 150 / (2 \times 8) = 9,375$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f / 2t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\phi V_n = \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 150 \times 8 \times 1 \\
 &= 194400 \text{ N} \\
 &= 194,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan geser nominal diatas, diambil nilai kuat geser sayap sebagai keadaan batas sebesar 194,4 kN.

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 83,803/194,4 = 0,431 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$V_u/\phi V_n = 83,664/194,4 = 0,430 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 83,886/194,4 = 0,432 < 1 \text{ (aman)}$$

### 3. Rekapitulasi Pengecekan Hasil Analisis

Rekapitulasi pengecekan hasil analisis kapasitas rafter dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan 5.22 berikut ini.

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Rafter**

Type Rafter	Type Struktur Bangunan	$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1$	$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \leq 1$	$\frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1$	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$
Rafter Segmen 1	T1	Type 2	0,184 < 1 (aman)	0,239 < 1 (aman)	0,073 < 1 (aman)
Rafter Segmen 1	T2	0,184 < 1 (aman)	0,242 < 1 (aman)	0,069 < 1 (aman)	0,112 < 1 (aman)
Rafter Segmen 1	T3	0,184 < 1 (aman)	0,238 < 1 (aman)	0,080 < 1 (aman)	0,112 < 1 (aman)
Rafter Segmen 2	T1	0,157 < 1 (aman)	0,156 < 1 (aman)	0,179 < 1 (aman)	0,214 < 1 (aman)
Rafter Segmen 2	T2	0,157 < 1 (aman)	0,178 < 1 (aman)	0,224 < 1 (aman)	0,430 < 1 (aman)
Rafter Segmen 2	T3	0,157 < 1 (aman)	0,180 < 1 (aman)	0,227 < 1 (aman)	0,432 < 1 (aman)

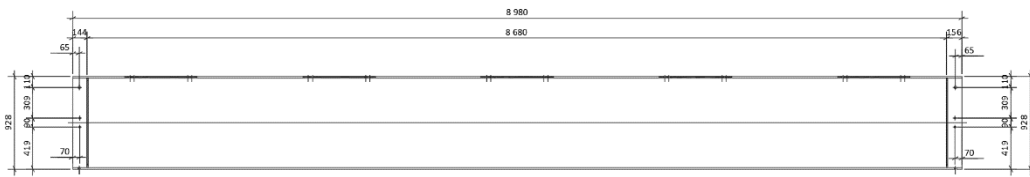
Berdasarkan Tabel 5.21 yang merupakan hasil rekapitulasi pengecekan keamanan rafter terhadap gaya aksial, momen, dan gaya geser yang terjadi,

didapatkan bahwa rafter segmen 1 dan rafter segmen 2 masih dalam kategori aman atau memenuhi persyaratan.

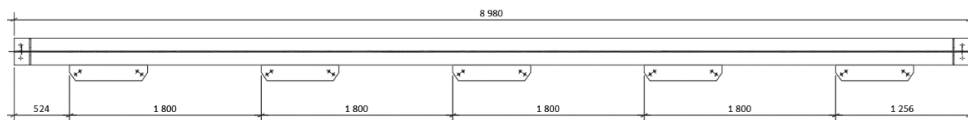
### 5.7.3 Pengecekan Kapasitas Profil Balok Rel *Overhead Crane*

#### 1. Balok Rel *Overhead Crane* IWF 928×250 (Bentang 8 m dan 9 m)

Kodefikasi balok rel *overhead crane* dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan Gambar 2.27 berikut ini.



**Gambar 5. 27 Balok Rel *Overhead Crane* (Bentang 8 m dan 9 m)**



**Gambar 5. 26 Tampak Atas Balok Rel *Overhead Crane***

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen balok rel *overhead crane* dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

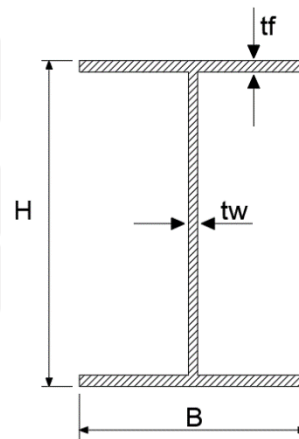
**Tabel 5. 22 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Rel *Overhead Crane***

Tipe Struktur	Tipe Kolom	Pu max	Vg max	Mux max	Muy max
		kN	kN	kNm	kNm
T1	IWF 928×250	535,754	479,03	630,6	0,3722
T2	IWF 928×250	535,669	479,038	630,5848	0,3717
T3	IWF 928×250	535,797	479,027	630,6078	0,3726

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil balok rel *overhead crane*. Dilakukan perhitungan kapasitas profil balok rel *overhead crane* bentang 9 m yang dianggap lebih kritis dibandingkan bentang 8 m.

Properti profil IWF 928×250:

$L$	$= 8980 \text{ mm}$
$H$	$= 928 \text{ mm}$
$b_f$	$= 250 \text{ mm}$
$t_w$	$= 10 \text{ mm}$
$t_f$	$= 14 \text{ mm}$
$A$	$= 16000 \text{ mm}^2$
$I_x$	$= 206955,733 \times 10^4 \text{ mm}^4$
$I_y$	$= 3653,333 \times 10^4 \text{ mm}^4$
$r_x$	$= 359,65 \text{ mm}$
$r_y$	$= 47,78 \text{ mm}$
$S_x$	$= 4460,253 \times 10^3 \text{ mm}^3$
$S_y$	$= 292,267 \times 10^3 \text{ mm}^3$
$C_w$	$= 7,63 \times 10^{12} \text{ mm}^6$
$J$	$= 762000 \text{ mm}^4$



**Gambar 5. 28 Penampang Profil**

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$F_y$	$= 300 \text{ MPa}$
$F_u$	$= 550 \text{ MPa}$
$E$	$= 200000 \text{ MPa}$
$G$	$= 77200 \text{ MPa}$

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$K = 1$$

$$L = 8680 \text{ mm}$$



$$r_y = 47,78 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 8680/47,78 = 181,65 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

## 2) Luas Penampang Efektif

$$d_{baut} = 20 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = d_{baut} + 2 \text{ mm} = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - \sum A_{baut}$$

$$= A_g - (n_{baut} \times d_{lubang} \times t_w) - (n_{baut} \times d_{lubang} \times t_f)$$

$$= 16000 - (3 \times 22 \times 10) - (2 \times 22 \times 14)$$

$$= 14724 \text{ mm}^2$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 14724 \times 1 = 14724 \text{ mm}^2$$

## 3) Kekuatan Tarik Nominal

### a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\phi = 0,9$$

$$\phi P_n = \phi F_y A_g$$

$$= 0,9 \times 300 \times 16000$$

$$= 4320000 \text{ N}$$

$$= 4320 \text{ kN}$$

### b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\phi = 0,75$$

$$\phi P_n = \phi F_u A_e$$

$$= 0,75 \times 550 \times 14724$$

$$= 6073650 \text{ N}$$

$$= 6073,65 \text{ kN}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 4320 kN.

## 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 535,754 / 4320 = 0,124 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 535,669/4320 = 0,124 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 535,797/4320 = 0,124 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (250/2)/14 = 8,929$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 900/10 = 90$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r$ , maka badan profil tidak kompak/langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 8680 \text{ mm}$$

$$r_y = 47,78 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 8980/47,78 = 181,65 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = 0,877F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(181,65)^2} = 59,822 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 0,877F_e = 0,877 \times 59,822 = 52,464 \text{ MPa}$$

## 4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = 0,877F_e$

$$\begin{aligned} F_e &= \left( \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left( \frac{\pi^2 \times 200000 \times 7,63 \times 10^{12}}{(1 \times 8680)^2} + 77200 \times 762000 \right) \frac{1}{206955,7 \times 10^4 + 3653,3 \times 10^4} \\ &= 122,847 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = 0,877F_e = 0,877 \times 122,847 = 107,736 \text{ MPa}$$

## 5) Luas Penampang

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa badan profil balok rel *overhead crane* termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk lentur dan tekuk torsi harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ ).

## a) Luas Penampang untuk Tekuk Lentur

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{52,464}} = 91,997$$

$$\lambda_w = 90$$

Karena  $\lambda_w \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 16000 - (900 - 900) \times 10 \\ &= 16000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

## b) Luas Penampang untuk Tekuk Torsi

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{107,736}} = 64,198$$

$$\lambda_w = 90$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h \left(1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left(C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y = \left(1,31 \times \frac{38,472}{90}\right)^2 \times 300 = 94,072 \text{ Nmm}$$

$$h_e = 900 \left(1 - 0,18 \sqrt{\frac{94,072}{107,736}}\right) \sqrt{\frac{94,072}{107,736}} = 699,538 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 16000 - (900 - 699,538) \times 10 \\ &= 13995,377 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 6) Kekuatan Tekan Nominal

##### a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 16000 \times 52,464 \\ &= 755477,776 \text{ N} \\ &= 755,478 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 13995,377 \times 107,736 \\ &= 1357030,972 \text{ N} \\ &= 1357,031 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua nilai kapasitas tekan diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 755,478 kN

##### c) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 535,754 / 755,478 = 0,709 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 535,669 / 755,478 = 0,709 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 535,797/755,478 = 0,709 < 1 \text{ (aman)}$$

c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (250/2)/14 = 8,929$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$

$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

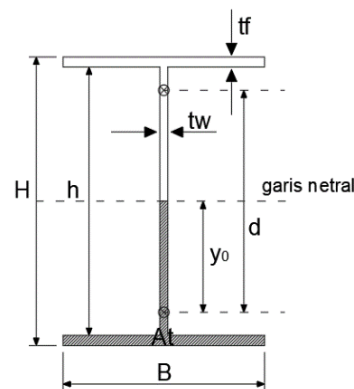
$$\lambda_w = h/t_w = 900/10 = 90$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 29 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

$$A_t = B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 250 \times 14 + \frac{1}{2} \times 900 \times 10 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$y_0 = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i}$$

$$= \frac{(B \times t_f \times (\frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f)) + (\frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h)}{A_t}$$

$$= \frac{(250 \times 14 \times (\frac{1}{2} \times 928 - \frac{1}{2} \times 14)) + (\frac{1}{2} \times 900 \times 10 \times \frac{1}{4} \times 900)}{8000}$$

$$= 326,5 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 326,5 = 653 \text{ mm}$$

$$Z_x = A_t \times d = 8000 \times 653 = 5224000 \text{ mm}^3$$

3) Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$= 300 \times 5224000$$

$$= 1567200000 \text{ Nmm}$$

$$= 1567,2 \text{ kNm}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$L_b = 1800 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 47,78 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 2171,46 \text{ mm}$$

$$c = 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{3653,333 \times 10^4 \times 7,63 \times 10^{12}}}{4460,253 \times 10^3} = 3743,226$$

$$r_{ts} = \sqrt{3743,226} = 61,182$$

$$h_0 = H - t_f = 928 - 14 = 914 \text{ mm}$$

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

$$= 5733,8 \text{ mm}$$

$L_b \leq L_p$ , maka masuk kondisi plastis sehingga tekuk torsi lateral tidak berlaku.

5) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 1567,2 kN.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 1567,2 \\ &= 1410,48 \text{ kNm}\end{aligned}$$

6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 630,6 / 1410,48 = 0,447 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

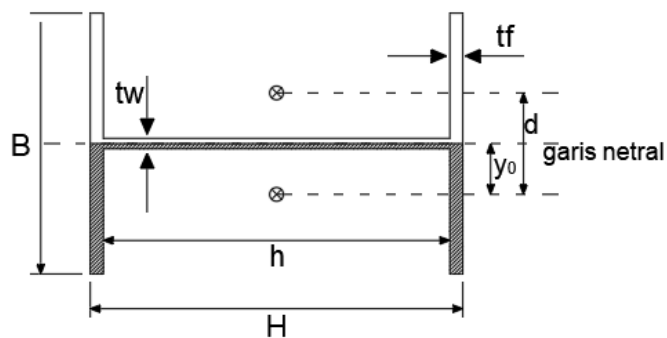
$$M_u / \phi M_n = 630,5848 / 1410,48 = 0,447 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 630,6078 / 1410,48 = 0,447 < 1 \text{ (aman)}$$

d. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

1) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 30 Penampang Profil Sumbu Lemah**

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}A_t &= (2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\ &= (2 \times (\frac{1}{2} \times 250 \times 14)) + 900 \times \frac{1}{2} 10 \\ &= 8000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t} \\
 &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 250 \times 14) \times \frac{1}{4} \times 250) + (900 \times \frac{1}{2} \times 10 \times \frac{1}{4} \times 10)}{8000} \\
 &= 28,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 28,75 = 57,5 \text{ mm}$$

$$Z_y = A_t \times d = 8000 \times 57,5 = 460000 \text{ mm}^3$$

2) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n = M_p &= F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \\
 &= 300 \times 460000 \leq 1,6 \times 300 \times 292267 \\
 &= 138000000 \text{ Nmm} \leq 140288000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_p \text{ pakai} = 138 \text{ kNm}$$

3) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 138 kNm.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 138 \\
 &= 124,2 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 0,3722 / 124,2 = 0,003 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 0,3718 / 124,2 = 0,003 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 0,3726 / 124,2 = 0,003 < 1 \text{ (aman)}$$

e. Periksa Kapasitas Geser

1) Kekuatan Geser Badan

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$



$$A_w = h \times t_w = 900 \times 10 = 9000 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 900/10 = 90$$

$$k_v = 5,34$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34 \times 200000}{300}} = 65,632$$

$$h/t_w > 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = \frac{1,1 \sqrt{k_v \times E/F_y}}{h/t_w}$$

$$C_v = \frac{65,632}{90} = 0,729$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 6000 \times 0,729 \\ &= 1063243 \text{ N} \\ &= 1063,243 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f/2t_f = 250/(2 \times 14) = 8,929$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f/2t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 250 \times 14 \times 1 \\ &= 567000 \text{ N} \\ &= 567 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan geser nominal diatas, diambil nilai kuat geser sayap sebagai keadaan batas sebesar 567 kN.

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 479,03/567 = 0,845 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$V_u/\phi V_n = 479,038/567 = 0,845 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 479,027/567 = 0,845 < 1 \text{ (aman)}$$

f. Periksa Kombinasi Lentur Dan Gaya Aksial

Apabila,  $P_u/\phi P_n > 0,2$

Maka:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

Struktur T1 ( $P_u/\phi P_n = 0,709 > 0,2$ ):

$$\frac{535,754}{755,478} + \frac{8}{9} + \left( \frac{630,6}{1410,480} + \frac{0,372}{124,200} \right) \leq 1$$

1,109  $\leq$  1 (tidak aman)

Struktur T2 ( $P_u/\phi P_n = 0,709 > 0,2$ ):

$$\frac{535,669}{755,478} + \frac{8}{9} + \left( \frac{630,585}{1410,480} + \frac{0,372}{124,200} \right) \leq 1$$

1,109  $>$  1 (tidak aman)

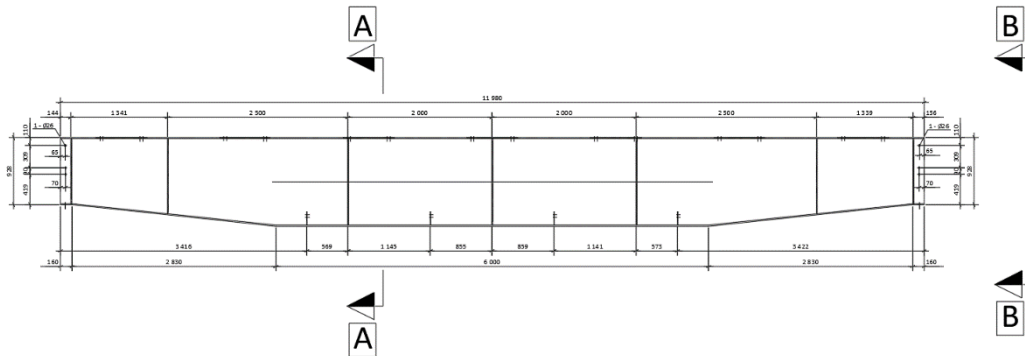
Struktur T3 ( $P_u/\phi P_n = 0,709 > 0,2$ ):

$$\frac{535,797}{755,478} + \frac{8}{9} + \left( \frac{630,608}{1410,480} + \frac{0,373}{124,200} \right) \leq 1$$

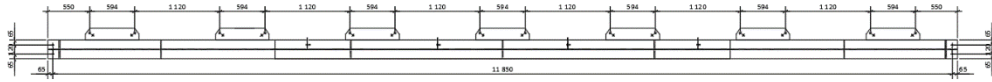
1,109  $\leq$  1 (tidak aman)

2. Balok Rell Crane (Bentang 12 m)

Kodefikasi balok rel *overhead crane* dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut ini.



Gambar 5. 31 Balok Rel *Overhead Crane* (Bentang 12 m)



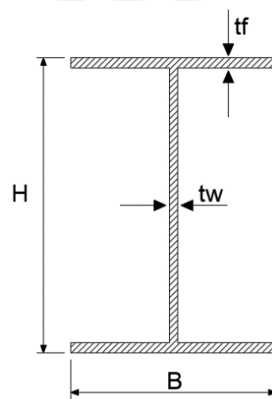
**Gambar 5. 32 Tampak Atas Balok Rel *Overhead Crane***

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen balok rel *overhead crane* dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut ini.

**Tabel 5. 23 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Rel *Overhead Crane***

Type Struktur	L m	Pu max kN	Vg max kN	Mux max kNm	Muy max kNm
T1	11980	644,151	486,297	922,3428	0,2784
T2	11980	644,319	486,330	922,4008	0,2792
T3	11980	644,412	486,347	922,4359	0,2795

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil balok rel *overhead crane* seperti berikut ini.



**Gambar 5. 33 Penampang Profil**

Properti profil

L = 11980 mm

A - A:	B - B:
$H = 1228 \text{ mm}$	$H = 928 \text{ mm}$
$B_f = 250 \text{ mm}$	$B_f = 250 \text{ mm}$
$t_w = 10 \text{ mm}$	$t_w = 10 \text{ mm}$
$t_f = 14 \text{ mm}$	$t_f = 14 \text{ mm}$
$A = 19000 \text{ mm}^2$	$A = 1600 \text{ mm}^2$
$I_x = 401925,733 \times 10^4 \text{ mm}^4$	$I_x = 206955,733 \times 10^4 \text{ mm}^4$
$I_y = 3655,833 \times 10^4 \text{ mm}^4$	$I_y = 3653,333 \times 10^4 \text{ mm}^4$
$r_x = 459,93 \text{ mm}$	$r_x = 359,65 \text{ mm}$
$r_y = 43,86 \text{ mm}$	$r_y = 47,78 \text{ mm}$
$S_x = 6546,022 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$S_x = 4460,253 \times 10^3 \text{ mm}^3$
$S_y = 292,467 \times 10^3 \text{ mm}^3$	$S_y = 292,267 \times 10^3 \text{ mm}^3$
$C_w = 1,35 \times 10^{13} \text{ mm}^6$	$C_w = 7,63 \times 10^{12} \text{ mm}^6$
$J = 862000 \text{ mm}^4$	$J = 762000 \text{ mm}^4$

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$F_y$	= 300 MPa
$F_u$	= 550 MPa
$E$	= 200000 MPa
$G$	= 77200 MPa

Perhitungan kapasitas profil balok rel *overhead crane* menggunakan penampang dari IWF 928×250 yang dianggap sebagai penampang kritis dari profil.

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$K = 1$$

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$r_y = 47,78 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 2500/47,78 = 52,32 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

2) Luas Penampang Efektif

$$d_{baut} = 20 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = d_{baut} + 2 \text{ mm} = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - \sum A_{baut} \\ &= A_g - (n_{baut} \times d_{lubang} \times t_w) - (n_{baut} \times d_{lubang} \times t_f) \\ &= 16000 - (3 \times 22 \times 10) - (2 \times 22 \times 14) \\ &= 14724 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 14724 \times 1 = 14724 \text{ mm}^2$$

### 3) Kekuatan Tarik Nominal

#### a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ \phi P_n &= \phi F_y A_g \\ &= 0,9 \times 300 \times 16000 \\ &= 4320000 \text{ N} \\ &= 4320 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\begin{aligned} \phi &= 0,75 \\ \phi P_n &= \phi F_u A_e \\ &= 0,75 \times 550 \times 14724 \\ &= 6073650 \text{ N} \\ &= 6073,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 4320 kN.

### 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 644,319 / 4320 = 0,149 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 644,151 / 4320 = 0,149 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 644,412/4320 = 0,149 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (250/2)/14 = 8,929$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 14,459$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka sayap profil kompak/tidak langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

$$\lambda_w = h/t_w = 900/10 = 90$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 38,472$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r$ , maka badan profil tidak kompak/langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$r_y = 47,78 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 2500/47,78 = 52,32 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,6122$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(52,32)^2} = 721,139 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{721,139}\right) \times 300 = 252,059 \text{ MPa}$$

4) Tekuk Torsi

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,612$$

Karena  $KL/r_y > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$

$$\begin{aligned} F_e &= \left( \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= \left( \frac{\pi^2 \times 200000 \times 7,63 \times 10^{12}}{(1 \times 2500)^2} + 77200 \times 762000 \right) \frac{1}{206955,73 \times 10^4 + 3653,3 \times 10^4} \\ &= 1172,112 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{300}{1172,112}\right) \times 300 = 269,523 \text{ MPa}$$

##### 5) Luas Penampang

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa badan profil balok rel overhead crane (bentang 12 m) termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk lentur dan tekuk torsi harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ ).

##### a) Luas Penampang untuk Tekuk Lentur

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{252,059}} = 41,971$$

$$\lambda_w = 90$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h \left(1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left(C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y = \left(1,31 \times \frac{38,472}{90}\right)^2 \times 300 = 94,072 \text{ MPa}$$

$$h_e = 900 \left(1 - 0,18 \sqrt{\frac{94,072}{252,059}}\right) \sqrt{\frac{94,072}{252,059}} = 489,361 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 16000 - (900 - 489,361) \times 10 \end{aligned}$$

$$= 11893,608 \text{ mm}^2$$

b) Luas Penampang untuk Tekuk Torsi

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 38,472 \sqrt{\frac{300}{269,523}} = 40,589$$

$$\lambda_w = 120$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$C_1 = 0,18$$

$$C_2 = 1,31$$

$$F_{el} = \left( C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y = \left( 1,49 \times \frac{38,472}{90} \right)^2 \times 300 = 94,072 \text{ MPa}$$

$$h_e = 900 \left( 1 - 0,22 \sqrt{\frac{94,072}{269,523}} \right) \sqrt{\frac{94,072}{269,523}} = 475,166 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 16000 - (900 - 475,166) \times 10 \\ &= 11751,664 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

6) Kekuatan Tekan Nominal

a) Pada Keadaan Tekuk Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 11893,608 \times 252,059 \\ &= 2698098,483 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 2698,098 \text{ kN}$$

b) Pada Keadaan Tekuk Torsi

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 11751,664 \times 269,523 \\ &= 2850613,611 \text{ N} \\ &= 2850,614 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua nilai kapasitas tekan diatas diambil nilai terkecil akibat tekuk lentur sebagai keadaan batas sebesar 2698,098 kN



## 7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u/\phi P_n = 644,319/2698,098 = 0,239 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 644,151/2698,098 = 0,239 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 644,412/2698,098 = 0,239 < 1 \text{ (aman)}$$

## c. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

## 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$\lambda_f = b/t = (250/2)/14 = 8,929$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 9,812$$

$$\lambda_{rf} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 25,820$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

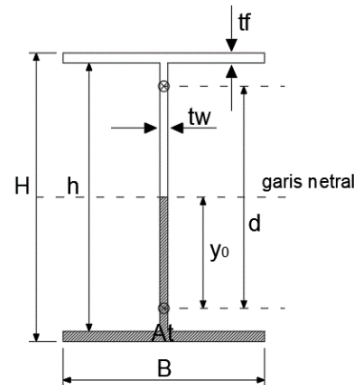
$$\lambda_w = h/t_w = 900/10 = 90$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 97,083$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 147,173$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 34 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$\begin{aligned}
 h &= H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm} \\
 A_t &= B \times t_f + \frac{1}{2} h \times t_w = 250 \times 14 + \frac{1}{2} \times 900 \times 10 = 8000 \text{ mm}^2 \\
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(B \times t_f \times (\frac{1}{2}H - \frac{1}{2}t_f)) + (\frac{1}{2}h \times t_w \times \frac{1}{4}h)}{A_t} \\
 &= \frac{(250 \times 14 \times (\frac{1}{2} \times 928 - \frac{1}{2} \times 14)) + (\frac{1}{2} \times 900 \times 10 \times \frac{1}{4} \times 900)}{8000} \\
 &= 326,5 \text{ mm} \\
 d &= 2 \times y_0 = 2 \times 326,5 = 653 \text{ mm} \\
 Z_x &= A_t \times d = 8000 \times 653 = 5224000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

3) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = F_y Z_x \\
 &= 300 \times 5224000 \\
 &= 1567200000 \text{ Nmm} \\
 &= 1567,2 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi-Lateral

$$\begin{aligned}
 L_b &= 1714 \text{ mm} \\
 L_p &= 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 47,78 \times \sqrt{\frac{200000}{300}} = 2171,46 \text{ mm} \\
 c &= 1 \text{ (Profil I simetris ganda)}
 \end{aligned}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{3653,333 \times 10^4 \times 7,63 \times 10^{12}}}{4460,253 \times 10^3} = 3743,226$$

$$r_{ts} = \sqrt{3743,226} = 61,182$$

$$h_0 = H - t_f = 928 - 14 = 914 \text{ mm}$$

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

$$= 5733,8 \text{ mm}$$

$L_b \leq L_p$ , maka masuk kondisi plastis sehingga tekuk torsi lateral tidak berlaku.

#### 5) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 1567,2 kNm.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 1567,2 \\ &= 1410,48 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Kuat

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 922,3428 / 1410,48 = 0,654 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

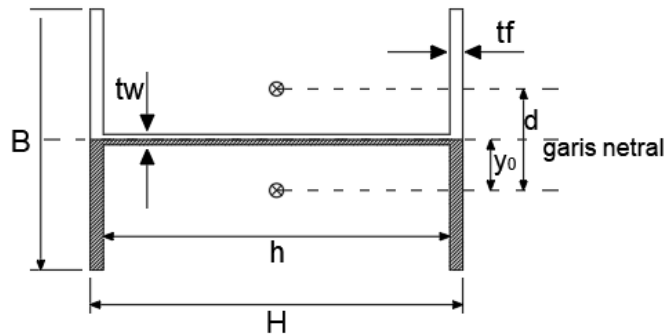
$$M_u / \phi M_n = 922,4002 / 1410,48 = 0,654 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 922,4359 / 1410,48 = 0,654 < 1 \text{ (aman)}$$

#### d. Periksa Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

##### 1) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 35 Penampang Profil Sumbu Lemah**

$$\begin{aligned}
 h &= H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm} \\
 A_t &= (2 \times (\frac{1}{2} \times B \times t_f)) + h \times \frac{1}{2} t_w \\
 &= (2 \times (\frac{1}{2} \times 250 \times 14)) + 900 \times \frac{1}{2} 10 \\
 &= 8000 \text{ mm}^2 \\
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} B \times t_f) \times \frac{1}{4} B) + (h \times \frac{1}{2} t_w \times \frac{1}{4} t_w)}{A_t} \\
 &= \frac{(2 \times (\frac{1}{2} \times 250 \times 14) \times \frac{1}{4} \times 250) + (900 \times \frac{1}{2} \times 10 \times \frac{1}{4} \times 10)}{8000} \\
 &= 28,75 \text{ mm} \\
 d &= 2 \times y_0 = 2 \times 28,75 = 57,5 \text{ mm} \\
 Z_y &= A_t \times d = 8000 \times 57,5 = 460000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

2) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n = M_p &= F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \\
 &= 300 \times 460000 \leq 1,6 \times 300 \times 292267 \\
 &= 138000000 \text{ Nmm} \leq 140288000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_p \text{ pakai} = 138 \text{ kNm}$$

3) Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal sumbu kuat diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 138 kNm.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 138 \\ &= 124,2 \text{ kNm}\end{aligned}$$

5) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal Sumbu Lemah

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 0,2792 / 124,2 = 0,002 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 0,2784 / 124,2 = 0,002 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 0,2795 / 124,2 = 0,002 < 1 \text{ (aman)}$$

e. Periksa Kapasitas Geser

1) Kekuatan Geser Badan

$$h = H - 2 \times t_f = 928 - 2 \times 14 = 900 \text{ mm}$$

$$A_w = h \times t_w = 900 \times 10 = 9000 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 900/10 = 90$$

$$k_v = 5,34$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34 \times 200000}{300}} = 65,632$$

$$h/t_w > 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = \frac{1,1 \sqrt{k_v \times E / F_y}}{h/t_w}$$

$$C_v = \frac{65,632}{90} = 0,729$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 6000 \times 0,729 \\ &= 1063243 \text{ N} \\ &= 1063,243 \text{ kN}\end{aligned}$$

2) Kekuatan Geser Sayap

$$b_f / 2t_f = 250 / (2 \times 14) = 8,929$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{300}} = 57,837$$

$$b_f/2t_f \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y b_f t_f C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 300 \times 250 \times 14 \times 1 \\ &= 567000 \text{ N} \\ &= 567 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan geser nominal diatas, diambil nilai kuat geser sayap sebagai keadaan batas sebesar 567 kN.

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 486,330/567 = 0,858 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$V_u/\phi V_n = 486,297/567 = 0,858 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 486,347/567 = 0,858 < 1 \text{ (aman)}$$

### f. Periksa Kombinasi Lentur Dan Gaya Aksial

Apabila,  $P_u/\phi P_n > 0,2$

Maka:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

Struktur T1 ( $P_u/\phi P_n = 0,239 > 0,2$ ):

$$\begin{aligned} \frac{644,319}{2 \times 2698,098} + \frac{8}{9} + \left( \frac{922,400}{1410,480} + \frac{0,279}{124,200} \right) &\leq 1 \\ 0,822 &\leq 1 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

Struktur T2 ( $P_u/\phi P_n = 0,239 > 0,2$ ):

$$\begin{aligned} \frac{644,151}{2 \times 2698,098} + \frac{8}{9} + \left( \frac{922,343}{1410,480} + \frac{0,278}{124,200} \right) &\leq 1 \\ 0,822 &\leq 1 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

Struktur T3 ( $P_u/\phi P_n = 0,239 > 0,2$ ):

$$\frac{644,412}{2 \times 2698,098} + \frac{8}{9} + \left( \frac{922,436}{1410,480} + \frac{0,280}{124,200} \right) \leq 1$$

$$0,822 \leq 1 \text{ (aman)}$$

3. Rekapitulasi Pengecekan Hasil Analisis Balok Rel *Overhead Crane*

Rekapitulasi pengecekan hasil analisis kapasitas balok rel *overhead crane* dapat dilihat pada Tabel 5.24 dan 5.25 berikut ini.

**Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan  
Balok Rel *Overhead Crane***

Tipe Balok	Tipe Struktur Bangunan	$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1$	$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \leq 1$	$\frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1$	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$
Rel Crane Bentang 8 m dan 9m	T1	0,709 < 1 (aman)	0,447 < 1 (aman)	0,003 < 1 (aman)	0,845 < 1 (aman)
Rel Crane Bentang 8 m dan 9m	T2	0,709 < 1 (aman)	0,447 < 1 (aman)	0,003 < 1 (aman)	0,845 < 1 (aman)
Rel Crane Bentang 8 m dan 9m	T3	0,709 < 1 (aman)	0,447 < 1 (aman)	0,003 < 1 (aman)	0,845 < 1 (aman)
Rel Crane Bentang 12 m	T1	0,239 < 1 (aman)	0,654 < 1 (aman)	0,002 < 1 (aman)	0,858 < 1 (aman)
Rel Crane Bentang 12 m	T2	0,239 < 1 (aman)	0,654 < 1 (aman)	0,002 < 1 (aman)	0,858 < 1 (aman)
Rel Crane Bentang 12 m	T3	0,239 < 1 (aman)	0,654 < 1 (aman)	0,002 < 1 (aman)	0,858 < 1 (aman)

**Tabel 5. 25 Rekapitulasi Pengecekan Kombinasi Aksial Lentur Balok Overhead Crane**

Tipe Balok	Tipe Struktur Bangunan	Aksial Lentur	Cek $\leq 1$
Rel Crane Bentang 8 m dan 9 m	T1	1,109	Tidak Aman
Rel Crane Bentang 8 m dan 9 m	T2	1,109	Tidak Aman
Rel Crane Bentang 8 m dan 9 m	T3	1,109	Tidak Aman
Rel Crane Bentang 12 m	T1	0,822	Aman
Rel Crane Bentang 12 m	T2	0,822	Aman
Rel Crane Bentang 12 m	T3	0,822	Aman

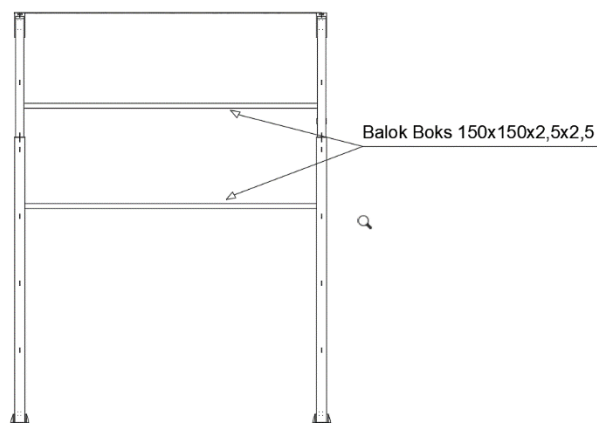
Berdasarkan Tabel 5.24 yang merupakan hasil rekapitulasi pengecekan keamanan balok *overhead crane* terhadap gaya aksial, momen, dan gaya geser yang terjadi, didapatkan bahwa balok *overhead crane* pada bentang 8 m, bentang 9 m dan bentang 12 m masih dalam kategori aman atau memenuhi persyaratan. Pengecekan kombinasi aksial-lentur balok *overhead crane* berdasarkan SNI 1729:2020 menyatakan bahwa kombinasi aksial-lentur harus  $\leq 1$ . Pengecekan kombinasi aksial-lentur pada balok *overhead crane* dilakukan dikarenakan gaya aksial yang besar akibat kombinasi pembebanan  $1,2D+1,6L+0,5(L_r \text{ atau } R)$  yang dimana beban *overhead crane* pada PEMODELAN diasumsikan sebagai beban hidup (*live load*) sehingga didapatkan hasil perhitungan kombinasi aksial-lentur balok *overhead crane* bentang 8 m dan 9 m masuk dalam kategori tidak aman dikarenakan  $> 1$ , sedangkan untuk bentang 12 m kombinasi aksial-lentur masuk dalam kategori aman.



#### 5.7.4 Pengecekan Kapasitas Profil Balok Boks

##### 1. Balok Boks 150×150×2,5×2,5 (Bentang 8 m dan 9 m)

Pada struktur bangunan ini balok boks 150×150×2,5×2,5 hanya terdapat di antara kolom dengan bentang 8 m dan 9 m. Kodefikasi balok boks 150×150×2,5×2,5 dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut ini.



**Gambar 5. 36 Kodefikasi Balok Boks  
150×150×2,5×2,5**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen balok boks 150×150×2,5×2,5 dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut ini.

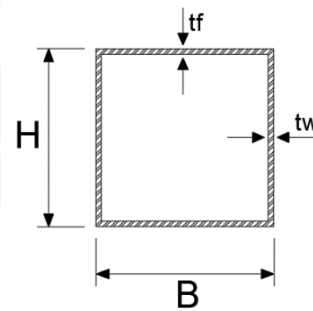
**Tabel 5. 26 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Boks  
150×150×2,5×2,5**

Tipe Struktur	Tipe Balok	Pu max	Vg max	Mux max
		kN	kN	kNm
T1	Boks 150×150	0	0,715	1,6096
T2	Boks 150×150	0	0,715	1,6096
T3	Boks 150×150	0	0,715	1,6096

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil balok boks 150×150×2,5×2,5. Perhitungan kapasitas profil dilakukan pada bentang 9 m yang dianggap lebih kritis dibandingkan bentang 8 m.

Properti profil Boks 150×150:

$$\begin{aligned}
 L &= 8978 \\
 H &= 150 \text{ mm} \\
 B &= 150 \text{ mm} \\
 t_w &= 2,5 \text{ mm} \\
 t_f &= 2,5 \text{ mm} \\
 A &= 1475 \text{ mm}^2 \\
 I_x &= 534,995 \times 10^4 \text{ mm}^4 \\
 I_y &= 534,995 \times 10^4 \text{ mm}^4 \\
 r_x &= 60,23 \text{ mm} \\
 r_y &= 60,23 \text{ mm} \\
 S_x &= 71,333 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\
 S_y &= 71,333 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\
 J &= 3072,917 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$



**Gambar 5. 37 Penampang Profil**

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$\begin{aligned}
 F_y &= 225 \text{ MPa} \\
 F_u &= 455 \text{ MPa} \\
 E &= 200000 \text{ MPa} \\
 G &= 77200 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$L = 8978 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 60,23 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 8978/60,23 = 149,074 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

## 2) Luas Penampang Efektif

$$A_n = A_g$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 1475 \times 1 = 1475 \text{ mm}^2$$

## 3) Kekuatan Tarik Nominal

## a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_y A_g \\ &= 0,9 \times 225 \times 1475 \\ &= 298687,500 \text{ N} \\ &= 298,688 \text{ kN} \end{aligned}$$

## b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_u A_e \\ &= 0,75 \times 455 \times 1475 \\ &= 503343,750 \text{ N} \\ &= 503,344 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 298,688 kN.

## 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 298,688 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 298,688 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 298,688 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

## b. Periksa Kapasitas Tekan

## 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

$$\lambda_f = b/t = (150 - 2 \times 2,5) / 2,5 = 58$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka profil tidak kompak/langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$L = 8978 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 60,23 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 8978/60,23 = 149,074 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 140,425$$

Karena  $KL/r_y > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = 0,877 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(149,074)^2} = 88,824 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e = 0,877 \times 88,824 = 77,898 \text{ MPa}$$

4) Luas Penampang Efektif ( $A_e$ )

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa profil balok boks  $150 \times 150 \times 2,5 \times 2,5$  termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk lentur harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ ).

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 44,423 \sqrt{\frac{225}{77,898}} = 75,498$$

$$\lambda_w = 58$$

Karena  $\lambda_w \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h$

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 1475 - (145 - 145) \times 2,5 \\ &= 1475 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

## 5) Kekuatan Tekan Nominal

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 1475 \times 77,898 \\ &= 103409,918 \text{ N} \\ &= 103,410 \text{ kN}\end{aligned}$$

## 6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 103,410 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 103,410 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 103,410 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

## c. Periksa Kapasitas Lentur

## 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$b = H - 2 \times t_w = 150 - 2 \times 2,5 = 145$$

$$\lambda_f = b/t = 145/2,5 = 58$$

$$\lambda_{pf} = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 33,392$$

$$\lambda_{rf} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f > \lambda_{rf}$ , maka sayap profil langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145$$

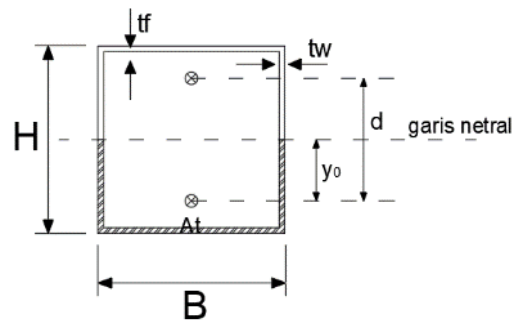
$$\lambda_w = h/t_w = 145/2,5 = 58$$

$$\lambda_{pw} = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 72,150$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 169,941$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



Gambar 5. 38 Penampang Profil Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 h &= H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145 \text{ mm} \\
 A_t &= 2 \times \frac{1}{2} h \times t_w + B \times t_f \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 145 \times 2,5 + 150 \times 2,5 = 737,5 \text{ mm}^2 \\
 y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\
 &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} h \times t_w \times \frac{1}{4} h) + (B \times t_f \times (\frac{1}{2} h - \frac{1}{2} t_w))}{A_t} \\
 &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} \times 145 \times 2,5 \times \frac{1}{4} \times 145) + (150 \times 2,5 \times (\frac{1}{2} \times 145 - \frac{1}{2} \times 2,5))}{737,5} \\
 &= 55,32 \text{ mm} \\
 d &= 2 \times y_0 = 2 \times 55,32 = 110,64 \text{ mm} \\
 Z &= A_t \times d = 737,5 \times 110,64 = 81593,75 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

## 3) Leleh

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = F_y Z_x \\
 &= 225 \times 81593,75 \\
 &= 18358593,75 \text{ Nmm} \\
 &= 18,359 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 4) Tekuk Lokal Sayap

$$\begin{aligned}
 b_e &= 1,92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[ 1 - \frac{0,38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \\
 &= 1,92 \times 2,5 \sqrt{\frac{200000}{225}} \left[ 1 - \frac{0,38}{145/2,5} \sqrt{\frac{200000}{225}} \right] \leq 145 \\
 &= 118,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_y &= \frac{1}{2}b_e = \frac{1}{2} \times 118,931 = 59,465 \text{ mm} \\
 S_e &= I_y/e_y = 534,995 \times 10^4/59,465 = 89967,58 \text{ mm}^3 \\
 M_n &= F_y S_e = 225 \times 89967,58 \\
 &= 20242705,523 \text{ Nmm} \\
 &= 20,243 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 5) Tekuk Torsi Lateral

$$\begin{aligned}
 L_b &= 8978 \text{ mm} \\
 L_p &= 0,13E r_y \frac{\sqrt{JAg}}{M_p} \\
 &= 0,13 \times 200000 \times 60,23 \times \frac{\sqrt{3072,917 \times 1475}}{18358594} \\
 &= 181,587 \text{ mm} \\
 L_r &= 2E r_y \frac{\sqrt{JAg}}{0,7F_y S_x} \\
 &= 2 \times 200000 \times 60,23 \times \frac{\sqrt{3072,917 \times 1475}}{0,7 \times 225 \times 71333} \\
 &= 4565,006 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$L_b > L_r$ , maka masuk kondisi elastik.

Struktur Tipe 1:

$$M_{maks} = 1,6096 \text{ kNm}$$

$$M_A = 1,2022 \text{ kNm}$$

$$M_B = 1,6096 \text{ kNm}$$

$$M_C = 1,2022 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 1,6096}{2,5 \times 1,6096 + 3 \times 1,2022 + 4 \times 1,6096 + 3 \times 1,2022} \\
 &= 1,138
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 2EC_b \frac{\sqrt{JAg}}{L_b/r_y} \leq M_p \\
 &= 2 \times 200000 \times 1,138 \frac{\sqrt{3072,917 \times 1475}}{8978/60,23} \leq 18,359 \text{ kNm} \\
 &= 79,393 \text{ kNm} \leq 18,359 \text{ kNm} \\
 &= 18,359 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan Momen Nominal ( $M_n$ ) tekuk torsi-lateral untuk struktur tipe 2 sebesar 18,359 kNm dan struktur tipe 3 sebesar 18,359 kNm

6) Kekuatan Lentur Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal diatas, diambil nilai terkecil akibat leleh sebagai keadaan batas sebesar 18,359 kN.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 18,359 \\ &= 16,253 \text{ kNm}\end{aligned}$$

7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 1,6096 / 16,253 = 0,097 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 1,6096 / 16,253 = 0,097 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 1,6096 / 16,253 = 0,097 < 1 \text{ (aman)}$$

d. Periksa Kapasitas Geser

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \times h \times t_w = 2 \times 145 \times 2,5 = 725 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 145/2,5 = 58$$

$$k_v = 5$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{225}} = 73,333$$

$$h/t_w \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 225 \times 725 \times 1 \\ &= 88087,5 \text{ N}\end{aligned}$$



$$= 88,088 \text{ kN}$$

Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 0,715/88,088 = 0,008 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

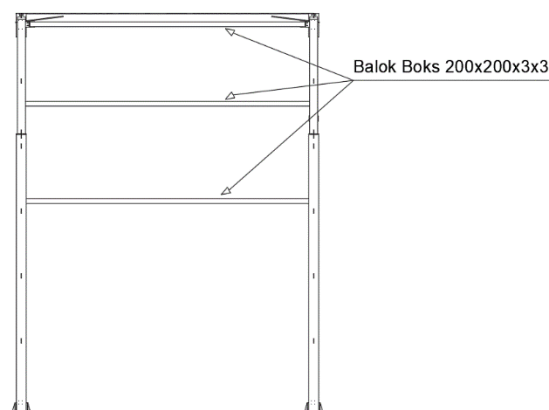
$$V_u/\phi V_n = 0,715/88,088 = 0,008 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 0,715/88,088 = 0,008 < 1 \text{ (aman)}$$

2. Balok Boks 200×200×3×3 (Bentang 12 m)

Pada struktur bangunan ini balok boks 200×200×3×3 hanya terdapat di antara kolom dengan bentang 12 m. Kodefikasi balok boks 200×200×3×3 dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut ini.



**Gambar 5.39 Kodefikasi Balok Boks  
200×200×3×3**

Hasil rekapitulasi *output* dari *SAP2000* yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen boks 200×200×3×3 dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut ini.

**Tabel 5. 27 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Boks 200×200×3×3**

Tipe Struktur	Tipe Kolom	L	Pu max	Vg max	Mux max
		mm	kN	kN	kNm
T1	Boks 200×200	11972	0	1,529	4,586
T2	Boks 200×200	11972	0	1,529	4,586
T3	Boks 200×200	11972	0	1,529	4,586

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari *SAP2000*, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil balok boks 200×200×3×3 seperti berikut ini.

Properti profil Boks 200×200:

$$L = 11972 \text{ mm}$$

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$B = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 3 \text{ mm}$$

$$t_f = 3 \text{ mm}$$

$$A = 2364 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1529,429 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1529,429 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 80,43 \text{ mm}$$

$$r_y = 80,43 \text{ mm}$$

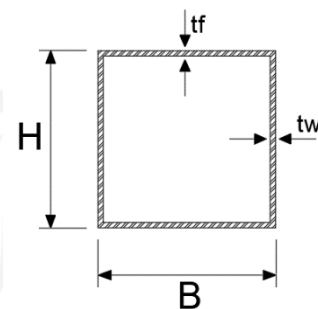
$$S_x = 152,943 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 152,943 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$J = 7092 \text{ mm}^4$$

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 225 \text{ MPa}$$



**Gambar 5. 40 Penampang Profil**

$$F_u = 455 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$L = 11972 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 80,43 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 11972/80,43 = 148,842 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

2) Luas Penampang Efektif

$$A_n = A_g$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 2364 \times 1 = 2364 \text{ mm}^2$$

3) Kekuatan Tarik Nominal

a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_y A_g \\ &= 0,9 \times 225 \times 2364 \\ &= 478710 \text{ N} \\ &= 478,710 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_u A_e \\ &= 0,75 \times 455 \times 2364 \\ &= 806715 \text{ N} \\ &= 806,715 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 478,710 kN.

4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u/\phi P_n = 0/478,710 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 0/478,710 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 0/478,710 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

$$\lambda_f = b/t = (200 - 2 \times 3)/3 = 64,667$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka profil tidak kompak/ langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1$$

$$L = 11972 \text{ mm}$$

$$r_y = 60,23 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 11972/60,23 = 198,937 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 140,425$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = 0,877F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(198,937)^2} = 89,100 \text{ Nmm}$$

$$F_{cr} = 0,877F_e = 0,877 \times 89,100 = 78,141 \text{ Nmm}$$

4) Luas Penampang Efektif ( $A_e$ )

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa profil boks 200×200×3×3 termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan

nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk lentur harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ ).

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 44,423 \sqrt{\frac{225}{78,141}} = 75,381$$

$$\lambda = 64,667$$

Karena  $\lambda < \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h$

$$h = H - 2 \times t_f = 200 - 2 \times 3 = 194 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 2364 - (194 - 194) \times 3 \\ &= 2364 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

5) Kekuatan Tekan Nominal

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 2364 \times 78,141 \\ &= 166252,355 \text{ N} \\ &= 166,252 \text{ kN} \end{aligned}$$

6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 166,252 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 166,252 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 0 / 166,252 = 0 < 1 \text{ (aman)}$$

c. Periksa Kapasitas Lentur

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$b = H - 2 \times t_w = 200 - 2 \times 3 = 194$$

$$\lambda_f = b/t = 194/3 = 64,667$$

$$\lambda_{pf} = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 33,392$$

$$\lambda_{rf} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f > \lambda_{rf}$ , maka sayap profil langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 200 - 2 \times 3 = 194$$

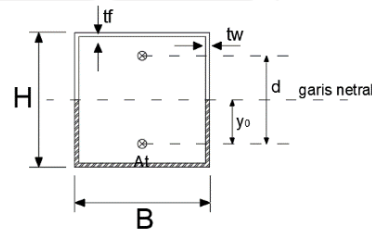
$$\lambda_w = h/t_w = 194/3 = 64,667$$

$$\lambda_{pw} = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 72,150$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 169,941$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 41 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 200 - 2 \times 3 = 194$$

$$\begin{aligned} A_t &= 2 \times \frac{1}{2} h \times t_w + B \times t_f \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 194 \times 3 + 200 \times 3 = 1182 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\ &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} h \times t_w \times \frac{1}{4} h) + (B \times t_f \times (\frac{1}{2} h - \frac{1}{2} t_w))}{A_t} \\ &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} \times 194 \times 3 \times \frac{1}{4} \times 194) + (200 \times 3 \times (\frac{1}{2} \times 194 - \frac{1}{2} \times 3))}{1182} \\ &= 73,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 73,88 = 147,76 \text{ mm}$$

$$Z_x = A_t \times d = 1182 \times 147,76 = 174654 \text{ mm}^3$$

## 3) Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$\begin{aligned}
 &= 225 \times 174654 \\
 &= 39297150 \text{ Nmm} \\
 &= 39,297 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 4) Tekuk Lokal Sayap

$$\begin{aligned}
 b_e &= 1,92t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[ 1 - \frac{0,38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \\
 &= 1,92 \times 3 \sqrt{\frac{200000}{225}} \left[ 1 - \frac{0,38}{194/3} \sqrt{\frac{200000}{225}} \right] \leq 194 \\
 &= 145,618 \text{ mm} \\
 e_y &= \frac{1}{2} b_e = \frac{1}{2} \times 145,6 = 72,809 \text{ mm} \\
 S_e &= I_y / e_y = 1529,429 \times 10^4 / 72,809 = 210060,429 \text{ mm}^3 \\
 M_n &= F_y S_e = 225 \times 210060,429 \\
 &= 47263596,691 \text{ Nmm} \\
 &= 47,264 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 5) Tekuk Torsi Lateral

$$\begin{aligned}
 L_b &= 11972 \text{ mm} \\
 L_p &= 0,13 E r_y \frac{\sqrt{J A_g}}{M_p} \\
 &= 0,13 \times 200000 \times 80,43 \times \frac{\sqrt{7092 \times 2364}}{39297150} \\
 &= 217,902 \text{ mm} \\
 L_r &= 2 E r_y \frac{\sqrt{J A_g}}{0,7 F_y S_x} \\
 &= 2 \times 200000 \times 80,43 \times \frac{\sqrt{7092 \times 2364}}{0,7 \times 225 \times 152943} \\
 &= 5468,889 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$L_b > L_r$ , maka masuk kondisi elastik.

Struktur Tipe 1:

$$\begin{aligned}
 M_{maks} &= 4,586 \text{ kNm} \\
 M_A &= 3,4395 \text{ kNm} \\
 M_B &= 4,586 \text{ kNm} \\
 M_C &= 3,4395 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{12,5 \times 4,586}{2,5 \times 4,586 + 3 \times 3,4395 + 4 \times 4,586 + 3 \times 3,4395}$$

$$= 1,136$$

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{JAg}}{L_b/r_y} \leq M_p$$

$$= 2 \times 200000 \times 1,136 \frac{\sqrt{7092 \times 2364}}{11972/80,43} \leq 39,297 \text{ kNm}$$

$$= 152,554 \text{ kNm} \leq 39,297 \text{ kNm}$$

$$= 39,297 \text{ kNm}$$

Dengan cara yang sama didapatkan Momen Nominal ( $M_n$ ) tekuk torsi-lateral untuk struktur tipe 2 sebesar 39,297 kNm dan struktur tipe 3 sebesar 39,297 kNm

6) Kekuatan Lentur Nominal

$$\phi = 0,9$$

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

$$= 0,9 \times 39,297$$

$$= 35,367 \text{ kNm}$$

7) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal

Struktur T1:

$$M_u / \phi M_n = 4,586 / 35,367 = 0,130 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u / \phi M_n = 4,586 / 35,367 = 0,130 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u / \phi M_n = 4,586 / 35,367 = 0,130 < 1 \text{ (aman)}$$

d. Periksa Kapasitas Geser

$$h = H - 2 \times t_f = 200 - 2 \times 3 = 194 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \times h \times t_w = 2 \times 194 \times 3 = 1164 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 194/3 = 64,667$$

$$k_v = 5$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{225}} = 73,333$$



$$h/t_w \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 225 \times 1164 \times 1 \\ &= 141426 \text{ N} \\ &= 141,426 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Struktur Tipe 1:

$$V_u / \phi V_n = 1,529 / 141,426 = 0,011 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 2:

$$V_u / \phi V_n = 1,529 / 141,426 = 0,011 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 3:

$$V_u / \phi V_n = 1,529 / 141,426 = 0,011 < 1 \text{ (aman)}$$

### 3. Rekapitulasi Pengecekan Hasil Analisis Balok Boks

Rekapitulasi pengecekan hasil analisis kapasitas balok boks dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut ini.

**Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Balok Boks**

Tipe Balok	Tipe Struktur	$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1$	$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \leq 1$	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$
Boks Bentang 8 m dan 9 m	T1	$0 < 1$ (aman)	$0,097 < 1$ (aman)	$0,008 < 1$ (aman)
Boks Bentang 8 m dan 9 m	T2	$0 < 1$ (aman)	$0,097 < 1$ (aman)	$0,008 < 1$ (aman)
Boks Bentang 8 m dan 9 m	T3	$0 < 1$ (aman)	$0,097 < 1$ (aman)	$0,008 < 1$ (aman)
Boks Bentang 12 m	T1	$0 < 1$ (aman)	$0,130 < 1$ (aman)	$0,011 < 1$ (aman)
Boks Bentang 12 m	T2	$0 < 1$ (aman)	$0,130 < 1$ (aman)	$0,011 < 1$ (aman)
Boks Bentang 12 m	T3	$0 < 1$ (aman)	$0,130 < 1$ (aman)	$0,011 < 1$ (aman)

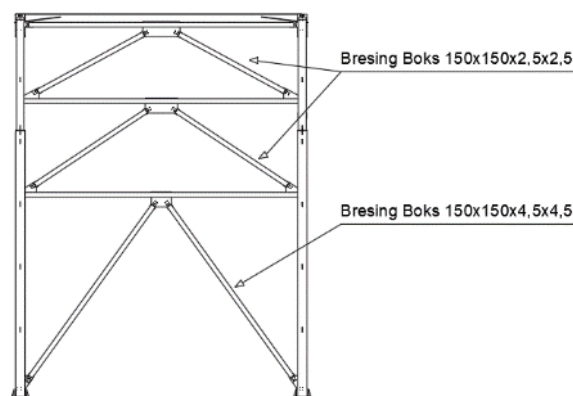
Berdasarkan Tabel 5.28 yang merupakan hasil rekapitulasi pengecekan keamanan balok boks terhadap gaya aksial, momen, dan gaya geser yang terjadi, didapatkan bahwa balok boks bentang 8 m, 9 m, dan 12 m masih dalam kategori aman atau memenuhi persyaratan.

#### 5.7.5 Pengecekan Kapasitas Profil Pengaku

Pada struktur bangunan ini pengaku hanya terdapat di antara kolom dengan bentang 8 m dan 9 m. Perhitungan kapasitas pengaku boks adalah sebagai berikut ini.

##### 1. Pengaku Boks 150×150×4,5×4,5 (Pengaku 1)

Kodefikasi pengaku dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut ini



**Gambar 5. 42 Kodefikasi Pengaku**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen boks 150×150×4,5×4,5 dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut ini.

**Tabel 5. 29 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Pengaku 150×150×4,5×4,5**

Tipe Struktur	Tipe Kolom	Pu max	Vg max	Mux max
		kN	kN	kNm
T1	Boks 150×150	27,827	0,635	1,2552
T2	Boks 150×150	20,217	0,635	1,2552
T3	Boks 150×150	36,813	0,635	1,2552

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil pengaku seperti berikut ini. Dilakukan perhitungan kapasitas profil pengaku boks  $150 \times 150 \times 4,5 \times 4,5$  pada bentang 9 m yang dianggap lebih kritis dibandingkan bentang 8 m.

Properti profil Boks  $150 \times 150$ :

$$H = 150 \text{ mm}$$

$$B = 150 \text{ mm}$$

$$t_w = 4,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 4,5 \text{ mm}$$

$$A = 2619 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 924,965 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 924,965 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

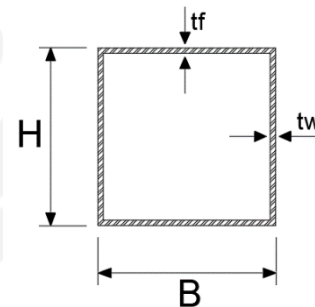
$$r_x = 59,43 \text{ mm}$$

$$r_y = 59,43 \text{ mm}$$

$$S_x = 123,329 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 123,329 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$J = 1678,25 \text{ mm}^4$$



**Gambar 5. 43 Penampang Profil**

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 225 \text{ MPa}$$

$$F_u = 455 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$L = 6732 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 59,43 \text{ mm}$$

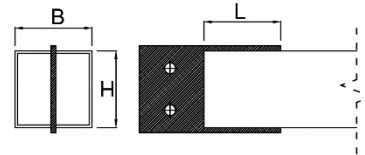
$$KL/r_y = 1 \times 6732/59,43 = 113,28 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

2) Luas Penampang Efektif

$$t_{pelat} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - \sum A_{\text{yang terbangun akibat pelat}} \\ &= A_g - (2 \times t_f \times t_{pelat}) \\ &= 2619 - (2 \times 4,5 \times 10) \\ &= 2529 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{H^2 + 2BH}{4(B+H)} \\ &= \frac{150^2 + 2 \times 150 \times 150}{4(150+150)} \\ &= 56,25 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 5. 44 Detail Sambungan Pengaku**

$$l = 150 \text{ mm}$$

$$U = \frac{\bar{x}}{l} = \frac{56,25}{150} = 0,63$$

$$A_e = A_n U = 2529 \times 0,63 = 1580,63 \text{ mm}^2$$

### 3) Kekuatan Tarik Nominal

#### a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_y A_g \\ &= 0,9 \times 225 \times 2619 \\ &= 530347,5 \text{ N} \\ &= 530,348 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_u A_e \\ &= 0,75 \times 455 \times 1580,63 \\ &= 539388,281 \text{ N} \\ &= 539,388 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 530,348 kN.

### 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u/\phi P_n = 27,827/530,348 = 0,052 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 20,217/530,348 = 0,038 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 36,813/530,348 = 0,069 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

$$\lambda_f = b/t = (150 - 2 \times 4,5)/4,5 = 31,333$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka profil kompak/tidak langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$L = 6732 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 59,43 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 6732/59,43 = 113,279 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 140,425$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(113,279)^2} = 153,827 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0,658^{\frac{225}{153,827}}\right) \times 225 = 121,984 \text{ Mpa}$$

4) Kekuatan Tekan Nominal

$$\phi = 0,9$$

$$\phi P_n = \phi \times A_g \times F_{cr}$$

$$= 0,9 \times 2619 \times 121,984$$

$$= 287529,313 \text{ N}$$

$$= 287,529 \text{ kN}$$

## 5) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u/\phi P_n = 28,827/287,529 = 0,097 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u/\phi P_n = 20,217/287,529 = 0,070 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u/\phi P_n = 36,813/287,529 = 0,128 < 1 \text{ (aman)}$$

## c. Periksa Kapasitas Lentur

## 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$b = H - 2 \times t_w = 150 - 2 \times 4,5 = 141$$

$$\lambda_f = b/t = 141/4,5 = 31,333$$

$$\lambda_{pf} = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 33,392$$

$$\lambda_{rf} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka sayap profil kompak.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 4,5 = 141 \text{ mm}$$

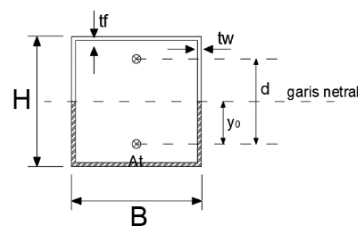
$$\lambda_w = h/t_w = 141/4,5 = 31,333$$

$$\lambda_{pw} = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 72,150$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 169,941$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw} < \lambda_{rw}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 45 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 4,5 = 141 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_t &= 2 \times \frac{1}{2} h \times t_w + B \times t_f \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 141 \times 4,5 + 150 \times 4,5 = 1309,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\ &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} h \times t_w \times \frac{1}{4} h) + (B \times t_f \times (\frac{1}{2} h - \frac{1}{2} t_w))}{A_t} \\ &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} \times 141 \times 4,5 \times \frac{1}{4} \times 141) + (150 \times 4,5 \times (\frac{1}{2} \times 141 - \frac{1}{2} \times 4,5))}{1309,5} \\ &= 54,58 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 54,58 = 109,16 \text{ mm}$$

$$Z_x = A_t \times d = 1309,5 \times 109,16 = 142944,75 \text{ mm}^3$$

3) Leleh

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= F_y Z_x \\ &= 225 \times 142944,75 \\ &= 32162569,75 \text{ Nmm} \\ &= 32,163 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4) Tekuk Torsi Lateral

Bangunan yang memiliki segmen yang tidak seragam (8 m, 9 m, dan 12 m) sehingga diperhitungkan kekuatan tekuk torsi lateral pada ketiga kondisi tersebut, untuk mengantisipasi jika bangunan diperbaiki atau dilakukan perpindah posisi pengaku.

$$\text{Segmen 8 m} \quad L_b = 6430 \text{ mm}$$

$$\text{Segmen 9 m:} \quad L_b = 6732 \text{ mm}$$

$$\text{Segmen 12 m:} \quad L_b = 7688 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 0,13 E r_y \frac{\sqrt{J A_g}}{M_p} \\ &= 0,13 \times 200000 \times 59,43 \times \frac{\sqrt{17678,250 \times 2619}}{32162569,75} \\ &= 326,893 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_r = 2 E r_y \frac{\sqrt{J A_g}}{0,7 F_y S_x}$$

$$= 2 \times 200000 \times 59,43 \times \frac{\sqrt{17678,250 \times 2619}}{0,7 \times 225 \times 123329}$$

$$= 8327,173 \text{ mm}$$

Pengaku 1 pada segmen 8 m, 9 m, dan 12 m masuk kedalam kategori

$L_p < L_b < L_r$ , sehingga dikategorikan kondisi inelastik.

Pengaku 1 pada segmen 8 m:

$$M_{maks} = 1,0771 \text{ kNm}$$

$$M_A = 0,5383 \text{ kNm}$$

$$M_B = 1,0771 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,5383 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \times 1,0771}{2,5 \times 1,0771 + 3 \times 0,5383 + 4 \times 1,0771 + 3 \times 0,5383}$$

$$= 1,316$$

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

$$= 1,316 \left[ 32162569,75 - (32162569,75 - 0,7 \times 225 \times 3427637) \left( \frac{6732 - 326,893}{8327,173 - 326,893} \right) \right] \leq 32,163 \text{ kNm}$$

$$= 29,537 \text{ kNm} \leq 32,163 \text{ kNm}$$

$$= 29,537 \text{ kNm}$$

Pengaku 1 pada segmen 9 m:

$$M_{maks} = 1,2552 \text{ kNm}$$

$$M_A = 0,6276 \text{ kNm}$$

$$M_B = 1,2552 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,6275 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \times 1,2552}{2,5 \times 1,2552 + 3 \times 0,6276 + 4 \times 1,2552 + 3 \times 0,6275}$$

$$= 1,316$$



$$\begin{aligned}
M_n &= C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \\
&= 1,316 \left[ 32162569,75 - (32162569,75 - 0,7 \times 225 \times \right. \\
&\quad \left. 3427637) \left( \frac{6732 - 326,893}{8327,173 - 326,893} \right) \right] \leq 32,163 \text{ kNm} \\
&= 28,901 \text{ kNm} \leq 32,163 \text{ kNm} \\
&= 28,901 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Pengaku 1 pada segmen 12 m:

$$M_{maks} = 1,8727 \text{ kNm}$$

$$M_A = 0,9361 \text{ kNm}$$

$$M_B = 1,8727 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,9361 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
C_b &= \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\
&= \frac{12,5 \times 1,8727}{2,5 \times 1,8727 + 3 \times 0,9361 + 4 \times 1,8727 + 3 \times 0,9361} \\
&= 1,316
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \\
&= 1,316 \left[ 32162569,75 - (32162569,75 - 0,7 \times 225 \times \right. \\
&\quad \left. 3427637) \left( \frac{6732 - 326,893}{8327,173 - 326,893} \right) \right] \leq 32,163 \text{ kNm} \\
&= 26,9 \text{ kNm} \leq 32,163 \text{ kNm} \\
&= 26,9 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

##### 5) Kekuatan Lentur Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal diatas, diambil nilai pada segmen 9 m akibat tekuk torsi-lateral sebagai keadaan batas sebesar 28,901 kN dikarenakan dalam perhitungan kapasitas tidak dilakukan posisi pengaku pada segmen 12 m.

$$\phi = 0,9$$

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

$$= 0,9 \times 28,901$$

$$= 26,011 \text{ kNm}$$

6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal

Struktur T1:

$$M_u/\phi M_n = 1,2552/26,011 = 0,048 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$M_u/\phi M_n = 1,2552/26,011 = 0,048 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$M_u/\phi M_n = 1,2552/26,011 = 0,048 < 1 \text{ (aman)}$$

d. Periksa Kapasitas Geser

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 4,5 = 141 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \times h \times t_w = 2 \times 141 \times 4,5 = 1269 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 141/4,5 = 31,333$$

$$k_v = 5$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{225}} = 73,333$$

$$h/t_w \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 225 \times 1269 \times 1 \\ &= 154183,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 154,184 \text{ kN}$$

Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Struktur T1:

$$V_u/\phi V_n = 0,635/154,184 = 0,004 < 1 \text{ (aman)}$$

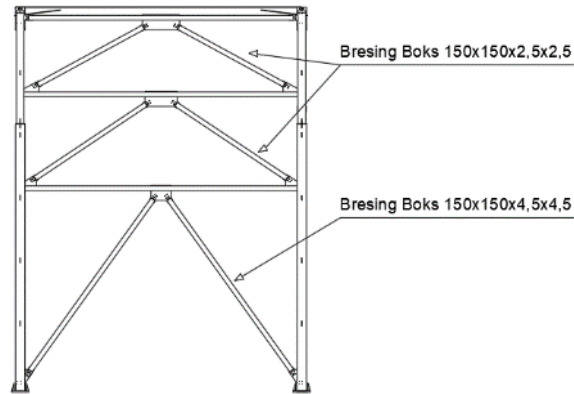
Struktur T2:

$$V_u/\phi V_n = 0,635/154,184 = 0,004 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$V_u/\phi V_n = 0,635/154,184 = 0,004 < 1 \text{ (aman)}$$

2. Pengaku Boks  $150 \times 150 \times 2,5 \times 2,5$  (Pengaku 2)  
Kodefikasi pengaku dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut ini.



**Gambar 5. 46 Kodefikasi Pengaku**

Hasil rekapitulasi *output* dari SAP2000 yang berupa momen dan gaya geser maksimum pada komponen boks  $150 \times 150 \times 2,5 \times 2,5$  dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut ini.

**Tabel 5. 30 Rekapitulasi Momen dan Gaya Gese Pengaku Boks  
 $150 \times 150 \times 2,5 \times 2,5$**

Tipe Struktur	Tipe Kolom	L	Pu max	Vg max	Mux max
		mm	kN	kN	kNm
T1	Boks $150 \times 150$	4258	36,579	0,358	0,4836
T2	Boks $150 \times 150$	4258	30,421	0,358	0,4836
T3	Boks $150 \times 150$	4258	44,398	0,358	0,4836

Setelah didapatkan nilai momen dan gaya geser maksimum dari SAP2000, selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas profil seperti berikut ini. Perhitungan kapasitas profil pengaku boks  $150 \times 150 \times 2,5 \times 2,5$  dilakukan pada bentang 9 m yang dianggap lebih kritis dibandingkan bentang 8 m.

Properti profil Boks 150×150:

$$H = 150 \text{ mm}$$

$$B = 150 \text{ mm}$$

$$t_w = 2,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 2,5 \text{ mm}$$

$$A = 1475 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 534,995 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 534,995 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

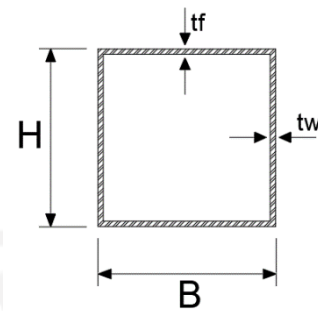
$$r_x = 60,23 \text{ mm}$$

$$r_y = 60,23 \text{ mm}$$

$$S_x = 71,333 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 71,333 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$J = 3072,917 \text{ mm}^4$$



Gambar 5. 47 Penampang Profil

Mutu Material: Standard JIS G 3106 Grade SM490

$$F_y = 225 \text{ MPa}$$

$$F_u = 455 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

a. Periksa Kapasitas Tarik

1) Rasio Kelangsingan

$$L = 4258 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 60,23 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 4258/60,23 = 70,701 < 300 \text{ (Tidak Langsing)}$$

2) Luas Penampang Efektif

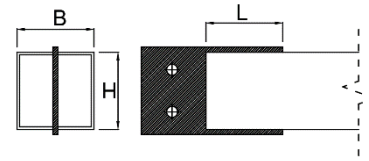
$$t_{pelat} = 10 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - \sum A_{yang \text{ terbuang akibat pelat}}$$

$$= A_g - (2 \times t_f \times t_{pelat})$$

$$= 1475 - (2 \times 2,5 \times 10)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1425 \text{ mm}^2 \\
 \bar{x} &= \frac{H^2 + 2BH}{4(B+H)} \\
 &= \frac{150^2 + 2 \times 150 \times 150}{4(150+150)} \\
 &= 56,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 5. 48 Detail Sambungan Pengaku**

$$\begin{aligned}
 l &= 150 \text{ mm} \\
 U &= \frac{\bar{x}}{l} = \frac{56,25}{150} = 0,63 \\
 A_e &= A_n U = 1425 \times 0,63 = 890,625 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### 3) Kekuatan Tarik Nominal

#### a) Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,9 \\
 \phi P_n &= \phi F_y A_g \\
 &= 0,9 \times 225 \times 1475 \\
 &= 298687,5 \text{ N} \\
 &= 298,688 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### b) Keruntuhan Tarik Pada Penampang Neto

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,75 \\
 \phi P_n &= \phi F_u A_e \\
 &= 0,75 \times 455 \times 890,625 \\
 &= 303925,781 \text{ N} \\
 &= 303,926 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari kedua keadaan batas kuat tarik diatas diambil nilai yang terkecil sebagai kuat tarik nominal yaitu leleh tarik pada penampang bruto sebesar 298,688 kN.

### 4) Cek Perbandingan Kuat Tarik

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 36,579 / 298,688 = 0,122 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 30,421 / 298,688 = 0,102 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3

$$P_u/\phi P_n = 44,398/298,688 = 0,149 < 1 \text{ (aman)}$$

b. Periksa Kapasitas Tekan

1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

$$\lambda_f = b/t = (150 - 2 \times 2,5)/2,5 = 58$$

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_r$ , maka profil tidak kompak/ langsing.

2) Rasio Kelangsingan Efektif

$$L = 4258 \text{ mm}$$

$$K = 1$$

$$r_y = 60,23 \text{ mm}$$

$$KL/r_y = 1 \times 4258/60,23 = 70,701 < 200 \text{ (Tidak Langsing)}$$

3) Tekuk Lentur

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 140,425$$

Karena  $KL/r_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka  $F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(1 \times 4258/60,23)^2} = 394,890 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0,658^{\frac{225}{394,890}}\right) \times 225 = 177,260 \text{ MPa}$$

4) Luas Penampang Efektif ( $A_e$ )

Berdasarkan perhitungan rasio lebar terhadap tebal didapatkan bahwa profil boks  $150 \times 150 \times 2,5 \times 2,5$  termasuk profil dengan elemen tidak kompak/langsing oleh karena itu dalam perhitungan kekuatan nominal ( $P_n$ ) untuk tekuk lentur harus menggunakan luas penampang efektif ( $A_e$ ).

$$\lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 44,423 \sqrt{\frac{225}{177,260}} = 50,049$$

$$\lambda_w = 58$$

Karena  $\lambda_w > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ , maka  $h_e = h \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$

$$C_1 = 0,2$$

$$C_2 = 1,38$$

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145 \text{ mm}$$

$$F_{el} = \left( C_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y = \left( 1,38 \times \frac{44,423}{58} \right)^2 \times 225 = 251,365 \text{ MPa}$$

$$h_e = 145 \left( 1 - 0,2 \sqrt{\frac{251,365}{177,260}} \right) \sqrt{\frac{251,365}{177,260}} = 131,545 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_g - (h - h_e) \times t_w \\ &= 1475 - (145 - 131,545) \times 2,5 \\ &= 1441,364 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 5) Kekuatan Tekan Nominal

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times F_{cr} \\ &= 0,9 \times 1441,364 \times 177,260 \\ &= 229946,880 \text{ N} \\ &= 229,947 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 6) Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Tekan Nominal

Struktur T1:

$$P_u / \phi P_n = 33,579 / 229,947 = 0,149 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T2:

$$P_u / \phi P_n = 30,421 / 229,947 = 0,132 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur T3:

$$P_u / \phi P_n = 39,398 / 229,947 = 0,171 < 1 \text{ (aman)}$$

#### c. Periksa Kapasitas Lentur

##### 1) Rasio Lebar Terhadap Tebal

Sayap:

$$b = H - 2 \times t_w = 150 - 2 \times 2,5 = 145$$

$$\lambda_f = b/t = 145/2,5 = 58$$

$$\lambda_{pf} = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 33,392$$

$$\lambda_{rf} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 44,423$$

Karena  $\lambda_f > \lambda_{rf}$ , maka sayap profil langsing.

Badan:

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145$$

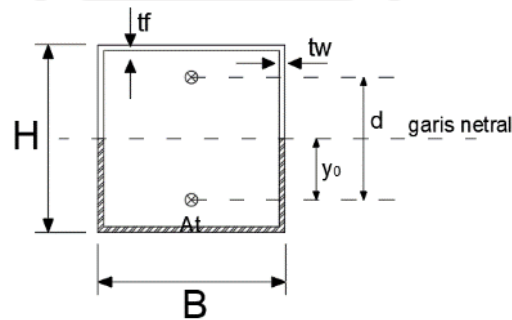
$$\lambda_w = h/t_w = 145/2,5 = 58$$

$$\lambda_{pw} = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 72,150$$

$$\lambda_{rw} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 169,941$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pf} < \lambda_{rf}$ , maka badan profil kompak.

## 2) Modulus Plastis Penampang



**Gambar 5. 49 Penampang Profil Sumbu Kuat**

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_t &= 2 \times \frac{1}{2} h \times t_w + B \times t_f \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 145 \times 2,5 + 150 \times 2,5 = 737,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i} \\ &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} h \times t_w \times \frac{1}{4} h) + (B \times t_f \times (\frac{1}{2} h - \frac{1}{2} t_w))}{A_t} \\ &= \frac{(2 \times \frac{1}{2} \times 145 \times 2,5 \times \frac{1}{4} \times 145) + (150 \times 2,5 \times (\frac{1}{2} \times 145 - \frac{1}{2} \times 2,5))}{737,5} \\ &= 55,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 2 \times y_0 = 2 \times 55,32 = 110,64 \text{ mm}$$



$$Z_x = A_t \times d = 737,5 \times 110,64 = 81593,75 \text{ mm}^3$$

3) Leleh

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= F_y Z_x \\ &= 225 \times 81593,75 \\ &= 18358593,75 \text{ Nmm} \\ &= 18,359 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4) Tekuk Lokal Sayap

$$\begin{aligned} b_e &= 1,92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[ 1 - \frac{0,38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \\ &= 1,92 \times 2,5 \sqrt{\frac{200000}{225}} \left[ 1 - \frac{0,38}{145/2,5} \sqrt{\frac{200000}{225}} \right] \leq 145 \\ &= 118,93 \\ e_y &= \frac{1}{2} b_e = \frac{1}{2} \times 118,931 = 59,465 \text{ mm} \\ S_e &= I_y / e_y = 534,995 \times 10^4 / 59,465 = 89967,58 \text{ mm}^3 \\ M_n = F_y S_e &= 225 \times 89967,58 \\ &= 20242705,523 \text{ Nmm} \\ &= 20,243 \text{ kNm} \end{aligned}$$

5) Tekuk Torsi Lateral

Bangunan yang memiliki segmen yang tidak seragam (8 m, 9 m, dan 12 m) sehingga diperhitungkan kekuatan tekuk torsi lateral pada ketiga kondisi tersebut, untuk mengantisipasi jika bangunan diperbaiki atau dilakukan perpindah posisi pengaku.

$$\text{Segmen 8 m: } L_b = 3915$$

$$\text{Segmen 9 m: } L_b = 4258$$

$$\text{Segmen 12 m: } L_b = 5547$$

$$\begin{aligned} L_p &= 0,13 E r_y \frac{\sqrt{J A_g}}{M_p} \\ &= 0,13 \times 200000 \times 60,23 \times \frac{\sqrt{3072,917 \times 1475}}{18358594} \\ &= 181,587 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_r = 2 E r_y \frac{\sqrt{J A_g}}{0,7 F_y S_x}$$

$$= 2 \times 200000 \times 60,23 \times \frac{\sqrt{3072,917 \times 1475}}{0,7 \times 225 \times 71333}$$

$$= 4565,006 \text{ mm}$$

Pada pengaku 2 pada segmen 8 m dan 9 m didapatkan

$L_p < L_b \leq L_r$ , maka masuk kondisi inelastik.

Pada pengaku 2 pada segmen 12 m didapatkan

$L_b > L_r$ , maka masuk kondisi elastik.

Pengaku 2 pada segmen 8 m:

$$M_{maks} = 0,3974 \text{ kNm}$$

$$M_A = 0,1987 \text{ kNm}$$

$$M_B = 0,3974 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,1987 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \times 0,3974}{2,5 \times 0,3974 + 3 \times 0,1987 + 4 \times 0,3974 + 3 \times 0,1987}$$

$$= 1,316$$

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

$$= 1,316 \left[ 18358593,75 - (18358593,75 - 0,7 \times 225 \times 71333) \left( \frac{4258 - 181,587}{4565,006 - 181,587} \right) \right] \leq 18,359 \text{ kNm}$$

$$= 16,173 \text{ kNm} \leq 18,359 \text{ kNm}$$

$$= 16,173 \text{ kNm}$$

Pengaku 2 pada segmen 9 m:

$$M_{maks} = 0,4836 \text{ kNm}$$

$$M_A = 0,2418 \text{ kNm}$$

$$M_B = 0,4836 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,2418 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{12,5 \times 0,4836}{2,5 \times 0,4836 + 3 \times 0,2418 + 4 \times 0,4836 + 3 \times 0,2418}$$

$$= 1,316$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \\
 &= 1,316 \left[ 18358593,75 - (18358593,75 - 0,7 \times 225 \times \right. \\
 &\quad \left. 71333) \left( \frac{4258 - 181,587}{4565,006 - 181,587} \right) \right] \leq 18,359 \text{ kNm} \\
 &= 15,439 \text{ kNm} \leq 18,359 \text{ kNm} \\
 &= 15,439 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Pengaku 2 pada segmen 12 m:

$$M_{maks} = 0,7998 \text{ kNm}$$

$$M_A = 0,3999 \text{ kNm}$$

$$M_B = 0,7998 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,3999 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 0,7998}{2,5 \times 0,7998 + 3 \times 0,3999 + 4 \times 0,7998 + 3 \times 0,3999} \\
 &= 1,316
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 2EC_b \frac{\sqrt{I_{Ag}}}{L_b/r_y} \leq M_p \\
 &= 2 \times 200000 \times 1,316 \times \frac{\sqrt{3072,917 \times 1475}}{5547/60,23} \leq 18,359 \text{ kNm} \\
 &= 12,166 \text{ kNm} \leq 18,359 \text{ kNm} \\
 &= 12,166 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

#### 6) Kekuatan Lentur Nominal

Dari perhitungan nilai kekuatan lentur nominal diatas, diambil nilai pada segmen 9 m akibat tekuk torsi-lateral sebagai keadaan batas sebesar 15,439 kN dikarenakan dalam perhitungan kapasitas tidak dilakukan posisi pengaku pada segmen 12 m.

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 15,439 \\
 &= 13,895 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

#### 7) Cek Perbandingan Kekuatan Lentur Nominal

Struktur Tipe 1:

$$M_u/\phi M_n = 0,4836/13,895 = 0,035 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 2:

$$M_u/\phi M_n = 0,4836/13,895 = 0,035 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 3:

$$M_u/\phi M_n = 0,4836/13,895 = 0,035 < 1 \text{ (aman)}$$

d. Periksa Kapasitas Geser

$$h = H - 2 \times t_f = 150 - 2 \times 2,5 = 145 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \times h \times t_w = 2 \times 145 \times 2,5 = 725 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 145/2,5 = 58$$

$$k_v = 5$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{225}} = 73,333$$

$$h/t_w \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}, \text{ maka } C_v = 1$$

$$C_v = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 225 \times 725 \times 1 \\ &= 88087,5 \text{ N} \\ &= 88,088 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek Rasio Perbandingan Kekuatan Geser Nominal

Struktur Tipe 1:

$$V_u/\phi V_n = 0,358/88,088 = 0,004 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 2:

$$V_u/\phi V_n = 0,358/88,088 = 0,004 < 1 \text{ (aman)}$$

Struktur Tipe 3:

$$V_u/\phi V_n = 0,358/88,088 = 0,004 < 1 \text{ (aman)}$$

3. Rekapitulasi Pengecekan Hasil Analisis Pengaku

Rekapitulasi pengecekan hasil analisis kapasitas pengaku dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut ini.

**Tabel 5. 31 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Keamanan Pengaku**

Tipe Balok	Tape Struktur Bangunan	$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1$	$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \leq 1$	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$
Pengaku 1	T1	0,097 < 1 (aman)	0,048 < 1 (aman)	0,004 < 1 (aman)
Pengaku 1	T2	0,070 < 1 (aman)	0,048 < 1 (aman)	0,004 < 1 (aman)
Pengaku 1	T3	0,128 < 1 (aman)	0,048 < 1 (aman)	0,004 < 1 (aman)
Pengaku 2	T1	0,159 < 1 (aman)	0,035 < 1 (aman)	0,004 < 1 (aman)
Pengaku 2	T2	0,132 < 1 (aman)	0,035 < 1 (aman)	0,004 < 1 (aman)
Pengaku 2	T3	0,193 < 1 (aman)	0,035 < 1 (aman)	0,004 < 1 (aman)

Berdasarkan Tabel 5.31 diatas yang merupakan hasil rekapitulasi pengecekan keamanan balok boks terhadap gaya aksial, momen, dan gaya geser yang terjadi, didapatkan bahwa pengaku 1 dan pengaku 2 masih dalam kategori aman atau memenuhi persyaratan.

#### 4. Rekapitulasi Hasil Analisis Tipe Batang Pengaku

**Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Analisis Tipe Batang Pengaku**

Tipe Pengaku	Tipe Segmen	Tipe Batang	Momen Lentur
			kNm
Pengaku 1	Segmen 8 m	Inelastik	29,537
Pengaku 1	Segmen 9 m	Inelastik	28,901
Pengaku 1	Segmen 12 m	Inelastik	26,9
Pengaku 2	Segmen 8 m	Inelastik	16,173
Pengaku 2	Segmen 9 m	Inelastik	15,439
Pengaku 2	Segmen 12 m	Elastik	12,166

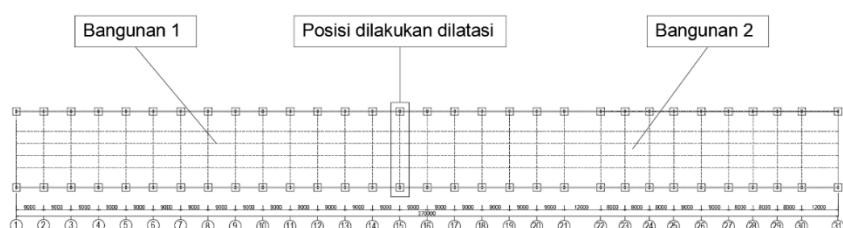
Dari Tabel 5.32 diatas didapatkan bahwa batang pengaku 1 pada semua segmen masuk dalam tipe batang inelastik. Didapatkan juga batang pengaku

2 pada segmen 8 m dan segmen 9 m masuk dalam batang inelastik sedangkan pada segmen 12 m pengaku 2 masuk dalam batang elastik. Sehingga jika pengaku dipasang pada segmen 12 m terjadi penurunan nilai kuat lentur dari batang pengaku itu sendiri.

Dari hasil perbandingan rasio gaya dan momen nominal terhadap gaya dan momen ultimit dari komponen struktur pada berbagai variasi penempatan pengaku didapatkan tidak ada perbedaan nilai keamanan yang signifikan. Tetapi ada beberapa gaya pada komponen struktur yang sedikit mengalami lonjakan pada struktur T2 dan T3 dibandingkan eksisting (T1) walaupun tidak besar, yaitu pada kolom utama segmen 1. Pada kolom utama segmen 1 didapatkan nilai gaya aksial maksimum yang sedikit melonjak sebesar 540,762 kN pada pada struktur T2 dan 540,778 kN pada struktur T3 sedangkan gaya aksial maksimum pada struktur T1 (eksisting) sebesar 534,105 kN. Secara keseluruhan struktur T2 merupakan struktur yang memiliki nilai keamanan yang paling baik dibandingkan tipe struktur lain.

### 5.8 Dilatasi

Bangunan Pabrik Fabrikasi Baja PT. WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka Jalur 5 memiliki panjang 270 m dan lebar 25 m, dengan rasio lebar terhadap panjang yang sangat besar maka pada penelitian ini dicoba untuk melakukan pemisahan struktur atau dilatasi bangunan menjadi 2 bagian sehingga rasio lebar terhadap panjang bangunan berkurang. Lokasi dilatasi dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut ini.



**Gambar 5. 50 Denah Pemisahan Struktur Atau Dilatasi**

Perhitungan simpangan yang terjadi pada bangunan yang dilakukan pemisahan struktur adalah sebagai berikut ini.

$$C_d = 5$$

$$I_e = 1$$

$$\rho = 1,3$$

Bangunan 1:

$$\delta 1x_{max} = 0,002646 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \delta_{M1} &= \frac{(C_d \times \delta_{max})}{I_e} \\ &= (5 \times 0,002646)/1 \\ &= 0,0132 \text{ m} \end{aligned}$$

Bangunan 2:

$$\delta 2x_{max} = 0,001977 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \delta_{M2} &= \frac{(C_d \times \delta_{max})}{I_e} \\ &= (5 \times 0,001977)/1 \\ &= 0,0099 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_a &= (0,002h_{sx})/\rho \\ &= (0,002 \times 12,175)/1,3 \\ &= 0,187 \text{ m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari simpangan bangunan eksisting yang telah dilakukan pemisah struktur (dilatasi) dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut ini.

**Tabel 5. 33 Simpangan Pada Bangunan Eksisting Yang Telah Di Dilatasi**

Struktur	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{Mx}$	$\delta_{My}$	$\Delta_a$	Cek
	m	m	m	m	m	$\delta < \Delta_a$
Bangunan awal	0,001797	0,02861	0,009	0,1430	0,187	Aman
Bangunan 1	0,002646	0,025769	0,0132	0,1288	0,187	Aman
Bangunan 2	0,001977	0,032653	0,0099	0,1633	0,187	Aman

$$\begin{aligned} \delta_{MT} &= \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \\ &= \sqrt{(0,0132)^2 + (0,0099)^2} \\ &= 0,0165 \text{ m} \\ &= 1,65 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan diatas didapatkan bahwa jika dilakukan dilatasi bangunan maka jarak antar bangunan 1 dan bangunan 2 harus lebih besar dari nilai  $\delta_{MT}$  sebesar 1,65 cm. Jarak dilatasi yang diperlukan sangat kecil

dikarenakan bangunan yang sudah sangat kaku dan simpangan yang terjadi sangat kecil.

**Tabel 5.34 Persentase Penurunan Simpangan**

Tipe Struktur	% penurunan simpangan arah X dibandingkan model eksisting (tipe 2)	% penurunan simpangan arah Y dibandingkan model eksisting (tipe 2)
	%	%
Bangunan 1	-47,245	9,914
Bangunan 2	-10,017	-14,151

Dari Tabel 5.34 diatas didapatkan nilai simpangan arah X mengalami peningkatan sebesar 47,245% pada bangunan 1 dan 10,017% pada bangunan 2 dibandingkan bangunan sebelum di dilatasi. Sedangkan untuk arah Y simpangan bangunan 1 mengalami penurunan sebesar 9,914% dan pada bangunan 2 mengalami peningkatan sebesar 14,151% dibandingkan bangunan sebelum di dilatasi. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan awal (eksisting) tanpa dilatasi mendapatkan nilai simpangan yang lebih baik dibandingkan bangunan yang di dilatasi.



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Bangunan tetap harus ditambah pengaku dikarenakan simpangan pada bangunan tanpa pengaku melebihi simpangan izin. Pada semua bangunan dengan berbagai tipe struktur didapatkan tidak terjadi perbedaan nilai simpangan yang signifikan pada arah X dan Y. Ketidakberaturan horizontal tidak terjadi pada semua tipe struktur. Nilai simpangan yang paling baik didapatkan pada struktur T2.
2. Pengecekan rasio perbandingan antara gaya-gaya dalam nominal dengan gaya-gaya dalam ultimit untuk semua komponen struktur pada setiap tipe struktur masih dikategorikan aman yaitu kurang dari 1 ( $< 1$ ). Pengecekan terhadap kombinasi aksial-lentur untuk balok rel *overhead crane* pada bentang 8 m dan 9 m pada semua tipe struktur tidak memenuhi persyaratan SNI 1729:2020 dikarenakan lebih dari 1 ( $>1$ ) yaitu sebesar 1,109. Nilai keamanan komponen struktur yang paling baik secara keseluruhan didapatkan pada struktur T2.
3. Pada bangunan yang di dilatasi terjadi peningkatan nilai simpangan pada arah X dan Y dibandingkan bangunan awal (eksisting) sebelum di dilatasi, sehingga bangunan awal (eksisting) tanpa dilatasi lebih baik dibandingkan bangunan yang di dilatasi.

#### **6.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa hal yang dapat menjadi saran untuk penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan variasi tipe bentuk pengaku untuk mendapatkan tipe pengaku yang paling optimal dalam menahan gaya-gaya dalam pada jenis bangunan *warehouse*.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis kapasitas sambungan untuk mengetahui nilai keamanan dari sambungan antar komponen struktur.



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan. SNI 2847:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung. SNI 1726:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktru Lain. SNI 1727:2020. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. SNI 1729:2020. Jakarta.
- Baskoro, Imam A. 2019. Perancangan Ulang Gedung Dinas Pendidikan Yogyakarta Menggunakan Struktur Baja Dengan Metode Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Ditjen Cipta Karya Direktorat Masalah Bangunan. Bandung.
- Elvarando, A. 2020. Pengaruh Konfigurasi Dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pawirodikromo, W. 2017. *Analisis Dinamika Struktur Cetakan 1*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. 20006. Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung. Jakarta.
- Tahtadu, Irsyan R. 2020. Analisis Pengaruh Penggunaan Pengaku Tipe K Terhadap Respon Struktur Bangunan Portal Baja Bertingkat. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.



# LAMPIRAN





**Lampiran 1 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Komponen Struktur**

## 1. Struktur T1 (Eksisting)

Analisis Kapasitas Komponen Pada Struktur T1 (Eksisting)										
Komponen	Elemen Tarik		Elemen Tekan		Elemen Lentur X		Elemen Lentur Y		Elemen Geser	
	Pn	Pu	Pn	Pu	Mn	Mu	Mn	Mu	Vn	Vu
	kN		kN		kNm		kNm		kN	
Kolom Utama Segmen 1			1551,09	534,11	977,81	163,20	135,44	7,47	583,20	81,61
Kolom Utama Segmen 2			2381,19	85,90	620,73	102,65	120,29	10,80	567,00	161,30
Kolom Endwall			1286,69	108,70	159,76	2,82	34,48	1,61	233,28	0,30
Rafter Segmen 1	1416,96	236,66	1286,69	236,66	159,76	38,20	34,48	2,52	233,28	26,18
Rafter Segmen 2	1287,36	172,99	1106,68	172,99	145,81	26,17	25,58	5,47	194,40	83,80
Rel Crane 8 dan 9 m	4320,00	535,75	755,48	535,75	1410,48	630,60	124,20	0,37	567,00	479,03
Rel Crane 12 m	4320,00	644,32	2698,10	644,32	1410,48	922,40	124,20	0,28	567,00	486,33
Balok Boks 8 dan 9 m	298,69	0	103,41	0	16,52	1,61			88,09	0,72
Balok Boks 12 m	478,71	0	166,25	0	35,37	4,59			141,43	1,53
Pengaku 1	530,35	27,83	287,53	27,83	26,01	1,26			154,18	0,64
Pengaku 2	298,69	36,58	229,95	36,58	13,90	0,48			88,09	0,36

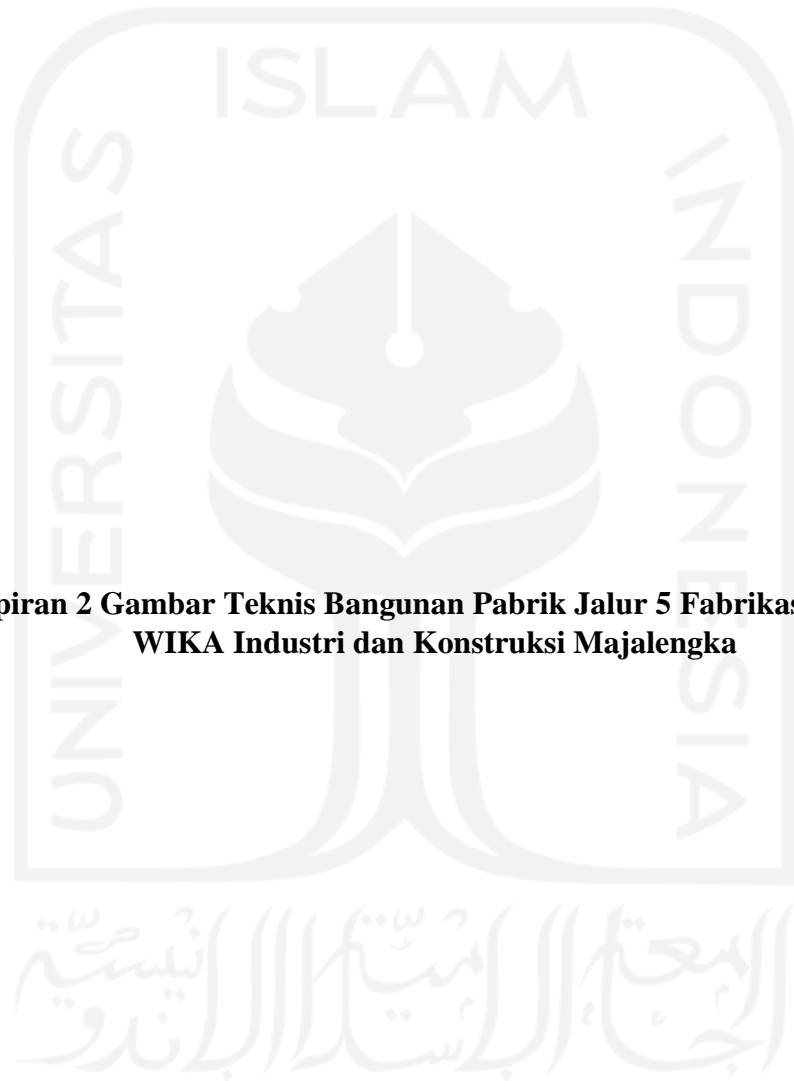
## 2. Struktur T2

Analisis Kapasitas Komponen Pada Struktur T2										
Komponen	Elemen Tarik		Elemen Tekan		Elemen Lentur X		Elemen Lentur Y		Elemen Geser	
	Pn	Pu	Pn	Pu	Mn	Mu	Mn	Mu	Vn	Vu
	kN		kN		kNm		kNm		kN	
Kolom Utama Segmen 1			1551,09	540,76	977,81	162,86	135,44	7,46	583,20	81,67
Kolom Utama Segmen 2			2381,19	85,40	620,73	102,90	120,29	10,78	567,00	161,68
Kolom Endwall			1286,69	108,58	159,76	2,78	34,48	1,59	233,28	0,30
Rafter Segmen 1	1416,96	236,87	1286,69	236,87	159,76	38,66	34,48	2,36	233,28	26,12
Rafter Segmen 2	1287,36	173,23	1106,68	173,23	145,81	26,02	25,58	5,72	194,40	83,64
Rel Crane 8 dan 9 m	4320,00	535,67	755,48	535,67	1410,48	630,58	124,20	0,37	567,00	479,04
Rel Crane 12 m	4320,00	644,15	2698,10	644,15	1410,48	922,34	124,20	0,28	567,00	486,30
Balok Boks 8 dan 9 m	298,69	0	103,41	0	16,52	1,61			88,09	0,72
Balok Boks 12 m	478,71	0	166,25	0	35,37	4,59			141,43	1,53
Pengaku 1	530,35	20,22	287,53	20,22	26,01	1,26			154,18	0,64
Pengaku 2	298,69	30,42	229,95	30,42	13,90	0,48			88,09	0,36

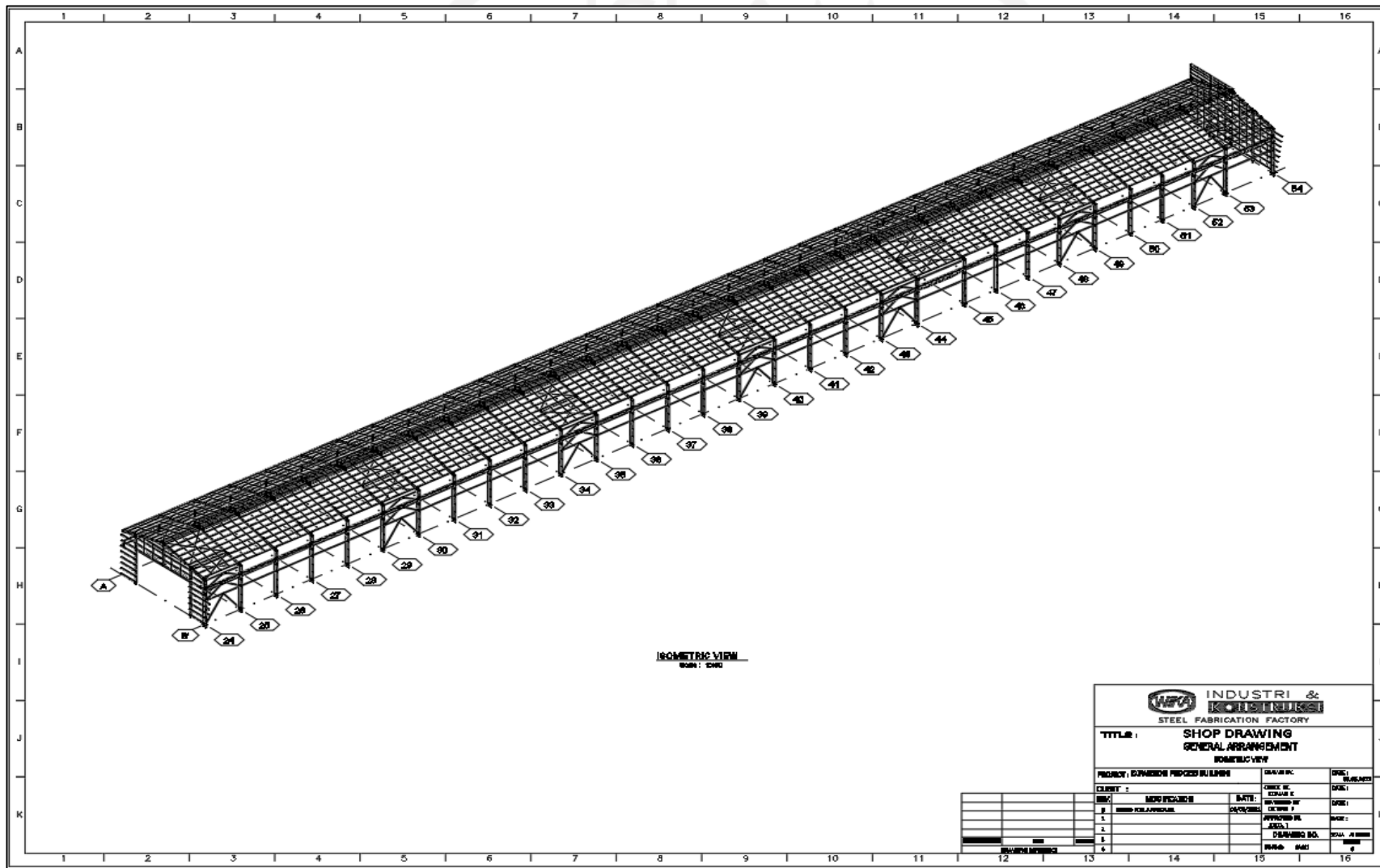
## 3. Struktur T3

Analisis Kapasitas Komponen Pada Struktur T3										
Komponen	Elemen Tarik		Elemen Tekan		Elemen Lentur X		Elemen Lentur Y		Elemen Geser	
	Pn	Pu	Pn	Pu	Mn	Mu	Mn	Mu	Vn	Vu
	kN		kN		kNm		kNm		kN	
Kolom Utama Segmen 1			1551,09	540,78	977,81	163,33	135,44	7,48	583,20	81,53
Kolom Utama Segmen 2			2381,19	85,24	620,73	102,53	120,29	10,82	567,00	161,76
Kolom Endwall			1286,69	108,79	159,76	2,89	34,48	1,62	233,28	0,30
Rafter Segmen 1	1416,96	236,92	1286,69	236,92	159,76	37,99	34,48	2,77	233,28	26,21
Rafter Segmen 2	1287,36	173,28	1106,68	173,28	145,81	26,24	25,58	5,81	194,40	83,89
Rel Crane 8 dan 9 m	4320,00	535,80	755,48	535,80	1410,48	630,61	124,20	0,37	567,00	479,03
Rel Crane 12 m	4320,00	644,41	2698,10	644,41	1410,48	922,44	124,20	0,28	567,00	486,35
Balok Boks 8 dan 9 m	298,69	0	103,41	0	16,52	1,61			88,09	0,72
Balok Boks 12 m	478,71	0	166,25	0	35,37	4,59			141,43	1,53
Pengaku 1	530,35	36,81	287,53	36,81	26,01	1,26			154,18	0,64
Pengaku 2	298,69	44,40	229,95	44,40	13,90	0,48			88,09	0,36

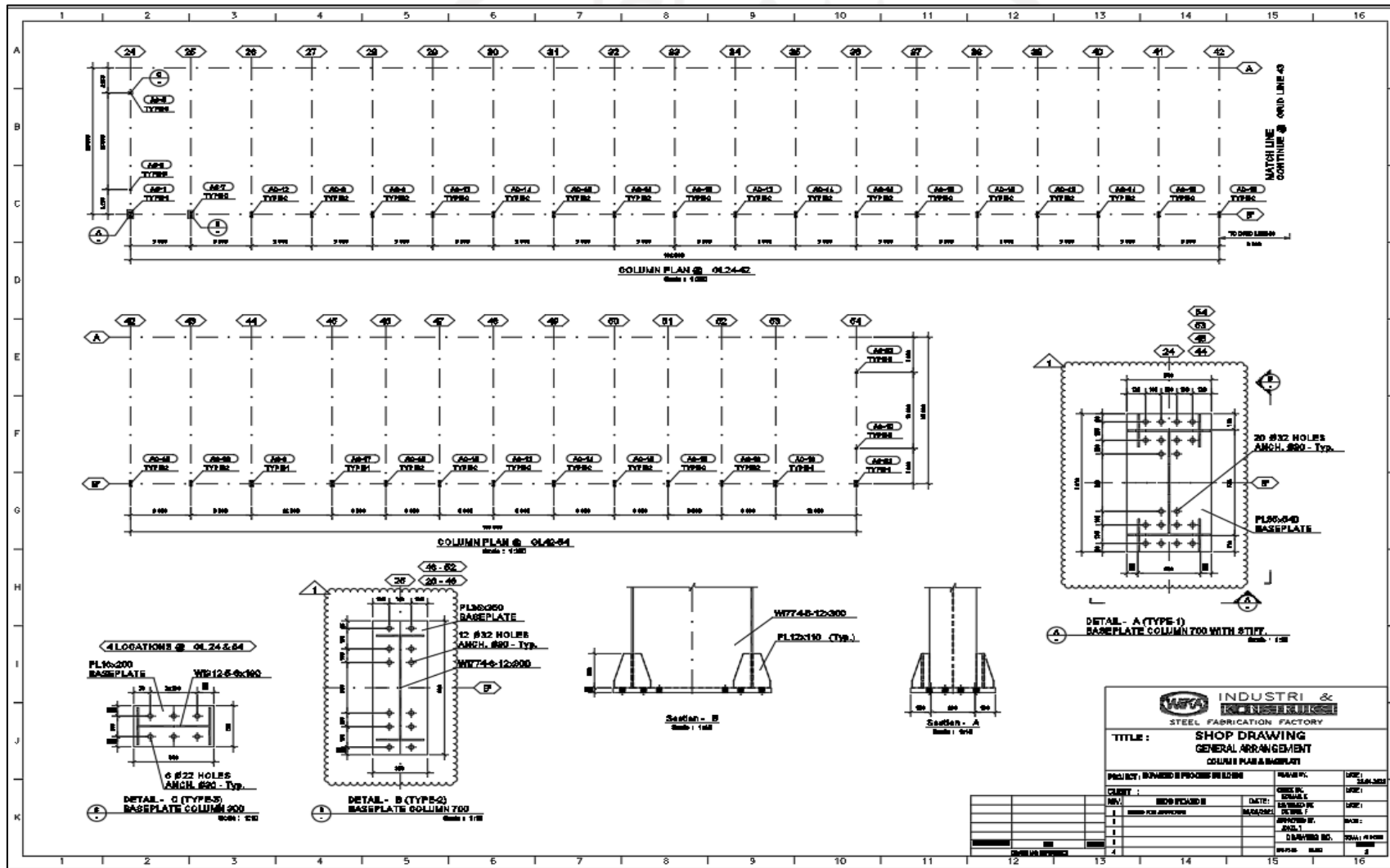


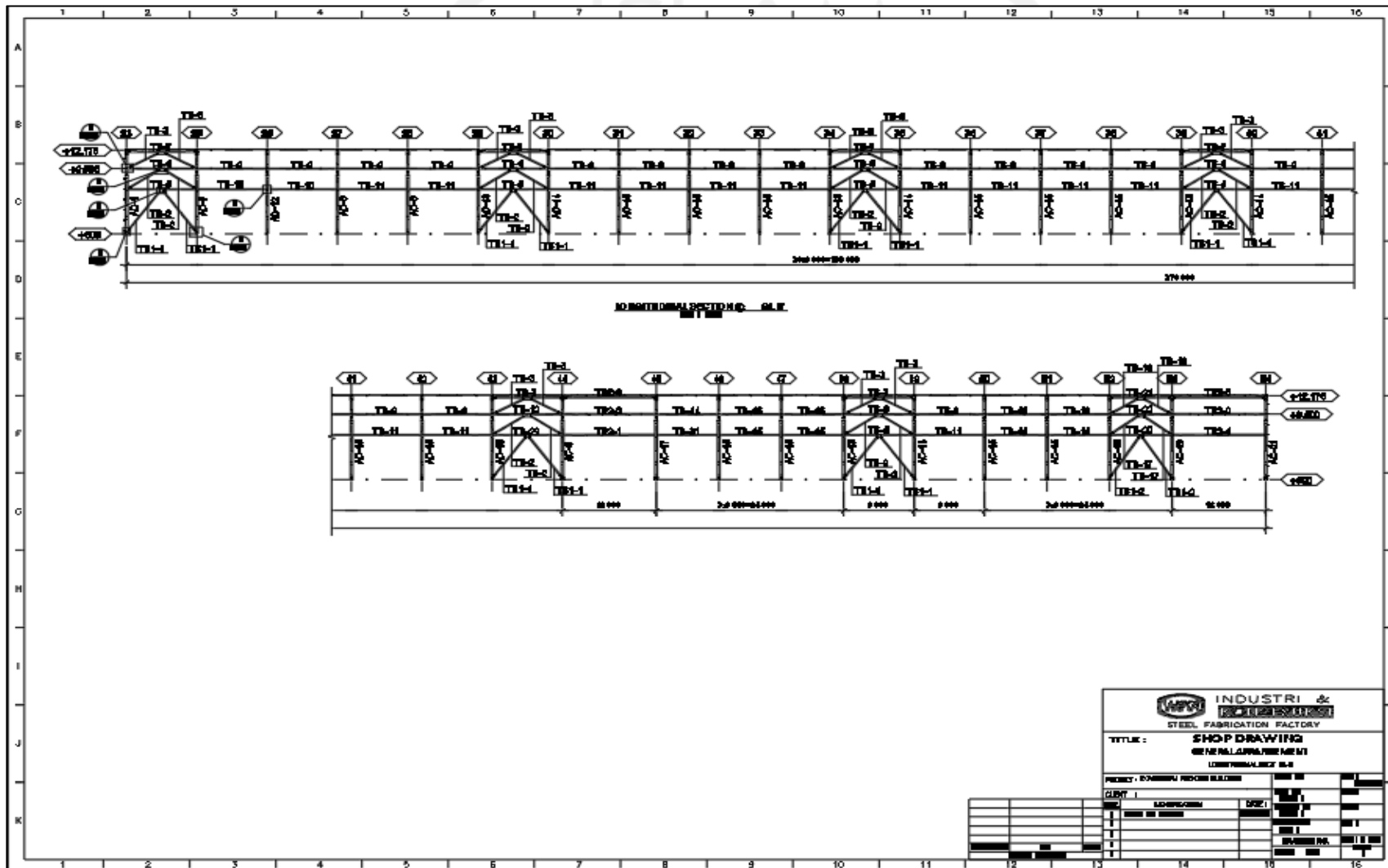


**Lampiran 2 Gambar Teknis Bangunan Pabrik Jalur 5 Fabrikasi Baja PT.  
WIKA Industri dan Konstruksi Majalengka**

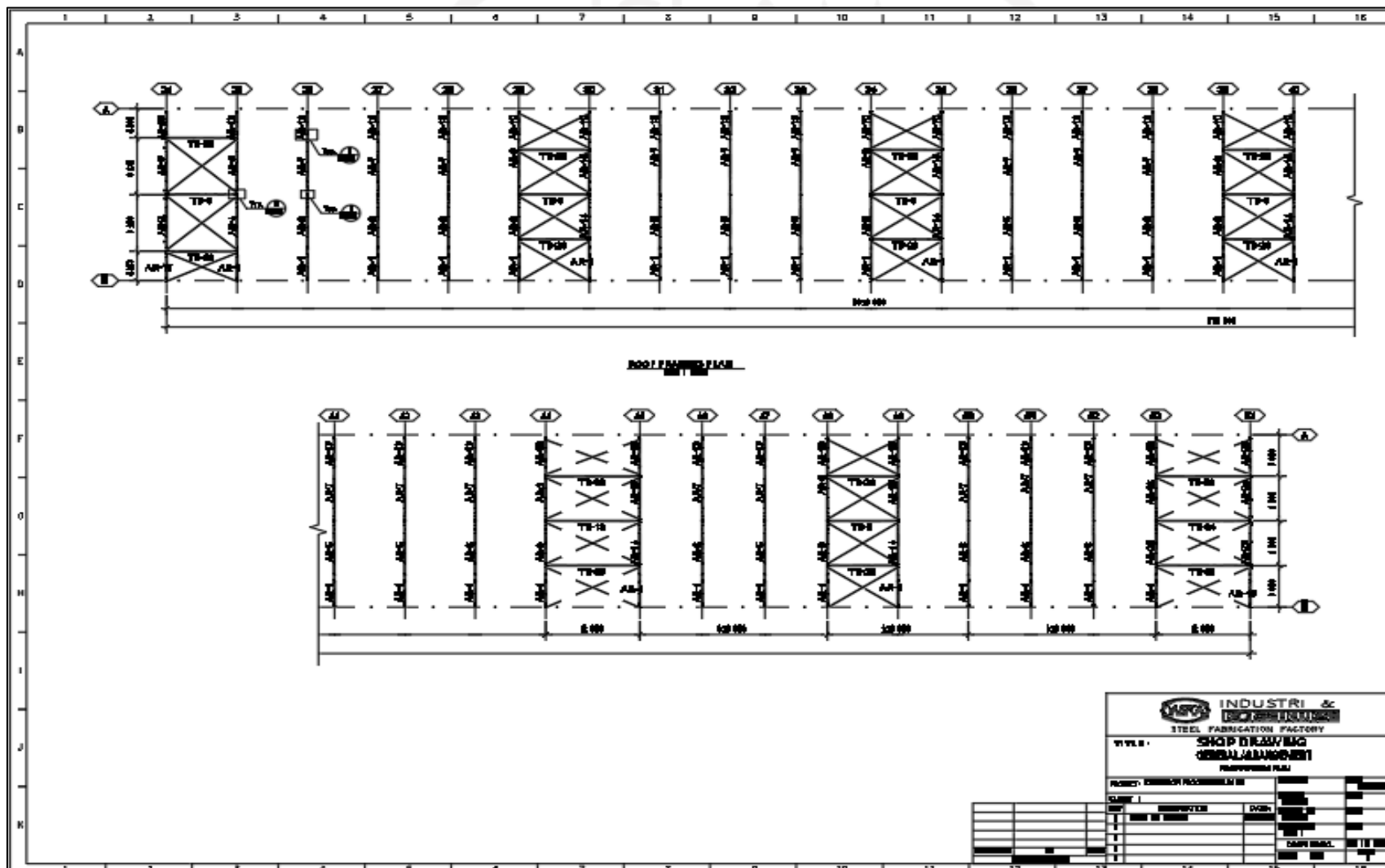


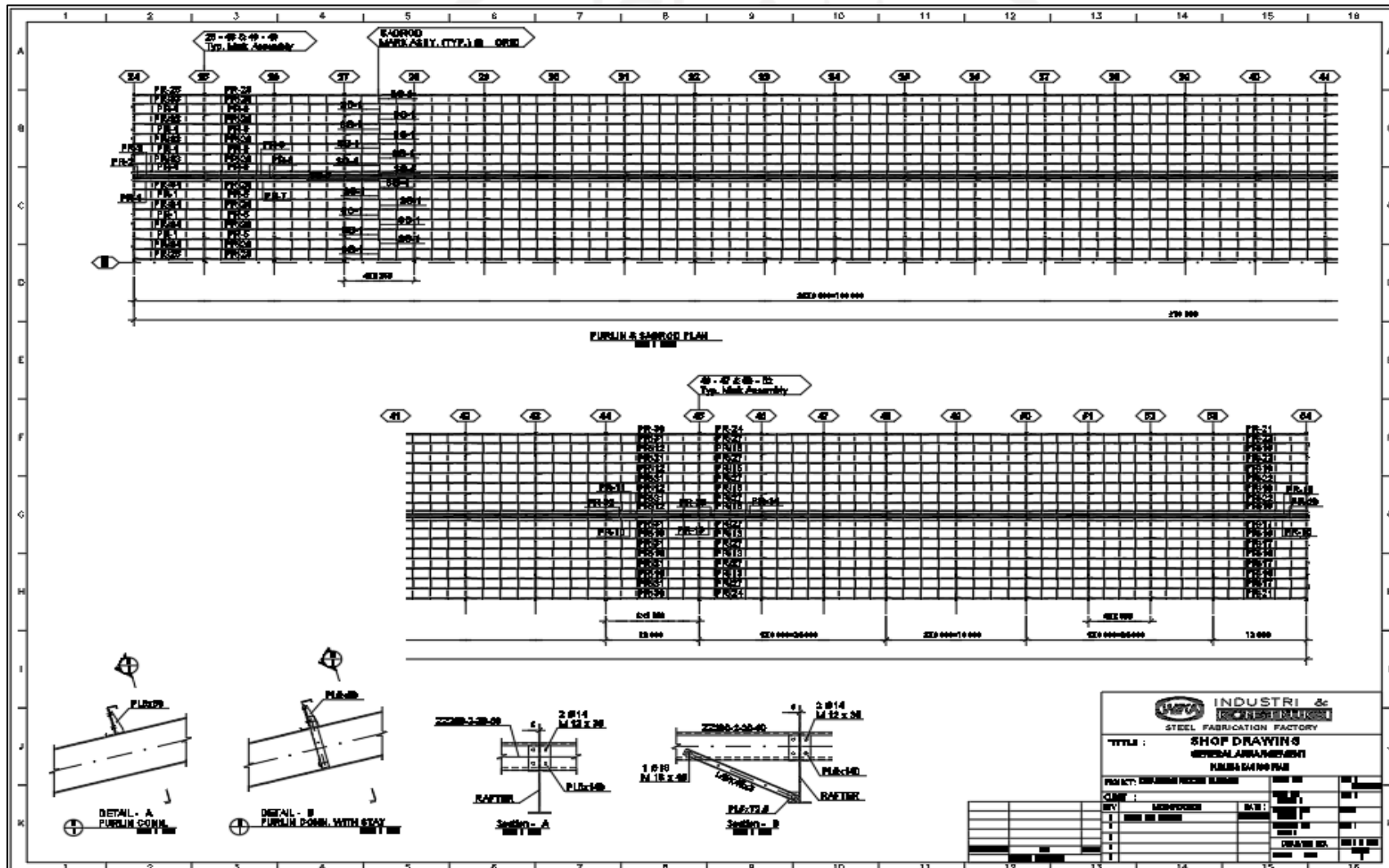
<b>INDUSTRI &amp; KOMUNIKASI</b> STEEL FABRICATION FACTORY	
<b>TITLE : SHOP DRAWING GENERAL ARRANGMENT ISOMETRIC VIEW</b>	
PROJECT: <b>DIKEMAHIRAN PIGEON BUILDING</b>	DRAWER:
CLIENT :	DATE: <b>15/04/2024</b>
NO: <b>001</b>	APPROVED BY:
1:	DATE: <b>15/04/2024</b>
2:	DESIGNED BY:
3:	DATE: <b>15/04/2024</b>
4:	DRAWING NO.:
5:	NO. OF SHEETS:
6:	SHEET NO.:

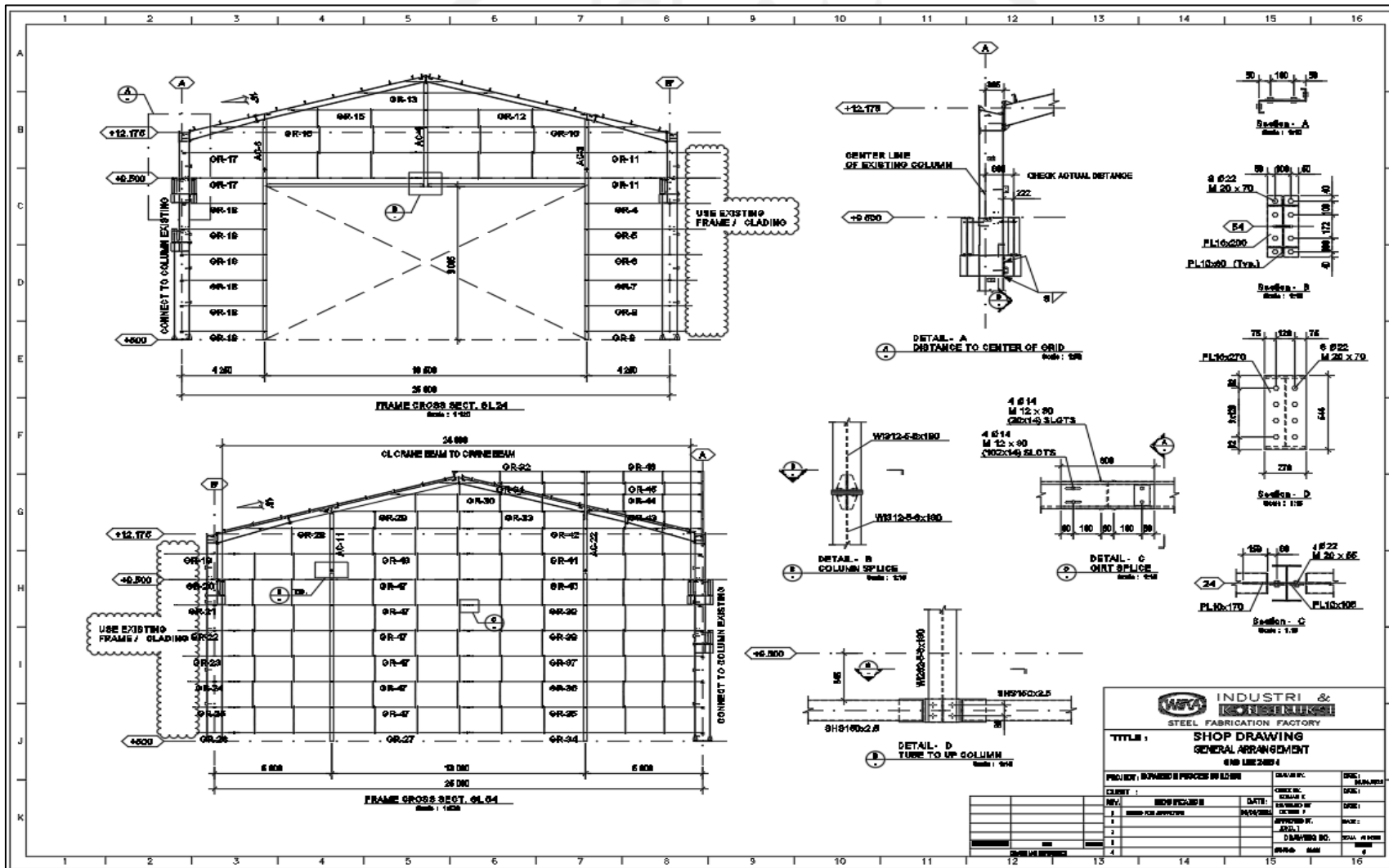


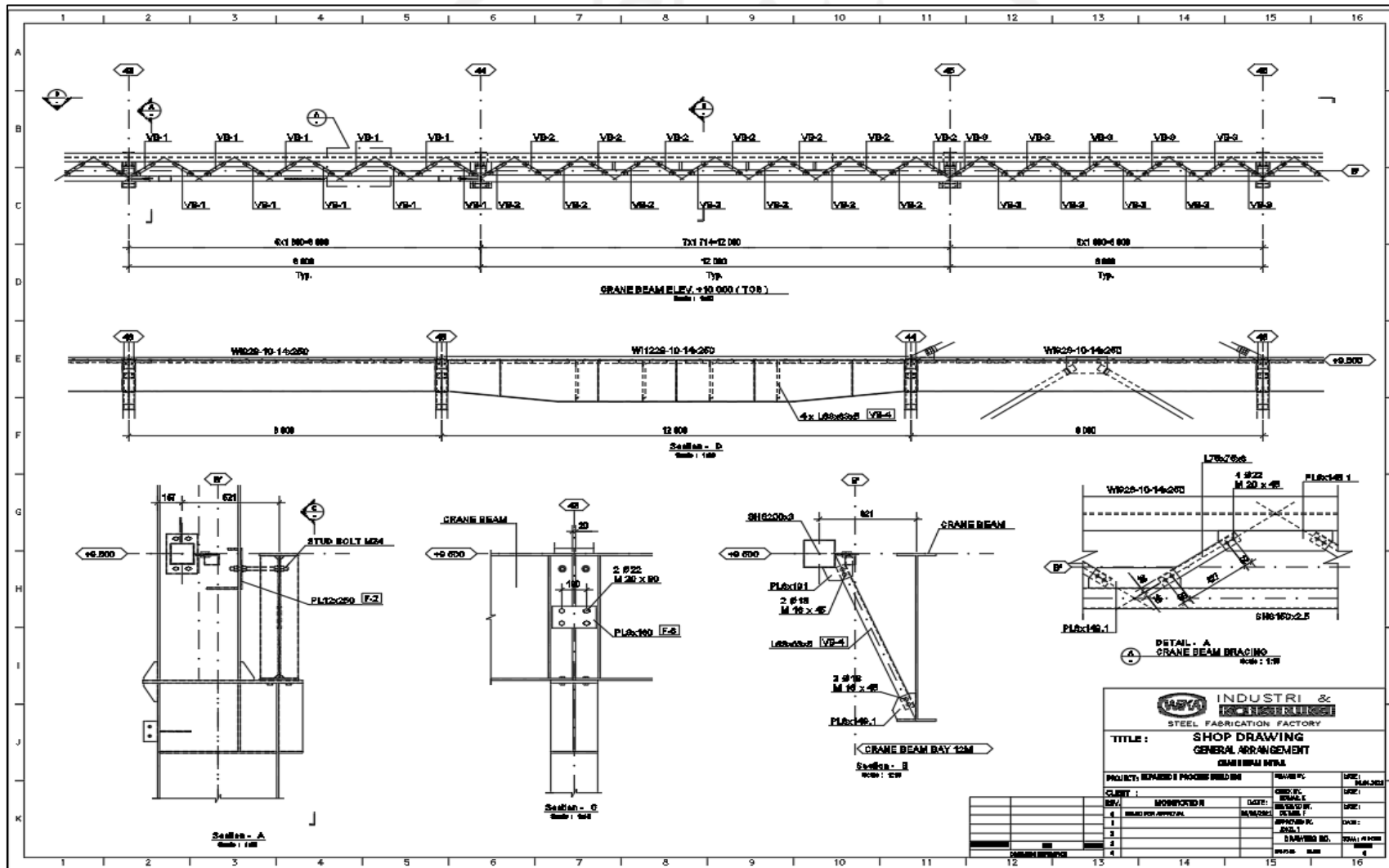


<b>INDUSTRI &amp; ENGINEERING</b>	
STEEL FABRICATION FACTORY	
<b>TITLE :</b>	
<b>SHOP DRAWING</b>	
<b>GENERAL ARRANGEMENT</b>	
LONGITUDINAL SEC G-L	
PREPARED BY: ENGR. J. P. ...	DATE: ...
CHECKED BY: ...	DATE: ...
DESIGNED BY: ...	DATE: ...
APPROVED BY: ...	DATE: ...









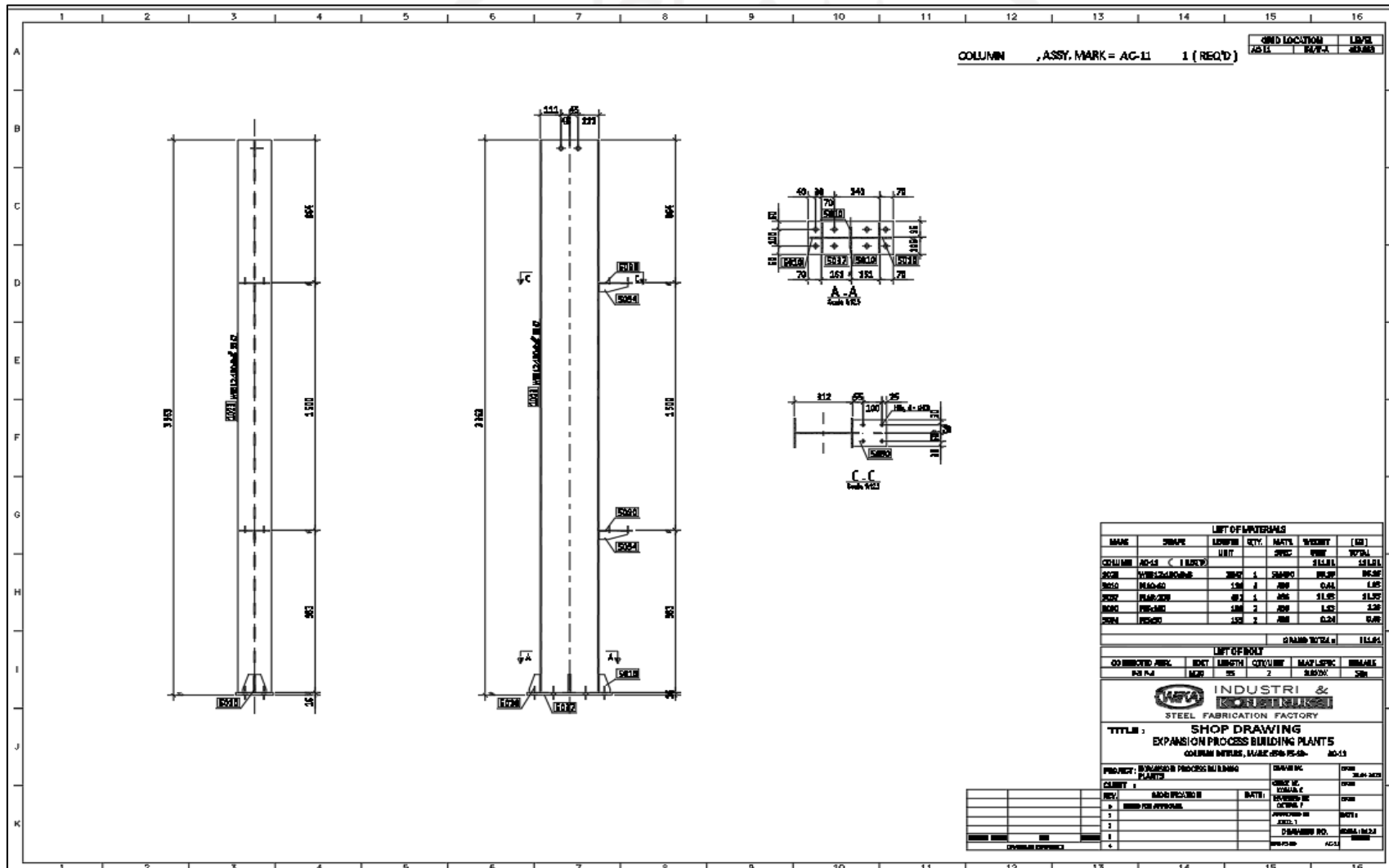
**INDUSTRI & CONSTRUCTION**  
STEEL FABRICATION FACTORY

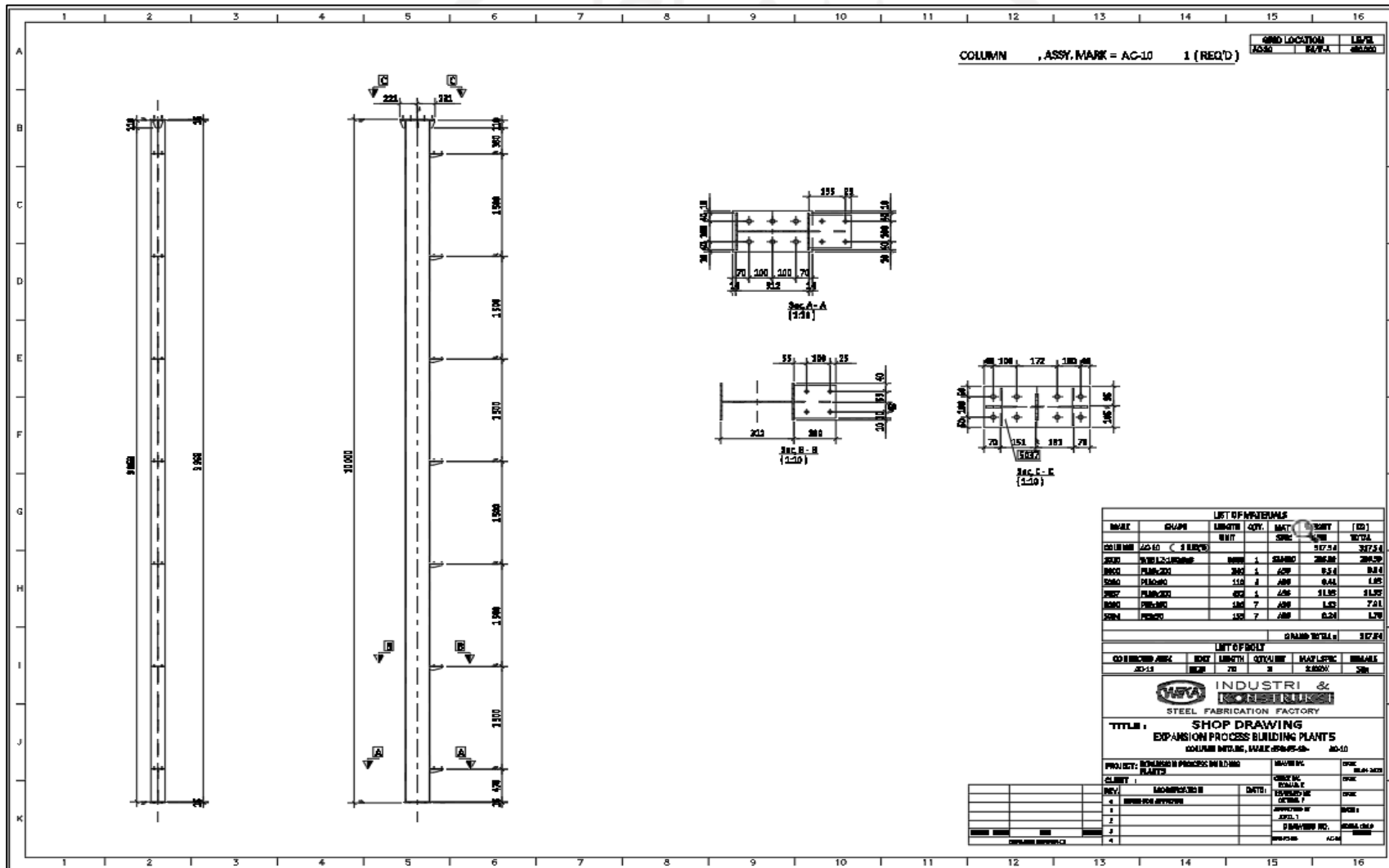
**TITLE :**  
**SHOP DRAWING**  
**GENERAL ARRANGEMENT**  
**CRANE BEAM BAY**

PROJECT: REHABILITATION PROJECT BUILDING	DRAWN BY: [ ]	DATE: [ ]
CLIENT: [ ]	CHECKED BY: [ ]	DATE: [ ]
DESIGN: [ ]	APPROVED BY: [ ]	DATE: [ ]
REVISIONS:	NO.	DESCRIPTION



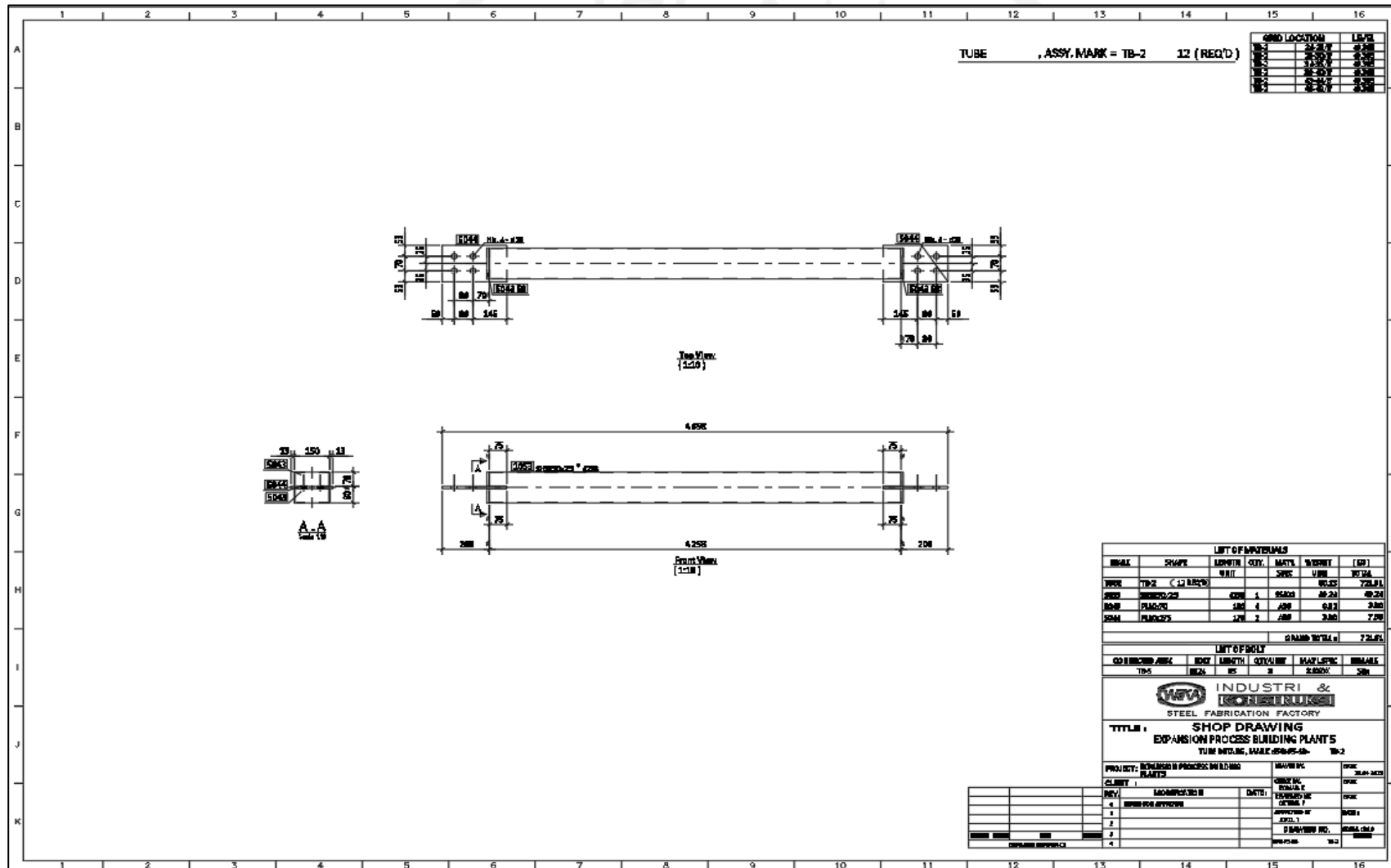


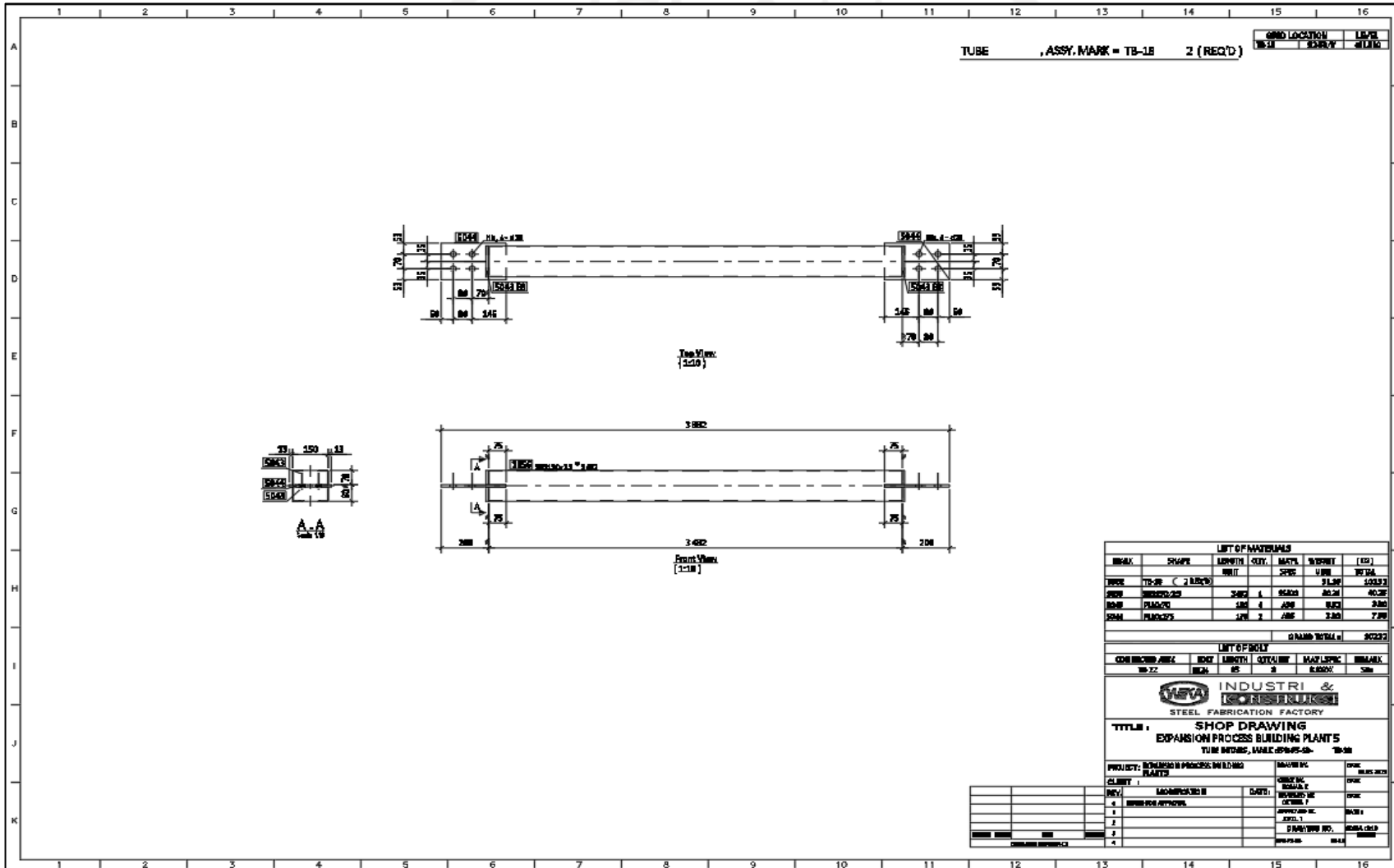




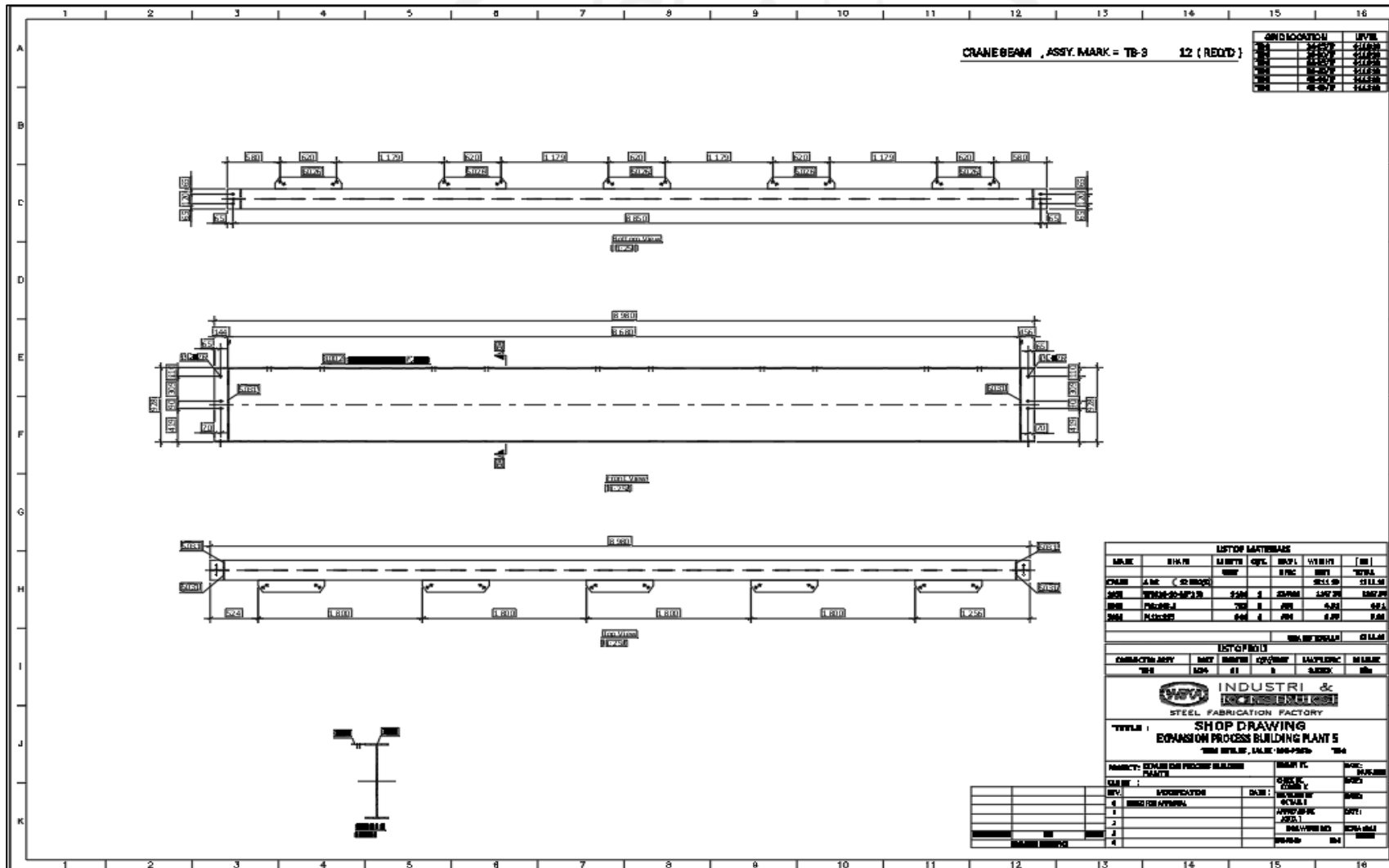




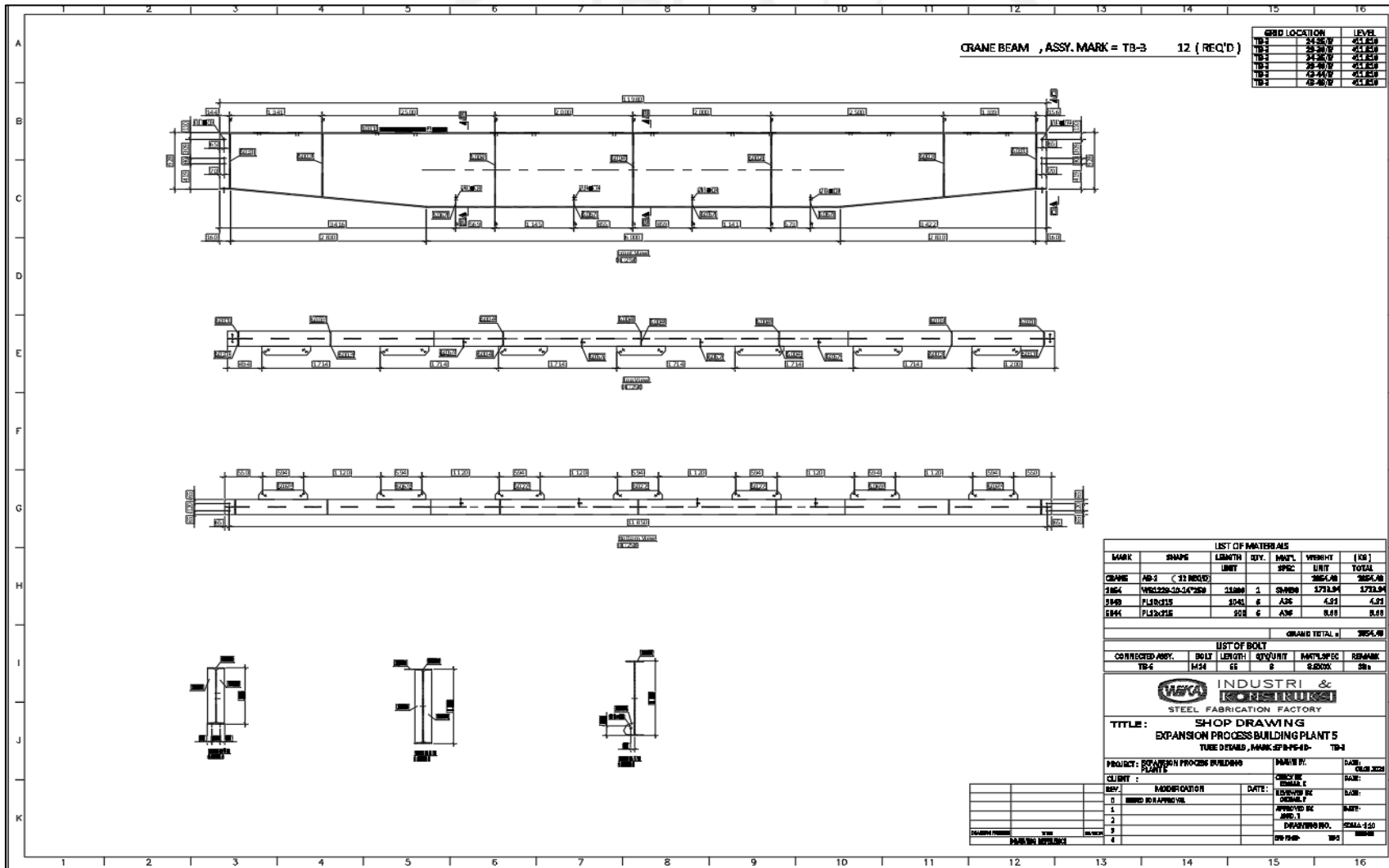


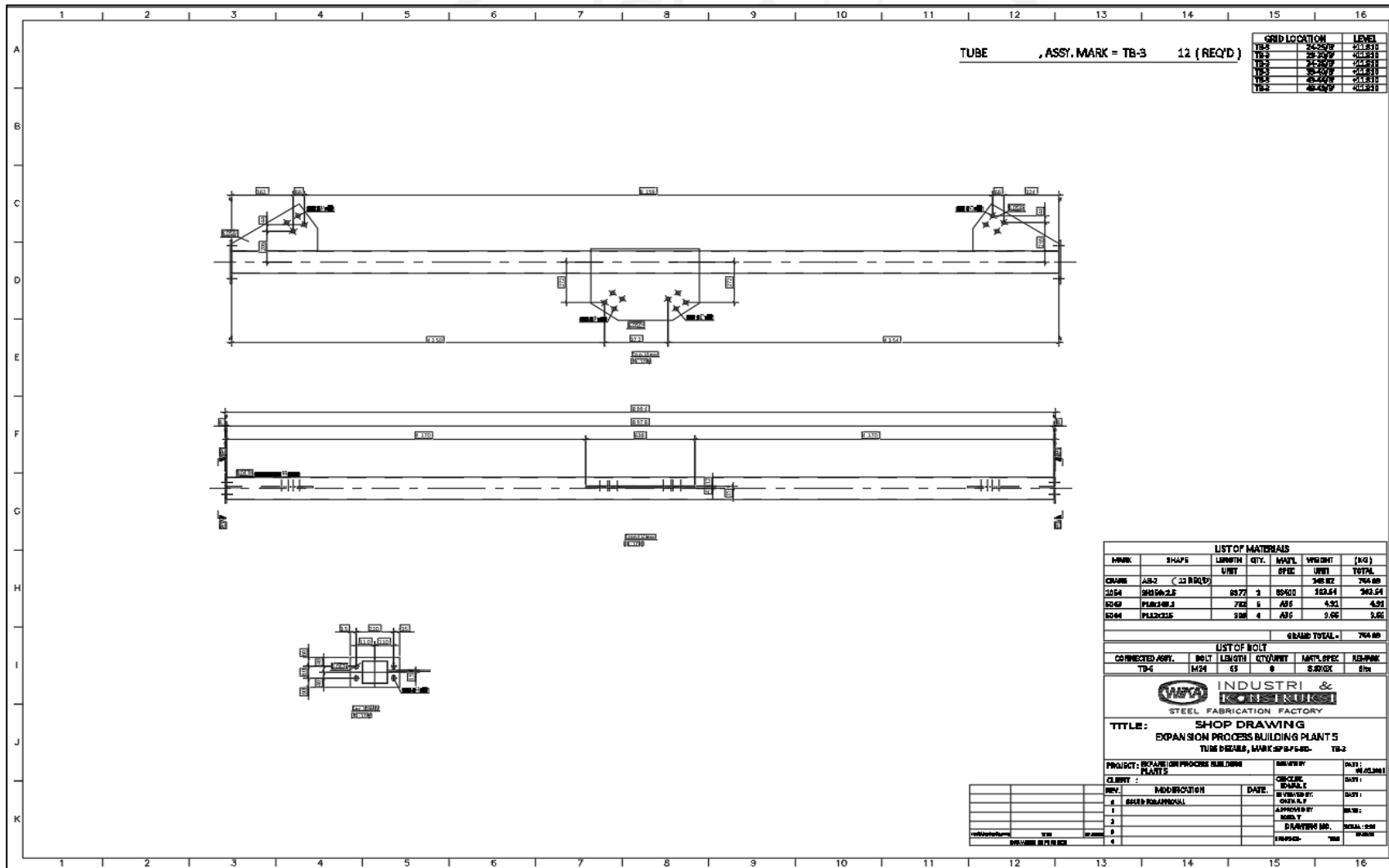


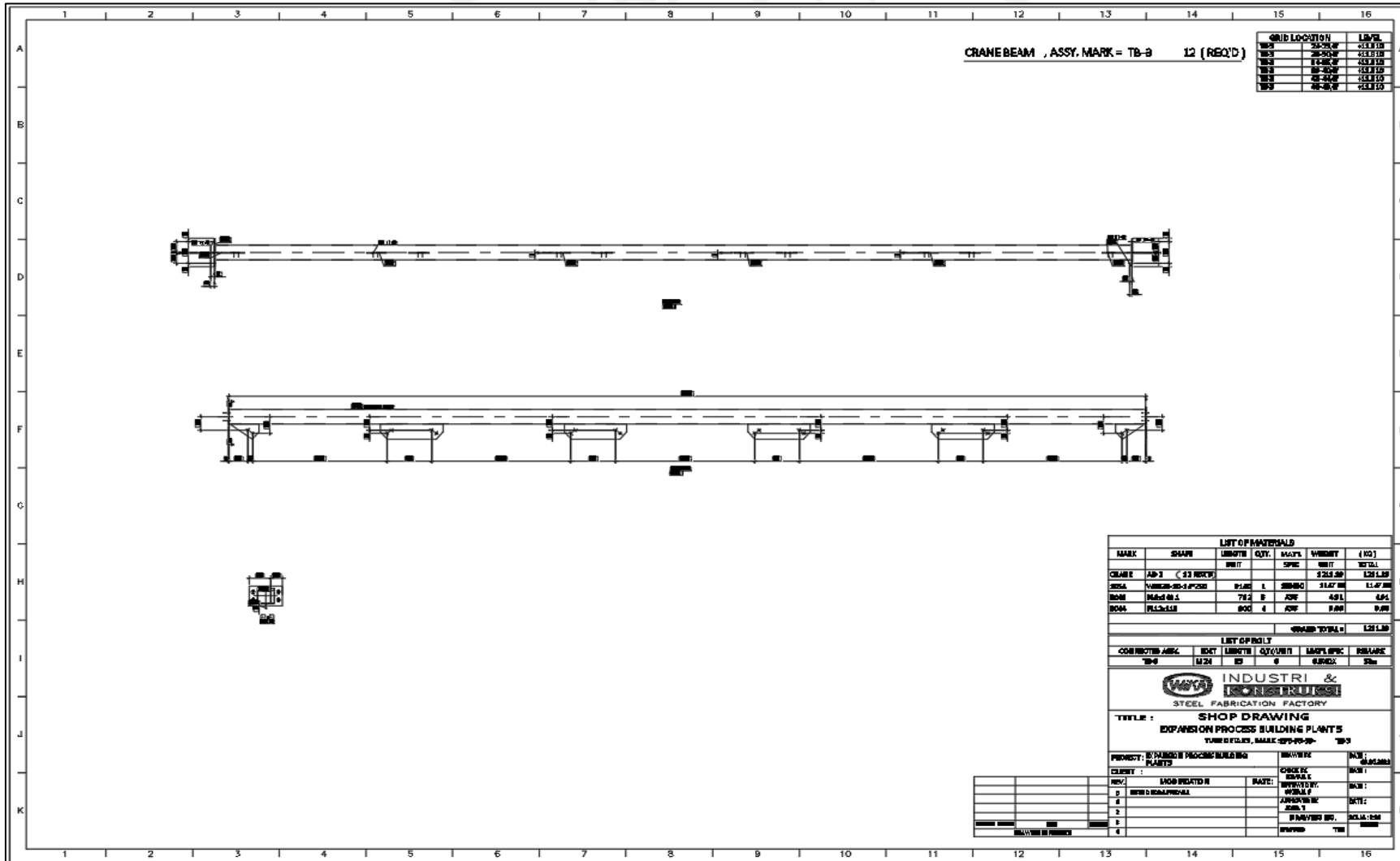
LIST OF MATERIALS						
ITEM	SHAPE	LENGTH	QTY.	MAT'L	WEIGHT	(LBS)
NO.	DESCRIPTION	UNIT	REQ'D	SPEC.	U.S. WEIGHT	NET WT.
1000	TB-1E C 2 (REQ'D)	WT.	2	A36	91.30	182.60
2000	PLATE 1/2"	AREA	4	A36	60.28	241.12
3000	PLATE 1/2"	AREA	4	A36	9.73	38.92
4000	PLATE 1/2"	AREA	2	A36	2.80	11.20
GRAND TOTAL #						902.84
LIST OF BOLT						
CONNECTION	SIZE	LENGTH	QTY.	MAT'L SPEC.	WEIGHT	REMARKS
TB-1E	1/2"	4"	8	A307	3.84	
<b>INDUSTRIAL &amp; CONSTRUCTION</b> STEEL FABRICATION FACTORY <b>TITLE : SHOP DRAWING</b> <b>EXPANSION PROCESS BUILDING PLANT 5</b> TUBE BIDDING, MARK: TB-1E-1E-2						
PROJECT :	EXPANSION PROCESS BUILDING PLANT 5	DRAWN BY :	DATE :	CHECKED BY :	DATE :	SCALE :
DESIGNER :	DATE :	APPROVED BY :	DATE :	CHECKED BY :	DATE :	SCALE :
DESIGNED BY :	DATE :	APPROVED BY :	DATE :	CHECKED BY :	DATE :	SCALE :
DESIGNED BY :	DATE :	APPROVED BY :	DATE :	CHECKED BY :	DATE :	SCALE :











CRANE BEAM , ASSY. MARK = TB-B 12 (REQ'D)

GRID LOCATION	LEVEL
15-00.00'	CEILING
15-00.00'	CEILING
15-00.00'	CEILING
15-00.00'	CEILING
15-00.00'	CEILING
15-00.00'	CEILING

LIST OF MATERIALS						
MARK	SHAPE	LENGTH	QTY.	WEIGHT	WEIGHT	(TOT)
		FEET		LB/FT	LB/FT	TOTAL
CRANE	AP-3 ( 22 RAYS)			22.00	22.00	122.00
WEL	VARIES-20-1/2" X 20	81.00	1	22.00	22.00	11.00
ROOF	VARIES 20-1/2"	78.2	8	22.00	49.6	4.96
ROOF	VARIES 20-1/2"	800	4	22.00	8.8	0.88
GRAND TOTAL =						128.64

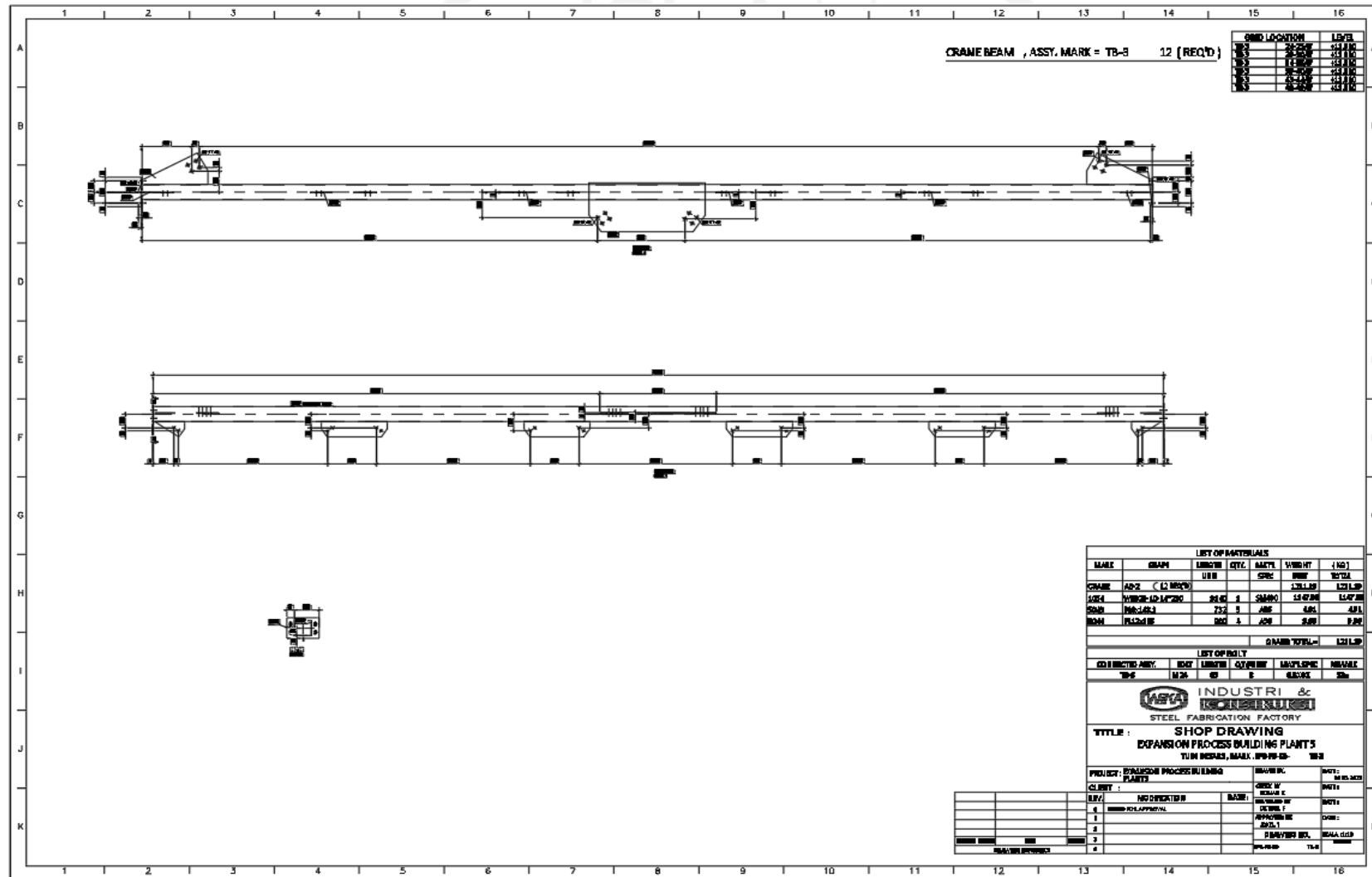
LIST OF BOLTS						
CONNECTION	SIZE	LENGTH	QTY/UNIT	UNIT PRICE	REMARKS	
	INCH	IN	#	\$/UNIT		
CRANE	1/2"	6"	8	2.50		

**INDUSTRIAL & CONSTRUCTION**  
STEEL FABRICATION FACTORY

**SHOP DRAWING**  
EXPANSION PROCESS BUILDING PLANT'S

TUBES & PIPES, MARK 227-40-20 15-3

REV.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHECKED	DATE
1	ISSUED FOR FABRICATION				
2					
3					
4					



CRANE BEAM , ASSY. MARK = TB-8 12 (REQ'D)

GRID LOCATION	LEVEL
10	20.000
11	20.000
12	20.000
13	20.000
14	20.000
15	20.000

LIST OF MATERIALS						
MARK	QTY	UNIT	QTY	UNIT	WGT (KG)	WGT (LBS)
CRANE	AD-2	(C) 8000			120.00	264.55
WELD	WELD-AD-1A-CR	20.00	2	CM <sup>2</sup>	14.07	31.02
WELD	WELD-AD-1A-CR	20.00	2	CM <sup>2</sup>	14.07	31.02
WELD	WELD-AD-1A-CR	20.00	2	CM <sup>2</sup>	14.07	31.02
WELD	WELD-AD-1A-CR	20.00	2	CM <sup>2</sup>	14.07	31.02
GRAND TOTAL					142.14	317.59

LIST OF BOLTS						
CO. & DIMENSIONS	QTY	UNIT	QTY	UNIT	WGT (KG)	WGT (LBS)
10-2	10	PCS	10	PCS	0.00	0.00

**INDUSTRI & TECHNICAL**  
STEEL FABRICATION FACTORY

**TITLE :** SHOP DRAWING  
EXPANSION PROCESS BUILDING PLANT 5  
TUN BERSAT, MARK. 100-00-00- TB-8

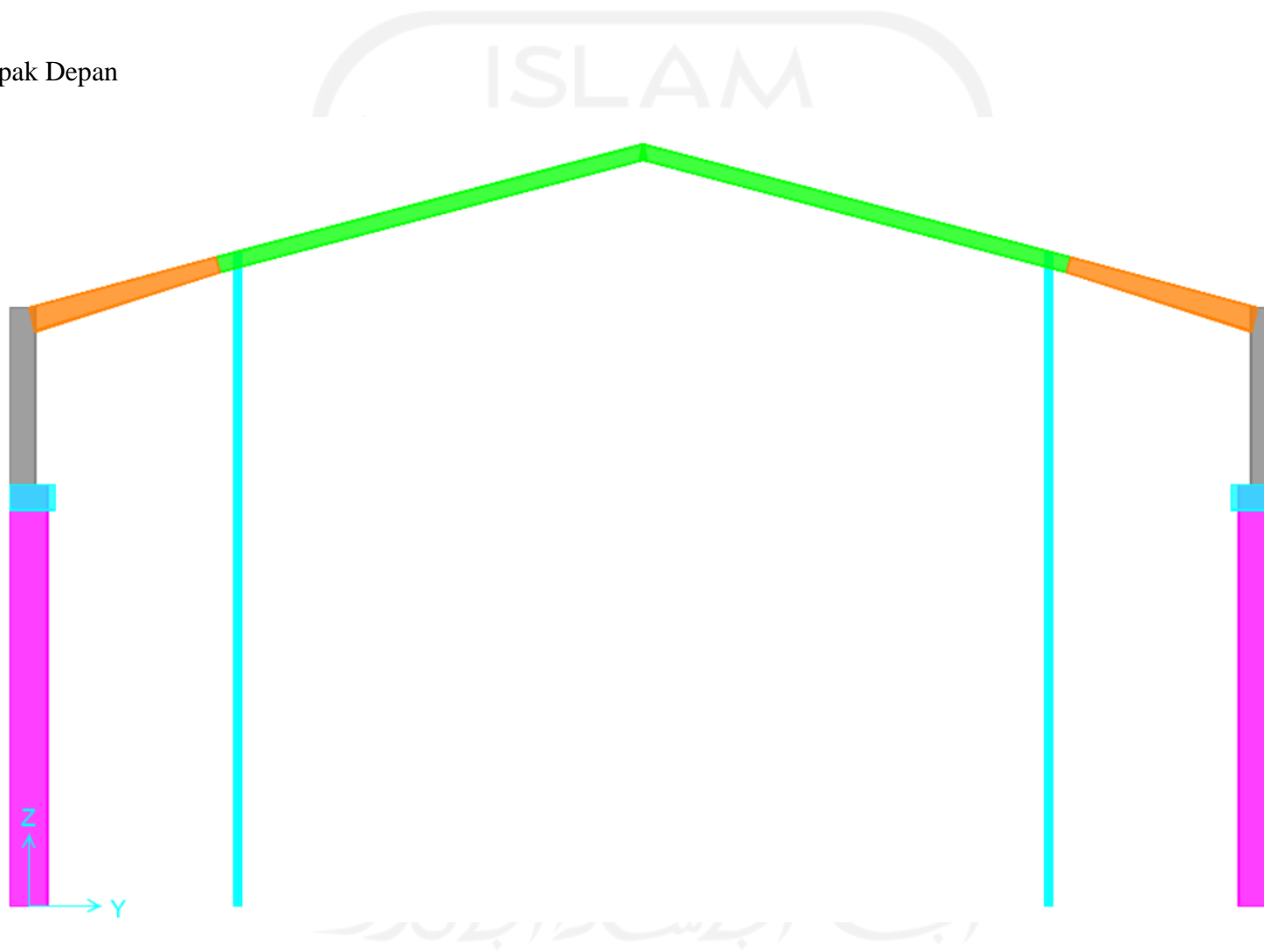
**PROJECT :** EXPANSION PROCESS BUILDING PLANT 5  
**CLIENT :** PT. BUKIT TIMAH

REV.	NO. OF REVISION	DATE	BY	CHECKED BY	DATE
1	1				
2	1				
3	1				
4	1				

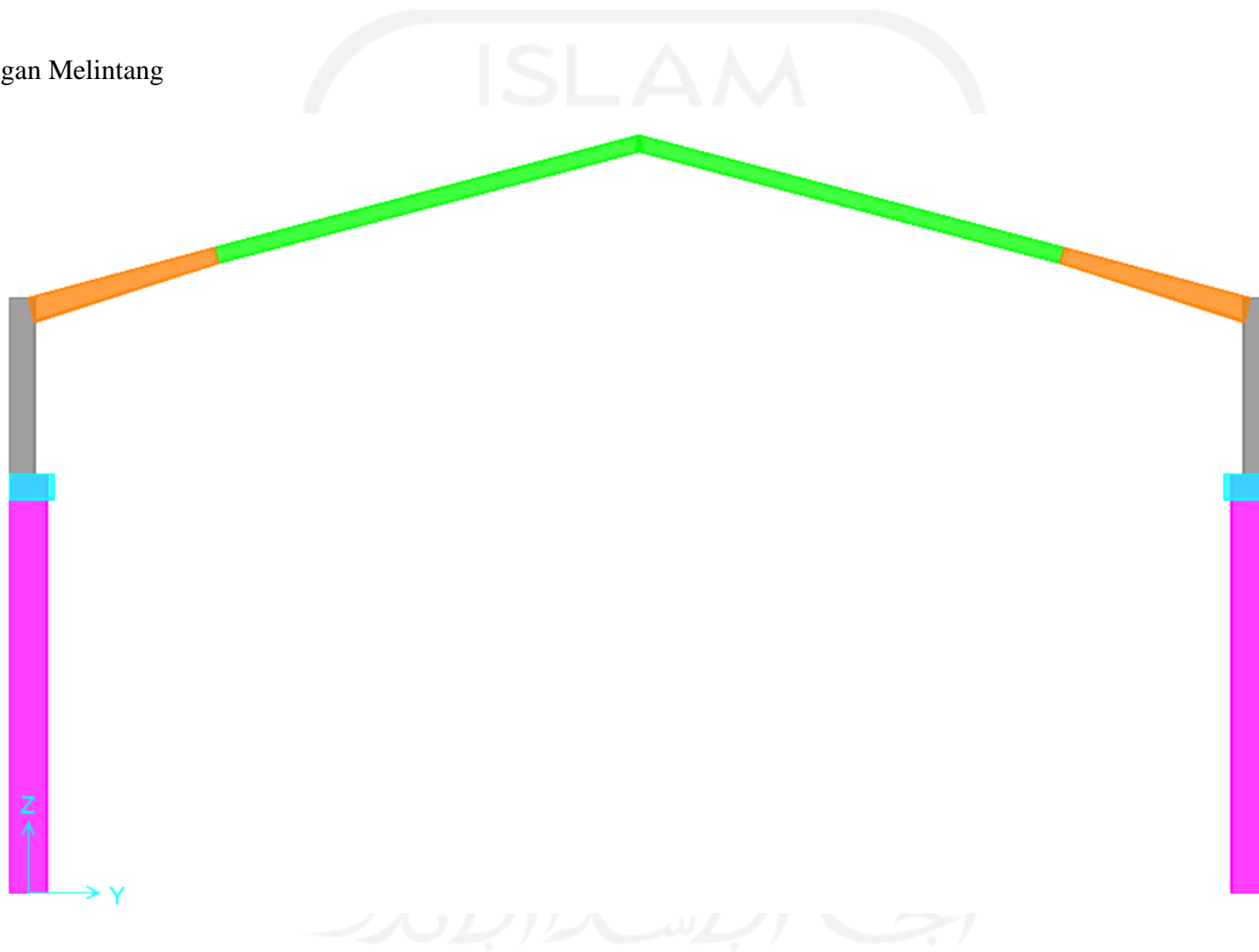


**Lampiran 3 Pemodelan SAP2000**

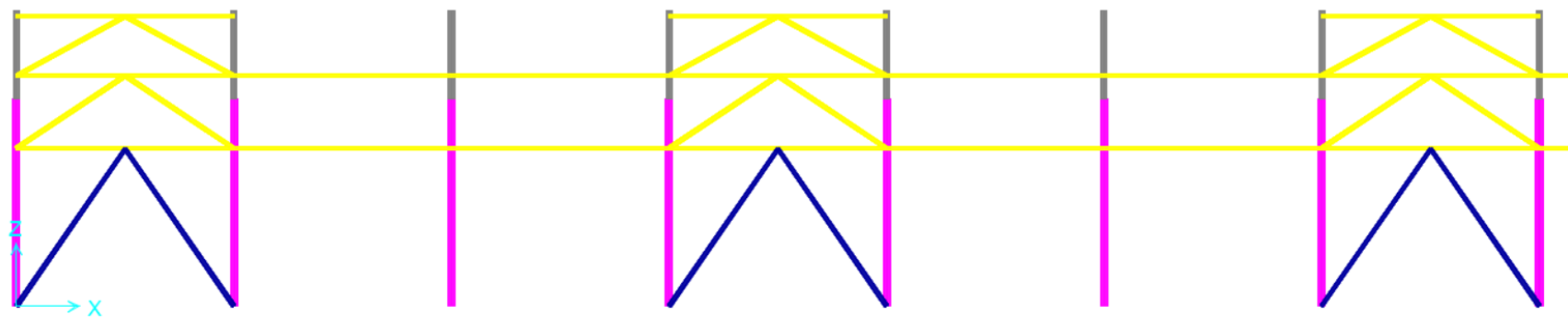
## 1. Tampak Depan



2. Potongan Melintang

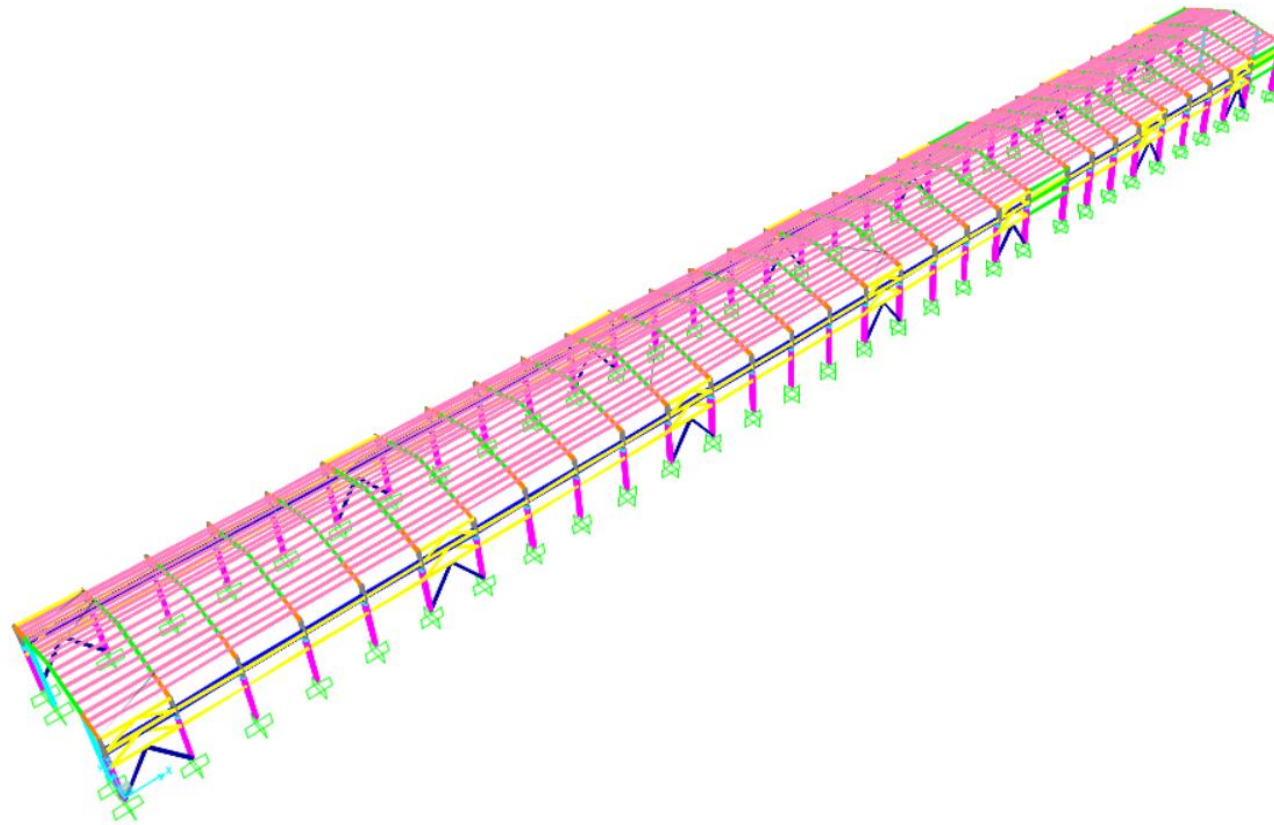


### 3. Konfigurasi Pengaku



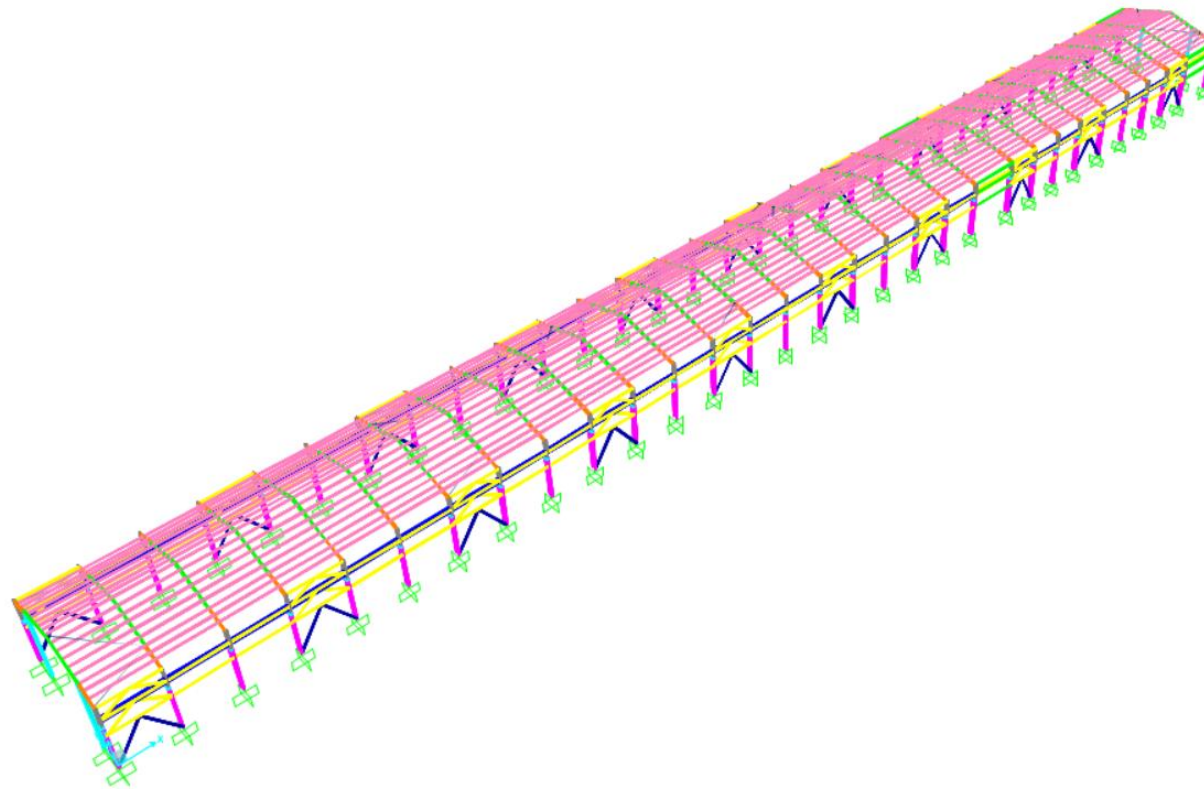


#### 4. Struktur T1 (Eksisting)

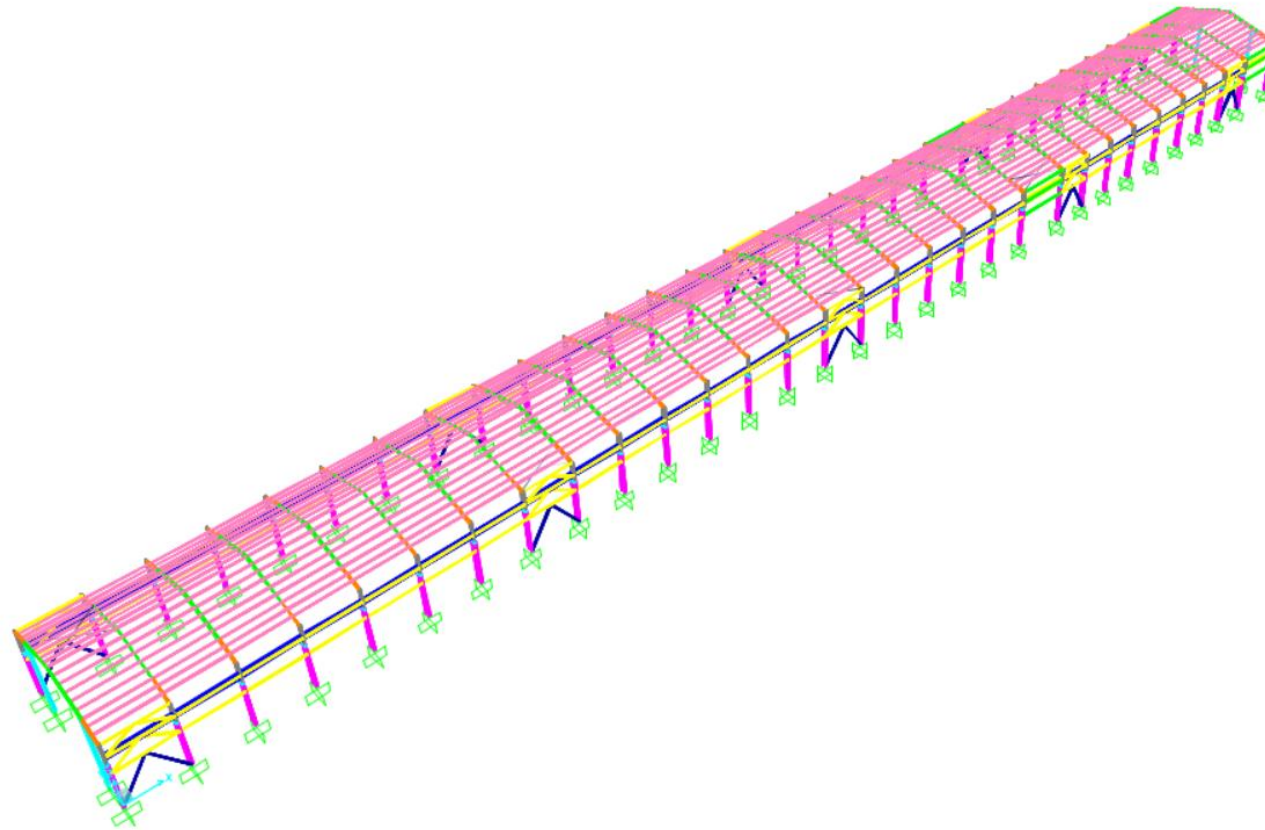


رjestaraband

## 5. Struktur T2

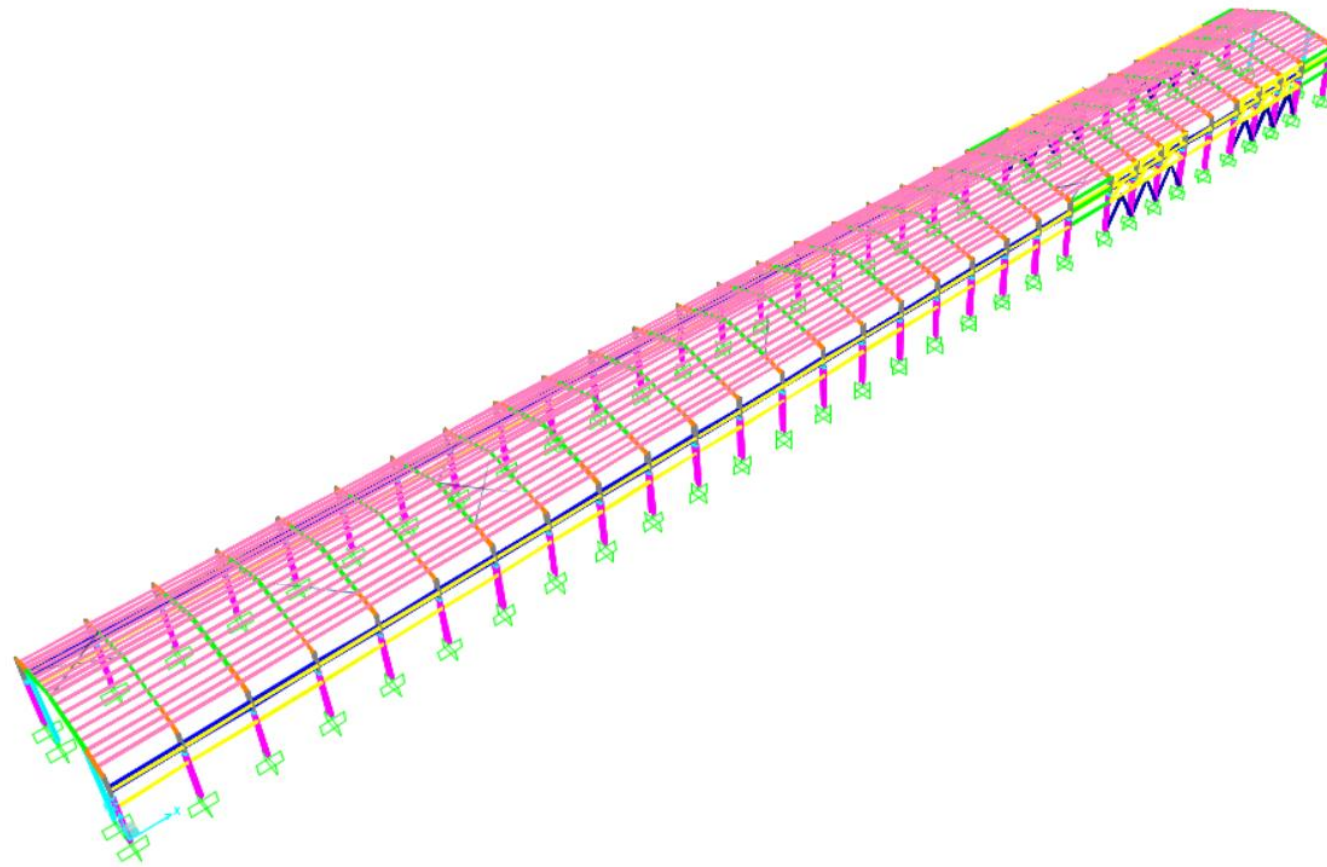


6. Struktur T3

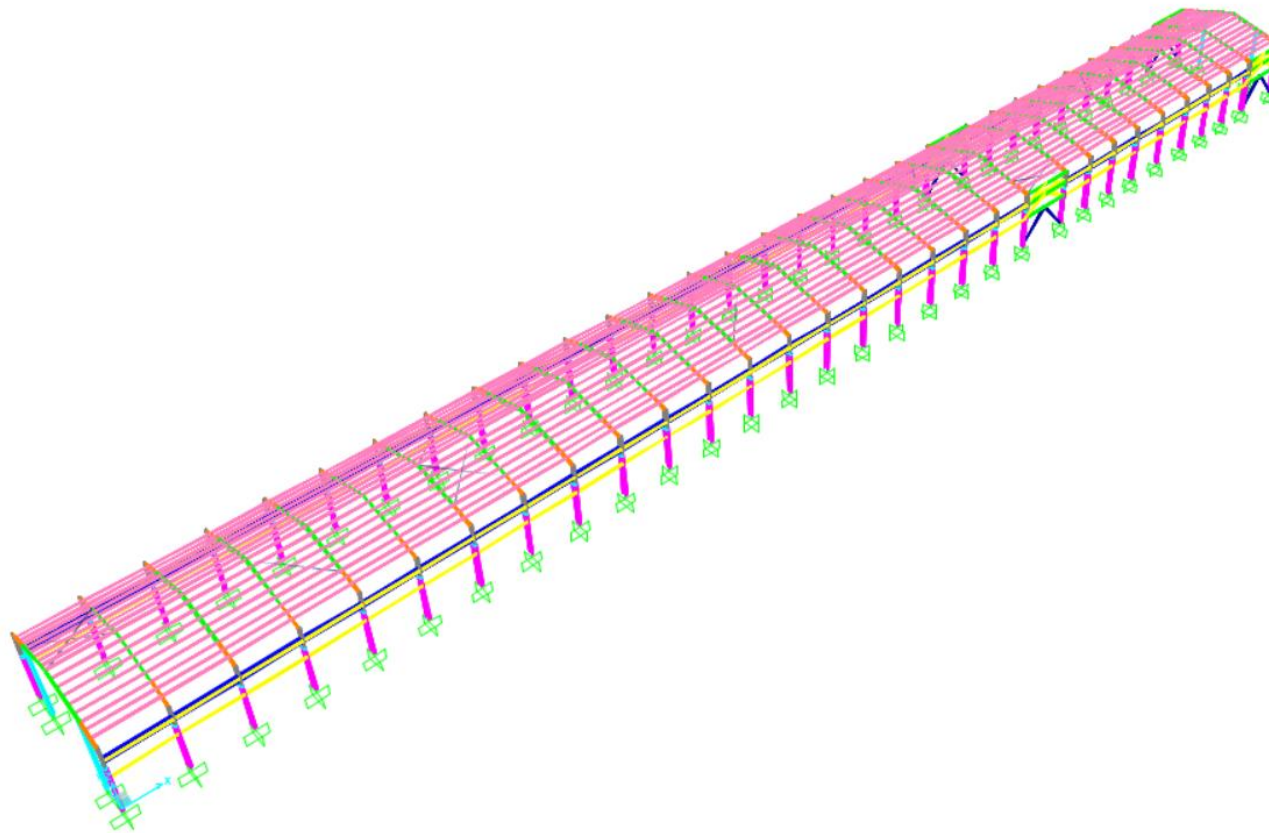


جہ اہلسنہ

## 7. Struktur T4

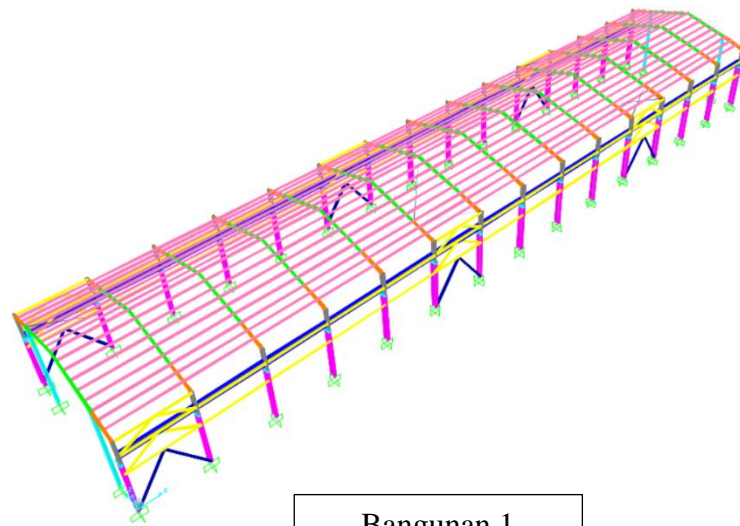


## 8. Struktur T5

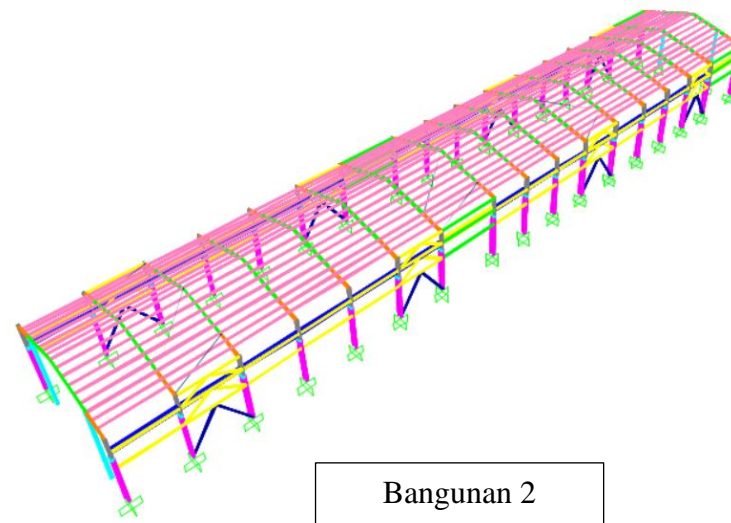


اجتاز آزمون

## 9. Bangunan Setelah Didilatasi



Bangunan 1



Bangunan 2