

TUGAS AKHIR

ANALISIS STRUKTUR *RAFTER* MENGGUNAKAN PROFIL BAJA IWF DAN VARIASI BENTANG PANJANG PADA BANGUNAN *VISITOR MANAGEMENT* DI KARAWANG (*ANALYSIS OF RAFTER STRUCTURE USING IWF STEEL PROFILES AND LENGTH SPAN VARIATIONS IN THE VISITOR MANAGEMENT BUILDING IN KARAWANG*)

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



**Angga Putra Bimantara
22511045**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS STRUKTUR *RAFTER* MENGGUNAKAN PROFIL BAJA IWF DAN VARIASI BENTANG PANJANG PADA BANGUNAN *VISITOR* MANAGEMENT DI KARAWANG (*ANALYSIS OF RAFTER STRUCTURE USING IWF STEEL PROFILES AND LENGTH SPAN VARIATIONS IN THE VISITOR MANAGEMENT BUILDING IN KARAWANG*)

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



**Angga Putra Bimantara
22511045**

Disetujui

Pembimbing

**Astriaana Hardawati, S.T., M.Eng.
Tanggal :**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STRUKTUR RAFTER MENGGUNAKAN PROFIL BAJA IWF DAN VARIASI BENTANG PANJANG PADA BANGUNAN *VISITOR* *MANAGEMENT* DI KARAWANG (*ANALYSIS OF RAFTER STRUCTURE USING IWF STEEL PROFILES AND LENGTH SPAN VARIATIONS IN THE VISITOR MANAGEMENT BUILDING IN KARAWANG*)



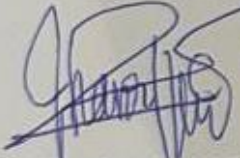
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

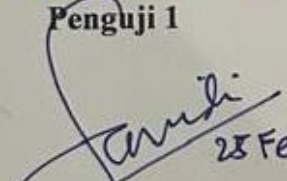
Diuji pada Tanggal 13 Februari 2026
Oleh Dewan Penguji

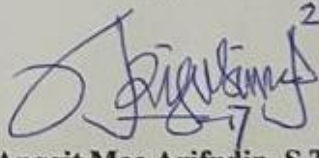
Pembimbing

Penguji 1

Penguji 2


23.2.26
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301


28 Feb 2026
Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U
NIK : 845110101


24-2-2026
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T
NIK : 185111304

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




24/2/2026
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM
NIK:095110101

PERNYATAAN 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 dikemudian 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 Februari 2026

Yang membuat pernyataan,



Angga Putra Bimantara

(22511045)

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr Wb

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT, sehingga Tugas Akhir yang berjudul Analisis Struktur *Rafter* Menggunakan Profil Baja IWF Dan Variasi Bentang Panjang Pada Bangunan Visitor Management Di Karawang dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng, Selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu dan membimbing dalam penyelesaian tugas akhir dengan masukan, kritik, dan saran yang diberikan pada pelaksanaan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.,(Eng)., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
3. Bapak Sukses Raharto dan Ibu Rosi Sumiati selaku orang tua penulis yang sudah memberikan dukungan, motivasi, dan doa yang tidak pernah putus sehingga Tugas Akhir yang dilaksanakan bisa selesai tepat waktu
4. Ibu Yoyom Suryamah dan Ibu Eti Tjahyati selaku nenek yang senantiasa selalu memberi dukungan dan doa yang tidak pernah putus sehingga Tugas Akhir yang dilaksanakan bisa selesai tepat waktu
5. Keluarga besar Tegal yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan doa selama masa perkuliahan sampai selesainya Tugas Akhir
6. Keluarga besar Karawang yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan doa selama masa perkuliahan sampai selesainya Tugas Akhir

7. Kelas Struktur mas Abdul Gandhi yang telah memberikan pembelajaran materi mengenai struktur baja yang mempermudah penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
8. Teman teman dan semua pihak yang sudah mendukung dan memberikan semangat kepada penulis terutama teman dekat penulis yang selalu mendukung dan mendampingi penulis sampai selesainya Tugas Akhir ini
9. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada diri sendiri karena telah mampu bertahan dan menyelesaikan semua pendidikan dan masalah yang terjadi selama perkuliahan sampai selesainya Tugas Akhir ini

Yogyakarta, 29 Januari 2026

Penulis,

Angga Putra Bimantara

(22511045)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Perbedaan Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Pembebanan	12
3.1.1 Beban Mati	12
3.1.2 Beban Hidup	12
3.1.3 Beban Angin	17
3.1.4 Beban Gempa	18
3.1.5 Kombinasi Pembebanan	30
3.2 Kapasitas <i>Rafter</i>	31
3.2.1 Section Properties	31

3.2.2 Momen Nominal Penampang	33
3.2.3 Momen Nominal Balok Pelat berdinding Penuh	34
3.2.4 Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling	38
3.2.5 Tahanan Momen Lentur	40
3.2.6 Tahanan geser	40
3.2.7 Interaksi Geser dan Lentur	41
3.2.8 Cek Lendutan Struktur	41
BAB IV METODE PENELITIAN	42
4.1 Data Penelitian	42
4.2 Denah Penelitian	43
4.3 Tahapan Penelitian	45
BAB V PEMBAHASAN	48
5.1 Desain Pofil Baja	48
5.1.1 Profil Rafter IWF 350.175.7.11	48
5.1.2 Profil Rafter IWF 400.200.8.13	49
5.2 Pemodelan Struktur	50
5.2.1 Pemodelan 1 (existing)	50
5.2.2 Pemodelan 2	50
5.3 Perhitungan Pembebanan	51
5.3.1 Beban Mati	51
5.3.2 Beban Hidup	53
5.3.3 Beban Air Hujan	53
5.3.4 Beban CNP	54
5.3.5 Beban Angin	55
5.3.6 Beban Gempa	56
5.3.7 Kombinasi Pembebanan	60
5.4 Analisis Kapasitas <i>Rafter</i>	61
5.4.1 Kapasitas Model 1 (Existing)	61
5.4.2 Kapasitas Model 2	79
5.5 Cek Kapasitas Balok <i>Rafter</i>	99
5.5.1 Tahanan Momen Lentur	99
5.5.2 Tahanan Geser	107

5.5.3 Interaksi Geser dan Lentur	115
5.6 Cek Lendutan	119
5.6.1 Lendutan Model 1 (<i>Existing</i>)	119
5.6.2 Lendutan Model 2	120
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	127
6.1 Kesimpulan	127
6.2 Saran	128
DAFTAR PUSTAKA	129
LAMPIRAN	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Ilustrasi Beban Angin	17
Gambar 3. 2	Kecepatan Angin Dasar	17
Gambar 3. 3	Skema Beban Angin	18
Gambar 3. 4	Spektrum Respons Desain	26
Gambar 3. 5	Dimensi Profil Baja IWF	31
Gambar 4. 1	Lokasi Proyek Pekerjaan Pembangunan Bangunan Pendukung Bank Indonesia Karawang (PK-12)	42
Gambar 4. 2	Denah Lantai Existing	43
Gambar 4. 3	Denah Struktur Rafter Model 1	44
Gambar 4. 4	Denah Struktur Rafter Model 2	44
Gambar 4. 5	Flowchart Penelitian	47
Gambar 5. 1	Penampang Profil IWF 350.175.7.11	48
Gambar 5. 2	Penampang Profil IWF 400.200.8.13	49
Gambar 5. 3	Pemodelan 3D Model 1 (<i>Existing</i>)	50
Gambar 5. 4	Skema Pemodelan Struktur 2D Model 1 (<i>Existing</i>)	50
Gambar 5. 5	Pemodelan 3D Model 2	51
Gambar 5. 6	Skema Pemodelan Struktur 2D Model 2	51
Gambar 5. 7	Beban Mati Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	52
Gambar 5. 8	Beban Hidup Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	53
Gambar 5. 9	Beban Air Hujan Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	54
Gambar 5. 10	Beban CNP Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	55
Gambar 5. 11	Beban Angin Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	56
Gambar 5. 12	Beban Gempa Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	59
Gambar 5. 13	Respon Spektrum Yang Bekerja Pada <i>Rafter</i>	59
Gambar 5. 14	Hasil Gaya Dalam Batang Skema Rangka 8 Profil IWF 350.175.7.11	62
Gambar 5. 15	Hasil Gaya Dalam Batang Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11	80

Gambar 5. 16 Diagram Momen Kapasitas Model 1 (<i>Existing</i>)	101
Gambar 5. 17 DiagramTahanan Momen Lentur Model 1 (<i>Existing</i>)	101
Gambar 5. 18 Grafik Momen Kapasitas Profil IWF 350.175.7.11	104
Gambar 5. 19 Grafik Momen Kapasitas Profil IWF 400.200.8.13	104
Gambar 5. 20 Grafik Rekapitulasi Momen Kapasitas	105
Gambar 5. 21 Grafik Tahanan Momen Lentur Profil IWF 350.175.7.11	105
Gambar 5. 22 Grafik Tahanan Momen Lentur Profil IWF 400.200.8.13	106
Gambar 5. 23 Rekapitulasi Grafik Tahanan Momen Lentur	106
Gambar 5. 24 Diagram Gaya Geser Kapasitas Model 1 (<i>Existing</i>)	109
Gambar 5. 25 Diagram Tahanan Geser Model 1 (<i>Existing</i>)	109
Gambar 5. 26 Grafik Gaya Geser Kapasitas Profil IWF 350.175.7.11	112
Gambar 5. 27 Grafik Gaya Geser Kapasitas Profil IWF 400.200.8.13	112
Gambar 5. 28 Grafik Rekapitulasi Gaya Geser Kapasitas	113
Gambar 5. 29 Grafik Tahanan Geser Profil IWF 350.175.7.11	113
Gambar 5. 30 Grafik Tahanan Geser Profil IWF 400.200.8.13	114
Gambar 5. 31 Rekapitulasi Grafik Tahanan Geser	114
Gambar 5. 32 Diagram Interaksi Geser dan Lentur (<i>Existing</i>)	116
Gambar 5. 33 Grafik Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 350.175.7.11	117
Gambar 5. 34 Grafik Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 400.200.8.13	118
Gambar 5. 35 Grafik Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur	118
Gambar 5. 36 Diagram Lendutan Model 1 (<i>Existing</i>)	120
Gambar 5. 37 Grafik Lendutan IWF 350.175.7.11	121
Gambar 5. 38 Grafik Lendutan IWF 400.200.8.13	122

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Komparasi Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
Tabel 3. 1	Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum	13
Tabel 3. 2	Faktor Keutamaan Gempa	19
Tabel 3. 3	Klasifikasi Situs	20
Tabel 3. 4	Koefisien Situs Fa	21
Tabel 3. 5	Koefisien Situs Fv	21
Tabel 3. 6	Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk sistem pemikul gaya seismik	22
Tabel 3. 7	Kategori Desain Seismik SDS	26
Tabel 3. 8	Kategori Desain Seismik SD1	26
Tabel 3. 9	Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	27
Tabel 3. 10	Nilai parameter pendekatan nilai Ct dan x	28
Tabel 4. 1	Data Penelitian	43
Tabel 5. 1	Rekapitulasi Gaya Dalam Batang	62
Tabel 5. 2	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Momen	79
Tabel 5. 3	Rekapitulasi Data Profil dan Gaya Geser Profil IWF 350.175.7.11	80
Tabel 5. 4	Rekapitulasi Momen Profil IWF 350.175.7.11	81
Tabel 5. 5	Rekapitulasi Data Profil dan Gaya Geser Profil IWF 400.200.8.13	81
Tabel 5. 6	Rekapitulasi Momen Profil IWF 400.200.8.13	81
Tabel 5. 7	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Momen	99
Tabel 5. 8	Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Model 1 (<i>Existing</i>)	100
Tabel 5. 9	Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Profil IWF 350.175.7.11	102
Tabel 5. 10	Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Profil IWF 400.200.8.13	103
Tabel 5. 11	Penambahan Bentang Dalam Persen (%) Untuk Tahanan Momen Lentur	103
Tabel 5. 12	Rekapitulasi Tahanan Geser Model 1 (<i>Existing</i>)	108
Tabel 5. 13	Rekapitulasi Tahanan Geser Profil IWF 350.175.7.11	111

Tabel 5. 14	Rekapitulasi Tahanan Geser Profil IWF 400.200.8.13	111
Tabel 5. 15	Penambahan Bentang Dalam Persen (%) Untuk Tahanan Geser	111
Tabel 5. 16	Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Model 1 (<i>Existing</i>)	115
Tabel 5. 17	Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 350.175.7.11	116
Tabel 5. 18	Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 400.200.8.13	117
Tabel 5. 19	Rekapitulasi Lendutan Model 1 (<i>Existing</i>)	119
Tabel 5. 20	Rekapitulasi Lendutan Profil IWF 350.175.7.11	120
Tabel 5. 21	Rekapitulasi Lendutan Profil IWF 400.200.8.13	121
Tabel 5. 22	Rekapitulasi Hasil Akhir Model 1 (<i>Existing</i>)	125
Tabel 5. 23	Rekapitulasi Hasil Akhir Model 2 Profil IWF 350.175.7.11s	125
Tabel 5. 24	Rekapitulasi Hasil Akhir Model 2 Profil IWF 400.200.8.13	126

ABSTRAK

Perkembangan sektor konstruksi dan meningkatnya permintaan bangunan baja di Indonesia, khususnya di kawasan industri seperti Karawang, mendorong kebutuhan akan struktur yang efisien, kuat, dan aman, di mana konstruksi rangka baja digunakan pada bangunan industri dan fasilitas pelayanan publik. Studi ini bertujuan untuk menganalisis *rafter* pada bangunan *Visitor Management (existing)* dengan variasi bentang untuk menentukan kekuatan dan stabilitasnya, sekaligus mendukung upaya keberlanjutan melalui penggunaan baja yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Penelitian ini mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 untuk pembebanan serta SNI 1729:2020 untuk analisis kapasitas balok *rafter* dengan pemodelan dibantu dengan *software* SAP2000. Data penelitian menggunakan dua model yaitu model 1 (*existing*) dengan bentang 11 meter dan model 2 dengan variasi bentang 11 meter sampai 22 meter.

Hasil analisis kapasitas *rafter* pada model 1 (*existing*) dan model 2 dengan profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 memiliki nilai momen kapasitas 209370903 Nmm dan 320202048 Nmm secara berurut. Evaluasi interaksi lentur dan geser pada model 1 (*existing*) menunjukkan kondisi aman sedangkan untuk model 2, kedua profil juga memenuhi persyaratan kekuatan, dengan *trendline* nilai interaksi meningkat seiring pertambahan bentang. Dari sisi lendutan, model 1 (*existing*) dinyatakan aman namun pada model 2, lendutan meningkat signifikan dengan bertambahnya bentang. Profil IWF 350.175.7.11 hanya memenuhi syarat lendutan hingga penambahan bentang 65% *existing* atau bentang 18,5 meter. Pada profil IWF 400.200.8.13 juga hanya memenuhi syarat lendutan hingga penambahan bentang 96% *existing* atau bentang 21,56 meter dengan sudut *rafter* yang sama.

Kata kunci : Variasi Bentang, Kapasitas *Rafter*, Interaksi, Lendutan

ABSTRACT

The development of the construction sector and the increasing demand for steel structures in Indonesia, particularly in industrial areas like Karawang, are driving the need for efficient, strong, and safe structures. Steel frame construction is used in industrial buildings and public service facilities. This study aims to analyze the rafters in an existing Visitor Management building with varying spans to determine their strength and stability, while also supporting sustainability efforts through the use of more efficient and environmentally friendly steel.

This research refers to SNI 1727:2020 and SNI 1726:2019 for loading and SNI 1729:2020 for rafter beam capacity analysis, with modeling aided by SAP2000 software. The research data uses two models: Model 1 (existing) with a span of 11 meters and Model 2 with spans varying from 11 meters to 22 meters.

The results of rafter capacity analysis on model 1 (existing) and model 2 with IWF profile 350.175.7.11 and IWF profile 400.200.8.13 have capacity moment values of 209370903 Nmm and 320202048 Nmm respectively. Evaluation of flexural and shear interactions in model 1 (existing) shows a safe condition while for model 2, both profiles also meet the strength requirements, with the trendline of interaction values increasing with the increase in span. In terms of deflection, model 1 (existing) is declared safe but in model 2, the deflection increases significantly with the increase in span. IWF profile 350.175.7.11 only meets the deflection requirements up to an additional 65% of the existing span or a span of 18.5 meters. In the IWF profile 400.200.8.13 also only meets the deflection requirements up to an additional 96% of the existing span or a span of 21.56 meters with the same rafter angle.

Keywords: Span Variation, Rafter Capacity, Interaction, Deflection

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pada sektor konstruksi dan permintaan bangunan baja di Indonesia semakin meningkat terutama pada kawasan industri seperti Karawang dalam beberapa tahun terakhir. Struktur rangka atap *rafter* memainkan peran penting pada struktur utama dalam mendukung beban dan kestabilan bangunan, khususnya pada bangunan dengan bentang panjang yang memerlukan efisiensi dan keamanan tinggi. Dalam konteks pembangunan modern yang menuntut struktur ringan namun kuat terutama menghadapi beban dinamis seperti gempa, optimasi desain struktural baja pada bentang panjang merupakan keharusan yang bersifat ekonomi dan lingkungan. Penggunaan profil baja IWF (*Wide Flange*) menjadi pilihan utama dalam memenuhi kebutuhan bangunan karena memiliki keunggulan dengan kekuatan tinggi dan efisien dalam pemasangan (Akbar dkk., 2025)

Kebutuhan dan fleksibilitas ruang yang bebas hambatan pada bangunan industri dan komersial modern mendorong permintaan terhadap sistem struktur bentang panjang. Pemilihan dimensi dan panjang bentang yang tidak optimal dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Tantangan utama pada struktur *rafter* baja IWF berada pada pemilihan profil yang tepat untuk variasi bentang panjang, yang dimana desain harus mampu menahan beban lentur dan tekan secara optimal tanpa menambah berat berlebihan yang dapat meningkatkan pembebanan keseluruhan struktur (Zhang dkk , 2019).

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai bangunan *Visitor Management* di Karawang yang menggunakan struktur *rafter* baja dengan dua bentang yang tiap bentang memiliki panjang 11 meter dan desain variasi bentang sampai 22 meter dengan satu bentang. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rohmatin,dkk (2023) mengenai penentuan profil dan sambungan baja yang aman terhadap beban gempa serta efisien secara struktural menggunakan metode LRFD dan perhitungan kekuatan pembebanan strukturnya menggunakan metode LRFD

dengan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT). Darmawan ,dkk (2025) mengenai analisis pengaruh variasi panjang bentang (*span length*) dan sudut *rafter* terhadap daktilitas dan stabilitas struktur baja yang berfokus pada hubungan antara panjang bentang dan sudut *rafter*. Beberapa penelitian yang sudah muncul mengenai baja dan variasi bentang panjang menunjukkan sebagian penelitian berfokus pada bangunan bertingkat atau jembatan dan masih memungkinkan untuk dilakukan penelitian terkait dengan kapasitas balok *rafter* dengan bentang panjang.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menjawab kebutuhan empiris dengan menganalisis kapasitas balok *rafter* pada variasi bentang, yaitu kondisi eksisting dua bentang masing-masing 11 meter dan desain satu bentang hingga 22 meter, guna menentukan struktur yang paling optimal secara kekuatan, stabilitas, dan efisiensi material dengan analisis mengacu pada SNI 1729:2020.

Dari sisi keberlanjutan, terdapat urgensi yang mengingatkan arah pembangunan konstruksi global saat ini yang menekankan pada efisiensi material dan pengurangan dampak lingkungan. Material baja juga memiliki jejak karbon yang signifikan dalam proses produksinya (Alyarahma dkk, 2023), sehingga penggunaan yang efisien dapat berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon bangunan industri. Desain *rafter* yang optimal diharapkan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor industri dan konstruksi.

Penelitian ini memfokuskan pada analisis optimasi struktur *rafter* profil IWF dengan mempertimbangkan variasi bentang panjang dan pemrograman *software* dengan simulasi struktur. Metode yang digunakan berupa analisis kapasitas struktur balok *rafter* menggunakan metode yang mengacu pada SNI 1729:2020 yang didukung oleh *software* SAP2000 untuk memastikan keakuratan dan optimasi profil baja sesuai standar yang berlaku. Berdasarkan analisis metode tersebut, kesesuaian bangunan harus dinyatakan aman pada struktur balok *rafter* dan bisa menjadi referensi dalam pemilihan profil dan rancangan struktur balok *rafter* pada proyek konstruksi baja, terutama pada kasus dengan bentang panjang.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang akan dibahas dapat diidentifikasi sebagai berikut

1. Bagaimana hasil desain profil baja IWF yang aman untuk variasi *rafter* sampai bentang 22 meter ?
2. Bagaimana hasil dari analisis kapasitas elemen balok pada *rafter* terhadap tahanan momen lentur, tahanan geser, interaksi geser dan lentur?
3. Bagaimana hasil dari lendutan pada variasi *rafter* sampai bentang 22 meter ?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah diatas, dapat dirumuskan tujuan penelitian yang ingin tercapai sebagai berikut.

1. Mendapatkan hasil desain profil baja IWF yang aman untuk variasi *rafter* sampai bentang 22 meter ?
2. Menghitung hasil dari analisis kapasitas elemen balok pada *rafter* terhadap tahanan momen lentur, tahanan geser, interaksi geser dan lentur.
3. Mengidentifikasi hasil dari lendutan pada variasi *rafter* sampai bentang 22 meter ?

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini, manfaat yang dihasilkan diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam bagi pengembangan teori, peningkatan metode analisis, serta penyusunan rekomendasi teknis di bidang struktur bangunan. Berikut beberapa manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan rekomendasi teknis mengenai profil IWF yang paling efektif dan efisien yang digunakan untuk bangunan dengan bentang panjang
2. Mendorong penggunaan material baja secara lebih optimal dengan perhitungan kekuatan material secara struktural
3. Menjadikan acuan pembahasan bagi penelitian selanjutnya yang akan membahas topik yang sama dengan judul ini

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut

1. Objek penelitian berupa balok *rafter* dengan bangunan *existing* dan variasi bentang panjang yaitu bentang 11 meter sampai 22 meter tanpa mengubah sudut *rafter* yaitu 7°
2. Perhitungan dan analisis pada kolom dan listplank tidak dilakukan
3. Bangunan yang diteliti berada di Kabupaten Karawang dengan kondisi tanah lunak
4. Spesifikasi material berdasarkan Rencana Kerja dan Spesifikasi (RKS)
5. Material yang digunakan yaitu baja dengan profil IWF spesifikasi Krakatau Steel mutu ASTM 36
6. Analisis struktur menggunakan *software* SAP 2000
7. Pemodelan struktur bangunan dalam bentuk portal 2D dan 3D
8. Analisis pembebanan yang dilakukan adalah beban mati, beban angin, dan beban gempa.
9. Peraturan yang digunakan adalah SNI 1727:2020 untuk pembebanan beban mati, beban hidup, dan beban angin. SNI 1726:2019 untuk pembebanan beban gempa. SNI 1729:2020 untuk analisis kapasitas balok *rafter*.
10. Tidak mendesain dan menganalisis sambungan struktur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Konstruksi rangka baja merupakan salah satu sistem struktur yang banyak diterapkan pada bangunan industri maupun fasilitas pelayanan publik yang salah satunya yaitu bangunan *visitor management building* karena menawarkan keunggulan dalam hal kekuatan, kemudahan pemasangan, dan fleksibilitas dalam proses perakitan maupun perawatan. Profil baja IWF (*I Wide Flange*) sering dimanfaatkan sebagai komponen *rafter* karena memiliki kombinasi kekakuan dan kekuatan yang relatif tinggi terhadap beratnya, namun performa struktur dari profil ini sangat dipengaruhi oleh variasi bentang dan sudut yang diterapkan.

Pada kasus yang diangkat yaitu perubahan konfigurasi bentang dengan awal kondisi mempunyai dua bentang sepanjang 11 meter menjadi satu bentang dengan variasi bentang sampai 22 meter tanpa mengubah sudut. Oleh karena itu, diperlukan analisis optimasi guna memperoleh kombinasi panjang bentang dan jenis profil baja yang paling efisien sekaligus tetap memenuhi persyaratan keselamatan struktur. Dengan melakukan kajian terhadap penelitian terdahulu yang membahas mengenai optimasi profil baja, *rafter* baja IWF, dan pengaruh variasi bentang terhadap kinerja struktur, diharapkan dapat memperoleh landasan teoritis yang komprehensif sebagai dasar dalam pelaksanaan analisis optimasi pada penelitian ini.

2.2 Penelitian Terdahulu

1. Structure Design of Earthquake Resistant Steel Warehouse Building Based on LRFD Method in Kediri (Rohmatin dkk, 2023)

Pada tahun 2023 telah dilakukan penelitian oleh Silviana Rohmatin dan teman temannya yang berisi mengenai perancangan struktur gudang baja yang aman terhadap gempa di wilayah Kediri. Pada proses penelitian ini digunakan metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) sesuai dengan SNI 1729:2020 yang mengadopsi AISC 360-10. Dimensi pada bangunan ini yakni

22 x 102 meter dengan ketinggian bangunan 15,2 meter, lantai dasar 12 meter, dan atap 3,2 meter. Tujuan dari penelitian ini yakni menentukan profil dan sambungan baja yang aman terhadap beban gempa serta efisien secara struktural menggunakan metode LRFD.

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan software SAP2000 versi 14 dengan parameter input data berupa beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Pada perhitungan kekuatan pembebanan struktur juga menggunakan metode LRFD dengan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT).

Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa profil baja yang digunakan untuk kolom dan *rafter* adalah profil baja IWF 350x350x12x19 dengan gording yang digunakan adalah profil C 150x65x20x3.2. Untuk sambungan yang paling aman terhadap gempa menggunakan baut diameter 16-20 mm dengan plat sambung setebal 10-12 mm. Desain ini juga dinyatakan bisa menjadi acuan dalam pembangunan gudang yang kuat dan aman terutama terhadap gempa di wilayah yang serupa.

2. Perencanaan Struktur Baja Portal Frame Pre Engineered Building Untuk Bangunan Industri Bentang Panjang (Praja dan Pelawi, 2025)

Pada tahun 2025 telah dilakukan penelitian oleh Baskoro Abdi Praja dan Vincent Evintanta Pelawi perencanaan struktur baja portal frame *Pre-Engineered Building* (PEB) untuk bangunan industri bentang panjang. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur baja Pre-Engineered Building (PEB) sistem portal frame untuk bangunan industri bentang panjang. Studi kasus difokuskan pada bangunan manufaktur dengan bentang utama 65 meter, panjang 224 meter, dan tinggi 10 meter, yang dirancang untuk menyediakan ruang bebas kolom guna memaksimalkan fleksibilitas tata letak.

Analisis dilakukan menggunakan *software* STAAD.Pro dengan pemodelan tiga dimensi, di mana elemen struktur dimodelkan sebagai elemen *frame* dan tumpuan direpresentasikan sebagai tumpuan sendi. Perhitungan beban mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019, mencakup beban mati,

beban hidup, beban angin, dan beban gempa, dengan kombinasi beban maksimum digunakan untuk evaluasi kondisi kritis

Hasil analisis menunjukkan distribusi reaksi tumpuan, momen lentur, dan gaya geser yang signifikan pada portal As-16 sebagai titik tinjauan utama. Pemeriksaan rasio desain penampang berdasarkan AISC 360-16 menghasilkan nilai tertinggi sekitar 0,97, yang menandakan elemen tersebut bekerja mendekati kapasitas maksimumnya namun tetap memenuhi persyaratan kekuatan

3. Perencanaan Struktur Gedung Serbaguna Menggunakan Elemen Struktur Baja (Aliya dkk, 2025)

Penelitian yang dilakukan oleh Azmi Rosanti Aliya dan temannya pada tahun 2025 yakni perencanaan struktur gedung serbaguna menggunakan elemen struktur baja. Perencanaan struktur ini menggunakan profil kastela guna meningkatkan kekuatan inersia dan kapasitas penampang secara signifikan tanpa menambah berat, sehingga kemampuan menahan beban menjadi lebih besar. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis perbandingan antara dua jenis profil baja yang digunakan pada elemen rafter WF 350.350.12.19 dan kastela HC 525.350.12.19 hasil modifikasi dari profil WF.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Load Resistance and Factor Design* (LRFD) berdasarkan SNI 1729:2020 dengan software struktur untuk memperoleh respon struktur secara keseluruhan. Jenis sambungan yang direncanakan meliputi sambungan rafter balok-balok, rafter balok-kolom, dan base plate

Hasil analisis profil balok rafter kastela mengalami peningkatan kapasitas momen nominal sebesar 51,97% dibandingkan profil aslinya. Evaluasi respon struktur pada dua jenis balok rafter menghasilkan perbedaan kinerja yang cukup signifikan, balok rafter kastela displacement maksimum, lendutan, serta periode alami struktur yang terjadi lebih kecil dari balok rafter WF, sehingga struktur dengan balok kastela menunjukkan perilaku yang lebih kaku.

4. Interactive Effects of Span Length and *Rafter* Angle on the Structural Performance of Long Span Steel Frames (Darmawan dkk, 2025)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kevin Chandra Darmawan dan teman-teman berisi tentang analisis pengaruh variasi panjang bentang (*span length*) dan sudut *rafter* terhadap daktilitas dan stabilitas struktur baja. Fokus dari penelitian ini yaitu hubungan antara panjang bentang dan sudut *rafter* yang belum banyak diteliti sebelumnya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan panjang bentang dan sudut *rafter* terhadap daktilitas dan stabilitas struktur baja dengan mempertimbangkan jenis profil baja dan kekakuannya.

Metode yang dilakukan yaitu analisis numerik *Direct Analysis Method* (DAM) menggunakan *software* SAP2000 dengan dua tipe struktur menggunakan profil HB300 – WF300x200 dan HB350 – WF 350x250 berbahan ASTM A36 dan parameter utama yang diamati meliputi rasio tegangan, daktilitas dan stabilitas dengan *pushover analysis* dan *Nonlinear Time History Analysis* (NLTHA)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan panjang bentang meningkatkan daktilitas namun menurunkan stabilitas akibat simpangan antar lantai yang lebih tinggi. Peningkatan sudut *rafter* sedikit meningkatkan daktilitas namun menurunkan kekakuan. Pada studi kasus pada penelitian ini ditemukan kombinasi optimum terdapat pada bentang 20 meter dengan sudut *rafter* 15 derajat yang menghasilkan keseimbangan terbaik antara daktilitas dan stabilitas.

5. Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur Baja Gable Frame Dengan Rafter WF Lurus Terhadap Beban Seismik (Wijaya dan Yoga S, 2025)

Pada tahun 2025 telah dilakukan penelitian oleh Taufik Ramlan Wiyata dan Kumaya Chandra Yoga S mengenai evaluasi numerik kekuatan struktur baja gable frame dengan rafter wf lurus terhadap beban seismik. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja struktur gable frame baja WF lurus pada bentang 16 m dan 24 m terhadap beban statis dan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

Metode yang digunakan pada analisis ini menggunakan elemen hingga solid yang tersedia dalam *software* ANSYS, dengan meninjau deformasi, *drift ratio*, tegangan maksimum, dan *stress ratio* (SR)

Hasil dari penelitian disini Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada bentang 16 m, rafter WF lurus masih memenuhi batas layan aman dengan *drift ratio* 0,237–0,285% dan tegangan maksimum 244,64–279,77 MPa. Namun, pada bentang 24 m terjadi peningkatan deformasi hingga *drift ratio* 0,421–0,442% serta tegangan maksimum 232,95–259,95 MPa, yang mengakibatkan beberapa model melampaui batas izin SNI maupun kapasitas leleh baja. Dengan demikian, penggunaan rafter WF lurus hanya direkomendasikan untuk *gable frame* bentang pendek hingga menengah,

2.3 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan paparan sebelumnya yang sudah dijelaskan, berikut merupakan rangkuman perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan yang sudah dilakukan dan ditulis dalam tabel yang dapat dilihat pada tabel 2.1 pada halaman selanjutnya.

Tabel 2. 1 Komparasi Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Peneliti					
	Rohmatin dkk (2023)	Praja dan Pelawi (2025)	Aliya, dkk (2025)	Darmawan, dkk (2025)	Wijaya dan Yoga S (2025)	Bimantara (2026)
Judul Penelitian	Structure Design of Earthquake Resistant Steel Warehouse Building Based on LRFD Method in Kediri	Perencanaan Struktur Baja Portal <i>Frame Pre Engineered Building</i> Untuk Bangunan Industri Bentang Panjang	Perencanaan Struktur Gedung Serbaguna Menggunakan Elemen Struktur Baja	<i>Interactive Effects of Span Length and Rafter Angle on the Structural Performance of Long Span Steel Frames</i>	Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur Baja <i>Gable Frame</i> Dengan Rafter WF Lurus Terhadap Beban Seismik	Analisis Struktur <i>Rafter</i> Menggunakan Profil Baja IWF Dan Variasi Bentang Panjang Pada Bangunan Visitor Management Di Karawang
Tujuan Penelitian	Menentukan profil dan sambungan baja yang aman terhadap beban gempa	merencanakan struktur baja <i>Pre-Engineered Building</i> (PEB) sistem portal <i>frame</i> untuk bangunan industri bentang panjang	Menyusun proses perencanaan struktur bangunan gedung serbaguna secara bertahap	mengetahui pengaruh perubahan panjang bentang dan sudut <i>rafter</i> terhadap daktilitas dan stabilitas struktur baja	Mengevaluasi kinerja struktur <i>gable frame</i> baja WF lurus pada bentang 16 m dan 24 m terhadap beban statis dan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.	Menganalisis variasi bentang dengan struktur <i>rafter</i> profil baja IWF guna memperoleh struktur yang optimal, kuat dan ekonomis

Lanjutan Tabel 2. 1 Komparasi Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Peneliti					
	Rohmatin dkk (2023)	Praja dan Pelawi (2025)	Aliya, dkk (2025)	Darmawan, dkk (2025)	Wijaya dan Yoga S (2025)	Bimantara (2026)
Metode Penelitian	Analisis struktur menggunakan SAP 2000, Metode LRFD dengan DFBT	Analisis struktur menggunakan metode <i>Pre Engineered Building</i> (PEB)	<i>Load Resistance and Factor Design</i> (LRFD) berdasarkan SNI 1729:2020 dengan <i>software</i> struktur	Analisis struktur menggunakan <i>SAP 2000, Direct Analysis Method (DAM)</i>	Analisis struktur menggunakan <i>software</i> ANSYS berbasis metode elemen hingga	Pemodelan dan analisis struktur menggunakan SAP 2000 berdasarkan SNI 1729:2020
Variabel Penelitian	Profil baja dan sambungan	<i>Pre Engineered Building</i> , Bentang Panjang, Bangunan Industri	Baja WF, <i>gable frame</i> , metode LRFD	Panjang bentang, Sudut <i>rafter</i> , Portal frame baja, Efisiensi struktur	Baja <i>gable frame</i> , baja WF, Beban Seismik	Variasi Bentang, Kapasitas <i>rafter</i> , Interaksi, Lendutan
Hasil Penelitian	Penentuan profil baja yang digunakan, tebal plat sambungan, diameter baut	Distribusi reaksi Tumpuan, momen lentur, dan gaya geser yang signifikan pada portal as-16 sebagai titik tinjauan Utama	Profil balok <i>rafter</i> kastela mengalami peningkatan kapasitas momen nominal sebesar 51,97% dibandingkan profil aslinya	Semakin panjang bentang, daktilitas akan naik namun stabilitas turun, semakin besar sudut <i>rafter</i> daktilitas sedikit naik namun kekakuan turun	Bentang 16 m, <i>rafter</i> WF masih memenuhi batas layan aman, namun pada bentng 24 m terjadi peningkatan deformasi dan tegangan	Profil IWF 350 direkomendasikan penambahan bentang sampai 65% dan profil IWF 400 96% dari panjang <i>existing</i> tanpa mengubah sudut.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan

Pembebanan merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam perencanaan struktur bangunan. Dalam perencanaan struktur baja perlu memperhatikan beban yang mempengaruhi suatu bangunan yakni beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, beban hujan, dan beban tambahan khusus (jika diperlukan) yang pada hal ini mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria bangunan gedung dan struktur lainnya juga SNI 1726:2019 tentang perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

3.1.1 Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727:2020, pengertian dari beban mati yaitu seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, *cladding* gedung, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Nilai berat pada suatu bangunan baja ditentukan dari jenis profil baja yang digunakan yaitu profil baja IWF untuk kuda kuda dan profil C untuk Gording. Pada sambungan struktur baja sering lupa untuk memasukan berat baut, plat sambung, dan las pada beban mati. Dari pengertian dan ketentuan diatas bisa disimpulkan bahwa beban mati ialah berat dari semua bagian struktur yang bersifat permanen dan tidak berubah selama masa layan bangunan.

3.1.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020, pengertian dari beban hidup yaitu beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Contoh dari beban hidup ini biasanya meliputi aktivitas penghuni, peralatan mekanikal yang dapat berpindah, barang yang disimpan sementara, dan beban perawatan dan pemeliharaan

bangunan. Dari pengertian dan ketentuan diatas bisa disimpulkan bahwa beban hidup ialah beban yang bersifat tidak permanen, bergantung pada aktivitas manusia dan fungsi ruangan. Berikut merupakan beban hidup yang diperlukan yang terdapat pada tabel 3.1 mengenai beban hidup terdistribusi merata minimum dan terpusat minimum sesuai SNI 1727:2020 dibawah ini

Tabel 3. 1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum

NO	Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
1	Sistem Lantai Akses Ruang Kantor Ruang Komputer	50 (2,4) 100 (4,79)	2000 (8,9) 2000 (8,9)
2	Gudang Persenjataan dan Ruang Latihan	150 (7,18)	
3	Ruang Pertemuan Kursi Tetap Lobi Kursi Dapat Dipindahkan Panggung Pertemuan Lantai Podium Tribun Penonton Stadion dan Arena dengan kursi tetap Ruang Pertemuan Lainnya	60 (2,87) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18) 100 (4,79) 60 (2,87) 100 (4,79)	
4	Balkon dan Dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak Perlu melebihi 100 psf (4,79)	
5	Jalur Untuk Akses Pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
6	Koridor Lantai Pertama Lantai Lainnya	100 (4,79) Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
7	Ruang Makan dan Restoran	100 (4,79)	
8	Dudukan Mesin Elevator (pada area 2 in x 2 in. (50 mm x 50 mm)		300 (1,33)

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum

NO	Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
9	Konstruksi Pelat Lantai Finishing Ringan (Pada area 1 in x 1 in (25 mm x 25 mm)		200 (0,89)
10	Jalur Penyelamatan saat kebakaran Hunian Satu Keluarga Saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
11	Tangga Permanen		Lihat pasal 4.5.4
12	Garasi/Parkir Mobil Penumpang Saja Truk dan Bus	40 (1,92) Lihat Pasar 4.10.2	Lihat pasal 4.10.1 Lihat pasal 4.10.1
13	Pegangan tangga dan Pagar Pengaman Batang Pegangan	Lihat pasal 4.5.1	Lihat pasal 4.5.1 Lihat pasal 4.5.2
14	Helipad Helikopter dengan berat landas sebesar 3000 lb (13,35 kN) atau kurang Helikopter dengan berat landas lebih dari 3000 lb (13,35 kN)	40 (1,92) 60 (2,87)	Lihat pasal 4.11.2 Lihat pasal 4.11.2
15	Rumah Sakit Ruang Operasi, Laboratorium Ruang Pasien Koridor Diatas Lantai pertama	60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
6	Perpustakaan Ruang Baca Ruang Penyimpanan Koridor diatas Lantai Pertama	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
17	Pabrik Ringan Berat	125 (6,00) 250 (11,97)	2000 (8,9) 3000 (13,35)
18	Gedung Perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan Koridor Lantai Pertama Kantor Koridor diatas lantai Pertama	 100 (4,79) 50 (2,4) 80 (3,83)	 2000 (8,9) 2000 (8,9) 2000 (8,9)

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum

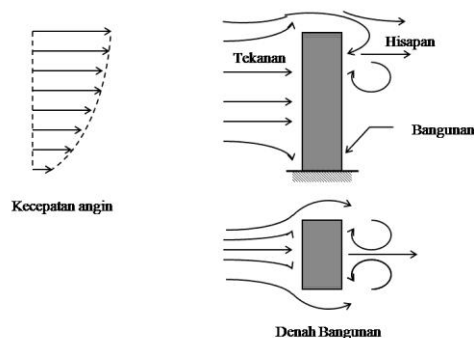
NO	Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
19	Lembaga Hukum Blok Sel Koridor	40 (1,92) 100 (4,79)	
20	Tempat Rekreasi Tempat Bowling, Billiard, dan Penggunaan Sejenis Ruang Dansa dan <i>Ballroom</i> Gimnasium	75 (3,59) 100 (4,79) 100 (4,79)	
21	Rumah Tinggal Hunian Satu dan Dua Keluarga Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur Semua ruang kecil tangga Semua Hunian Rumah Tinggal Lainnya Ruang pribadi dan koridornya Ruang Publik Koridor ruang publik	10 (0,48) 20 (0,96) 30 (1,44) 40 (1,92) 40 (1,92) 100 (4,79) 100 (4,79)	
22	Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap yang digunakan penghuni Atap untuk tempat berkumpul Atap Vegetatif Atap bukan untuk hunian Atap untuk tempat berkumpul Atap untuk penggunaan lainnya <i>Awning</i> dan Kanopi Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka penumpu layar penutup	20 (0,96) Sama dengan penggunaan yang dilayani 100 (4,7) 20(0,96) 100 (4,79) Sama dengan Penggunaan yang dilayani 5 (0,24) 5 (0,24)	

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum

NO	Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
	Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap di atas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan	20 (0,96)	2000 (8,9) 300 (1,33) 300 (1,33)
23	Sekolah Ruang Kelas Koridor diatas lantai pertama Koridor lantai pertama	40 (1,92) 80 (3,83) 100 (4,79)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
24	Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit langit yang dapat diakses		200 (0,89)
25	Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan atau jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,60)
26	Tangga dan Jalan Keluar Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	300 (1,33) 300 (1,33)
27	Gudang Diatas Langit Langit	20 (0,96)	
28	Gudang Penyimpanan dan Pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan) Ringan berat	125 (6,00) 250 (11,97)	
29	Toko Eceran Lantai pertama Lantai diatasnya Grosir di semua lantai	100 (4,79) 75 (3,59) 125 (6,00)	
30	Penghalang Kendaraan		Lihat Pasal 4.5.3
31	Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
32	Pekarangan dan teras, jalur pejalan Kaki	100 (4,79)	

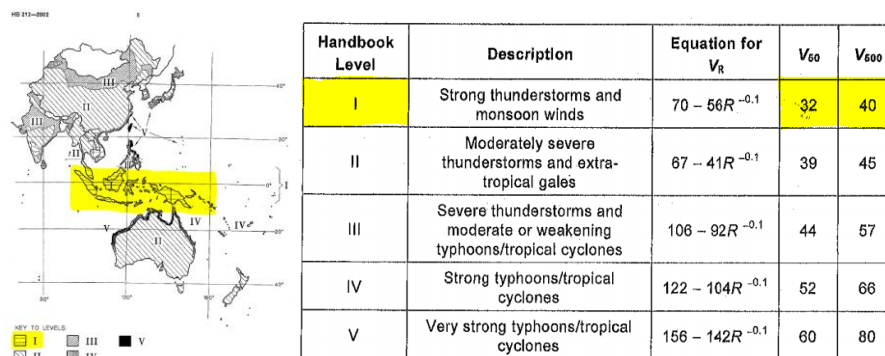
3.1.3 Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban angin termasuk kedalam beban lingkungan. Tekanan angin bergantung pada kecepatan rencana angin di lokasi bangunan. Beban angin sangat mempengaruhi kestabilan dan kekuatan pada atap dan dinding. Pada struktur atap tekanan bisa berupa tekanan positif (angin tekan) atau tekanan negatif (angin hisap) seperti ilustrasi pada gambar 3.1



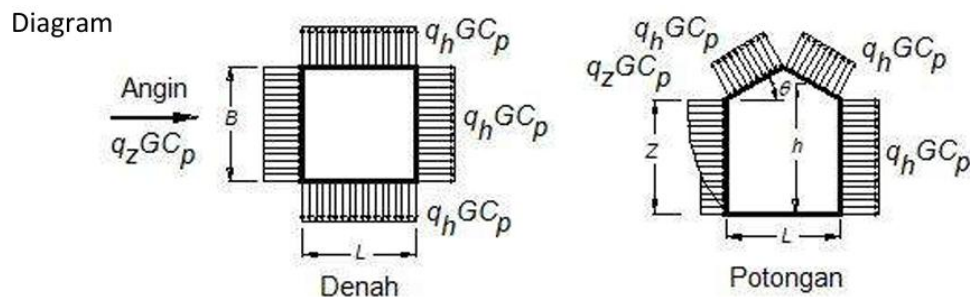
Gambar 3. 1 Ilustrasi Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 26, penggunaan untuk menentukan parameter beban angin diperlukan syarat yang harus dipenuhi yaitu kecepatan angin dasar dengan menggunakan HB212-2002, faktor arah angin berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 26.6, *eksposure* SNI 1727:2020 pasal 26.7, faktor topografi SNI 1727:2020 pasal 26.8, faktor elevasi permukaan tanah SNI 1727:2020 pasal 26.9, dan faktor pengaruh hembusan angin SNI 1727:2020 pasal 26.11. berikut merupakan kecepatan angin dasar menggunakan HB212-2002 yang dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3. 2 Kecepatan Angin Dasar

Setelah mendapatkan parameter beban angin, bisa dilakukan perhitungan untuk mencari beban angin berdasarkan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1 mengenai sistem penahan gaya angin utama, bagian 1 (seluruh ketinggian): koefisien tekanan eksternal, C_p , untuk bangunan tertutup dan bangunan tertutup sebagian dinding dan atap. Berdasarkan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1 didapatkan tipe untuk beban angin seperti gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Skema Beban Angin

3.1.4 Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, beban gempa merupakan gaya dalam yang timbul pada struktur akibat percepatan tanah selama terjadi gempa bumi. Beban gempa pada struktur baja bersifat beban dinamis, karena arah dan besar gaya berubah ubah seiring waktu sesuai gerakan tanah. Bangunan harus direncanakan untuk menahan gaya gempa rencana dan mempertimbangkan kategori risiko, kondisi tanah, serta spektrum respons gempa

1. Faktor Keutamaan Gempa

Pada perencanaan bangunan perlu dilakukan peninjauan kategori risiko pada suatu struktur bangunan yang sudah ditetapkan pada SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung pada tabel 3 kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa halaman 24-25. Pada tabel tersebut, tentukan bangunan yang akan diteliti masuk kedalam kategori risiko mana yang nantinya untuk menentukan faktor keutamaan gempa yang kemudian perlu dikalikan dengan pengaruh gempa rencana. Berikut adalah faktor keutamaan gempa berdasarkan kategori risikonya yang tercantum pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

2. Respon Spektral Percepatan

Respon spektral percepatan memiliki dua parameter yaitu parameter respon spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode satu detik (S_{M1}). Dari parameter tersebut diperlukan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1). Data tersebut bisa didapatkan melalui situs yang tersedia oleh Kementerian Pekerjaan Umum Bagian Pusat Pengembangan dan Evaluasi Pemukiman yaitu rsa.ciptakarya.pu.go.id

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

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

Keterangan

S_{MS} = parameter respon spektral percepatan pada periode pendek

S_{M1} = parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik

S_s = percepatan batuan dasar pada periode pendek

S_1 = percepatan batuan dasar pada periode 1 detik

F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode pendek

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode 1 detik

3. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs terbagi menjadi beberapa tipe yaitu batuan keras (SA), batuan (SB), tanah keras dan batuan lunak (SC), tanah sedang (SD), dan tanah lunak (SE) sesuai dengan tipe dimana bangunan akan dibangun. Berikut adalah klasifikasi situs yang tercantum pada tabel 3.3 di halaman berikutnya.

Tabel 3. 3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	N atau Nch	Su (Kpa)
SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	>50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 – 350	15 - 50	50 – 100
SE (Tanah Lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar Air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat Geser Niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersedimentasi lemah - Lempung sangat organik dan atau gambut (Ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (Ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak atau setenga teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

4. Koefisien Situs

Setelah mendapatkan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s), percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) dan klasifikasi situs pada tabel 3.3, selanjutnya diperlukan faktor amplifikasi getaran untuk menyelesaikan persamaan (3.1) dan persamaan (3.2). Faktor yang dicari adalah faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode 1 detik (F_v). Berikut adalah nilai dari faktor tersebut yang tercantum pada tabel 3.4 dan 3.5 di halaman berikutnya

Tabel 3. 4 Koefisien Situs Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 0,2$ detik S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \leq 1,50$
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	$S_s(a)$					

Tabel 3. 5 Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik S_s					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \leq 0,60$
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	$S_s(a)$					

5. Sistem dan Parameter Struktur

Setiap sistem struktur dalam perencanaan bangunan tahan gempa memiliki nilai nilai parameter spesifik yang terdiri dari koefisien respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0) dan koefisien amplifikasi defleksi (C_d). Parameter ini mempresentasikan tingkat daktilitas, kapasitas cadangan kekuatan, serta kemampuan deformasi struktur saat mengalami beban gempa. Berikut adalah nilai faktor R , Ω_0 , dan C_d yang tercantum pada tabel 3.6 pada halaman berikutnya.

Tabel 3. 6 Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem dan Tinggi Struktur				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem dinding penumpu								
Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser beton bertulang biasa	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser pracetak menengah	4	2,5	4	TB	TB	12	12	12
Dinding geser pracetak biasa	33	2,5	3	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2,5	3,5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	2,5	2,25	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	1,75	TB	48	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata polos di detail	2	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2,5	2	TB	10	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2,5	2	TB	TB	10	TI	TI
Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3,5	TB	TB	20	20	20
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
Sistem Rangka Bangunan								
Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3,75	2	3,25	TB	TB	10	10	TI
Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser beton bertulang biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos detail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser pracetak menengah	5	2,5	4,5	TB	TB	12	12	12
Dinding geser pracetak biasa	4	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI

Lanjutan Tabel 3. 6 Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem dan Tinggi Struktur				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris khusus	5	2	4,5	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6,5	2,5	5,5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2,5	5	TB	TB		48	30
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	2,5	4	TB	TB	48	48	30
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	2	TB	48	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,25	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2,5	4,5	TB	TB	22	22	22
Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2,5	4,5	TB	TB	22	22	22
Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2,5	2,5	2,5	TB	TB	10	TB	TB
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser pelat baja khusus	7	2,5	6	TB	TB	48	48	30
Sistem Rangka Pemikul Momen								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI
Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

Lanjutan Tabel 3. 6 Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem dan Tinggi Struktur				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5	10	10	10	10	10
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	10	TI	TI
Dinding geser beton bertulang khusus	6,5	2,5	5	TB	TB	48	30	30
Dinding geser beton bertulang biasa	3	3	2,5	TB	48	TI	TI	TI
Dinding geser beton bertulang menengah	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5,5	2,5	4,5	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3,5	2,5	3	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser beton bertulang biasa	5,5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Lanjutan Tabel 3. 6 Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem dan Tinggi Struktur				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem Interaktif dinding geser rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4,5	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI
Sistem kolom kantilever di detail untuk memenuhi persyaratan untuk								
Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2,5	1,25	2,5	10	10	10	10	10
Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1,25	1,25	1,25	10	10	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2,5	1,25	2,5	10	10	10	10	10
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1,5	1,25	1,5	10	10	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1,25	1	10	TI	TI	TI	TI
Rangka kayu	1,5	1,5	1,5	10	10	10	TI	TI
Sistem baja tidak di detail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

6. Spektral Gempa

Menentukan nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) berdasarkan rumus dibawah ini.

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

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

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

7. Kategori Desain Seismik

Setelah didapatkan nilai dari parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), lakukan penentuan kategori desain seismik sesuai nilai tersebut untuk mengetahui bangunan termasuk kedalam kategori risiko apa. Berikut adalah kategori desain seismik

berdasarkan nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) yang tercantum pada tabel 3.7 dan 3.8 di bawah ini

Tabel 3. 7 Kategori Desain Seismik S_{DS}

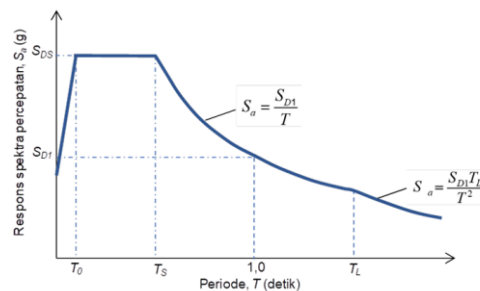
Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I, II, atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	C
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3. 8 Kategori Desain Seismik S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I, II, atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	B
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	C
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

8. Spektrum Respon Desain

Berikut adalah grafik spektrum desain yang dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3. 4 Spektrum Respons Desain

Berdasarkan SNI 1729:2020, kurva spektrum pada gambar 3.2 perlu dikembangkan dengan beberapa ketentuan. Berikut adalah ketentuan yang perlu diperhatikan

- Untuk nilai periode (T) yang lebih kecil dari T_0 , Spektrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan ;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

- b. Untuk nilai periode (T) yang lebih besar dari T_0 Dan lebih kecil atau sama dengan T_s Spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS}
- c. Untuk nilai periode (T) yang lebih besar dari T_s , Tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan ;

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3.6)$$

- d. Untuk nilai periode (T) yang lebih besar dari T_L , respon spektral percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan ;

$$S_a = \frac{SD1 T_L}{T^2} \quad (3.7)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain periode pendek

$SD1$ = Parameter respons spektral percepatan desain periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur (detik)

$T_0 = 0,2 \times \frac{SD1}{SDS}$

$T_s = \frac{SD1}{SDS}$

T_L = Peta transisi periode panjang yang terdapat pada gambar 3.1

9. Periode Fundamental

Pada periode fundamental ini, nilai nya tidak boleh lebih dari koefisien batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode pendekatannya. Berikut adalah koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung yang tercantum pada tabel 3.9 dibawah ini.

Tabel 3. 9 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

$SD1$	C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Setelah didapatkan nilai C_u pada tabel 3.9, maka lanjutkan untuk menghitung nilai periode fundamental dengan menggunakan rumus dibawah ini

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.8)$$

Keterangan

h_n = tinggi struktur, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (mm)

C_t dan x = parameter pendekatan dan bisa didapatkan pada tabel 3.10

Tabel 3. 10 Nilai parameter pendekatan nilai C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik		
- Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

10. Koefisien Respon Seismik

Perhitungan untuk koefisien respons seismik

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.9)$$

Keterangan

C_s = Koefisien Respons Seismik

SDS = Parameter respons spektral percepatan desain periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Persyaratan untuk nilai C_s yang telah dihitung pada persamaan (3.9) tidak boleh melebihi syarat dibawah ini

Jika $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{SDS}{T \frac{R}{I_e}} \quad (3.10)$$

Jika $T > T_L$

$$C_s = \frac{SD_1 T_L}{T^2 \frac{R}{I_e}} \quad (3.11)$$

C_s harus tidak dikurang dari

$$C_s = 0,044 S_{Ds} I_e \geq 0,01 \quad (3.12)$$

Jika struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.13)$$

Keterangan :

SD_1 = Parameter respons spektral percepatan desain periode 1 detik

R = Periode fundamental struktur

S_1 = Parameter percepatan respon spektral maksimum yang diperlukan

11. Gaya Geser Dasar Struktur

Pada beban bangunan, perhitungan gaya geser perlu menjumlahkan beban mati dan beban hidup secara keseluruhan bangunan. Gaya geser juga perlu diperhitungkan dan cara perhitungannya sebagai berikut

$$V = C_s W \quad (3.14)$$

Keterangan

C_s = Koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif (N)

12. Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen

Untuk menentukan gaya seismik lateral (F_x), terlebih dahulu perlu dihitung nilai eksponen (k) yang bergantung pada periode getar alami bangunan. Nilai k tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai koefisien distribusi vertikal C_{vx} yang berfungsi sebagai faktor pengali dalam menentukan besarnya gaya seismik lateral (F_x) pada setiap bangunan.

$$C_{vx} = \frac{Wx h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.15)$$

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

Keterangan

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat tertentu

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur

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

untuk struktur $T \geq 0,5$ detik, $k = 2$

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau

interpolasi linier antara 1 dan 2

3.1.5 Kombinasi Pembebanan

Dari beban pada sub bab diatas, maka menurut SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020 dengan menggunakan metode LRFD khususnya pada struktur baja, perlu dikombinasikan bebannya menggunakan kombinasi beban sebagai berikut :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + 1,0N$
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L_r \text{ atau } 0,5W) + 1,0N$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + 1,0N$
5. $0,9D + 1,0W + 1,0N$
6. $1,2D + 1,0E + L + 1,0N$
7. $0,9D + 1,0E + 1,0N$

Pada kombinasi ke 6 dan 7 memiliki pengaruh terhadap beban gempa (E) dengan nilai E berdasarkan persamaan dibawah ini

- a. Kombinasi 6 ($1,2D + 1,0E + L + 1,0N$)

$$E = E_h + E_v \quad (3.17)$$

- b. Kombinasi 6 ($0,9D + 1,0E + 1,0N$)

$$E = E_h - E_v \quad (3.18)$$

- c. Gempa Horizontal (E_h)

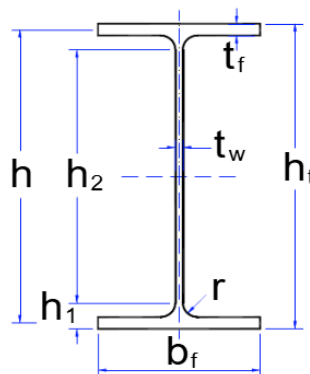
$$E_h = \rho Q E \quad (3.19)$$

- d. Gempa Vertikal (E_v)

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (3.20)$$

3.2 Kapasitas Rafter

Rafter adalah elemen struktur rangka atap yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari penutup atap ke elemen dibawahnya. *Rafter* yang digunakan pada penelitian ini yaitu profil baja IWF (*I Wide Flange*). Perhitungan kapasitas *rafter* atau balok baja mengacu pada SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Berikut merupakan gambar profil baja IWF yang digunakan sebagai *rafter* terdapat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 5 Dimensi Profil Baja IWF

3.2.1 Section Properties

Section properties merupakan karakteristik geometrik suatu penampang yang digunakan untuk menganalisis kekuatan dan kekakuan elemen struktur. Berikut merupakan beberapa hal yang harus diperhitungkan seperti modulus geser, tinggi bersih, konstanta puntir torsi, konstanta puntir lengkung, koefisien momen tekuk torsi lateral, modulus penampang plastis sumbu x, modulus penampang plastis sumbu y

Perhitungan Modulus Geser

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \mu)} \quad (3.23)$$

Perhitungan tinggi bersih

$$h = h_t - h_f \quad (3.24)$$

$$h_1 = t_f + r \quad (3.25)$$

$$h_2 = h_t - 2h_1 \quad (3.26)$$

Perhitungan konstanta puntir torsi

$$J = 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3} \times (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^3 \quad (3.27)$$

Perhitungan konstanta puntir lengkung

$$I_w = I_y \times h^{2/4} \quad (3.28)$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}} \quad (3.29)$$

$$X_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \quad (3.30)$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu x

$$Z_x = t_w \times h_t^{2/4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f \quad (3.31)$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu y

$$Z_y = t_f \times b_f^{2/2} + (b_f - 2 \times t_f) \times t_w^{2/4} \quad (3.32)$$

Keterangan :

G = Modulus geser (MPa)

h = tinggi bersih (mm)

J = Konstanta puntir torsi (mm⁴)

I_w = Konstanta puntir lengkung (mm)⁶

X₁ = koefisien momen tekuk torsi lateral 1 (MPa)

X_2 = koefisien momen tekuk torsi lateral 2 (mm^2/N^2)

Z_x = Modulus penampang plastis sumbu x (mm^3)

Z_y = Modulus penampang plastis sumbu y (mm^3)

E = Modulus elastisitas (MPa)

u = Angka poisson

l_y = Panjang elemen terhadap sumbu y (mm)

3.2.2 Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang adalah kapasitas lentur maksimum teoritis yang dapat ditahan penampang sebelum terjadi leleh atau keruntuhan tanpa mempertimbangkan faktor reduksi kekuatan. Pada perhitungan momen nominal, harus ditentukan berdasarkan penampang *compact* dan *non-compact*. Dalam menghitung momen nominal, perlu menghitung nilai kelangsingan, batas kelangsingan untuk penampang *compact* dan *non-compact*, momen plastis dan momen batas tekuk. Berikut merupakan beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menghitung momen nominal penampang.

Cek kelangsingan

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} \quad (3.33)$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (3.34)$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{(f_y - f_r)}} \quad (3.35)$$

Perhitungan momen plastis

$$M_p = (f_y \times Z_x) \quad (3.36)$$

Perhitungan momen batas plastis

$$M_f = S_x \times (f_y - f_r) \quad (3.37)$$

Persyaratan untuk momen nominal *compact*.

Penampang *compact*

$$\lambda \leq \lambda_p \quad (3.38)$$

$$M_n = M_p \quad (3.39)$$

Penampang *non-compact*

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad (3.40)$$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \times \frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)} \quad (3.41)$$

Keterangan :

λ = kelangsingan

λ_p = Batas kelangsingan maksimum penampang *compact*

λ_r = Batas kelangsingan maksimum penampang *non-compact*

M_p = Momen plastis (Nmm)

M_r = Momen batas tekuk (Nmm)

3.2.3 Momen Nominal Balok Pelat berdinding Penuh

Pada baja IWF dengan dinding penuh, momen nominal ditentukan berdasarkan kondisi plastis penuh tanpa terjadinya buckling lokal. Namun, jika terdapat kemungkinan tekuk lokal pada sayap atau dinding penuh, kapasitasnya dikurangi dengan faktor reduksi akibat buckling lokal. Berikut beberapa perhitungan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan perhitungan momen nominal balok pelat berdinding penuh.

Perhitungan kelangsingan penampang badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (3.42)$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$C_b = \frac{12,5 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \quad (3.43)$$

Perhitungan perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

$$a_r = \frac{h \times t_w}{t_w \times t_f} \quad (3.44)$$

Perhitungan momen inersia

$$I_1 = \frac{I_y}{2} - \frac{1}{12} \times t_w^3 \times \frac{1}{3} \times h_2 \quad (3.45)$$

Perhitungan luas penampang

$$A_1 = \frac{A}{2} - \frac{1}{3} \times t_w \times h_2 \quad (3.46)$$

Perhitungan jari-jari daerah plat yang mengalami tekan

$$r_1 = \sqrt{\frac{I_1}{A_1}} \quad (3.47)$$

Keterangan :

λ = Kelangsingan penampang badan

C_b = Koefisien momen tekuk torsi lateral

a_r = Perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

I_1 = Momen inersia (mm⁴)

A_1 = Luas penampang (mm²)

r_1 = Jari-jari daerah plat yang mengalami tekan (mm)

1. Momen Nominal Berdasarkan Torsi Lateral

Momen ini terjadi apabila bagian kompresi dari balok tidak memiliki lateral bracing yang cukup, menyebabkan lentur dan torsi bersamaan. Berikut beberapa perhitungan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan perhitungan momen nominal berdasarkan torsi lateral.

Perhitungan jarak antara pengekang lateral

$$L = L_y \quad (3.48)$$

Perhitungan kelangsingan

$$\lambda_G = \frac{L}{r_1} \quad (3.49)$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\lambda_P = 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.50)$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\lambda_r = 4,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.51)$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral

$$f_C = C_b \times \frac{f_y}{2} \quad (3.52)$$

Perhitungan tegangan kritis penampang

Jika ($\lambda_G \leq \lambda_P$)

$$f_{cr} = f_y \quad (3.53)$$

Jika ($\lambda_P \leq \lambda_G \leq \lambda_r$)

$$f_{cr} = C_b \times f_y \times \frac{1 - (\lambda_G - \lambda_P)}{2 \times (\lambda_r - \lambda_P)} \quad (3.54)$$

Jika ($\lambda_G > \lambda_r$)

$$f_{cr} = f_c \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2 \quad (3.55)$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$S = S_x \quad (3.56)$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \quad (3.57)$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr} \quad (3.58)$$

Keterangan

L = Jarak antara pengekang lateral (mm)

λ_G = Angka kelangsingan

λ_P = Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

λ_r = Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

f_c = Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral (MPa)

f_{cr} = Tegangan kritis penampang (MPa)

S = Modulus penampang elastis (mm³)

K_g = Koefisien balok pelat berdinding penuh

Mn = Momen nominal penampang (Nmm)

2. Momen Nominal Berdasarkan Local Buckling Pada Sayap

Perhitungan faktor kelangsingan pelat badan

$$K_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \quad (3.59)$$

Perhitungan kelangsingan penampang sayap

$$\lambda_G = \frac{b_f}{2 \times t_f} \quad (3.60)$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\lambda_P = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.61)$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\lambda_r = 1,35 \times \sqrt{K_e \times \frac{E}{f_y}} \quad (3.62)$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal

$$f_c = \frac{f_y}{2} \quad (3.63)$$

Perhitungan tegangan kritis penampang

Jika ($\lambda_G \leq \lambda_P$)

$$f_{cr} = f_y \quad (3.64)$$

Jika ($\lambda_P \leq \lambda_G \leq \lambda_r$)

$$f_{cr} = C_b \times f_y \times \frac{1 - (\lambda_G - \lambda_P)}{2 \times (\lambda_r - \lambda_P)} \quad (3.65)$$

Jika ($\lambda_G > \lambda_r$)

$$f_{cr} = f_c \times \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2 \quad (3.66)$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$S = S_x \quad (3.67)$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \quad (3.68)$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr} \quad (3.69)$$

Keterangan

K_e = Faktor kelangsingan pelat badan

λ_G = Kelangsingan penampang sayap

λ_P = Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

λ_r = Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

f_c = Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral (MPa)

f_{cr} = Tegangan kritis penampang (MPa)

S = Modulus penampang elastis (mm³)

K_g = Koefisien balok pelat berdinding penuh

M_n = Momen nominal penampang (Nmm)

3.2.4 Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling

Lateral buckling terjadi ketika balok melendut ke samping akibat kombinasi lentur dan torsi. Berikut beberapa perhitungan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan perhitungan momen pengaruh lateral buckling

Perhitungan panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.70)$$

$$f_L = f_y - f_r \quad (3.71)$$

Perhitungan panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral

$$L_r = r_y \times \frac{X_1}{f_l} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \times f_L^2}} \quad (3.72)$$

Perhitungan momen tekuk torsi lateral

$$C_b = \frac{125 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \quad (3.73)$$

Perhitungan momen plastis

$$M_p = f_y \times Z_x \quad (3.74)$$

Perhitungan momen tekuk

$$M_r = S_x \times (F_y - F_r) \quad (3.75)$$

Perhitungan panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukung lateral)

$$L = L_y \quad (3.76)$$

Perhitungan momen nominal

Jika Bentang Pendek

$$M_n = M_p = f_y \times Z_x \quad (3.77)$$

Jika Bentang Sedang

$$M_n = C_b \times (M_r + (M_p - M_r) \times \frac{L_r - L}{L_r - L_p}) \quad (3.78)$$

Jika Bentang Panjang

$$M_n = C_b \times \frac{\pi}{L} \times \sqrt{E \times L_y \times G \times J \times (\pi \times \frac{E}{L})^2 \times l_y \times l_w} \quad (3.79)$$

Keterangan

L_p = Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis
(mm)

L_r = Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh
Momen kritis tekuk torsi lateral (mm)

C_b = Koefisien momen tekuk torsi lateral

M_p = Momen plastis (Nmm)

M_r = Momen Tekuk (Nmm)

L = Panjang bentang terhadap sumbu y (mm)

M_n = Momen nominal (Nmm)

3.2.5 Tahanan Momen Lentur

Tahanan momen lentur merupakan kapasitas nominal lentur setelah dikalikan dengan faktor reduksi yakni 0,9 untuk lentur baja. Berikut merupakan perhitungan persyaratan untuk tahanan momen lentur

$$M_u \leq \phi \times M_n \quad (3.80)$$

$$\frac{M_u}{\phi \times M_n} \leq 1 \quad (3.81)$$

3.2.6 Tahanan geser

Tahanan geser menggambarkan kemampuan balok menahan gaya geser maksimum. Berikut beberapa perhitungan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan perhitungan tahanan geser

Persyaratan awal

$$\frac{h_2}{t_w} \leq 6,36 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.82)$$

Perhitungan tahanan geser

$$A_w = t_w \times h_t \quad (3.83)$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \quad (3.84)$$

Persyaratan yang harus dipenuhi

$$V_u \leq \phi f \times V_n \quad (3.85)$$

$$\frac{V_u}{\phi f \times V_n} \leq 1 \quad (3.86)$$

3.2.7 Interaksi Geser dan Lentur

Ketika balok menerima lentur dan geser secara bersamaan maka perlu memperhitungkan interaksinya Berikut adalah perhitungan syarat untuk interaksi geser dan lentur

$$\frac{M_u}{\phi b \times M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi f \times V_n} \leq 1,375 \quad (3.87)$$

3.2.8 Cek Lendutan Struktur

Berikut adalah syarat untuk cek lendutan struktur

$$\frac{L}{240} > \Delta \quad (3.88)$$

Keterangan

L = Panjang maksimum elemen balok *rafter* (mm)

Δ = Defleksi pada analisis struktur (mm)

BAB IV

METODE PENELITIAN

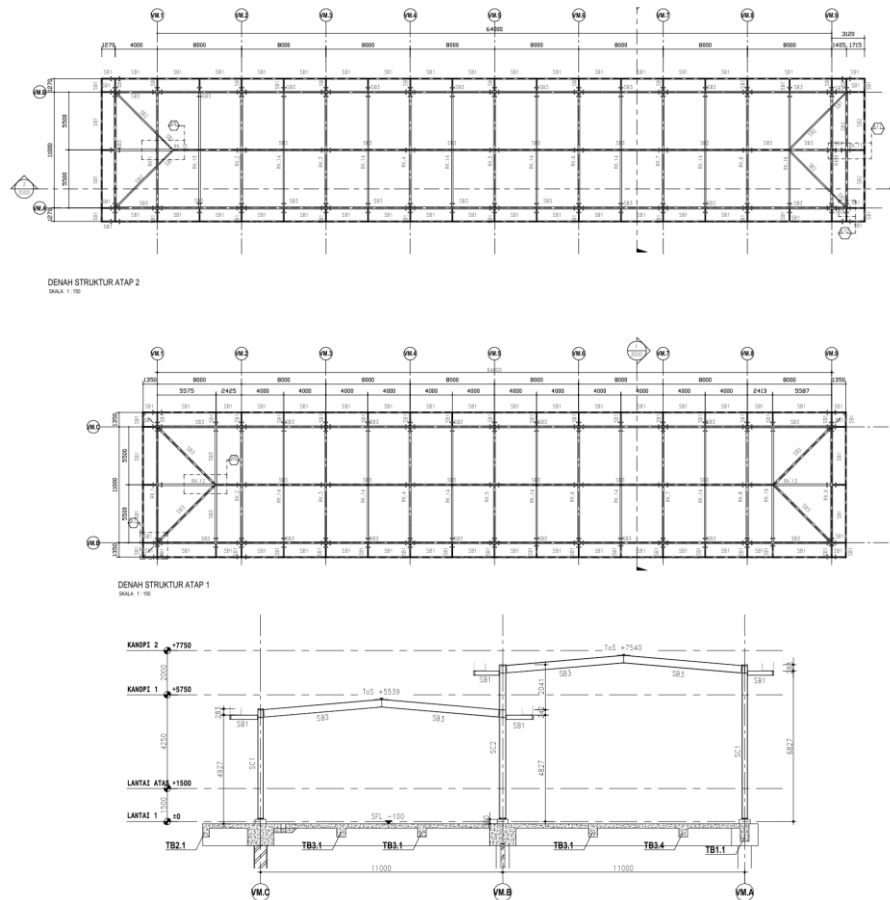
4.1 Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari data pengamatan langsung dilapangan ketika pelaksanaan praktek kerja magang. Lokasi praktek kerja magang berada di Kawasan Bank Indonesia Karawang, tepatnya berdekatan dengan PT. PERURI yang lokasinya di desa Parungmulya, kecamatan Ciampel, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat. Detail Lokasi bisa dilihat pada gambar 4.1

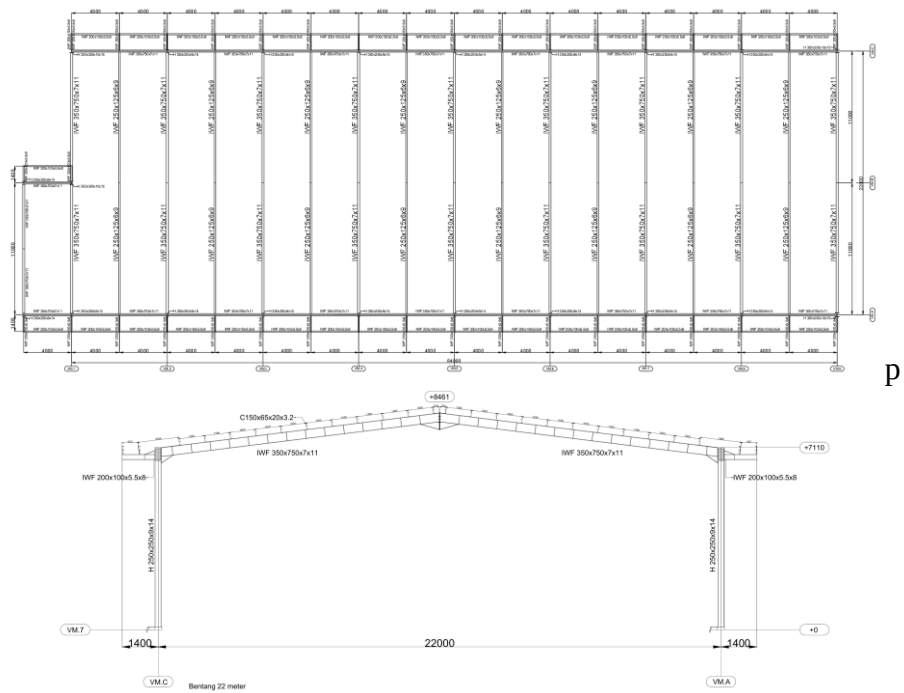


Gambar 4. 1 Lokasi Proyek Pekerjaan Pembangunan Bangunan Pendukung Bank Indonesia Karawang (PK-12)

Proyek yang dikerjakan adalah Pekerjaan Pembangunan Bangunan Pendukung Bank Indonesia Karawang (PK-12) dengan total 23 bangunan yang dikerjakan dan salah satunya adalah bangunan *Visitor Management*. Berikut merupakan komponen data penelitian yang dilakukan terhadap bangunan yang terdapat pada tabel 4.1 pada halaman berikutnya.



Gambar 4. 3 Denah Struktur *Rafter* Model 1



Gambar 4. 4 Denah Struktur *Rafter* Model 2

4.3 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian kali ini.

1. Studi Literatur

Sebagai dasar penyusunan dalam suatu penelitian, perlu dilakukan studi literatur yang bersumber dari jurnal atau tugas akhir yang telah dipublikasikan dalam lima tahun terakhir. Pemilihan sumber pada rentang tersebut bertujuan agar data yang diperoleh lebih akurat dan relevan serta sesuai dengan aturan aturan terbaru guna memaksimalkan penelitian yang sedang dilaksanakan.

2. *Preliminary Design* dan Pemodelan Struktur

Dilakukan perhitungan dan percobaan awal pada desain denah terbaru guna memperoleh estimasi terkait dengan jenis, kualitas material, serta dimensi penampang balok *rafter* yang akan digunakan. Setelah karakteristik material yang digunakan diketahui, lakukan penggambaran struktur tersebut menggunakan *software* SAP2000.

3. Analisis Pembebanan

Setelah dilakukan tahap *preliminary design* dan pemodelan struktur pada *software* SAP2000, masukan beban yang digunakan pada bangunan sesuai dengan SNI 1727:2020 untuk beban mati, beban hidup, dan beban angin, serta SNI 1726:2019 untuk beban gempa bangunan. Setelah beban dimasukkan pada pemodelan *software* SAP 2000, *running* program untuk mendapatkan output analisa yang nantinya digunakan untuk analisis desain elemen balok *rafter*.

4. Analisis Desain Elemen Balok *Rafter*

Dilakukan analisis desain terhadap kapasitas balok *rafter* sebagaimana sudah diatur pada SNI 1729:2020 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Dari pemodelan yang sudah dilaksanakan pada analisis sebelumnya, didapatkan nilai momen yang nantinya digunakan untuk analisis kapasitas balok *rafter* dengan menghitung momen nominal penampang, momen nominal balok pelat berdinding penuh, momen nominal berdasarkan torsi lateral, momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap, dan momen nominal pengaruh lateral buckling. Jika hasil perhitungan belum

memenuhi kriteria atau ketercapaian desain, maka pemodelan perlu diulangi sampai diperoleh struktur yang kuat dan aman

5. Cek Kapasitas Balok *Rafter*

Setelah dilakukan analisis kapasitas balok *rafter*, perhitungan harus dicek kesesuaiannya dengan melihat apakah tahanan momen lentur, tahanan geser, dan interaksi geser dan lentur. Jika hasil perhitungan belum memenuhi kriteria atau ketercapaian desain, maka pemodelan perlu diulangi sampai diperoleh struktur yang kuat dan aman

6. Lendutan

Dilakukan cek untuk lendutan struktur yang diperoleh dari analisis pada *software* SAP2000 dibandingkan dengan lendutan yang diizinkan. Lendutan dianggap aman apabila lendutan struktur lebih kecil dibandingkan lendutan yang diizinkan

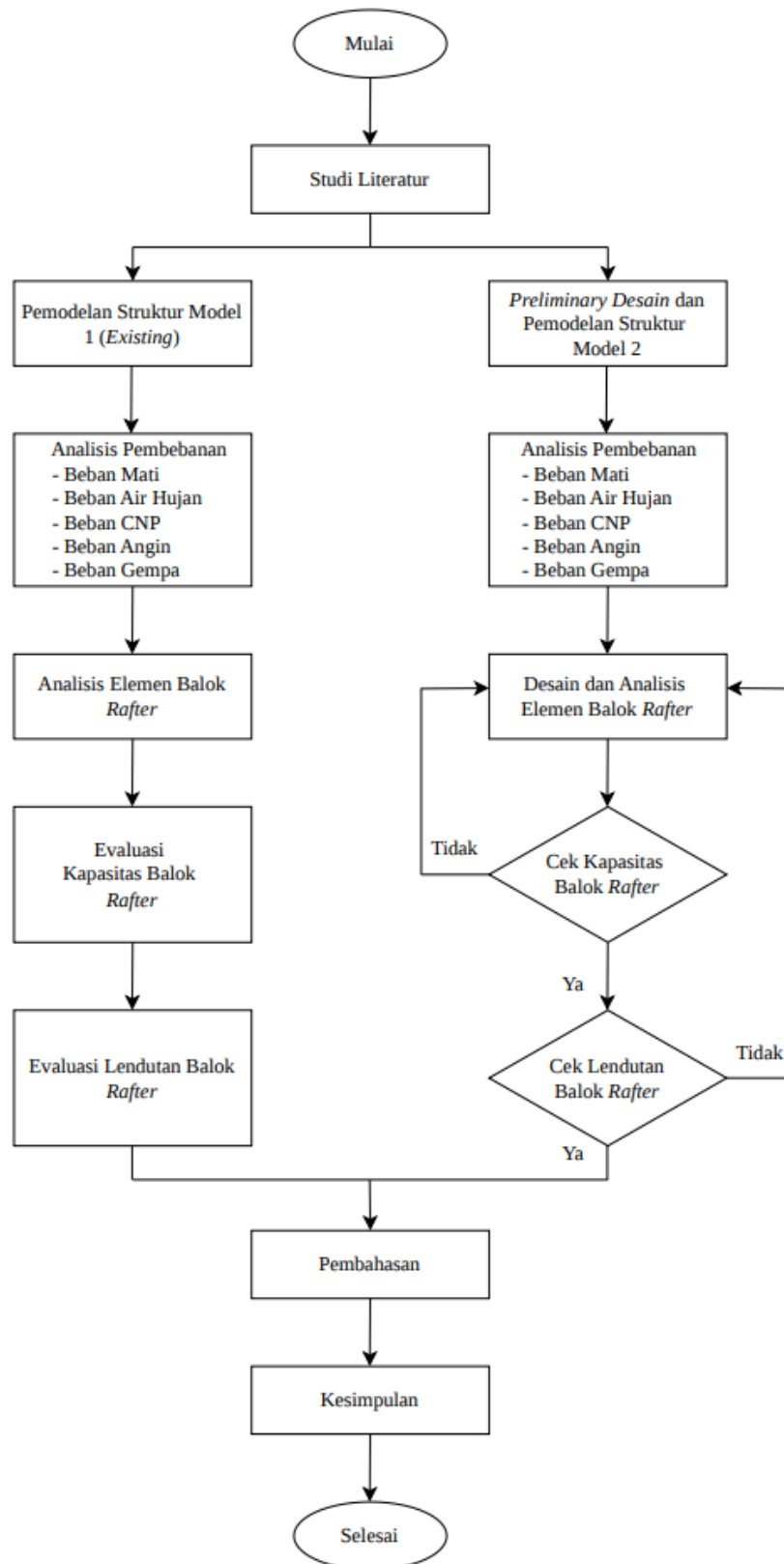
7. Pembahasan

Dilakukan dengan membahas hasil berdasarkan analisis yang dilakukan dengan *software* SAP2000 dan perhitungan mengenai kapasitas balok *rafter*.

8. Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan

Dari tahapan penelitian yang sudah dijelaskan di atas, berikut merupakan *flowchart* dari tahapan penelitian yang akan dilaksanakan terdapat pada gambar 4.5 halaman berikutnya.



Gambar 4. 5 Flowchart Penelitian

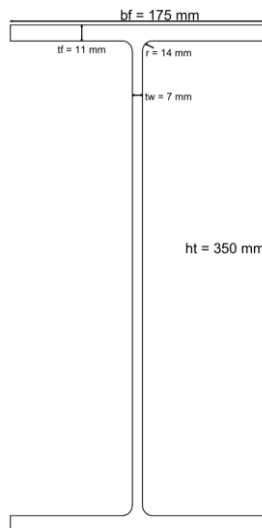
BAB V PEMBAHASAN

5.1 Desain Pofil Baja

Pada analisis struktur, digunakan dua profil baja yaitu profil IWF350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 untuk bangunan model 1 (*existing*) dan model 2. Pada model 1 (*existing*) adalah evaluasi penggunaan *rafter* dengan menggunakan dua profil baja tersebut. Sedangkan pada model 2 adalah desain struktur *rafter* dengan menggunakan dua profil dan mempunyai panjang bentang yang berbeda tanpa mengganti sudut dan profil lainnya selain *rafter* secara *trial and error*. Berikut merupakan profil baja *rafter* IWF yang akan digunakan pada penelitian yang dilakukan.

5.1.1 Profil *Rafter* IWF 350.175.7.11

Penampang profil IWF 350.175.7.11 yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 5.1 sebagai berikut



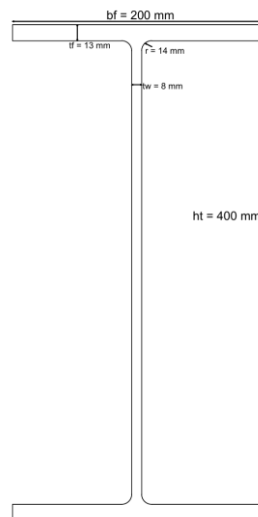
Gambar 5. 1 Penampang Profil IWF 350.175.7.11

$h_t = 350 \text{ mm}$	$S_x = 775000 \text{ mm}^3$
$b_f = 175 \text{ mm}$	$S_y = 112000 \text{ mm}^3$
$t_w = 7 \text{ mm}$	$I_x = 136000000 \text{ mm}^4$

$t_f = 11 \text{ mm}$	$I_y = 9840000 \text{ mm}^4$
$r = 14 \text{ mm}$	$f_y = 249 \text{ MPa}$
$A = 6314 \text{ mm}^2$	$f_{yr} = 240 \text{ MPa}$
$w = 496 \text{ N/m}$	$u = 0,3$
$r_x = 147 \text{ mm}$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$r_y = 39,5 \text{ mm}$	

5.1.2 Profil *Rafter* IWF 400.200.8.13

Penampang profil IWF 400.200.8.13 yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 5.2 sebagai berikut



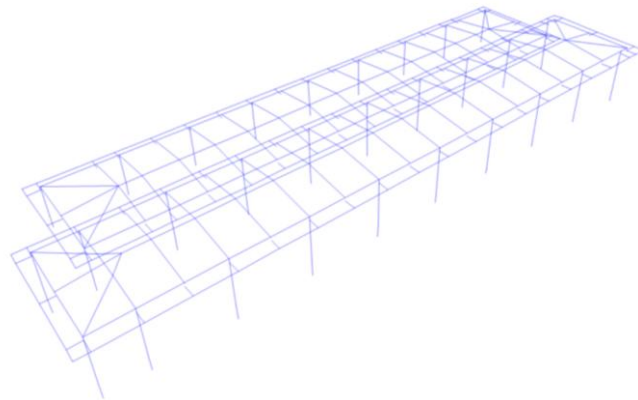
Gambar 5. 2 Penampang Profil IWF 400.200.8.13

$h_t = 400 \text{ mm}$	$S_x = 1190000 \text{ mm}^3$
$b_f = 200 \text{ mm}$	$S_y = 174000 \text{ mm}^3$
$t_w = 8 \text{ mm}$	$I_x = 237000000 \text{ mm}^4$
$t_f = 13 \text{ mm}$	$I_y = 17400000 \text{ mm}^4$
$r = 16 \text{ mm}$	$f_y = 249 \text{ MPa}$
$A = 8412 \text{ mm}^2$	$f_{yr} = 240 \text{ MPa}$
$w = 660 \text{ N/m}$	$u = 0,3$
$r_x = 168 \text{ mm}$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$r_y = 45,4 \text{ mm}$	

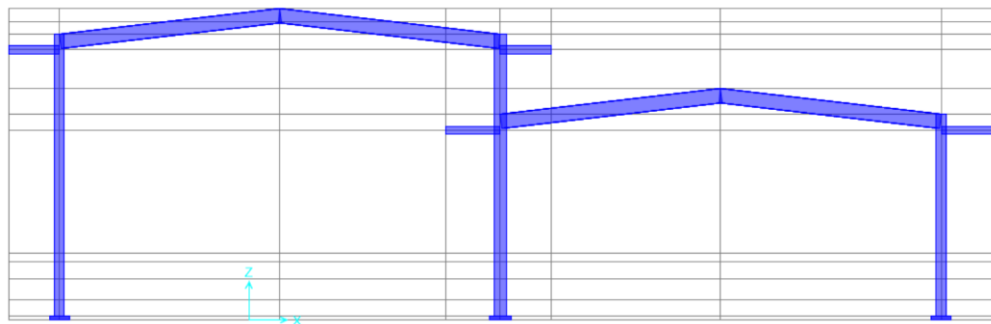
5.2 Pemodelan Struktur

5.2.1 Pemodelan 1 (*existing*)

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan model 3D dan 2D bangunan berdasarkan desain gambar yang sudah ada. Pemodelan bangunan ini mencakup *rafter*, kolom, dan *listplank* menggunakan software SAP2000. Berikut merupakan model dari pemodelan 1 yang dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4



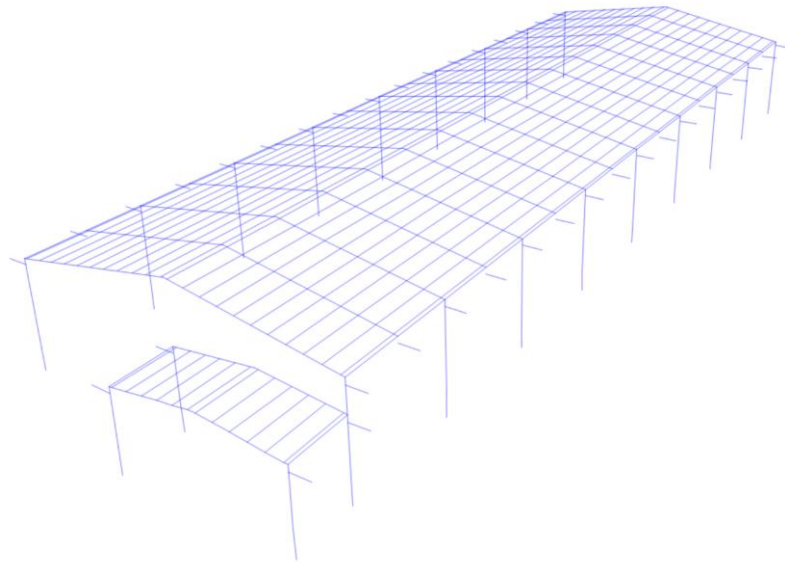
Gambar 5. 3 Pemodelan 3D Model 1 (*Existing*)



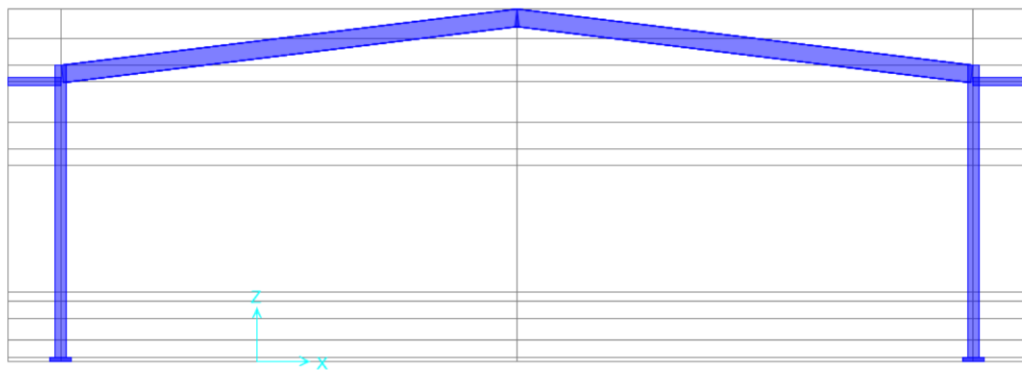
Gambar 5. 4 Skema Pemodelan Struktur 2D Model 1 (*Existing*)

5.2.2 Pemodelan 2

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan model 3D dan 2D bangunan berdasarkan desain yang akan dibuat. Desain yang akan dibuat adalah dengan mencoba untuk memperpanjang bentang mulai dari bentang 11 meter sampai yang terpanjang di 22 meter tanpa mengubah sudut. Pemodelan bangunan ini mencakup *rafter*, kolom, dan *listplank* menggunakan software SAP2000. Berikut merupakan model dari pemodelan 2 yang dapat dilihat pada gambar 5.5 dan 5.6



Gambar 5. 5 Pemodelan 3D Model 2



Gambar 5. 6 Skema Pemodelan Struktur 2D Model 2

5.3 Perhitungan Pembebanan

5.3.1 Beban Mati

Beban mati untuk profil IWF 350.175.7.11 pada model 1 (*existing*) dan semua profil di model 2 menggunakan beban mati sebagai berikut.

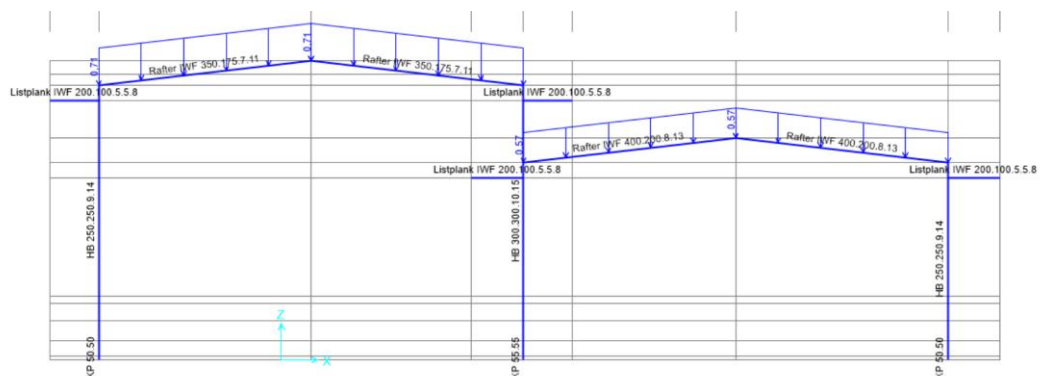
Spandek Zincalum	$= 7 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m}$
	$= 28 \text{ kg/m}$
Cladding dan Plafon ACP	$= 5,5 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m}$
	$= 22 \text{ kg/m}$
Rangka Baja Ringan	$= 2,51 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m}$
	$= 10.04 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned}
 \text{Alumunium Foil} &= 3 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} \\
 &= 12 \text{ kg/m} \\
 \text{Beban Mati Total} &= 28 + 22 + 10,04 + 12 \\
 &= 72,04 \text{ kg/m} \\
 &= 0,71 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban mati untuk profil IWF 400.200.8.13 pada model 1 (*existing*) menggunakan beban mati sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Spandek Zincalum} &= 7 \text{ kg/m}^2 \times 3,2065 \text{ m} \\
 &= 22,45 \text{ kg/m} \\
 \text{Cladding dan Plafon ACP} &= 5,5 \text{ kg/m}^2 \times 3,2065 \text{ m} \\
 &= 17,64 \text{ kg/m} \\
 \text{Rangka Baja Ringan} &= 2,51 \text{ kg/m}^2 \times 3,2065 \text{ m} \\
 &= 18,05 \text{ kg/m} \\
 \text{Alumunium Foil} &= 3 \text{ kg/m}^2 \times 3,2065 \text{ m} \\
 &= 9,62 \text{ kg/m} \\
 \text{Beban Mati Total} &= 22,45 + 17,64 + 18,05 + 9,62 \\
 &= 57,75 \text{ kg/m} \\
 &= 0,57 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

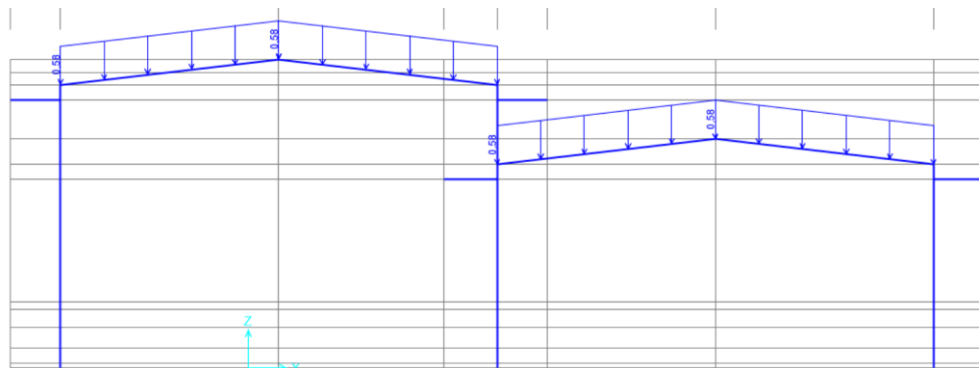
Berikut ini merupakan *input* beban mati yang bekerja pada struktur *rafter* yang dapat dilihat pada gambar 5.7



Gambar 5. 7 Beban Mati Yang Bekerja Pada Rafter

5.3.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020 mengenai beban hidup yang digunakan yaitu pada masa pekerjaan dan pemeliharaan, beban hidup yang digunakan sebesar 0,96 kN/m dan untuk mengoptimalkan efisiensi struktur digunakan beban hidup yang direduksi menjadi 0,58 kN/m. Berikut ini adalah *input* beban hidup yang bekerja pada struktur *rafter* yang dapat dilihat pada gambar 5.8



Gambar 5. 8 Beban Hidup Yang Bekerja Pada Rafter

5.3.3 Beban Air Hujan

$$\begin{aligned}\text{Sudut Rafter } (\alpha) &= 7^\circ \\ \text{Berat Air Hujan} &= 40 - 0,8 \alpha \\ &= 40 - 0,8 (7) \\ &= 34,4 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan PPIUG 1987, referensi pasal 2.1.2.2 menyatakan bahwa perhitungan beban hujan diasumsikan sebagai beban yang tegak lurus terhadap bidang atap dengan ketentuan bahwa berat tersebut tidak perlu diambil lebih dari 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atap lebih besar dari 50°. Karena berat air hujan pada sudut 7° adalah 34,4 kg/m², maka berat yang digunakan adalah 20 kg/m².

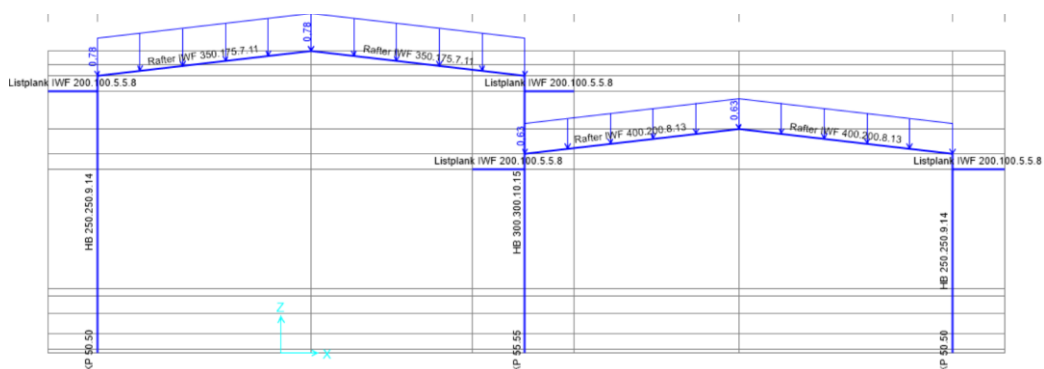
Beban air hujan untuk profil IWF 350.175.7.11 pada model 1(*exisiting*) dan semua profil di model 2 menggunakan beban mati sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Beban Air Hujan} &= 20 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} \\ &= 80 \text{ kg/m} \\ &= 0,78 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Beban air hujan untuk profil IWF 400.200.8.13 pada model 1 (*existing*) menggunakan beban mati sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Beban Air Hujan} &= 20 \text{ kg/m}^2 \times 3,2065 \text{ m} \\ &= 64,13 \text{ kg/m} \\ &= 0,63 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Berikut ini merupakan *input* beban air hujan yang bekerja pada struktur *rafter* yang dapat dilihat pada gambar 5.9



Gambar 5. 9 Beban Air Hujan Yang Bekerja Pada Rafter

5.3.4 Beban CNP

$$\text{Berat CNP (150.65.20.3,2)} = 7,51 \text{ kg/m}$$

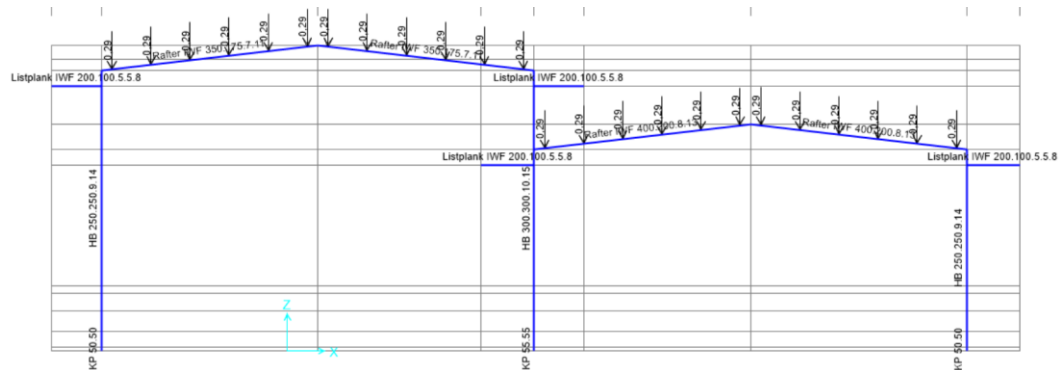
Beban CNP untuk profil IWF 350.175.7.11 pada model 1 (*existing*) dan semua profil di model 2 menggunakan beban mati sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Beban CNP} &= 7,51 \text{ kg/m} \times 4 \text{ m} \\ &= 30,04 \text{ kg} \\ &= 0,29 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban CNP untuk profil IWF 400.200.8.13 pada model 1 (*existing*) menggunakan beban mati sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Beban CNP} &= 7,51 \text{ kg/m} \times 3,2065 \text{ m} \\ &= 24,08 \text{ kg} \\ &= 0,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berikut ini merupakan *input* beban CNP yang bekerja pada struktur *rafter* yang dapat dilihat pada gambar 5.10



Gambar 5. 10 Beban CNP Yang Bekerja Pada Rafter

5.3.5 Beban Angin

Pada semua model yang dibuat baik *existing* atau desain mempunyai sudut yang sama yaitu 7° maka dari itu berdasarkan SNI 1727:2020, nilai koefisien angin (C_p) adalah 0,18 dan termasuk angin hisap. Setelah mendapatkan nilai koefisien maka perlu dihitung untuk beban angin sebagai berikut.

Faktor Hembusan Angin (G) = 1

Tekanan Kecepatan (q) = $0,38 \text{ kN/m}^2$

Koefisien Angin (C_p) = 0,18

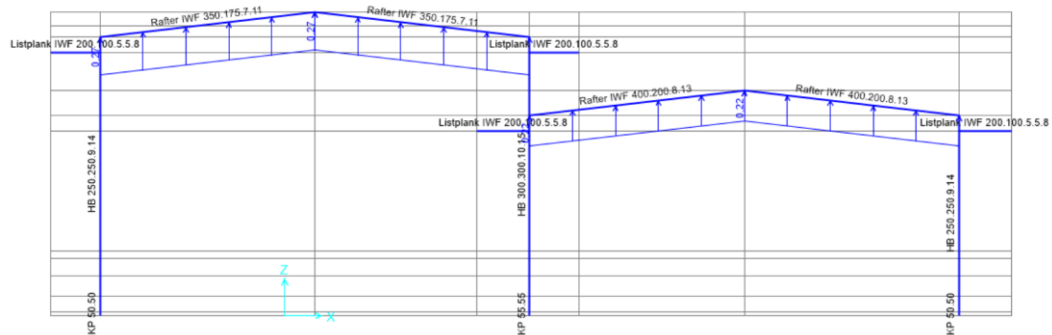
Beban Angin untuk profil IWF 350.175.7.11 pada model 1 (*existing*) dan semua profil di model 2 menggunakan beban mati sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Beban Angin} &= G \times q \times C_p \times 4 \text{ m} \\ &= 1 \times 0,38 \text{ kN/m}^2 \times 0,18 \times 4 \text{ m} \\ &= 0,2736 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban Angin untuk profil IWF 400.200.8.13 pada model 1 (*existing*) menggunakan beban mati sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Beban Angin} &= G \times q \times C_p \times 3,2065 \text{ m} \\ &= 1 \times 0,38 \text{ kN/m}^2 \times 0,18 \times 3,2065 \text{ m} \\ &= 0,2193 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan contoh beban angin yang bekerja pada struktur *rafter* yang dapat dilihat pada gambar 5.11



Gambar 5. 11 Beban Angin Yang Bekerja Pada Rafter

5.3.6 Beban Gempa

1. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan

Berdasarkan SNI 1726:2019, kategori resiko bangunan yang akan diteliti ini sesuai dengan fungsinya termasuk kedalam kategori resiko II dengan faktor keutamaan 1,0

2. Kelas Situs

Jenis tanah yang ada pada lokasi penelitian ini termasuk kedalam jenis tanah lunak yang artinya berdasarkan tabel 3.3 kelas situs bangunan ini termasuk kelas E

3. Percepatan Respon Spektral

Nilai dari dari percepatan respon spektral nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1). Data tersebut didapatkan melalui situs yang tersedia oleh Kementerian Pekerjaan Umum Bagian Pusat Pengembangan dan Evaluasi Pemukiman yaitu rsa.ciptakarya.pu.go.id sebagai berikut

$$S_s = 0,7992$$

$$S_1 = 0,3741$$

4. Koefisien Situs

Nilai koefisien situs harus sesuai dengan nilai percepatan respon spektral yang didapatkan. Nilai koefisien situs bisa didapatkan menggunakan interpolasi berdasarkan tabel 3.4 dan 3.5 agar nilai koefisien akurat dan tepat. Interpolasi pada koefisien situs bisa didapatkan sebagai berikut.

Untuk nilai S_s yang didapatkan adalah 0,7992, maka berdasarkan tabel 3.4 nilai yang akan diambil untuk interpolasi adalah $SS = 0,75$ dan $SS = 1$.

$$\frac{1,1 - F_a}{1 - 0,7992} = \frac{1,1 - 1,3}{1 - 0,75}$$

$$F_a = 1,26064$$

Untuk nilai S_1 yang didapatkan adalah 0,3741, maka berdasarkan tabel 3.4 nilai yang akan diambil untuk interpolasi adalah $S_1 = 0,3$ dan $S_1 = 0,4$.

$$\frac{2,4 - F_v}{0,4 - 0,3741} = \frac{2,4 - 2,8}{0,4 - 0,3}$$

$$F_v = 2,5036$$

5. Parameter Percepatan Spektral

a. Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS})

Berdasarkan persamaan 3.1 dan 3.3 didapatkan perhitungan nilai S_{DS} sebagai berikut

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

$$= 1,26064 \times 0,7992$$

$$= 1,0075$$

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

$$= \frac{2}{3} \times 1,0075$$

$$= 0,672$$

b. Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

Berdasarkan persamaan 3.2 dan 3.4 didapatkan perhitungan nilai S_{D1} sebagai berikut

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

$$= 2,5036 \times 0,3741$$

$$= 0,9366$$

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

$$= \frac{2}{3} \times 0,9366$$

$$= 0,624$$

6. Desain Respon Spektrum

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,624}{0,672} \\ &= 0,202 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,624}{0,672} \\ &= 0,930 \end{aligned}$$

$$T_L = 20 \text{ detik (Berdasarkan SNI 1726:2019 gambar 20)}$$

7. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan hasil nilai S_{DS} dan S_{D1} , maka untuk kategori desain seismik berdasarkan tabel 3.7 dan 3.8 termasuk kedalam kategori Risiko D.

8. Prosedur Analisis

Prosedur analisis diketahui berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 16 dengan diketahui kategori desain seismiknya. Maka didapatkan untuk prosedur analisisnya yaitu dengan menggunakan semua struktur lainnya dan analisis spektrum respons ragam.

9. Faktor Modifikasi Respons.

Faktor modifikasi respons yang digunakan adalah rangka baja pemikul momen biasa

10. Sistem dan Parameter Struktur

Berdasarkan tabel 3.6 dengan faktor modifikasi responsnya rangka baja pemikul momen biasa, maka didapatkan nilai R , Ω_0 , dan C_d sebagai berikut.

$$R = 3,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

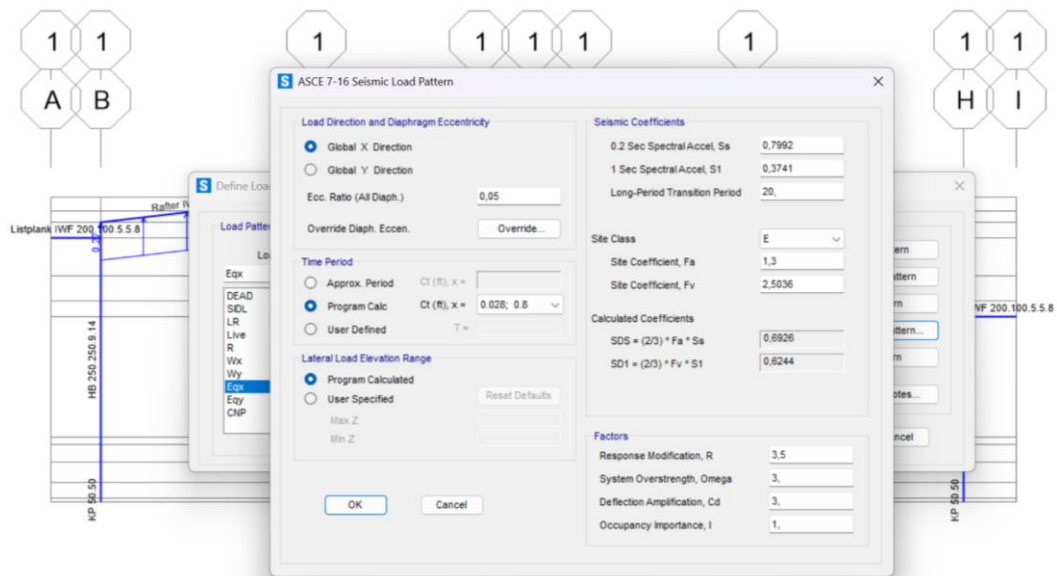
$$C_d = 3$$

11. Skala Faktor

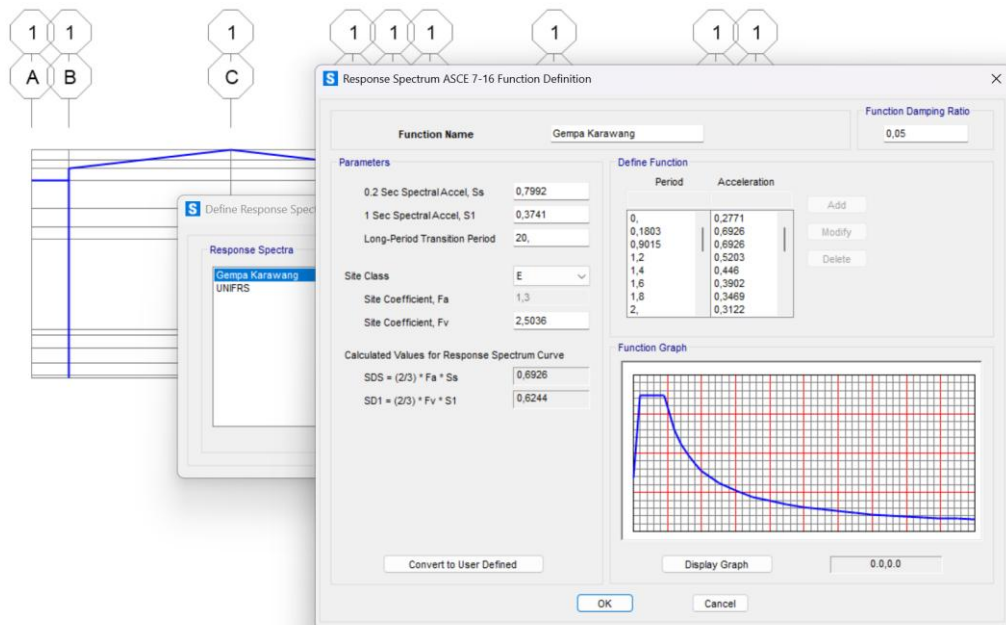
Nilai skala faktor disini akan digunakan untuk analisis nantinya pada *software* SAP2000 dan berikut merupakan perhitungannya

$$\begin{aligned}
 \text{Skala Faktor} &= \frac{\text{gravitasi} \times \text{faktor keutamaan}}{R} \\
 &= \frac{9,81 \times 1}{3,5} \\
 &= 2,8
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan *input* beban gempa dan respon spektrum yang bekerja pada struktur *rafter* yang dapat dilihat pada gambar 5.12 dan 5.13



Gambar 5. 12 Beban Gempa Yang Bekerja Pada Rafter



Gambar 5. 13 Respon Spektrum Yang Bekerja Pada Rafter

5.3.7 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban yang digunakan ada 7 kombinasi, namun kombinasi di sini lebih didetailkan kembali, dan pendetailannya sebagai berikut.

LRFD 1-1	= 1,4 D + 1,4 SIDL
LRFD 2-1	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 L + 0,5 Lr
LRFD 2-2	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 L + 0,5 R
LRFD 3-1	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 1,6 Lr
LRFD 3-2	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 Lr + 0,5 W _x
LRFD 3-3	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 Lr + 0,5 W _y
LRFD 3-4	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 Lr + 0,375 W _x + 0,375 W _y
LRFD 3-5	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 1,6 R
LRFD 3-6	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 R + 0,5 W _x
LRFD 3-7	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 R + 0,5 W _y
LRFD 3-8	= 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 R + 0,375 W _x + 0,375 W _y
LRFD 4-1	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 0,5 Lr + W _x
LRFD 4-2	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 0,5 Lr + W _y
LRFD 4-3	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 0,5 Lr + 0,75 W _x + 0,75 W _y
LRFD 4-4	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 0,5 R + W _x
LRFD 4-5	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 0,5 R + W _y
LRFD 4-6	= 1,2 D + 1,2 SIDL + L + 0,5 R + 0,75 W _x + 0,75 W _y
LRFD 5-1	= 0,9 D + 0,9 SIDL + L + W _x
LRFD 5-2	= 0,9 D + 0,9 SIDL + L + W _y
LRFD 5-3	= 0,9 D + 0,9 SIDL + L + 0,75 W _x + 0,75 W _y
LRFD 6-1	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + 1,3 E _x + 0,39 E _y
LRFD 6-2	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + 1,3 E _x + (-0,39 E _y)
LRFD 6-3	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + (-1,3 E _x) + 0,39 E _y
LRFD 6-4	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + (-1,3 E _x) + (-0,39 E _y)
LRFD 6-5	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + 0,39 E _x + 1,3 E _y
LRFD 6-6	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + (-0,39 E _x) + 1,3 E _y
LRFD 6-7	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + 0,39 E _x + (-1,3 E _y)
LRFD 6-8	= 1,3343 D + 1,3343 SIDL + L + (-0,39 E _x) + (-1,3 E _y)

LRFD 7-1	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + 1,3 E_x + 0,39 E_y$
LRFD 7-2	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + 1,3 E_x + (-0,39 E_y)$
LRFD 7-3	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + (-1,3 E_x) + 0,39 E_y$
LRFD 7-4	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + (-1,3 E_x) + (-0,39 E_y)$
LRFD 7-5	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + 0,39 E_x + 1,3 E_y$
LRFD 7-6	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + (-0,39 E_x) + 1,3 E_y$
LRFD 7-7	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + 0,39 E_x + (-1,3 E_y)$
LRFD 7-8	$= 0,7657 D + 0,7657 \text{ SIDL} + (-0,39 E_x) + (-1,3 E_y)$

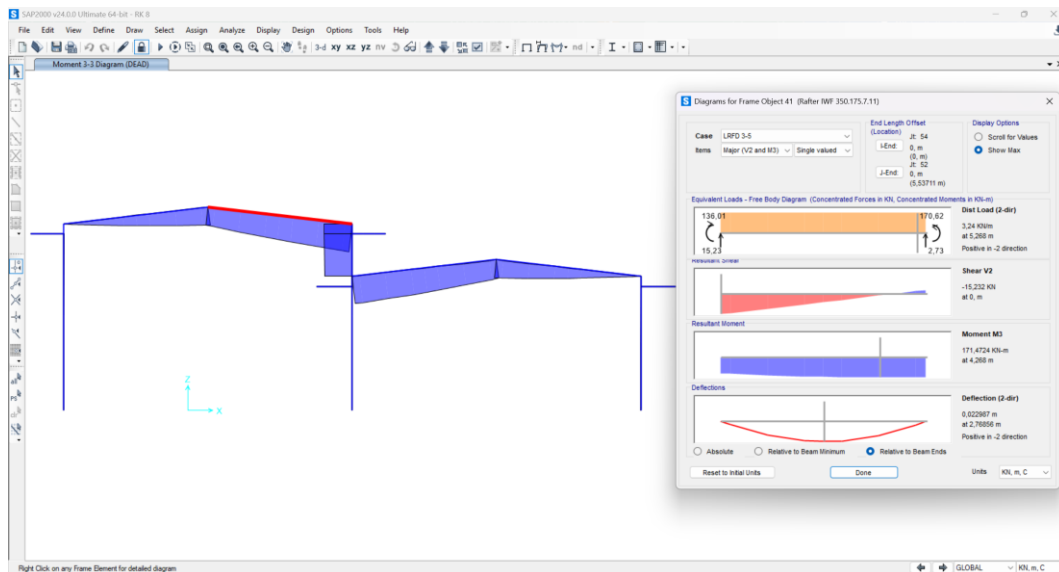
5.4 Analisis Kapasitas Rafter

5.4.1 Kapasitas Model 1 (*Existing*)

Pada model 1 (*existing*) ada beberapa skema rangka yang dibuat pada data penelitian, namun untuk analisis kapasitas *rafter* disini hanya menggunakan 2 model skema rangka saja, yaitu untuk skema rangka 7 dan skema rangka 8 yang detailnya bisa dilihat pada lampiran. Yang membedakan pada pada skema rangka ini yaitu pada skema rangka 7 semuanya menggunakan profil IWF 350.175.7.11 pada setiap bentangnya, namun pada skema rangka 8 menggunakan profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 pada salah satu bentangnya. Berikut merupakan perhitungan analisis kapasitas *rafter* untuk semua skema rangka.

1. Gaya Dalam Batang

Gaya dalam batang didapatkan berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan pada *software* SAP2000 terdapat pada kombinasi LRFD 3-5 yang bisa dilihat pada gambar 5.13 dan berikut merupakan hasil dari gaya dalam batang dari semua skema rangka yang dapat dilihat pada tabel 5.1.



Gambar 5. 14 Hasil Gaya Dalam Batang Skema Rangka 8 Profil IWF 350.175.7.11

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Gaya Dalam Batang

Keterangan	Skema Rangka 7 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 400.200.8.13
L_x (mm)	5537,11	5537,11	5537,11
L_y (mm)	750	750	750
M_U (N/mm)	166071830,2	171472372,4	167374019,3
M_A (N/mm)	154433252,5	153817408,6	165939546,3
M_B (N/mm)	163473483,8	165745702,2	159262116,6
M_C (N/mm)	165965552,5	171125812,3	146464608,7
V_U (N)	13146,09	15232,42	15428,96
ϕ_b	0,9	0,9	0,9
ϕ_f	0,75	0,75	0,75

Keterangan

L_x = Panjang total *rafter*

L_y = Panjang bersih *rafter*

M_u = Momen maksimum akibat beban terfaktor

M_A = Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang

M_B = Momen pada setengah bentang

M_C = Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang

V_U = Gaya geser akibat beban terfaktor

ϕ_b = Faktor reduksi kekuatan untuk lentur

ϕ_f = Faktor reduksi kekuatan untuk geser

2. *Section Properties*

Perhitungan untuk nilai *section properties* menggunakan persamaan rumus 3.23 sampai 3.32. berikut merupakan perhitungannya.

a. Skema Rangka 7 Profil 350.175.7.11

Perhitungan Modulus Geser

$$\begin{aligned} G &= \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \\ &= \frac{200000}{2 \times (1 + 0,3)} \\ &= 76923 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan tinggi bersih

$$\begin{aligned} h &= h_t - h_f \\ &= 350 - 11 \\ &= 339 \text{ mm} \\ h_1 &= t_f + r \\ &= 11 + 14 \\ &= 25 \text{ mm} \\ h_2 &= h_t - 2h_1 \\ &= 350 - 2(25) \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir torsi

$$\begin{aligned} J &= 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3} \times (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^3 \\ &= 2 \times \frac{1}{3} \times 175 \times 11^3 + \frac{1}{3} \times (350 - 2 \times 11) \times 7^3 \\ &= 192784,7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir lengkung

$$\begin{aligned} I_w &= I_y \times h^{2/4} \\ &= 9840000 \times 339^{2/4} \\ &= 2,827 \times 10^{11} \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}}$$

$$\begin{aligned}
X_1 &= \frac{\pi}{775000} \times \sqrt{200000 \times 76923 \times 192784,7 \times \frac{6314}{2}} \\
&= 12404,1 \text{ MPa} \\
X_2 &= 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\
&= 4 \times \left(\frac{775000}{76923 \times 192784,7} \right)^2 \times \frac{2,827 \times 10^{11}}{9840000} \\
&= 0,0003139 \text{ mm}^2/\text{N}^2
\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu x

$$\begin{aligned}
Z_x &= t_w \times h_t^{2/4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f \\
&= 7 \times 350^{2/4} + (175 - 7) \times (350 - 11) \times 11 \\
&= 840847 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu y

$$\begin{aligned}
Z_y &= t_f \times b_f^{2/2} + (b_f - 2 \times t_f) \times t_w^{2/4} \\
&= 11 \times 175^{2/2} + (175 - 2 \times 11) \times 7^{2/4} \\
&= 172455,5 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

b. Skema Rangka 8 Profil 400.200.8.13

Perhitungan Modulus Geser

$$\begin{aligned}
G &= \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \\
&= \frac{200000}{2 \times (1 + 0,3)} \\
&= 76923 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Perhitungan tinggi bersih

$$\begin{aligned}
h &= h_t - h_f \\
&= 400 - 13 \\
&= 387 \text{ mm} \\
h_1 &= t_f + r \\
&= 13 + 16 \\
&= 29 \text{ mm} \\
h_2 &= h_t - 2h_1 \\
&= 400 - 2(29) \\
&= 342 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir torsi

$$\begin{aligned}
 J &= 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3} \times (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^3 \\
 &= 2 \times \frac{1}{3} \times 200 \times 13^3 + \frac{1}{3} \times (400 - 2 \times 13) \times 8^3 \\
 &= 356762,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir lengkung

$$\begin{aligned}
 I_w &= I_y \times h^{2/4} \\
 &= 17400000 \times 387^{2/4} \\
 &= 6,515 \times 10^{11} \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{1190000} \times \sqrt{200000 \times 76923 \times 356762,7 \times \frac{8412}{2}} \\
 &= 12684,4 \text{ MPa} \\
 X_2 &= 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\
 &= 4 \times \left(\frac{1190000}{76923 \times 356762,7} \right)^2 \times \frac{6,515 \times 10^{11}}{17400000} \\
 &= 0,0002816 \text{ mm}^2/\text{N}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu x

$$\begin{aligned}
 Z_x &= t_w \times h_t^{2/4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f \\
 &= 8 \times 400^{2/4} + (200 - 8) \times (400 - 13) \times 13 \\
 &= 1265952 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu y

$$\begin{aligned}
 Z_y &= t_f \times b_f^{2/2} + (b_f - 2 \times t_f) \times t_w^{2/4} \\
 &= 13 \times 200^{2/2} + (200 - 2 \times 13) \times 8^{2/4} \\
 &= 265984 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Pada *section properties* disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama.

3. Momen Nominal Penampang

Perhitungan untuk nilai momen nominal penampang menggunakan persamaan rumus 3.33 sampai 3.41. berikut merupakan perhitungannya

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

Cek kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\ &= \frac{175}{2 \times 11} \\ &= 7,955\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{170}{\sqrt{249}} \\ &= 10,773\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= \frac{370}{\sqrt{(f_y - f_r)}} \\ &= \frac{370}{\sqrt{(249 - 240)}} \\ &= 123,333\end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned}M_p &= (f_y \times Z_x) \\ &= (249 \times 840847) \\ &= 209370903 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Perhitungan momen batas plastis

$$\begin{aligned}M_f &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 775000 \times (249 - 240) \\ &= 6975000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, nilai $\lambda \leq \lambda_p$ dan $\lambda \leq \lambda_r$ maka penampang ini termasuk penampang *compact* dan perhitungan penampang *compact* sebagai berikut

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 209370903 \text{ Nmm}$$

b. Skema Rangka 8 Profil IWF 400.200.8.13

Cek kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\ &= \frac{200}{2 \times 13} \\ &= 7,692\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{170}{\sqrt{249}} \\ &= 10,773\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= \frac{370}{\sqrt{(f_y - f_r)}} \\ &= \frac{370}{\sqrt{(249 - 240)}} \\ &= 123,333\end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned}M_p &= (f_y \times Z_x) \\ &= (249 \times 1285952) \\ &= 320303048 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Perhitungan momen batas plastis

$$\begin{aligned}M_f &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 1190000 \times (249 - 240) \\ &= 10710000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, nilai $\lambda \leq \lambda_p$ dan $\lambda \leq \lambda_r$ maka penampang ini termasuk penampang *compact* dan perhitungan penampang *compact* sebagai berikut

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 320303048 \text{ Nmm}$$

Pada momen nominal penampang disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama.

4. Momen Nominal Balok Plat Berdinding Penuh

Perhitungan untuk nilai momen nominal balok plat berdinding penuh menggunakan persamaan rumus 3.42 sampai 3.47. berikut perhitungannya.

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan kelangsingan penampang badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{339}{7} \\ &= 48,429\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}C_b &= \frac{12,5 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 171472372,4}{2,5 \times 171472372,4 + 3 \times 153817408,6 + 4 \times 165745702,2 + 3 \times 171125812,3} \\ &= 1,04\end{aligned}$$

Perhitungan perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

$$\begin{aligned}a_r &= \frac{h \times t_w}{t_w \times t_f} \\ &= \frac{339 \times 7}{7 \times 11} \\ &= 1,233\end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia

$$\begin{aligned}I_1 &= \frac{I_y}{2} - \frac{1}{12} \times t_w^3 \times \frac{1}{3} \times h_2 \\ &= \frac{9840000}{2} - \frac{1}{12} \times 7^3 \times \frac{1}{3} \times 300 \\ &= 4917142 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Perhitungan luas penampang

$$A_1 = \frac{A}{2} - \frac{1}{3} \times t_w \times h_2$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{6314}{2} - \frac{1}{3} \times 7 \times 300 \\
 &= 2457 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan jari-jari daerah plat yang mengalami tekan

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \sqrt{\frac{I_I}{A_I}} \\
 &= \sqrt{\frac{4917142}{2457}} \\
 &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Skema Rangka 8 Profil IWF 400.200.8.13

Perhitungan kelangsingan penampang badan

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{h}{t_w} \\
 &= \frac{384}{8} \\
 &= 48,375
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 167374019,3}{2,5 \times 167374019,3 + 3 \times 165939546,3 + 4 \times 159262116,6 + 3 \times 146464608,7} \\
 &= 1,05
 \end{aligned}$$

Perhitungan perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

$$\begin{aligned}
 a_r &= \frac{h \times t_w}{t_w \times t_f} \\
 &= \frac{384 \times 8}{8 \times 13} \\
 &= 1,191
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{l_y}{2} - \frac{1}{12} \times t_w^3 \times \frac{1}{3} \times h_2 \\
 &= \frac{17400000}{2} - \frac{1}{12} \times 8^3 \times \frac{1}{3} \times 342 \\
 &= 8695136 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan luas penampang

$$A_1 = \frac{A}{2} - \frac{1}{3} \times t_w \times h_2$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{8412}{2} - \frac{1}{3} \times 8 \times 342 \\
 &= 3294 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan jari-jari daerah plat yang mengalami tekan

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \sqrt{\frac{I_1}{A_1}} \\
 &= \sqrt{\frac{8695136}{3294}} \\
 &= 51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pada momen nominal balok plat berdinging penuh disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama. Namun pada perhitungan disini yang membedakannya disini nanti pada nilai C_b , karena nilai C_b sangat berpengaruh pada momennya dan pada kasus penelitian ini C_b tidak akan digunakan.

5. Momen Nominal Berdasarkan Torsi Lateral

Perhitungan untuk nilai momen nominal berdasarkan torsi lateral menggunakan persamaan rumus 3.48 sampai 3.58. berikut merupakan perhitungannya

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan jarak antara pengekang lateral

$$\begin{aligned}
 L &= L_y \\
 &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan

$$\begin{aligned}
 \lambda_G &= \frac{L}{r_1} \\
 &= \frac{750}{45} \\
 &= 16765
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}
 \lambda_p &= 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\
 &= 49,880
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 4,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 4,40 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 124,7004\end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}f_c &= C_b \times \frac{f_y}{2} \\ &= 1,04 \times \frac{249}{2} \\ &= 129,134 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_P$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned}S &= S_x \\ &= 775000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$\begin{aligned}K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,233}{1200 + 300 \times 1,233} \right) \times \left(\frac{339}{7} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,089\end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$\begin{aligned}M_n &= K_g \times S \times f_{cr} \\ &= 1,089 \times 775000 \times 249 \\ &= 2101224611 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

b. Skeam Rangka 8 Profil IWF 400.200.8.13

Perhitungan jarak antara pengekang lateral

$$\begin{aligned}L &= L_y \\ &= 750 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda_G &= \frac{L}{r_1} \\ &= \frac{750}{51} \\ &= 14,598\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 49,880\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 4,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 4,40 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 124,7004\end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}f_C &= C_b \times \frac{f_y}{2} \\ &= 1,05 \times \frac{249}{2} \\ &= 130,715 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_p$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned}S &= S_x \\ &= 1190000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right)$$

$$K_g = 1 - \left(\frac{1,191}{1200 + 300 \times 1,191} \right) \times \left(\frac{387}{8} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right)$$

$$= 1,087$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$$

$$= 1,087 \times 1190000 \times 249$$

$$= 321964411 \text{ Nmm}$$

Pada momen nominal berdasarkan torsi lateral disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama. Namun pada perhitungan disini yang membedakannya disini nanti pada nilai F_c , karena nilai F_c sangat berpengaruh pada nilai C_b dan pada kasus penelitian ini F_c tidak akan digunakan.

6. Momen Nominal Berdasarkan *Local Buckling* Pada Sayap

Perhitungan untuk nilai momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap menggunakan persamaan rumus 3.59 sampai 3.69. berikut merupakan perhitungannya

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan faktor kelangsingan pelat badan

$$K_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$$

$$= \frac{4}{\sqrt{\frac{339}{7}}}$$

$$= 0,57479$$

Perhitungan kelangsingan penampang sayap

$$\lambda_G = \frac{b_f}{2 \times t_f}$$

$$= \frac{175}{2 \times 11}$$

$$= 7,95$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\lambda_P = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 10,77\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,35 \times \sqrt{K_e \times \frac{E}{f_y}} \\ &= 1,35 \times \sqrt{0,57479 \times \frac{200000}{249}} \\ &= 29,01\end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal

$$\begin{aligned}f_c &= \frac{f_y}{2} \\ &= \frac{249}{2} \\ &= 124,50\end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_p$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned}S &= S_x \\ &= 775000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$\begin{aligned}K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,233}{1200 + 300 \times 1,233} \right) \times \left(\frac{339}{7} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,089\end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$\begin{aligned}M_n &= K_g \times S \times f_{cr} \\ &= 1,089 \times 775000 \times 249 \\ &= 2101224611 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

b. Skema Rangka 8 Profil IWF 400.200.8.13

Perhitungan faktor kelangsingan pelat badan

$$\begin{aligned} K_e &= \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \\ &= \frac{4}{\sqrt{\frac{387}{8}}} \\ &= 0,57511 \end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan penampang sayap

$$\begin{aligned} \lambda_G &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\ &= \frac{200}{2 \times 13} \\ &= 7,69 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 10,77 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 1,35 \times \sqrt{K_e \times \frac{E}{f_y}} \\ &= 1,35 \times \sqrt{0,57511 \times \frac{200000}{249}} \\ &= 29,02 \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal

$$\begin{aligned} f_C &= \frac{f_y}{2} \\ &= \frac{249}{2} \\ &= 124,50 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_p$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ dan termasuk penampang *compact*, maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned} S &= S_x \\ &= 1190000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinging penuh

$$\begin{aligned} K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,191}{1200 + 300 \times 1,191} \right) \times \left(\frac{387}{8} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,087 \end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$\begin{aligned} M_n &= K_g \times S \times f_{cr} \\ &= 1,087 \times 1190000 \times 249 \\ &= 321964411 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pada momen nominal berdasarkan torsi lateral disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama.

7. Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling

Perhitungan untuk nilai momen nominal Pengaruh lateral *buckling* menggunakan persamaan rumus 3.70 sampai 3.79. berikut merupakan perhitungannya

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 39,5 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 1970 \text{ mm} \\ f_L &= f_y - f_r \\ &= 249 - 240 \end{aligned}$$

$$= 9 \text{ MPa}$$

Perhitungan panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} L_r &= r_y \times \frac{X_1}{f_l} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \times f_L^2}} \\ &= 39,5 \times \frac{12404,1}{9} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,0003139 \times 9^2}} \\ &= 77233 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{125 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 171472372,4}{2,5 \times 171472372,4 + 3 \times 153817408,6 + 4 \times 165745702,2 + 3 \times 171125812,3} \\ &= 1,04 \end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned} M_p &= f_y \times Z_x \\ &= 249 \times 840847 \\ &= 209370903 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk

$$\begin{aligned} M_r &= S_x \times (F_y - F_r) \\ &= 775000 \times (249 - 240) \\ &= 6975000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukung lateral)

$$\begin{aligned} L &= L_y \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $L \leq L_p$ dan $L \leq L_r$ termasuk ke dalam bentang pendek, maka perhitungan untuk momennya adalah

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= 209370903 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

b. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1,76 \times 45,4 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\
 &= 2265 \text{ mm} \\
 f_L &= f_y - f_r \\
 &= 249 - 240 \\
 &= 9 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 L_r &= r_y \times \frac{X_1}{f_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \times f_L^2}} \\
 &= 39,5 \times \frac{12684,4}{9} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,0002816 \times 9^2}} \\
 &= 90746 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{125 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 167374019,3}{2,5 \times 167374019,3 + 3 \times 165939546,3 + 4 \times 159262116,6 + 3 \times 146464608,7} \\
 &= 1,05
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned}
 M_p &= f_y \times Z_x \\
 &= 249 \times 1285952 \\
 &= 320202048 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk

$$\begin{aligned}
 M_r &= S_x \times (F_y - F_r) \\
 &= 1190000 \times (249 - 240) \\
 &= 10710000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukung lateral)

$$\begin{aligned}
 L &= L_y \\
 &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $L \leq L_p$ dan $L \leq L_r$ termasuk ke dalam bentang pendek, maka perhitungan untuk momennya adalah

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= 320202048 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan momen yang sudah dilakukan mulai dari perhitungan momen nominal penampang, momen nominal balok plat berdinding penuh, momen nominal berdasarkan torsi lateral, momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap, dan momen nominal pengaruh lateral *buckling* diambil nilai momen yang paling kecil guna nantinya dilakukan evaluasi ketahanan struktur pada momen lentur, geser, dan interaksi geser dan lentur. Didapatkan untuk momen kapasitas pada profil IWF 350.175.7.11 adalah 209370903 Nmm dan profil IWF 400.200.8.13 adalah 320202048 Nmm. Berikut merupakan rekapitulasi dari hasil perhitungan untuk setiap profil yang dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Momen

Keterangan	Momen pada IWF 350.175.7.11 (Nmm)	Momen pada IWF 400.200.8.13 (Nmm)
Momen Nominal Penampang	209370903	320202048
Momen Nominal Berdasarkan Torsi Lateral	210124611	321964411
Momen Nominal Berdasarkan <i>Local Buckling</i> Pada Sayap	209370903	320202048
Momen Nominal Pengaruh Lateral <i>Buckling</i>	210124611	321964411
Momen Yang Digunakan	209370903	320202048

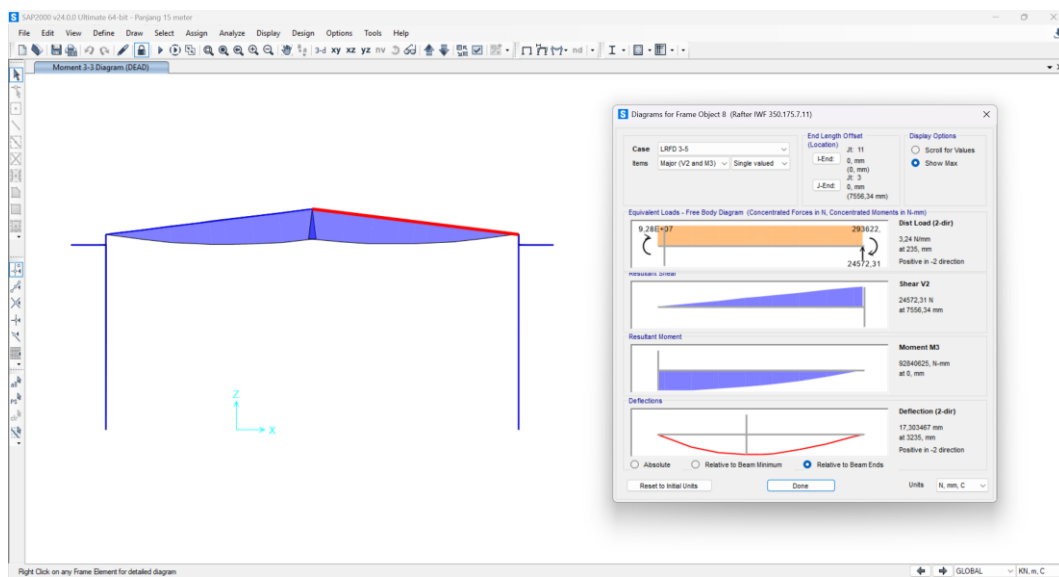
Tabel 5.2 menunjukkan bahwa momen kapasitas yang digunakan pada profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 mempunyai rasio 1:1,53.

5.4.2 Kapasitas Model 2

Pada model 2 ini dilakukan untuk analisis kekuatan balok *rafter* untuk melihat seberapa kuat dan tahan *rafter* yang digunakan dengan panjang dua kali lebih besar dari bentang model 1 (*existing*) yakni 22 meter dengan satu bentang. Profil yang digunakan adalah profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 dan berikut merupakan perhitungan analisis kapasitas *rafter* untuk semua bentang desain dan profil.

1. Gaya Dalam Batang

Gaya dalam batang didapatkan berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan pada *software* SAP2000 terdapat pada kombinasi LRFD 3-5 yang bisa dilihat pada gambar 5.15 dan berikut merupakan hasil dari gaya dalam batang dari semua skema rangka yang dapat dilihat pada tabel 5.3 sampai 5.6



Gambar 5. 15 Hasil Gaya Dalam Batang Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Data Profil dan Gaya Geser Profil IWF 350.175.7.11

Bentang (m)	Lx (mm)	Ly (mm)	Vu (N)	ϕ_b	ϕ_f
11	5537,11	750	16436,52	0,9	0,75
12	6045,06	750	20080,74	0,9	0,75
13	6548,81	750	21872,36	0,9	0,75
14	7052,57	750	22860,37	0,9	0,75
15	7556,32	750	24572,31	0,9	0,75
16	8060,08	750	26193,57	0,9	0,75
17	8563,83	750	27802,34	0,9	0,75
18	9067,59	750	29372,27	0,9	0,75
19	9571,34	750	31026,33	0,9	0,75
20	10075,10	750	33911,05	0,9	0,75
21	10578,85	750	34103,37	0,9	0,75
22	11082,61	750	35948,59	0,9	0,75

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Momen Profil IWF 350.175.7.11

Bentang (m)	M_U (Nmm)	M_A (Nmm)	M_B (Nmm)	M_C (Nmm)
11	58561579,82	36465081,66	50060188,98	57107100,75
12	59490625,00	54731077,29	43216159,15	23634256,56
13	69248301,82	16630491,64	49761448,41	63459457,84
14	80800390,63	75359299,68	60649254,66	35375367,87
15	92840625,00	86542028,22	69409095,23	39943770,87
16	105552929,7	98559766,44	78961334,68	45673893,82
17	121219658,1	53837247,02	91321281,08	113575331,4
18	133739106,3	58521501,49	100515376,8	125406188,9
19	148954785,2	139458040,6	111832253,4	65344962,68
20	165421093,8	151654676,6	117982096,7	63061647,71
21	182972855,3	82097912,17	138622792,2	171742226,3
22	199624609,4	186682315,4	149723777,0	87067334,35

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Data Profil dan Gaya Geser Profil IWF 400.200.8.13

Panjang (m)	L_x (mm)	L_y (mm)	V_u (N)	φ_b	φ_f
11	5537,11	750	17269,00	0,9	0,75
12	6045,06	750	20833,19	0,9	0,75
13	6548,81	750	22562,00	0,9	0,75
14	7052,57	750	24484,67	0,9	0,75
15	7556,32	750	26294,04	0,9	0,75
16	8060,08	750	27804,41	0,9	0,75
17	8563,83	750	29621,97	0,9	0,75
18	9067,59	750	30814,84	0,9	0,75
19	9571,34	750	31061,73	0,9	0,75
20	10075,10	750	34547,31	0,9	0,75
21	10578,85	750	36412,89	0,9	0,75
22	11082,61	750	38300,70	0,9	0,75

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Momen Profil IWF 400.200.8.13

Panjang (m)	M_U (Nmm)	M_A (Nmm)	M_B (Nmm)	M_C (Nmm)
11	49731934,35	48353828,72	41091534,40	26891121,40
12	63250000,00	58877576,71	47347366,24	27269612,10
13	74145312,50	69014804,71	55503844,03	31997953,08
14	84294638,54	34774490,82	62017626,61	78066672,04
15	100114246,7	42604772,83	74312352,38	92953053,83
16	112535742,2	105024288,8	84156663,96	48784568,12
17	127592131,9	55146032,22	95212905,04	119142533,8
18	141535680,2	63926109,99	107726997,2	133402628,5
19	160741576,5	154685908,7	129752288,6	84833556,72
20	174823046,9	163722130,6	131529230,3	76822713,43

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Momen Profil IWF 400.200.8.13

Panjang (m)	M _U (Nmm)	M _A (Nmm)	M _B (Nmm)	M _C (Nmm)
21	191374048,9	82284525,18	142911757,2	178739370,5
22	212326562,5	198029714,3	158285958,4	91313461,90

Keterangan

L_x = Panjang total *rafter*

L_y = Panjang bersih *rafter*

M_u = Momen maksimum akibat beban terfaktor

M_A = Momen pada ¼ bentang

M_B = Momen pada setengah bentang

M_C = Momen pada ¾ bentang

V_U = Gaya geser akibat beban terfaktor

φ_b = Faktor reduksi kekuatan untuk lentur

φ_f = Faktor reduksi kekuatan untuk geser

2. *Section Properties*

Perhitungan untuk nilai *section properties* menggunakan persamaan rumus 3.23 sampai 3.32. berikut merupakan perhitungannya dengan menggunakan bentang 15 meter.

a. Bentang 15 meter Profil 350.175.7.11

Perhitungan Modulus Geser

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \\
 &= \frac{200000}{2 \times (1 + 0,3)} \\
 &= 76923 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tinggi bersih

$$\begin{aligned}
 h &= h_t - h_f \\
 &= 350 - 11 \\
 &= 339 \text{ mm} \\
 h_1 &= t_f + r \\
 &= 11 + 14 \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_t - 2h_1 \\
 &= 350 - 2(25) \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir torsi

$$\begin{aligned}
 J &= 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3} \times (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^3 \\
 &= 2 \times \frac{1}{3} \times 175 \times 11^3 + \frac{1}{3} \times (350 - 2 \times 11) \times 7^3 \\
 &= 192784,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir lengkung

$$\begin{aligned}
 I_w &= I_y \times h^{2/4} \\
 &= 9840000 \times 339^{2/4} \\
 &= 2,827 \times 10^{11} \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{775000} \times \sqrt{200000 \times 76923 \times 192784,7 \times \frac{6314}{2}} \\
 &= 12404,1 \text{ MPa} \\
 X_2 &= 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\
 &= 4 \times \left(\frac{775000}{76923 \times 192784,7} \right)^2 \times \frac{2,827 \times 10^{11}}{9840000} \\
 &= 0,0003139 \text{ mm}^2/\text{N}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu x

$$\begin{aligned}
 Z_x &= t_w \times h_t^{2/4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f \\
 &= 7 \times 350^{2/4} + (175 - 7) \times (350 - 11) \times 11 \\
 &= 840847 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu y

$$\begin{aligned}
 Z_y &= t_f \times b_f^{2/2} + (b_f - 2 \times t_f) \times t_w^{2/4} \\
 &= 11 \times 175^{2/2} + (175 - 2 \times 11) \times 7^{2/4} \\
 &= 172455,5 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

b. Bentang 15 meter Profil 400.200.8.13

Perhitungan Modulus Geser

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \\
 &= \frac{200000}{2 \times (1 + 0,3)} \\
 &= 76923 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tinggi bersih

$$\begin{aligned}
 h &= h_t - h_f \\
 &= 400 - 13 \\
 &= 387 \text{ mm} \\
 h_1 &= t_f + r \\
 &= 13 + 16 \\
 &= 29 \text{ mm} \\
 h_2 &= h_t - 2h_1 \\
 &= 400 - 2(29) \\
 &= 342 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir torsi

$$\begin{aligned}
 J &= 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3} \times (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^3 \\
 &= 2 \times \frac{1}{3} \times 200 \times 13^3 + \frac{1}{3} \times (400 - 2 \times 13) \times 8^3 \\
 &= 356762,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan konstanta puntir lengkung

$$\begin{aligned}
 I_w &= I_y \times h^{2/4} \\
 &= 17400000 \times 387^{2/4} \\
 &= 6,515 \times 10^{11} \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{1190000} \times \sqrt{200000 \times 76923 \times 356762,7 \times \frac{8412}{2}} \\
 &= 12684,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\
 &= 4 \times \left(\frac{1190000}{76923 \times 356762,7} \right)^2 \times \frac{6,515 \times 10^{11}}{17400000} \\
 &= 0,0002816 \text{ mm}^2/\text{N}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu x

$$\begin{aligned}
 Z_x &= t_w \times h_t^{2/4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f \\
 &= 8 \times 400^{2/4} + (200 - 8) \times (400 - 13) \times 13 \\
 &= 1265952 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang plastis sumbu y

$$\begin{aligned}
 Z_y &= t_f \times b_f^{2/2} + (b_f - 2 \times t_f) \times t_w^{2/4} \\
 &= 13 \times 200^{2/2} + (200 - 2 \times 13) \times 8^{2/4} \\
 &= 265984 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Pada *section properties* disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama.

3. Momen Nominal Penampang

Perhitungan untuk nilai momen nominal penampang menggunakan persamaan rumus 3.33 sampai 3.41. berikut merupakan perhitungannya dengan menggunakan bentang 15 meter.

a. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Cek kelangsingan

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\
 &= \frac{175}{2 \times 11} \\
 &= 7,955
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\
 &= \frac{170}{\sqrt{249}} \\
 &= 10,773
 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= \frac{370}{\sqrt{(f_y - f_r)}} \\ &= \frac{370}{\sqrt{(249 - 240)}} \\ &= 123,333\end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned}M_p &= (f_y \times Z_x) \\ &= (249 \times 840847) \\ &= 209370903 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Perhitungan momen batas plastis

$$\begin{aligned}M_f &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 775000 \times (249 - 240) \\ &= 6975000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, nilai $\lambda \leq \lambda_p$ dan $\lambda \leq \lambda_r$ maka penampang ini termasuk penampang *compact* dan perhitungan penampang *compact* sebagai berikut

$$\begin{aligned}M_n &= M_p \\ M_n &= 209370903 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

b. Bentang 15 meter Profil IWF 400.200.8.13

Cek kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\ &= \frac{200}{2 \times 13} \\ &= 7,692\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{170}{\sqrt{249}} \\ &= 10,773\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= \frac{370}{\sqrt{(f_y - f_r)}} \\ &= \frac{370}{\sqrt{(249 - 240)}} \\ &= 123,333\end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned}M_p &= (f_y \times Z_x) \\ &= (249 \times 1285952) \\ &= 320303048 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Perhitungan momen batas plastis

$$\begin{aligned}M_f &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 1190000 \times (249 - 240) \\ &= 10710000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, nilai $\lambda \leq \lambda_p$ dan $\lambda \leq \lambda_r$ maka penampang ini termasuk penampang *compact* dan perhitungan penampang *compact* sebagai berikut

$$\begin{aligned}M_n &= M_p \\ M_n &= 320303048 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Pada momen nominal penampang disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama.

4. Momen Nominal Balok Plat Berdinding Penuh

Perhitungan untuk nilai momen nominal balok plat berdinding penuh menggunakan persamaan rumus 3.42 sampai 3.47. berikut perhitungannya dengan menggunakan bentang 15 meter.

a. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan kelangsingan penampang badan

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

$$\lambda = \frac{339}{7}$$

$$= 48,429$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

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

$$= \frac{12,5 \times 92840625}{2,5 \times 92840625 + 3 \times 86542028,22 + 4 \times 69409095,23 + 3 \times 39943770,87}$$

$$= 1,31$$

Perhitungan perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

$$a_r = \frac{h \times t_w}{t_w \times t_f}$$

$$= \frac{339 \times 7}{7 \times 11}$$

$$= 1,233$$

Perhitungan momen inersia

$$I_1 = \frac{l_y}{2} - \frac{1}{12} \times t_w^3 \times \frac{1}{3} \times h_2$$

$$= \frac{9840000}{2} - \frac{1}{12} \times 7^3 \times \frac{1}{3} \times 300$$

$$= 4917142 \text{ mm}^4$$

Perhitungan luas penampang

$$A_1 = \frac{A}{2} - \frac{1}{3} \times t_w \times h_2$$

$$= \frac{6314}{2} - \frac{1}{3} \times 7 \times 300$$

$$= 2457 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jari-jari daerah plat yang mengalami tekan

$$r_1 = \sqrt{\frac{I_1}{A_1}}$$

$$= \sqrt{\frac{4917142}{2457}}$$

$$= 45 \text{ mm}$$

b. Bentang 15 meter Profil IWF 400.200.8.13

Perhitungan kelangsingan penampang badan

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

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{384}{8} \\ &= 48,375\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}C_b &= \frac{12,5 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 100114246,7}{2,5 \times 100114246,7 + 3 \times 42604772,83 + 4 \times 74312352,38 + 3 \times 92953053,83} \\ &= 1,31\end{aligned}$$

Perhitungan perbandingan luas pelat badan terhadap luas pelat sayap

$$\begin{aligned}a_r &= \frac{h \times t_w}{t_w \times t_f} \\ &= \frac{384 \times 8}{8 \times 13} \\ &= 1,191\end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia

$$\begin{aligned}I_1 &= \frac{I_y}{2} - \frac{1}{12} \times t_w^3 \times \frac{1}{3} \times h_2 \\ &= \frac{17400000}{2} - \frac{1}{12} \times 8^3 \times \frac{1}{3} \times 342 \\ &= 8695136 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Perhitungan luas penampang

$$\begin{aligned}A_1 &= \frac{A}{2} - \frac{1}{3} \times t_w \times h_2 \\ &= \frac{8412}{2} - \frac{1}{3} \times 8 \times 342 \\ &= 3294 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Perhitungan jari-jari daerah plat yang mengalami tekan

$$\begin{aligned}r_1 &= \sqrt{\frac{I_1}{A_1}} \\ &= \sqrt{\frac{8695136}{3294}} \\ &= 51 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pada momen nominal balok plat berdinding penuh disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama. Namun pada perhitungan disini yang membedakannya disini nanti

pada nilai C_b , karena nilai C_b sangat berpengaruh pada momennya dan pada kasus penelitian ini C_b tidak akan digunakan.

5. Momen Nominal Berdasarkan Torsi Lateral

Perhitungan untuk nilai momen nominal berdasarkan torsi lateral menggunakan persamaan rumus 3.48 sampai 3.58. berikut merupakan perhitungannya dengan menggunakan bentang 15 meter.

a. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan jarak antara pengekang lateral

$$\begin{aligned} L &= L_y \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan

$$\begin{aligned} \lambda_G &= \frac{L}{r_1} \\ &= \frac{750}{45} \\ &= 16765 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 49,880 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 4,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 4,40 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 124,7004 \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} f_c &= C_b \times \frac{f_y}{2} \\ &= 1,31 \times \frac{249}{2} \\ &= 162,488 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_p$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned} S &= S_x \\ &= 775000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdingding penuh

$$\begin{aligned} K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,233}{1200 + 300 \times 1,233} \right) \times \left(\frac{339}{7} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,089 \end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$\begin{aligned} M_n &= K_g \times S \times f_{cr} \\ &= 1,089 \times 775000 \times 249 \\ &= 2101224611 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

b. Bentang 15 meter Profil IWF 400.200.8.13

Perhitungan jarak antara pengekang lateral

$$\begin{aligned} L &= L_y \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan

$$\begin{aligned} \lambda_G &= \frac{L}{r_1} \\ &= \frac{750}{51} \\ &= 14,598 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 49,880 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 4,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 4,40 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 124,7004\end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}f_c &= C_b \times \frac{f_y}{2} \\ &= 1,31 \times \frac{249}{2} \\ &= 163,280 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_P$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned}S &= S_x \\ &= 1190000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$\begin{aligned}K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,191}{1200 + 300 \times 1,191} \right) \times \left(\frac{387}{8} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,087\end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$\begin{aligned}M_n &= K_g \times S \times f_{cr} \\ &= 1,087 \times 1190000 \times 249 \\ &= 321964411 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Pada momen nominal berdasarkan torsi lateral disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama. Namun pada perhitungan disini yang membedakannya disini nanti pada nilai F_c ,

karena nilai F_c sangat berpengaruh pada nilai C_b dan pada kasus penelitian ini F_c tidak akan digunakan.

6. Momen Nominal Berdasarkan *Local Buckling* Pada Sayap

Perhitungan untuk nilai momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap menggunakan persamaan rumus 3.59 sampai 3.69. berikut merupakan perhitungannya dengan menggunakan bentang 15 meter.

a. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan faktor kelangsingan pelat badan

$$\begin{aligned} K_e &= \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \\ &= \frac{4}{\sqrt{\frac{339}{7}}} \\ &= 0,57479 \end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan penampang sayap

$$\begin{aligned} \lambda_G &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\ &= \frac{175}{2 \times 11} \\ &= 7,95 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 10,77 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 1,35 \times \sqrt{K_e \times \frac{E}{f_y}} \\ &= 1,35 \times \sqrt{0,57479 \times \frac{200000}{249}} \\ &= 29,01 \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal

$$\begin{aligned} f_C &= \frac{f_y}{2} \\ &= \frac{249}{2} \\ &= 124,50 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_P$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned} S &= S_x \\ &= 775000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$\begin{aligned} K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,233}{1200 + 300 \times 1,233} \right) \times \left(\frac{339}{7} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,089 \end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$\begin{aligned} M_n &= K_g \times S \times f_{cr} \\ &= 1,089 \times 775000 \times 249 \\ &= 2101224611 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

b. Bentang 15 meter Profil IWF 400.200.8.13

Perhitungan faktor kelangsingan pelat badan

$$\begin{aligned} K_e &= \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \\ &= \frac{4}{\sqrt{\frac{387}{8}}} \\ &= 0,57511 \end{aligned}$$

Perhitungan kelangsingan penampang sayap

$$\begin{aligned} \lambda_G &= \frac{b_f}{2 \times t_f} \\ &= \frac{200}{2 \times 13} \\ &= 7,69 \end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 10,77\end{aligned}$$

Perhitungan batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,35 \times \sqrt{K_e \times \frac{E}{f_y}} \\ &= 1,35 \times \sqrt{0,57511 \times \frac{200000}{249}} \\ &= 29,02\end{aligned}$$

Perhitungan tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal

$$\begin{aligned}f_c &= \frac{f_y}{2} \\ &= \frac{249}{2} \\ &= 124,50\end{aligned}$$

Karena $\lambda_G \leq \lambda_p$ dan $\lambda_G \leq \lambda_r$ dan termasuk penampang *compact*, maka perhitungan yang digunakan pada tegangan kritis penampang adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_y \\ &= 249 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan modulus penampang elastis

$$\begin{aligned}S &= S_x \\ &= 1190000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien balok pelat berdinding penuh

$$\begin{aligned}K_g &= 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 \times a_r} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right) \\ &= 1 - \left(\frac{1,191}{1200 + 300 \times 1,191} \right) \times \left(\frac{387}{8} - \frac{2550}{\sqrt{249}} \right) \\ &= 1,087\end{aligned}$$

Perhitungan momen nominal penampang

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 1,087 \times 1190000 \times 249 \\ &= 321964411 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pada momen nominal berdasarkan torsi lateral disini, untuk skema rangka yang memiliki profil yang sama, tidak perlu dihitung kembali karena hasil dari perhitungan akan sama jika menggunakan profil yang sama.

7. Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling

Perhitungan untuk nilai momen nominal Pengaruh lateral *buckling* menggunakan persamaan rumus 3.70 sampai 3.79. berikut merupakan perhitungannya dengan menggunakan bentang 15 meter.

a. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 39,5 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 1970 \text{ mm} \\ f_L &= f_y - f_r \\ &= 249 - 240 \\ &= 9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} L_r &= r_y \times \frac{X_1}{f_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \times f_L^2}} \\ &= 39,5 \times \frac{12404,1}{9} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,0003139 \times 9^2}} \\ &= 77233 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{125 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 92840625}{2,5 \times 92840625 + 3 \times 86542028,22 + 4 \times 69409095,23 + 3 \times 39943770,87} \\ &= 1,31 \end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned} M_p &= f_y \times Z_x \\ &= 249 \times 840847 \\ &= 209370903 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk

$$\begin{aligned} M_r &= S_x \times (F_y - F_r) \\ &= 775000 \times (249 - 240) \\ &= 6975000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukung lateral)

$$\begin{aligned} L &= L_y \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $L \leq L_p$ dan $L \leq L_r$ termasuk ke dalam bentang pendek, maka perhitungan untuk momennya adalah

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= 209370903 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

b. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

Perhitungan panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 45,4 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ &= 2265 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_L &= f_y - f_r \\ &= 249 - 240 \\ &= 9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral

$$L_r = r_y \times \frac{X_1}{f_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \times f_L^2}}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 39,5 \times \frac{12684,4}{9} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,0002816 \times 9^2}} \\
 &= 90746 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{125 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 100114246,7}{2,5 \times 100114246,7 + 3 \times 42604772,83 + 4 \times 74312352,38 + 3 \times 92953053,83} \\
 &= 1,31
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen plastis

$$\begin{aligned}
 M_p &= f_y \times Z_x \\
 &= 249 \times 1285952 \\
 &= 320202048 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen tekuk

$$\begin{aligned}
 M_r &= S_x \times (F_y - F_r) \\
 &= 1190000 \times (249 - 240) \\
 &= 10710000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukung lateral)

$$\begin{aligned}
 L &= L_y \\
 &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $L \leq L_p$ dan $L \leq L_r$ termasuk ke dalam bentang pendek, maka perhitungan untuk momennya adalah

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p \\
 &= 320202048 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan momen yang sudah dilakukan mulai dari perhitungan momen nominal penampang, momen nominal balok plat berdinding penuh, momen nominal berdasarkan torsi lateral, momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap, dan momen nominal pengaruh lateral *buckling* diambil nilai momen yang paling kecil guna nantinya dilakukan evaluasi ketahanan struktur pada momen lentur, geser, dan interaksi geser dan lentur. Untuk perhitungan momen kapasitas pada setiap bentang baik dari bentang 11 sampai bentang 22 memiliki nilai yang sama dan yang membedakan hanya perhitungan pada nilai CB yang dipengaruhi

oleh momen, namun pada perhitungan penelitian ini tidak digunakan nilai tersebut. Didapatkan untuk momen kapasitas pada profil IWF 350.175.7.11 adalah 209370903 Nmm dan profil IWF 400.200.8.13 adalah 320202048 Nmm. Berikut merupakan rekapitulasi dari hasil perhitungan untuk setiap profil yang dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Momen

Keterangan	Momen pada IWF 350.175.7.11 (Nmm)	Momen pada IWF 400.200.8.13 (Nmm)
Momen Nominal Penampang	209370903	320202048
Momen Nominal Berdasarkan Torsi Lateral	210124611	321964411
Momen Nominal Berdasarkan <i>Local Buckling</i> Pada Sayap	209370903	320202048
Momen Nominal Pengaruh Lateral <i>Buckling</i>	210124611	321964411
Momen Yang Digunakan	209370903	320202048

Tabel 5.7 menunjukkan bahwa momen kapasitas yang digunakan pada profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 mempunyai rasio 1:1,53.

5.5 Cek Kapasitas Balok *Rafter*

Setelah mendapatkan nilai momen kapasitas untuk setiap profil, lakukan cek kapasitas pada tahanan momen lentur, tahanan geser, dan interaksi geser dan lentur.

5.5.1 Tahanan Momen Lentur

Cek kapasitas *rafter* dilakukan untuk setiap bentang untuk mengetahui apakah struktur yang dibuat sudah memenuhi syarat atau belum.

1. Model 1 (*existing*)

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

$$M_n = 209370903 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 166071830,2 \text{ Nmm}$$

$$\phi_b = 0,9$$

Syarat 1 Momen Kapasitas

$$M_u \leq \phi \times M_n$$

$$166071830,2 \text{ Nmm} \leq 0,9 \times 209370903$$

$$166071830,2 \text{ Nmm} \leq 188433813 \text{ Nmm}$$

Syarat 2 Tahanan Momen Lentur

$$\frac{Mu}{\phi \times Mn} \leq 1$$

$$\frac{166071830,2}{188433813} \leq 1$$

$$0,8813 \leq 1$$

b. Skema Rangka 8 Profil IWF 400.200.8.13

$$Mn = 320202048 \text{ Nmm}$$

$$Mu = 167374019,3 \text{ Nmm}$$

$$\phi b = 0,9$$

Syarat 1 Momen Kapasitas

$$Mu \leq \phi \times Mn$$

$$167374019,3 \text{ Nmm} \leq 0,9 \times 320202048$$

$$167374019,3 \text{ Nmm} \leq 288181843,2 \text{ Nmm}$$

Syarat 2 Tahanan Momen Lentur

$$\frac{Mu}{\phi \times Mn} \leq 1$$

$$\frac{167374019,3}{288181843,2} \leq 1$$

$$0,5808 \leq 1$$

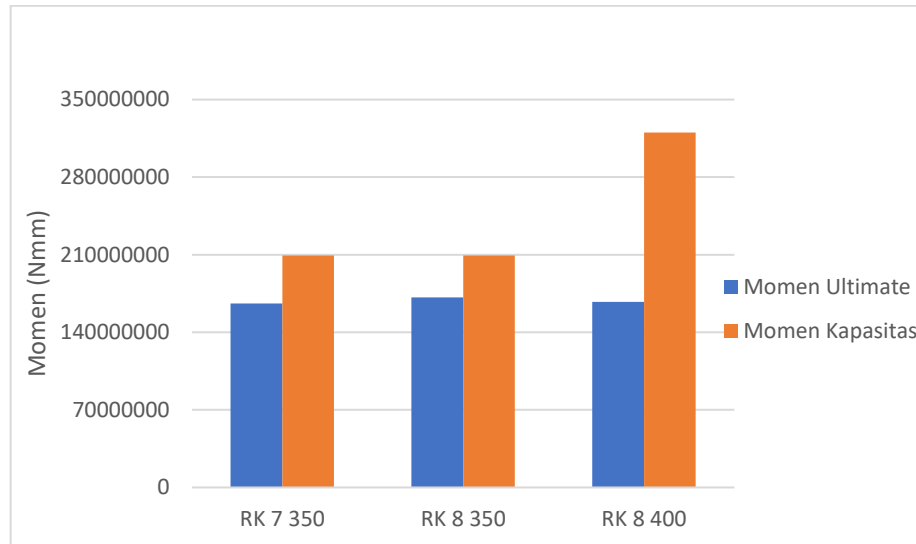
Berikut merupakan hasil rekapitulasi untuk semua skema rangka yang dapat dilihat pada tabel 5.8

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Model 1 (*Existing*)

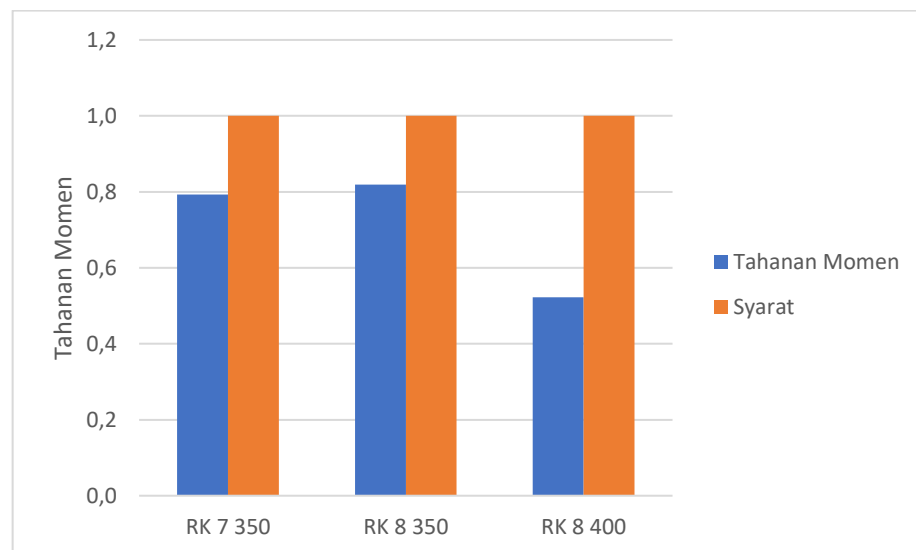
Keterangan	Skema Rangka 7 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 400.200.8.13
Mu (Nmm)	166071830,2	171472372,4	167374019,3
Mn (Nmm)	209370903,0	209370903,0	320202048,0
$\phi \times Mn$ (Nmm)	188433812,7	188433812,7	288181843,2
Tahanan Momen	0,793	0,819	0,523
Keterangan	Aman	Aman	Aman

Tabel 5.8 dapat disimpulkan bahwa tahanan momen lentur pada semua skema rangka sudah aman dengan tahanan momen lenturnya yaitu 0,793, 0,819, dan 0,523 secara berurut juga nilai tersebut kurang dari 1. Dari hasil tersebut,

didapatkan grafik untuk tahanan momen lentur yang dapat dilihat pada gambar 5.16 dan 5.17.



Gambar 5. 16 Diagram Momen Kapasitas Model 1 (Existing)



Gambar 5. 17 Diagram Tahanan Momen Lentur Model 1 (Existing)

2. Model 2

a. Bentang 15 Profil IWF 350.175.7.11

$$M_n = 209370903 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 92840625 \text{ Nmm}$$

$$\phi_b = 0,9$$

Syarat 1 Momen Kapasitas

$$M_u \leq \phi \times M_n$$

$$92840625 \text{ Nmm} \leq 0,9 \times 209370903$$

$$92840625 \text{ Nmm} \leq 188433813 \text{ Nmm}$$

Syarat 2 Tahanan Momen Lentur

$$\frac{M_u}{\phi \times M_n} \leq 1$$

$$\frac{92840625}{188433813} \leq 1$$

$$0,4927 \leq 1$$

b. Bentang 15 Profil IWF 400.200.8.13

$$M_n = 320202048 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 100114246,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi_b = 0,9$$

Syarat 1 Momen Kapasitas

$$M_u \leq \phi \times M_n$$

$$100114246,7 \text{ Nmm} \leq 0,9 \times 320202048$$

$$100114246,7 \text{ Nmm} \leq 288181843,2 \text{ Nmm}$$

Syarat 2 Tahanan Momen Lentur

$$\frac{M_u}{\phi \times M_n} \leq 1$$

$$\frac{100114246,7}{288181843,2} \leq 1$$

$$0,3474 \leq 1$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan tahanan momen lentur pada setiap bentang sampai 22 meter yang dapat dilihat pada tabel 5.9 dan 5.10.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Profil IWF 350.175.7.11

Bentang (m)	Mu (Nmm)	Mn (Nmm)	$\phi \times M_n$ (Nmm)	Tahanan Momen	Keterangan
11	58561579,8	209370903,0	188433812,7	0,3108	Aman
12	59490625,0	209370903,0	188433812,7	0,3157	Aman
13	69248301,8	209370903,0	188433812,7	0,3675	Aman
14	80800390,6	209370903,0	188433812,7	0,4288	Aman
15	92840625,0	209370903,0	188433812,7	0,4927	Aman
16	105552929,7	209370903,0	188433812,7	0,5602	Aman

**Lanjutan Tabel 5.9 Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Profil IWF
350.175.7.11**

Bentang (m)	Mu (Nmm)	Mn (Nmm)	$\phi \times Mn$ (Nmm)	Tahanan Momen	Keterangan
17	121219658,1	209370903,0	188433812,7	0,6433	Aman
18	133739106,3	209370903,0	188433812,7	0,7097	Aman
19	148954785,2	209370903,0	188433812,7	0,7905	Aman
20	165421093,8	209370903,0	188433812,7	0,8779	Aman
21	182972855,3	209370903,0	188433812,7	0,9710	Aman
22	199624609,4	209370903,0	188433812,7	1,0594	Tidak Aman

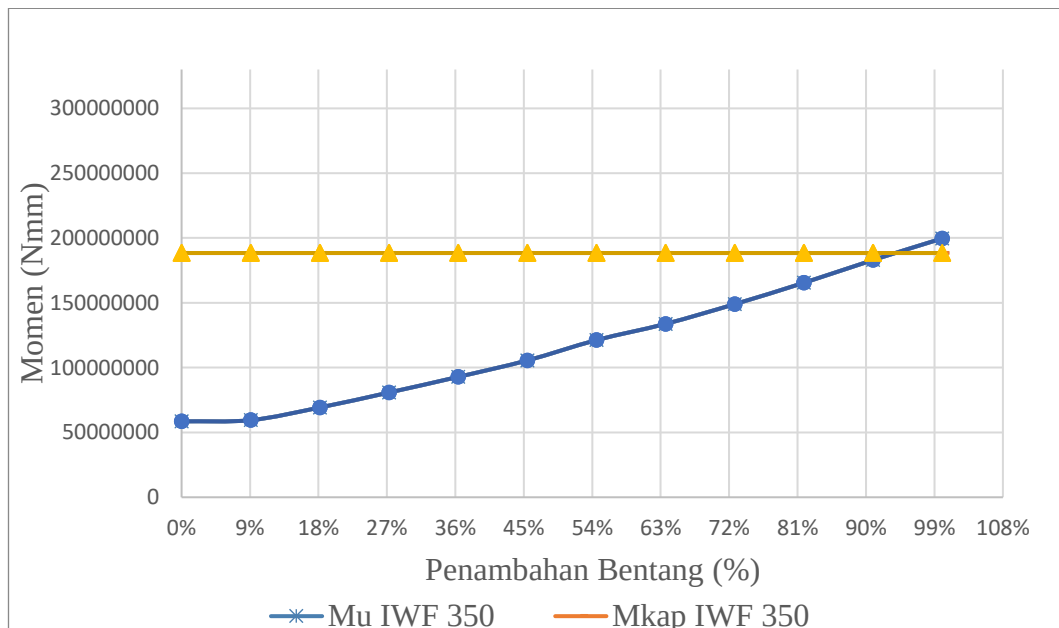
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Tahanan Momen Lentur Profil IWF 400.200.8.13

Bentang (m)	Mu (Nmm)	Mn (Nmm)	$\phi \times Mn$ (Nmm)	Tahanan Momen	Keterangan
11	49731934,4	320202048,0	288181843,2	0,1726	Aman
12	63250000,0	320202048,0	288181843,2	0,2195	Aman
13	74145312,5	320202048,0	288181843,2	0,2573	Aman
14	84294638,5	320202048,0	288181843,2	0,2925	Aman
15	100114246,7	320202048,0	288181843,2	0,3474	Aman
16	112535742,2	320202048,0	288181843,2	0,3905	Aman
17	127592131,9	320202048,0	288181843,2	0,4427	Aman
18	141535680,2	320202048,0	288181843,2	0,4911	Aman
19	160741576,5	320202048,0	288181843,2	0,5578	Aman
20	174823046,9	320202048,0	288181843,2	0,6066	Aman
21	191374048,9	320202048,0	288181843,2	0,6641	Aman
22	212326562,5	320202048,0	288181843,2	0,7368	Aman

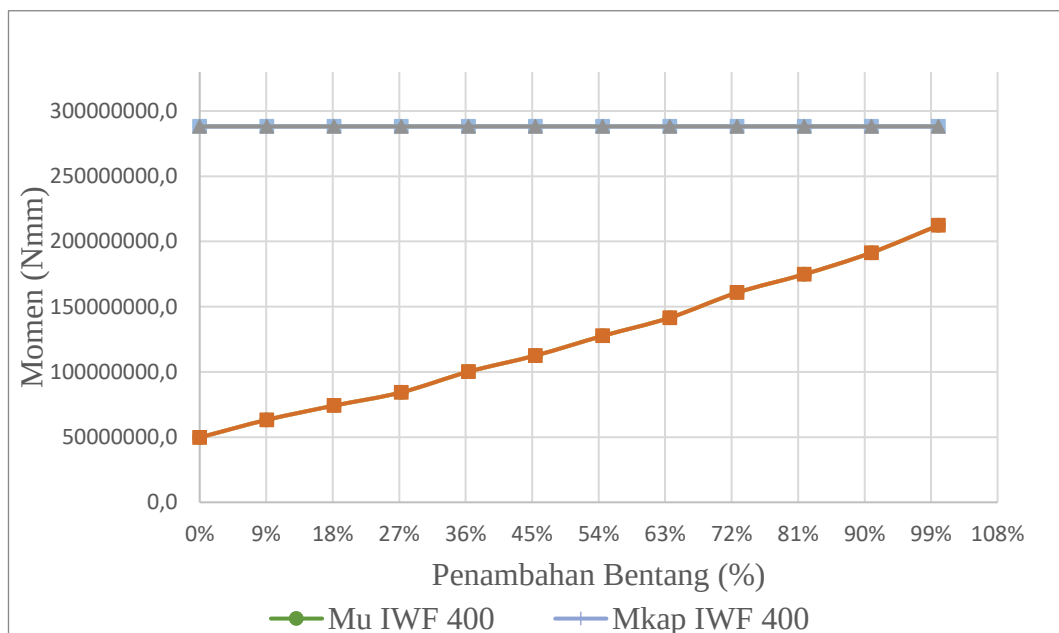
Dari Rekapitulasi yang sudah dilakukan, grafik untuk tahanan momen lentur dapat dilihat pada gambar 5.18 sampai 5.23 dengan ketentuan penambahan bentang dalam persen yang dilihat pada tabel 5.11.

**Tabel 5. 11 Penambahan Bentang Dalam Persen (%) Untuk Tahanan
Momen Lentur**

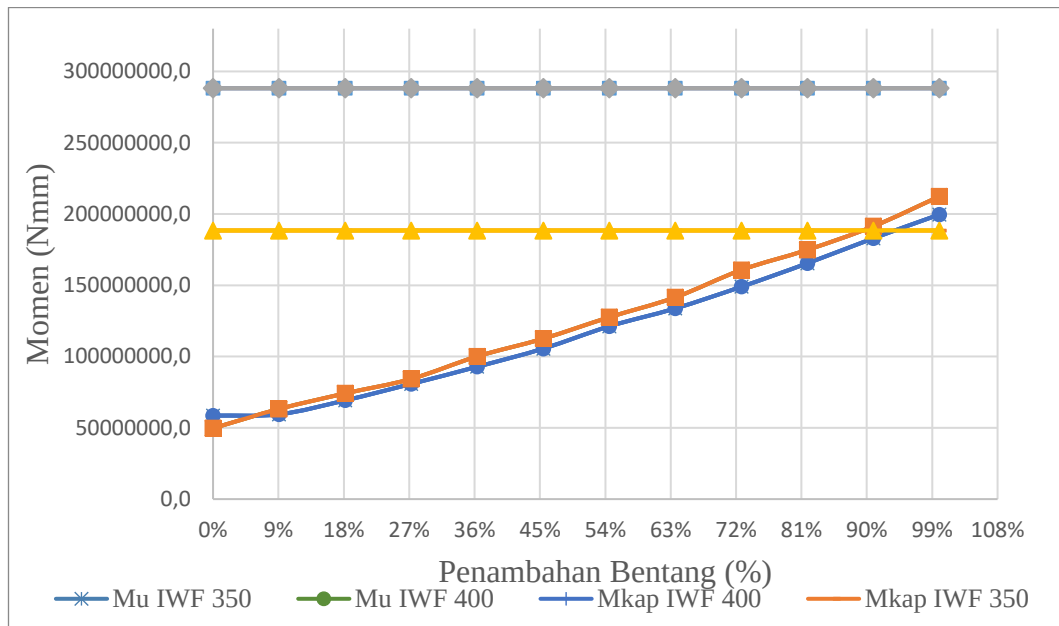
Bentang (m)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Penambahan (%)	0	9	18	27	36	45	55	64	73	82	91	100



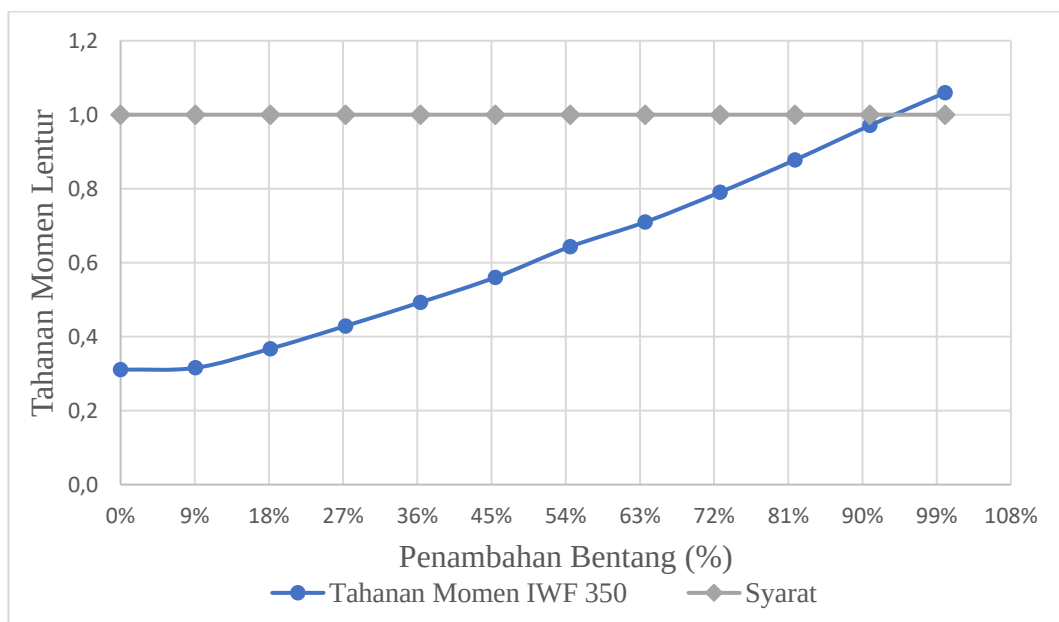
Gambar 5. 18 Grafik Momen Kapasitas Profil IWF 350.175.7.11



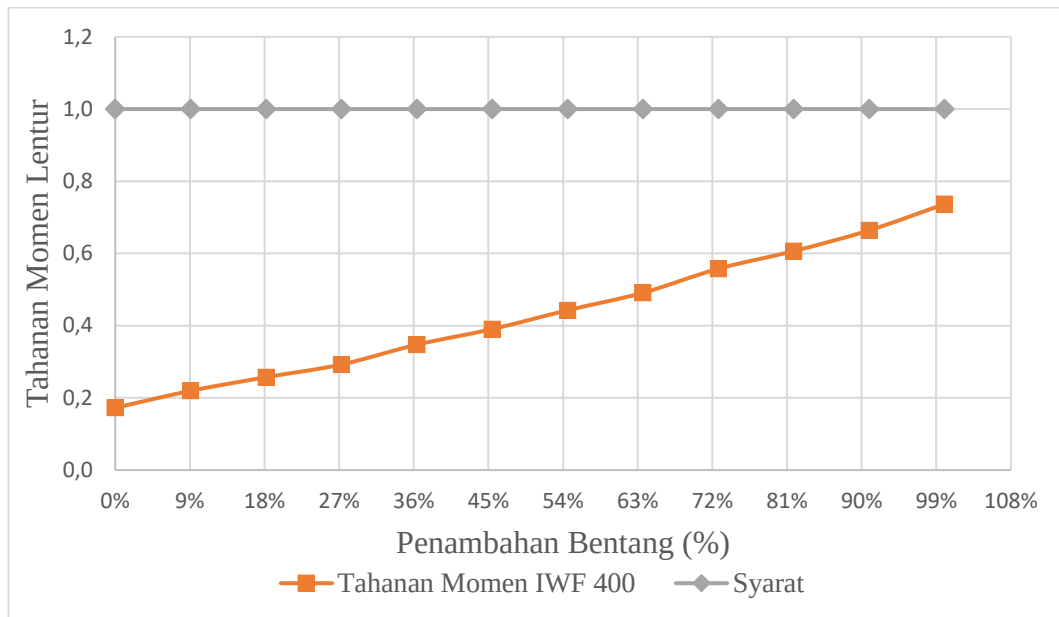
Gambar 5. 19 Grafik Momen Kapasitas Profil IWF 400.200.8.13



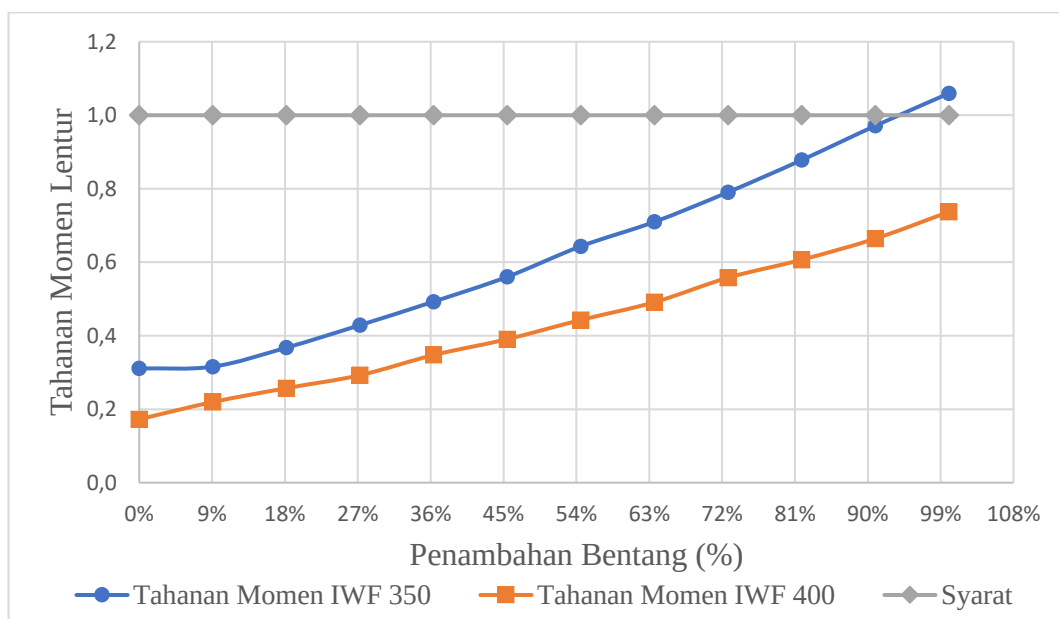
Gambar 5. 20 Grafik Rekapitulasi Momen Kapasitas



Gambar 5. 21 Grafik Tahanan Momen Lentur Profil IWF 350.175.7.11



Gambar 5. 22 Grafik Tahanan Momen Lentur Profil IWF 400.200.8.13



Gambar 5. 23 Rekapitulasi Grafik Tahanan Momen Lentur

Berdasarkan gambar 5.18 sampai 5.20 momen yang terjadi pada profil IWF 350.175.7.11 terdapat momen *ultimate* yang melebihi momen kapasitas dan hanya bisa digunakan penambahan bentang sampai 91% atau bentang 21 meter. Pada profil IWF 400.200.8.13 semua nilai momen *ultimate* masih di bawah momen kapasitasnya dan *trendline* yang terlihat yaitu semakin panjang bentang, maka semakin besar momen yang terjadi.

Berdasarkan gambar 5.21 sampai 5.23 tahanan momen yang terjadi pada profil IWF 350.175.7.11 terdapat nilai tahanan momen lebih dari 1 pada bentang terakhir dengan penambahan 100%. Dan pada profil IWF 400.200.8.13 masih aman dibawah 1 dengan nilai momen yang semakin tinggi, maka tahanan momen akan mendekati nilai 1.

5.5.2 Tahanan Geser

1. Model 1 (*existing*)

a. Skema Rangka 7 IWF 350.175.7.11

$$\begin{aligned}\frac{h_2}{t_w} &\leq 6,36 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{300}{7} &\leq 6,36 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ 42,857 &\leq 180,25\end{aligned}$$

Ketebalan plat badan sudah memenuhi syarat

$$\begin{aligned}V_n &= 0,6 \times f_y \times t_w \times h_t \\ &= 0,6 \times 249 \times 7 \times 350 \\ &= 366030 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &\leq \phi \times V_n \\ 13146,09 \text{ N} &\leq 0,75 \times 366030 \\ 13146,09 \text{ N} &\leq 274523 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\frac{V_u}{\phi \times V_n} \leq 1$$

$$\frac{13146,09}{274523} \leq 1$$

$$0,048 \leq 1$$

b. Skema Rangka 8 IWF 400.200.8.13

$$\begin{aligned}\frac{h_2}{t_w} &\leq 6,36 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{342}{8} &\leq 6,36 \times \sqrt{\frac{200000}{249}} \\ 42,75 &\leq 180,25\end{aligned}$$

Ketebalan plat badan sudah memenuhi syarat

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times t_w \times h_t \\ &= 0,6 \times 249 \times 8 \times 400 \\ &= 478080 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \times V_n \\ 15428,96 \text{ N} &\leq 0,75 \times 478080 \end{aligned}$$

$$15428,96 \text{ N} \leq 358560 \text{ N}$$

$$\frac{V_u}{\phi \times V_n} \leq 1$$

$$\frac{15428,96}{358560} \leq 1$$

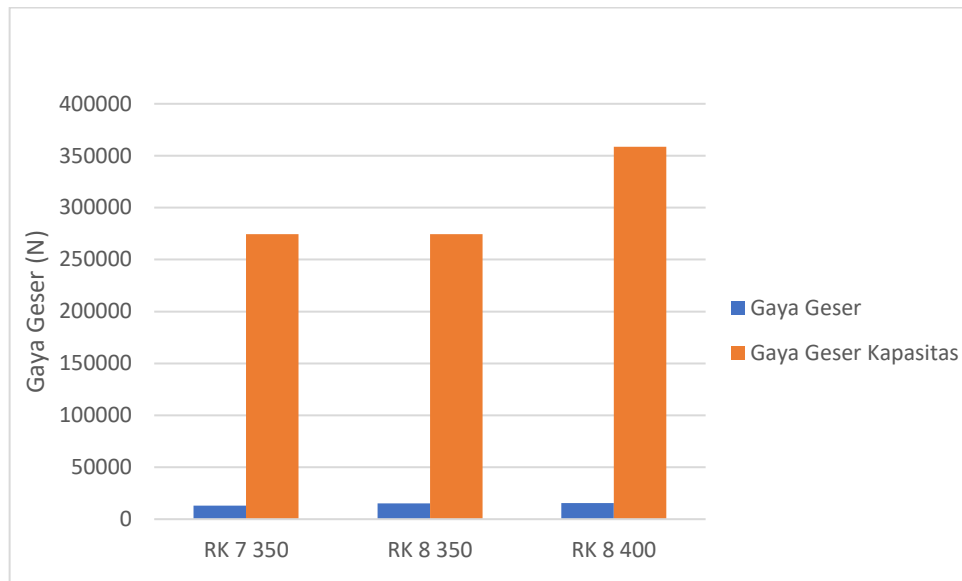
$$0,043 \leq 1$$

Rekapitulasi perhitungan tahanan geser untuk setiap skema rangka bisa dilihat pada tabel 5.12.

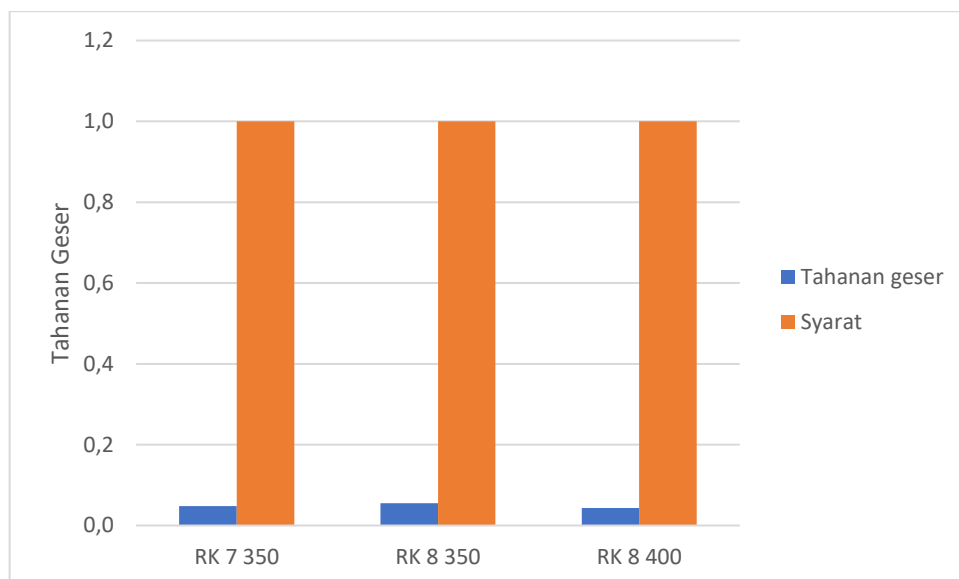
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Tahanan Geser Model 1 (*Existing*)

Keterangan	Skema Rangka 7 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 400.200.8.13
V_u (N)	13146,09	15232,42	15428,96
V_n (N)	366030,0	366030,0	478080,0
$\phi \times V_n$ (N)	274522,5	274522,5	358560,0
Tahanan Geser	0,048	0,055	0,043
Keterangan	Aman	Aman	Aman

Tabel 5.11 dapat disimpulkan bahwa tahanan momen lentur pada semua skema rangka sudah aman dengan tahanan momen lenturnya yaitu 0,048, 0,055, dan 0,043 secara berurut juga nilai tersebut kurang dari 1. Dari hasil tersebut, didapatkan grafik untuk tahanan momen lentur yang dapat dilihat pada gambar 5.24 dan 5.25



Gambar 5. 24 Diagram Gaya Geser Kapasitas Model 1 (Existing)



Gambar 5. 25 Diagram Tahanan Geser Model 1 (Existing)

2. Model 2

a. Bentang 15 meter IWF 350.175.7.11

$$\frac{h_2}{t_w} \leq 6,36 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{300}{7} \leq 6,36 \times \sqrt{\frac{200000}{249}}$$

$$42,857 \leq 180,25$$

Ketebalan plat badan sudah memenuhi syarat

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times t_w \times h_t \\ &= 0,6 \times 249 \times 7 \times 350 \\ &= 366030 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \times V_n \\ 24572,31 \text{ N} &\leq 0,75 \times 366030 \end{aligned}$$

$$24572,31 \text{ N} \leq 274523 \text{ N}$$

$$\frac{V_u}{\phi \times V_n} \leq 1$$

$$\frac{24572,31}{274523} \leq 1$$

$$0,095 \leq 1$$

b. Bentang 15 meter IWF 400.200.8.13

$$\frac{h_2}{t_w} \leq 6,36 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{342}{8} \leq 6,36 \times \sqrt{\frac{200000}{249}}$$

$$42,75 \leq 180,25$$

Ketebalan plat badan sudah memenuhi syarat

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times t_w \times h_t \\ &= 0,6 \times 249 \times 8 \times 400 \\ &= 478080 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \times V_n \\ 26294,04 \text{ N} &\leq 0,75 \times 478080 \end{aligned}$$

$$26294,04 \text{ N} \leq 358560 \text{ N}$$

$$\frac{V_u}{\phi \times V_n} \leq 1$$

$$\frac{26294,04}{358560} \leq 1$$

$$0,078 \leq 1$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan tahanan geser pada setiap bentang sampai 22 meter yang dapat dilihat pada tabel 5.12 dan 5.13

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Tahanan Geser Profil IWF 350.175.7.11

Bentang (m)	Vu (N)	Vn (N)	$\phi \times Vn$ (N)	Tahanan Geser	Keterangan
11	13425,78	366030,0	274522,5	0,0489	Aman
12	16082,81	366030,0	274522,5	0,0586	Aman
13	17976,87	366030,0	274522,5	0,0655	Aman
14	18818,15	366030,0	274522,5	0,0685	Aman
15	20687,50	366030,0	274522,5	0,0754	Aman
16	20865,05	366030,0	274522,5	0,0760	Aman
17	22707,42	366030,0	274522,5	0,0827	Aman
18	24613,02	366030,0	274522,5	0,0897	Aman
19	25720,90	366030,0	274522,5	0,0937	Aman
20	25900,65	366030,0	274522,5	0,0943	Aman
21	28041,31	366030,0	274522,5	0,1021	Aman
22	29564,00	366030,0	274522,5	0,1077	Aman

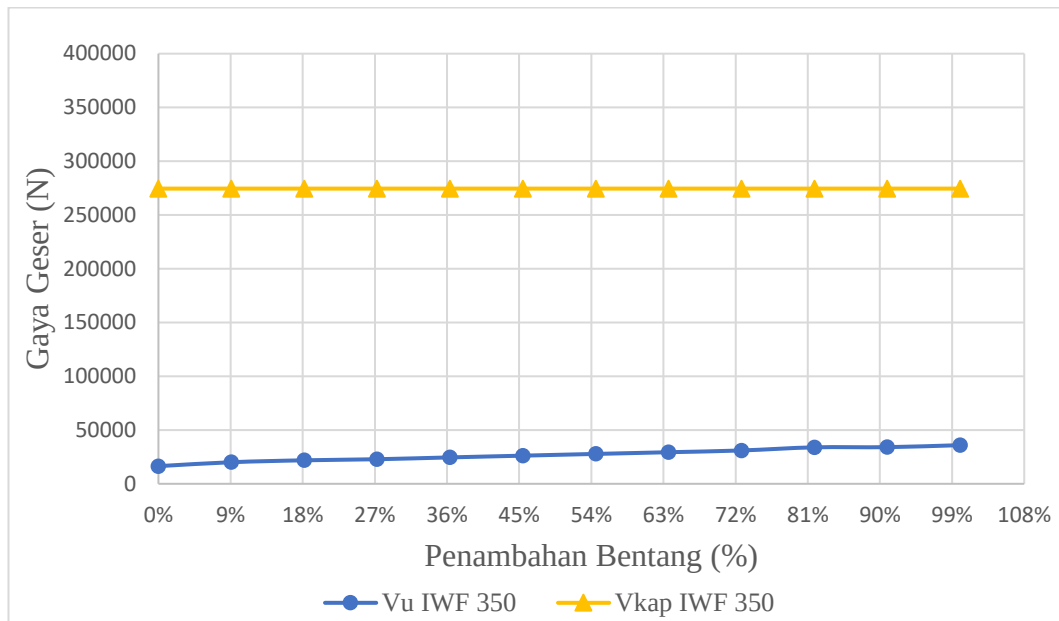
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Tahanan Geser Profil IWF 400.200.8.13

Bentang (m)	Vu (N)	Vn (N)	$\phi \times Vn$ (N)	Tahanan Geser	Keterangan
11	14278,22	478080,0	358560,0	0,0398	Aman
12	15986,79	478080,0	358560,0	0,0446	Aman
13	18784,81	478080,0	358560,0	0,0524	Aman
14	20169,92	478080,0	358560,0	0,0563	Aman
15	21900,00	478080,0	358560,0	0,0611	Aman
16	22977,73	478080,0	358560,0	0,0641	Aman
17	24555,47	478080,0	358560,0	0,0685	Aman
18	25631,25	478080,0	358560,0	0,0715	Aman
19	27533,59	478080,0	358560,0	0,0768	Aman
20	28781,74	478080,0	358560,0	0,0803	Aman
21	30312,30	478080,0	358560,0	0,0845	Aman
22	31736,13	478080,0	358560,0	0,0885	Aman

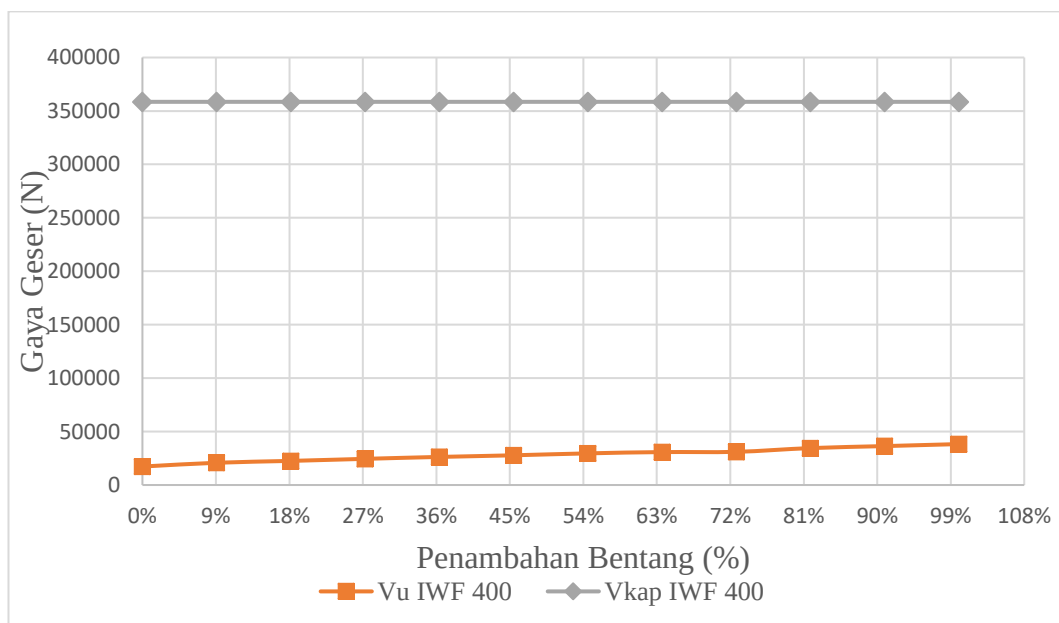
Dari Rekapitulasi yang sudah dilakukan, didapatkan grafik untuk tahanan geser yang dapat dilihat pada gambar 5.26 sampai 5.31 dengan ketentuan penambahan bentang dalam persen yang dilihat pada tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Penambahan Bentang Dalam Persen (%) Untuk Tahanan Geser

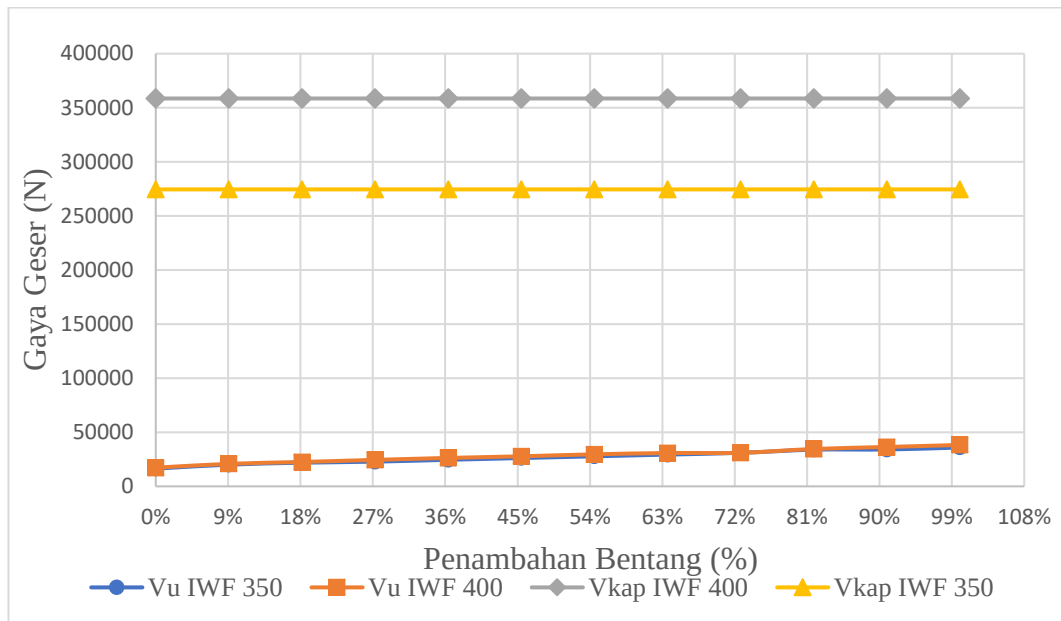
Bentang (m)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Penambahan (%)	0	9	18	27	36	45	55	64	73	82	91	100



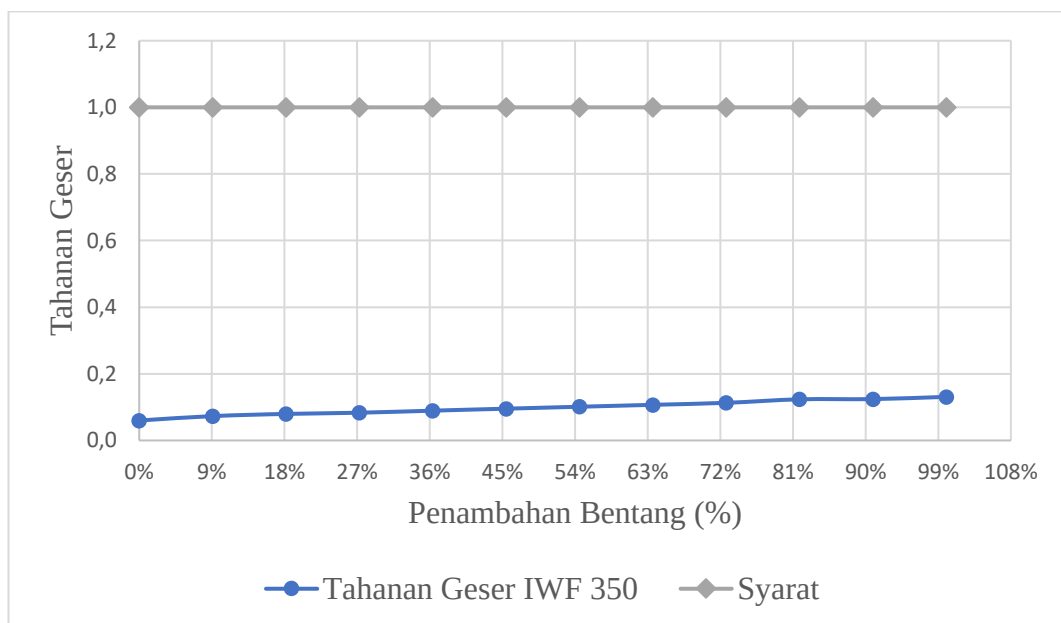
Gambar 5. 26 Grafik Gaya Geser Kapasitas Profil IWF 350.175.7.11



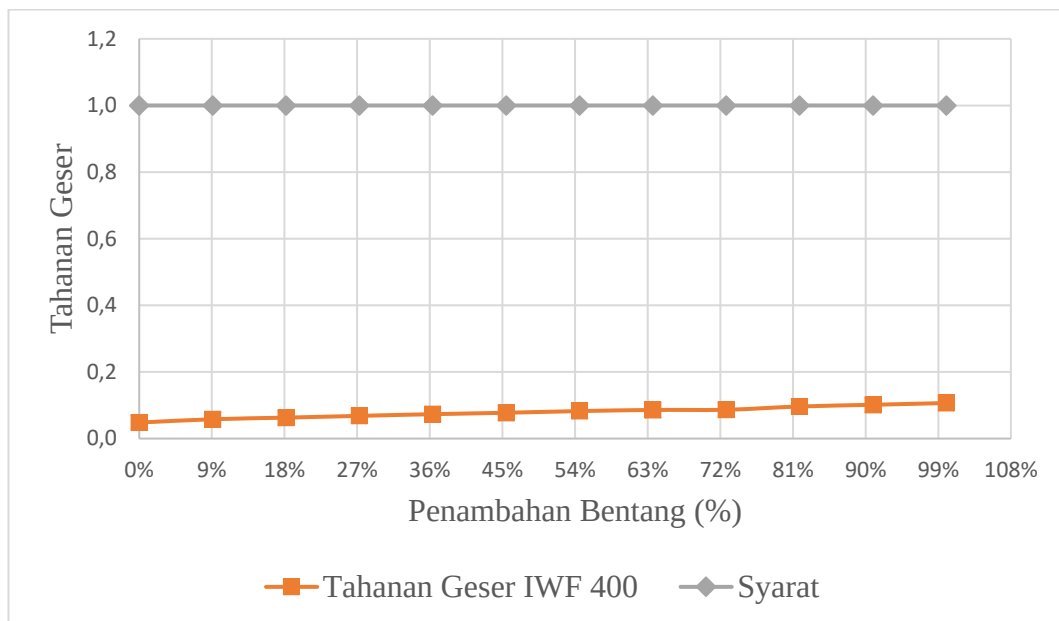
Gambar 5. 27 Grafik Gaya Geser Kapasitas Profil IWF 400.200.8.13



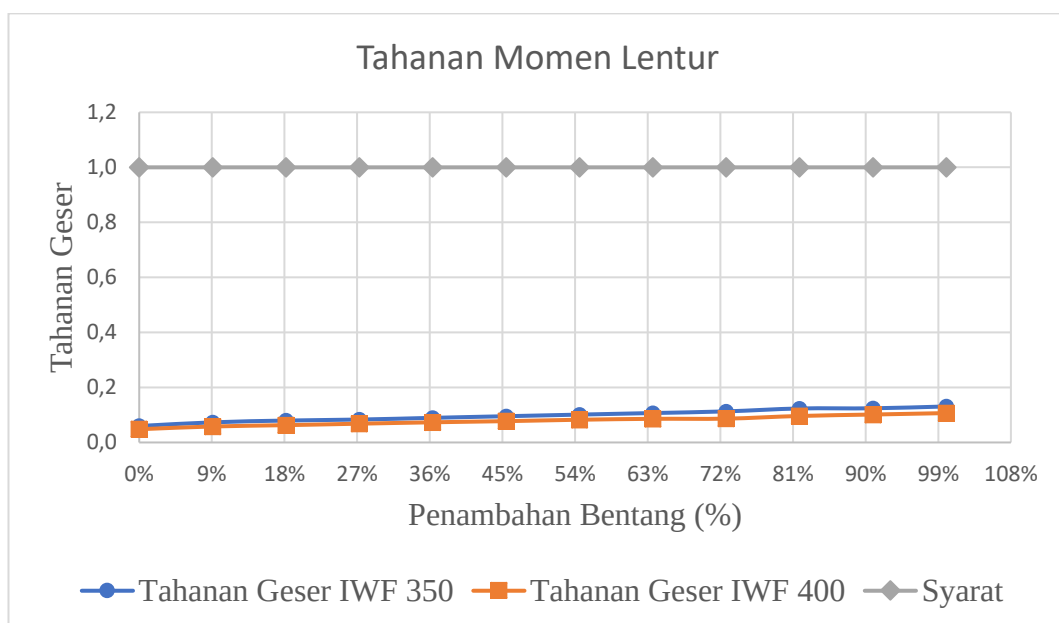
Gambar 5. 28 Grafik Rekapitulasi Gaya Geser Kapasitas



Gambar 5. 29 Grafik Tahanan Geser Profil IWF 350.175.7.11



Gambar 5. 30 Grafik Tahanan Geser Profil IWF 400.200.8.13



Gambar 5. 31 Rekapitulasi Grafik Tahanan Geser

Berdasarkan gambar 5.26 sampai 5.28 gaya geser yang terjadi pada profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 masih dibawah gaya geser kapasitasnya dan *trendline* yaitu semakin panjang bentang, maka semakin besar geser yang terjadi. Pada profil IWF 350.175.7.11 dan profil IWF 400.200.8.13 nilai gaya geser yang terjadi masih jauh dari gaya geser

kapasitas pada profil tersebut. Dapat disimpulkan tahanan momen lentur yang terjadi dari bentang 11 meter sampai 22 meter sudah aman.

Berdasarkan gambar 5.29 sampai 5.3131 tahanan geser yang terjadi pada setiap profil masih aman dibawah 1 dengan nilai gaya geser yang semakin tinggi, maka tahanan geser akan meningkat, namun masih jauh dari syaratnya yaitu 1.

5.5.3 Interaksi Geser dan Lentur

1. Model 1 (*Existing*)

a. Skema Rangka 7 Profil IWF 350.175.7.11

$$\frac{M_u}{\phi b \times M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi f \times V_n} \leq 1,375$$

$$0,8813 + 0,625 \times 0,048 \leq 1,375$$

$$0,9113 \leq 1,375$$

b. Skema Rangka 8 Profil IWF 400.200.8.13

$$\frac{M_u}{\phi b \times M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi f \times V_n} \leq 1,375$$

$$0,5808 + 0,625 \times 0,043 \leq 1,375$$

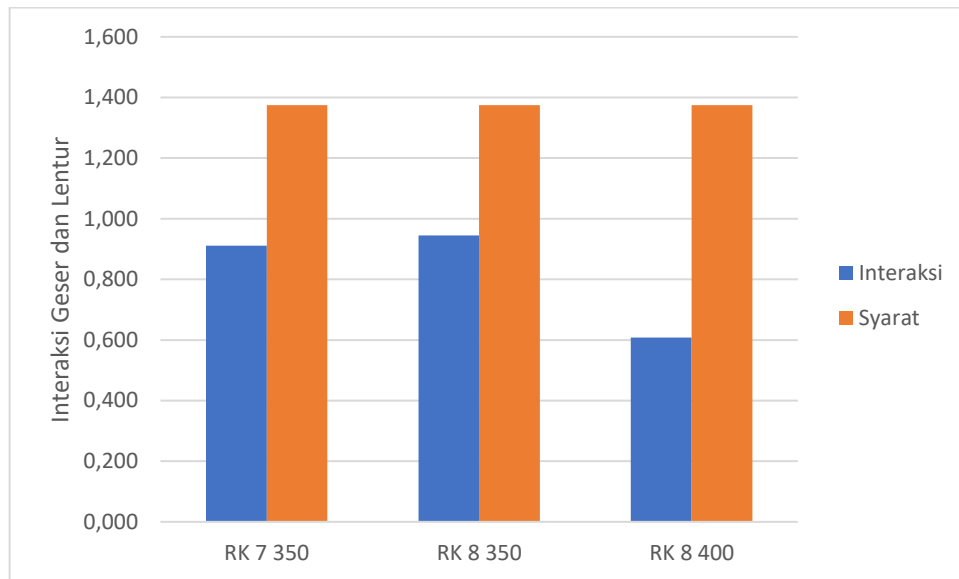
$$0,6077 \leq 1,375$$

Rekapitulasi perhitungan tahanan geser untuk setiap skema rangka bisa dilihat pada tabel 5.16 pada halaman selanjutnya

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Model 1 (*Existing*)

Keterangan	Skema Rangka 7 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 400.200.8.13
Interaksi	0,9113	0,9454	0,6077
Syarat	1,375	1,375	1,375
Keterangan	Aman	Aman	Aman

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa interaksi geser dan lentur sudah aman dan bangunan yang diteliti memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban struktur. Dari hasil tersebut, didapatkan grafik untuk tahanan momen lentur yang dapat dilihat pada gambar 5.32.



Gambar 5. 32 Diagram Interaksi Geser dan Lentur (*Existing*)

2. Model 2

a. Bentang 15 meter Profil IWF 350.175.7.11

$$\frac{M_u}{\phi b \times M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi f \times V_n} \leq 1,375$$

$$0,4123 + 0,625 \times 0,0754 \leq 1,375$$

$$0,4594 \leq 1,375$$

b. Bentang 15 meter Profil IWF 400.200.8.13

$$\frac{M_u}{\phi b \times M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi f \times V_n} \leq 1,375$$

$$0,2893 + 0,625 \times 0,0612 \leq 1,375$$

$$0,3274 \leq 1,375$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan tahanan geser pada setiap bentang sampai 22 meter yang dapat dilihat pada tabel 5.17 sampai 5.18.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 350.175.7.11

Bentang (m)	Interaksi	Syarat	Keterangan
11	0,348	1,375	Aman
12	0,361	1,375	Aman
13	0,417	1,375	Aman
14	0,481	1,375	Aman
15	0,549	1,375	Aman
16	0,620	1,375	Aman
17	0,707	1,375	Aman

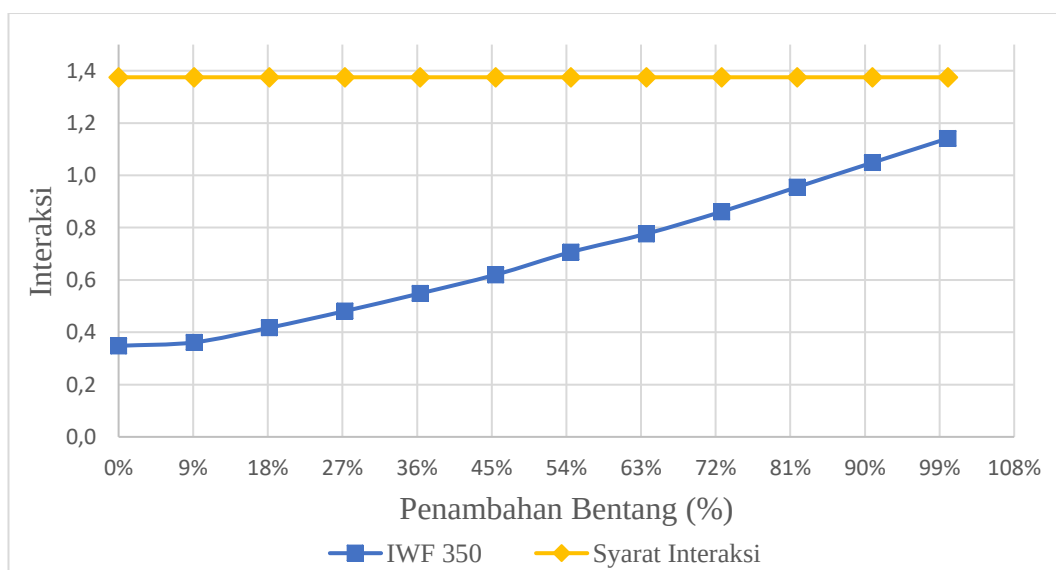
Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 350.175.7.11

c	Interaksi	Syarat	Keterangan
11	0,348	1,375	Aman
12	0,361	1,375	Aman
13	0,417	1,375	Aman
14	0,481	1,375	Aman
15	0,549	1,375	Aman
16	0,620	1,375	Aman
17	0,707	1,375	Aman

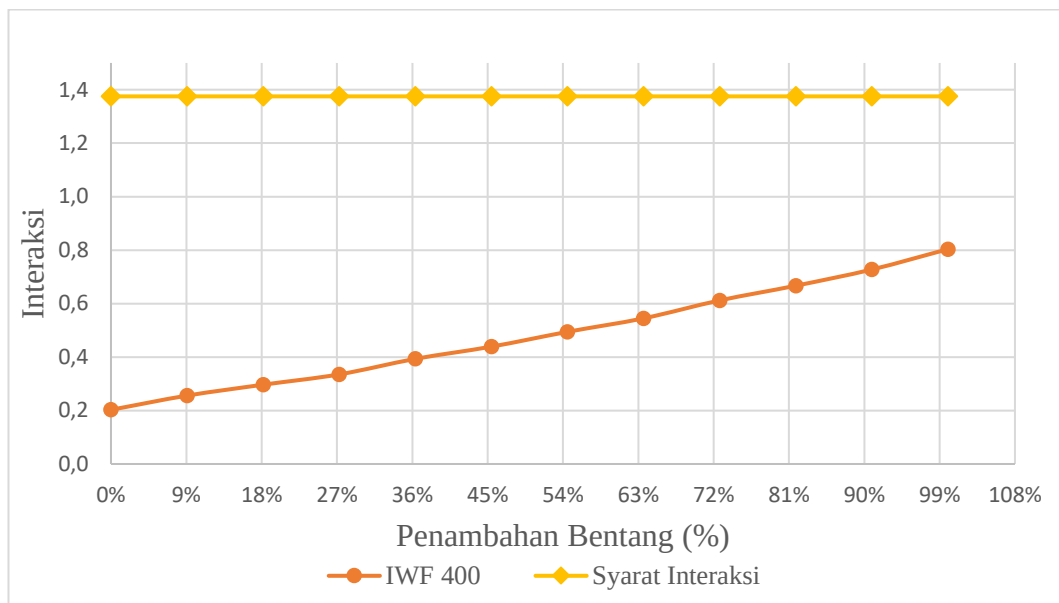
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 400.200.8.13

Bentang (m)	Interaksi	Syarat	Keterangan
11	0,203	1,375	Aman
12	0,256	1,375	Aman
13	0,297	1,375	Aman
14	0,335	1,375	Aman
15	0,393	1,375	Aman
16	0,439	1,375	Aman
17	0,494	1,375	Aman
18	0,545	1,375	Aman
19	0,612	1,375	Aman
20	0,667	1,375	Aman
21	0,728	1,375	Aman
22	0,804	1,375	Aman

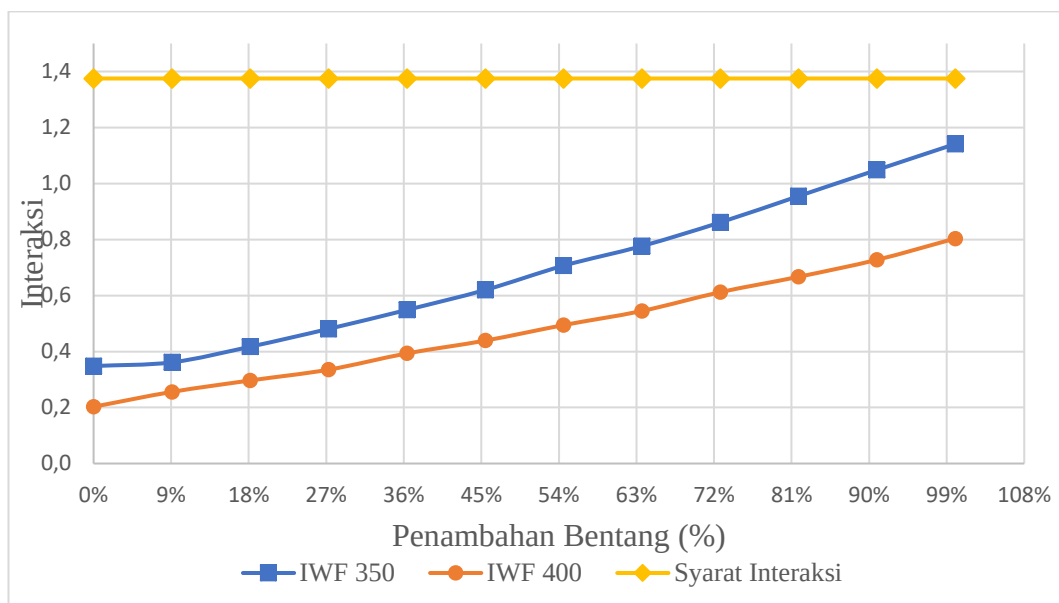
Dari Rekapitulasi yang sudah dilakukan, maka didapatkan grafik untuk tahanan geser yang dapat dilihat pada gambar 5.33 sampai 5.35.



Gambar 5. 33 Grafik Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 350.175.7.11



Gambar 5. 34 Grafik Interaksi Geser dan Lentur Profil IWF 400.200.8.13



Gambar 5. 35 Grafik Rekapitulasi Interaksi Geser dan Lentur

Berdasarkan hasil pada gambar 5.33 sampai 5.35 dapat disimpulkan bahwa interaksi geser dan lentur sudah aman dan desain yang dibuat sampai bentang panjang 22 meter yang diteliti memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban struktur

5.6 Cek Lendutan

5.6.1 Lendutan Model 1 (*Existing*)

Pada model 1 (*existing*) semua skema rangka memiliki panjang bentang yang sama dengan bentang 11 meter. Karena memiliki panjang bentang yang sama, maka nilai untuk panjang total *rafternya* adalah 5537,11 mm dan lendutan yang diizinkan dengan panjang berikut adalah sebagai berikut

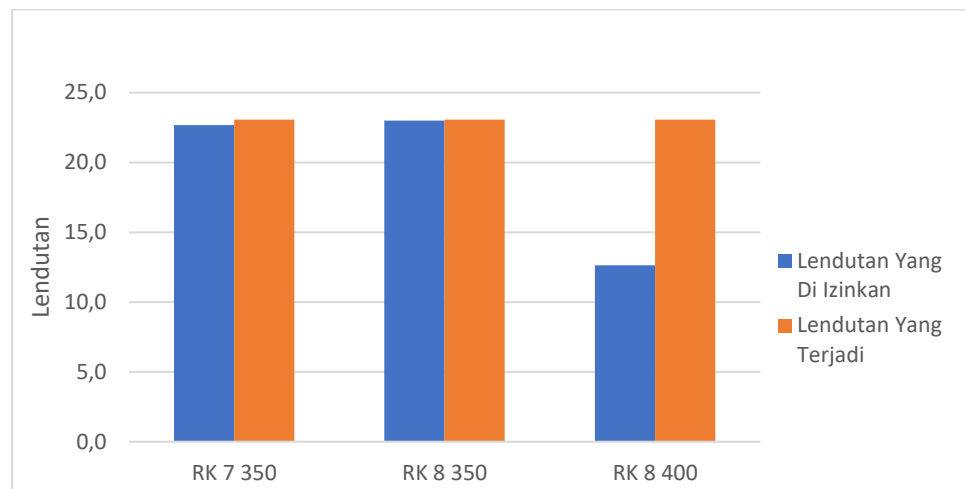
$$\begin{aligned}\frac{L}{240} &= \frac{5537,11}{240} \\ &= 23,07 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari evaluasi yang dilakukan ini, nilai lendutan yang terjadi tidak boleh lebih besar daripada lendutan yang diizinkan. Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan pada *software* SAP2000 didapatkan untuk nilai lendutan yang dapat dilihat pada tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Lendutan Model 1 (*Existing*)

Keterangan	Skema Rangka 7 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 350.175.7.11	Skema Rangka 8 IWF 400.200.8.13
Lendutan yang terjadi (mm)	22,7	22,99	12,64
Lendutan yang diizinkan (mm)	23,07	23,07	23,07
Keterangan	Aman	Aman	Aman

Tabel 5.19 menunjukkan bahwa lendutan yang terjadi pada model 1 (*existing*) aman dan lendutan yang terjadi masih lebih kecil dibanding dengan lendutan yang diizinkan. Dari hasil tersebut, didapatkan grafik untuk tahanan momen lentur yang dapat dilihat pada gambar 5.36.



Gambar 5. 36 Diagram Lendutan Model 1 (Existing)

5.6.2 Lendutan Model 2

Panjang bentang pada model 2 sangat bervariasi mulai dari 11 meter sampai 22 meter yang artinya panjang dari *rafter*-nya pun akan bervariasi mulai dari 5537,11 mm sampai 11082,61 mm. Dari evaluasi yang dilakukan, nilai lendutan yang terjadi tidak boleh lebih besar daripada lendutan yang diizinkan. Berikut merupakan rekapitulasi hasil dari perhitungan lendutan yang diizinkan dan nilai lendutan yang terjadi yang dapat dilihat pada tabel 5.20 dan 5.21

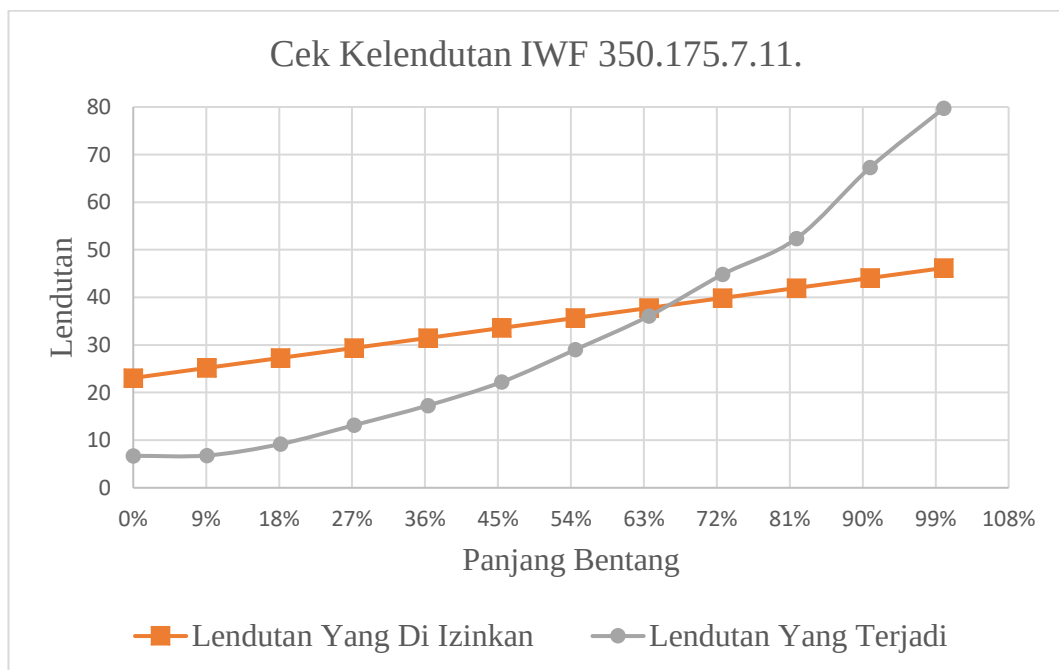
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Lendutan Profil IWF 350.175.7.11

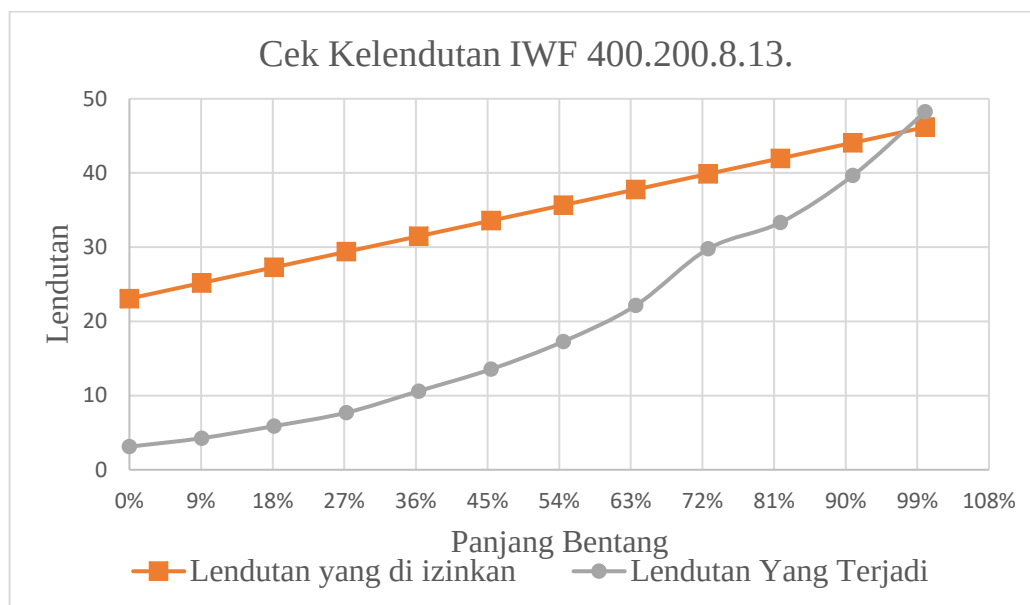
Bentang (m))	Panjang Rafter (mm)	Lendutan yang terjadi (mm)	Lendutan yang diizinkan (mm)	Keterangan
11	5537,11	6,72	23,07	Aman
12	6045,06	6,79	25,19	Aman
13	6548,81	9,19	27,29	Aman
14	7052,57	13,17	29,39	Aman
15	7556,32	17,30	31,48	Aman
16	8060,08	22,23	33,58	Aman
17	8563,83	29,03	35,68	Aman
18	9067,59	36,10	37,78	Aman
19	9571,34	44,84	39,88	Tidak Aman
20	10075,10	52,36	41,98	Tidak Aman
21	10578,85	67,28	44,08	Tidak Aman
22	11082,61	79,74	46,18	Tidak Aman

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Lendutan Profil IWF 400.200.8.13

Bentang (m)	Panjang Rafter (mm)	Lendutan yang terjadi (mm)	Lendutan yang diizinkan (mm)	Keterangan
11	5537,11	3,11	23,07	Aman
12	6045,06	4,26	25,19	Aman
13	6548,81	5,89	27,29	Aman
14	7052,57	7,70	29,39	Aman
15	7556,32	10,61	31,48	Aman
16	8060,08	13,56	33,58	Aman
17	8563,83	17,30	35,68	Aman
18	9067,59	22,16	37,78	Aman
19	9571,34	29,78	39,88	Aman
20	10075,10	33,33	41,98	Aman
21	10578,85	39,67	44,08	Aman
22	11082,61	48,25	46,18	Tidak Aman

Dari Rekapitulasi yang sudah dilakukan, didapatkan grafik untuk lendutan yang dapat dilihat pada gambar 5.37 dan 5.38..

**Gambar 5. 37 Grafik Lendutan IWF 350.175.7.11**



Gambar 5. 38 Grafik Lendutan IWF 400.200.8.13

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada model 2 adalah lendutan yang terjadi pada IWF 350.175.7.11 mengalami kegagalan lendutan karena lendutan yang terjadi lebih besar dibanding lendutan yang diizinkan. Kegagalan terjadi pada penambahan bentang 65% dari *existing* atau bentang 18,15 meter yang artinya profil IWF 350.175.7.11 dengan sudut 7° hanya aman sampai dengan penambahan bentang 65% dari *existing* atau bentang 18,15 meter saja. Pada profil IWF 400.200.8.13 mengalami kegagalan lendutan karena lendutan yang terjadi lebih besar dibanding lendutan yang diizinkan. Kegagalan terjadi pada penambahan bentang 96% dari *existing* atau bentang 21,56 meter yang artinya profil IWF 400.200.8.13 dengan sudut 7° hanya aman sampai dengan penambahan bentang 96% dari *existing* atau bentang 21,56 meter saja.

Hasil analisis kapasitas *rafter* untuk model 1 (*existing*) pada skema rangka 7 dengan profil IWF 350.175.7.11 mendapatkan nilai momen *ultimate* 166071830,2 Nmm, gaya geser 13146,09 N, dan momen kapasitas pada skema rangka 7 sebesar 209370903 Nmm. Pada skema rangka 8 dengan dua profil yaitu IWF 350.175.7.11 dan IWF 400.200.8.13 mendapatkan nilai momen *ultimate* 171472372,4 Nmm dan 167374019,3 Nmm secara berurut, gaya geser 15232,42 N, dan 15428,96 N secara berurut, dan momen kapasitas sebesar 209370903 Nmm dan 320202048 Nmm secara berurut.

Hasil analisis kapasitas *rafter* untuk model 2, nilai momen *ultimate* dan gaya geser memiliki nilai yang bervariasi setiap bentangnya, semakin panjang bentangnya maka akan semakin tinggi juga momen dan gaya geser yang didapatkan. Momen *ultimate* terendah adalah 58561579,82 Nmm dan gaya geser terendah adalah 16436,52 N untuk profil IWF 350.175.7.11 pada bentang 11 meter. Momen *ultimate* tertinggi adalah 199624609,4 Nmm dan gaya geser tertinggi adalah 35948,59 N untuk profil IWF 350.175.7.11 pada bentang 22 meter. Momen *ultimate* terendah adalah 49731934,35 Nmm dan gaya geser terendah adalah 17269,00 N untuk profil IWF 400.200.8.13 pada bentang 11 meter.. Momen *ultimate* tertinggi adalah 212326562,5 Nmm dan gaya geser tertinggi adalah 38300,70 N untuk profil IWF 400.200.8.13 pada bentang 22 meter. Untuk momen kapasitas yang didapatkan pada setiap profil yaitu 209370903 Nmm untuk profil IWF 350.175.7.11 dan 320202048 Nmm untuk profil IWF 400.200.8.13.

Hasil dari evaluasi yang telah dilakukan pada model 1 (*existing*) tahanan momen lentur dan tahanan geser pada skema rangka 7 dengan profil IWF 350.175.7.11 sudah aman dengan interaksi geser lentur yang didapatkan adalah 0,793. Pada skema rangka 8 dengan profil IWF 350.175.7.11 tahanan momen lentur dan tahanan sudah aman dengan interaksi geser lentur yang didapatkan adalah 0,819 dan pada skema rangka 8 dengan profil IWF 400.200.8.13 nilai tahanan momen lentur dan tahanan sudah aman dengan interaksi geser lentur yang didapatkan adalah 0,523.

Hasil dari evaluasi desain yang telah dilakukan pada model 2 untuk profil IWF 350.175.7.11 tahanan momen lentur hanya aman sampai penambahan bentang 94% dari *existing* atau bentang 21,34 meter saja. Pada tahanan geser sudah aman untuk semua penambahan bentang dengan nilai yang bervariasi, Namun pada interaksi geser dan lentur nilai interaksi juga mendapatkan hasil yang aman dengan nilai terendah adalah 0,348 pada bentang 11 meter dan tertinggi 1,141 pada bentang 22 meter. Pada profil IWF 400.200.8.13 tahanan momen lentur dan tahanan momen geser sudah aman dengan nilai yang bervariasi, juga pada interaksi geser dan lentur dengan nilai interaksi terendah adalah 0,203 pada bentang 11 meter dan tertinggi 0,804 pada bentang 22 meter.

Pada model 1 (*existing*), lendutan yang terjadi pada skema rangka 7 dengan profil IWF 350.175.7.11 adalah 22,70 mm dengan lendutan izinnya di 23,07 mm maka bisa dinyatakan struktur ini sudah aman. Pada skema rangka 8 dengan profil IWF 350.175.7.11 lendutan yang terjadi adalah 22,99 mm dengan lendutan izinnya di 23,07 mm maka bisa dinyatakan struktur ini sudah aman sudah aman dan pada skema rangka 8 dengan profil IWF 400.200.8.13 lendutan yang terjadi adalah 12,64 mm dengan lendutan izinnya di 23,07 mm maka bisa dinyatakan struktur ini sudah aman sudah aman.

Pada model 2 lendutan yang terjadi pada setiap bentangnya sangat bervariasi. Pada profil IWF 350.175.7.11 lendutan terendah yang terjadi pada bentang 11 meter dengan nilai 6,72 mm dan lendutan izinnya di 23,07 mm bisa dinyatakan aman dan tertinggi pada bentang 22 meter dengan nilai 79,74 mm dan lendutan izin di 46,18 mm dan dinyatakan tidak aman. Pada profil IWF 350.175.7.11 lendutan yang aman hanya sampai penambahan bentang 65% *existing* atau bentang 18,15 meter. Pada profil IWF 400.200.8.13 lendutan terendah yang terjadi pada bentang 11 meter dengan nilai 3,11 mm dan lendutan izinnya di 23,07 mm bisa dinyatakan aman dan tertinggi pada bentang 22 meter dengan nilai 48,25 mm dan lendutan izin di 46,18 mm dan dinyatakan tidak aman. Pada profil IWF 400.200.8.13 lendutan yang aman hanya sampai penambahan bentang 96% *existing* atau bentang 21,56 meter

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan model 1 (*existing*) dinyatakan aman semua dan sudah memenuhi syarat untuk pemasangan. Pada hasil penelitian yang sudah dilakukan model 2 dengan variasi bentang sampai 22 meter yaitu profil IWF 350.175.7.11 hanya bisa digunakan sampai penambahan bentang 65% *existing* atau bentang 18,15 meter dengan sudut *rafter* yang sama, namun pada profil IWF 400.200.8.13 juga hanya bisa digunakan sampai penambahan bentang 96% *existing* atau bentang 21,56 meter dengan sudut *rafter* yang sama. Dari semua hasil analisis yang sudah dilakukan didapatkan hasil akhir yang dapat dilihat pada tabel 5.22, 5.23, dan 5.24 pada halaman selanjutnya.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Akhir Model 1 (*Existing*)

Skema Rangka	Profil	Mu (Nmm)	Vu (N)	Mn (Nmm)	Vn (N)	Interaksi	Lendutan (mm)	Lendutan Izin (mm)	Keterangan
RK 7 350	IWF 350.75.7.11	166071830,2	13146,09	209370903	366030	0,9113	22,70	23,07	Aman
RK 8 350	IWF 350.75.7.11	171472372,4	15232,42	209370903	366030	0,9454	22,99	23,07	Aman
RK 8 400	IWF 400.200.8.13	167374019,3	15428,96	320202048	478080,0	0,6077	12,64	23,07	Aman

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Akhir Model 2 Profil IWF 350.175.7.11s

Bentang (m)	Panjang Rafter	Mu (Nmm)	Vu (N)	Mn (Nmm)	Vn (N)	Interaksi	Lendutan (mm)	Lendutan Izin (mm)	Keterangan
11	5537,11	58561579,82	16436,52	209370903	366030	0,348	6,72	23,07	Aman
12	6045,06	59490625,00	20080,74	209370903	366030	0,361	6,79	25,19	Aman
13	6548,81	69248301,82	21872,36	209370903	366030	0,417	9,19	27,29	Aman
14	7052,57	80800390,63	22860,37	209370903	366030	0,481	13,17	29,39	Aman
15	7556,32	92840625,00	24572,31	209370903	366030	0,549	17,30	31,48	Aman
16	8060,08	105552929,7	26193,57	209370903	366030	0,620	22,23	33,58	Aman
17	8563,83	121219658,1	27802,34	209370903	366030	0,707	29,03	35,68	Aman
18	9067,59	133739106,3	29372,27	209370903	366030	0,777	36,10	37,78	Aman
19	9571,34	148954785,2	31026,33	209370903	366030	0,861	44,84	39,88	Tidak Aman
20	10075,10	165421093,8	33911,05	209370903	366030	0,955	52,36	41,98	Tidak Aman
21	10578,85	182972855,3	34103,37	209370903	366030	1,049	67,28	44,08	Tidak Aman
22	11082,61	199624609,4	35948,59	209370903	366030	1,141	79,74	46,18	Tidak Aman

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Akhir Model 2 Profil IWF 400.200.8.13

Bentang (m)	Panjang <i>Rafter</i>	Mu (Nmm)	Vu (N)	Mn (Nmm)	Vn (N)	Interaksi	Lendutan (mm)	Lendutan Izin (mm)	Keterangan
11	5537,11	49731934,4	17269,00	320202048	478080,0	0,203	3,11	23,07	Aman
12	6045,06	63250000,0	20833,19	320202048	478080,0	0,256	4,26	25,19	Aman
13	6548,81	74145312,5	22562,00	320202048	478080,0	0,297	5,89	27,29	Aman
14	7052,57	84294638,5	24484,67	320202048	478080,0	0,335	7,70	29,39	Aman
15	7556,32	100114246,7	26294,04	320202048	478080,0	0,393	10,61	31,48	Aman
16	8060,08	112535742,2	27804,41	320202048	478080,0	0,439	13,56	33,58	Aman
17	8563,83	127592131,9	29621,97	320202048	478080,0	0,494	17,30	35,68	Aman
18	9067,59	141535680,2	30814,84	320202048	478080,0	0,545	22,16	37,78	Aman
19	9571,34	160741576,5	31061,73	320202048	478080,0	0,612	29,78	39,88	Aman
20	10075,10	174823046,9	34547,31	320202048	478080,0	0,667	33,33	41,98	Aman
21	10578,85	191374048,9	36412,89	320202048	478080,0	0,728	39,67	44,08	Aman
22	11082,61	212326562,5	38300,70	320202048	478080,0	0,804	48,25	46,18	Tidak Aman

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu:

1. Hasil analisis kapasitas *rafter* pada model 1 (*existing*) menunjukkan bahwa seluruh skema rangka memenuhi persyaratan kekuatan. Pada skema rangka 7 dengan profil IWF 350.175.7.11, nilai momen ultimate dan gaya geser masih berada di bawah kapasitas penampang. Pada skema rangka 8, baik profil IWF 350.175.7.11 maupun IWF 400.200.8.13 juga menunjukkan nilai momen ultimate dan gaya geser yang lebih kecil dari momen kapasitas masing-masing profil. Sementara itu, pada model 2, nilai momen ultimate dan gaya geser meningkat seiring bertambahnya bentang. Nilai terendah terjadi pada bentang 11 meter dan tertinggi pada bentang 22 meter untuk kedua profil, dengan momen kapasitas tetap sebesar 209370903 Nmm untuk IWF 350.175.7.11 dan 320202048 Nmm untuk IWF 400.200.8.13.
2. Tahanan momen lentur yang terjadi pada model 1 (*existing*) sudah aman, namun pada model 2 hanya aman sampai penambahan bentang 94% dari *existing* atau bentang 21,34 meter saja yang memenuhi syarat kurang dari 1. *Trendline* pada model 2 didapatkan bahwa semakin tinggi momen *ultimate* maka tahanan momennya akan semakin tinggi. Tahanan geser yang terjadi pada model 1 (*existing*) dan model 2 sudah aman dan memenuhi syarat kurang dari 1 dengan nilai tahanan geser yang masih sangat jauh dengan syaratnya. Evaluasi interaksi lentur dan geser pada model 1 (*existing*) menunjukkan seluruh skema berada dalam kondisi aman, dengan nilai interaksi 0,793 pada skema rangka 7 juga interaksi sebesar 0,819 dan 0,523 pada skema rangka 8. Pada model 2, kedua profil juga memenuhi persyaratan kekuatan interaksi geser dan lentur, dengan *trendline* nilai interaksi meningkat seiring pertambahan bentang. Profil IWF 350.175.7.11 memiliki nilai interaksi tertinggi sebesar 1,141 pada bentang 22 meter, sedangkan profil IWF

400.200.8.13 menunjukkan nilai interaksi tertinggi yang lebih rendah dengan maksimum 0,804 pada bentang yang sama.

3. Dari sisi lendutan, model 1 (*existing*) dinyatakan aman pada seluruh skema rangka karena lendutan yang terjadi lebih kecil dari lendutan izin. Pada model 2, lendutan meningkat signifikan dengan bertambahnya bentang. Profil IWF 350.175.7.11 hanya memenuhi syarat lendutan hingga penambahan bentang 65% *existing* atau bentang 18,15 meter. Pada profil IWF 400.200.8.13 memenuhi syarat lendutan hingga penambahan bentang 96% *existing* atau bentang 21,56 meter. Secara keseluruhan, model 1 (*existing*) dinyatakan aman dan layak digunakan pada seluruh skema rangka yang dianalisis. Pada model 2 dengan variasi bentang, profil IWF 350.175.7.11 direkomendasikan hanya sampai penambahan bentang 65% *existing* atau bentang 18,5 meter, sedangkan profil IWF 400.200.8.13 dapat digunakan hingga penambahan bentang 96% *existing* atau bentang 21,56 meter dengan sudut *rafter* yang sama.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis kapasitas *rafter* yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian diantaranya sebagai berikut.

1. Analisis kapasitas *rafter* bisa dilakukan dengan menggunakan jarak *stiffener* yang divariasikan guna optimalisasi bentang bersih
2. Analisis kapasitas *rafter* bisa dilakukan dengan memvariasikan sudut yang lebih besar untuk melihat batas nilai keamanan pada momen dan gaya geser pada batang *rafter*.
3. Desain menggunakan penampang yang lebih bervariasi pada *rafter* bisa menjadi alternatif lain untuk mendapatkan bangunan yang lebih ekonomis dengan tetap mempertimbangkan terpenuhinya syarat kekuatan dan kenyamanan.

DAFTAR PUSTAKA

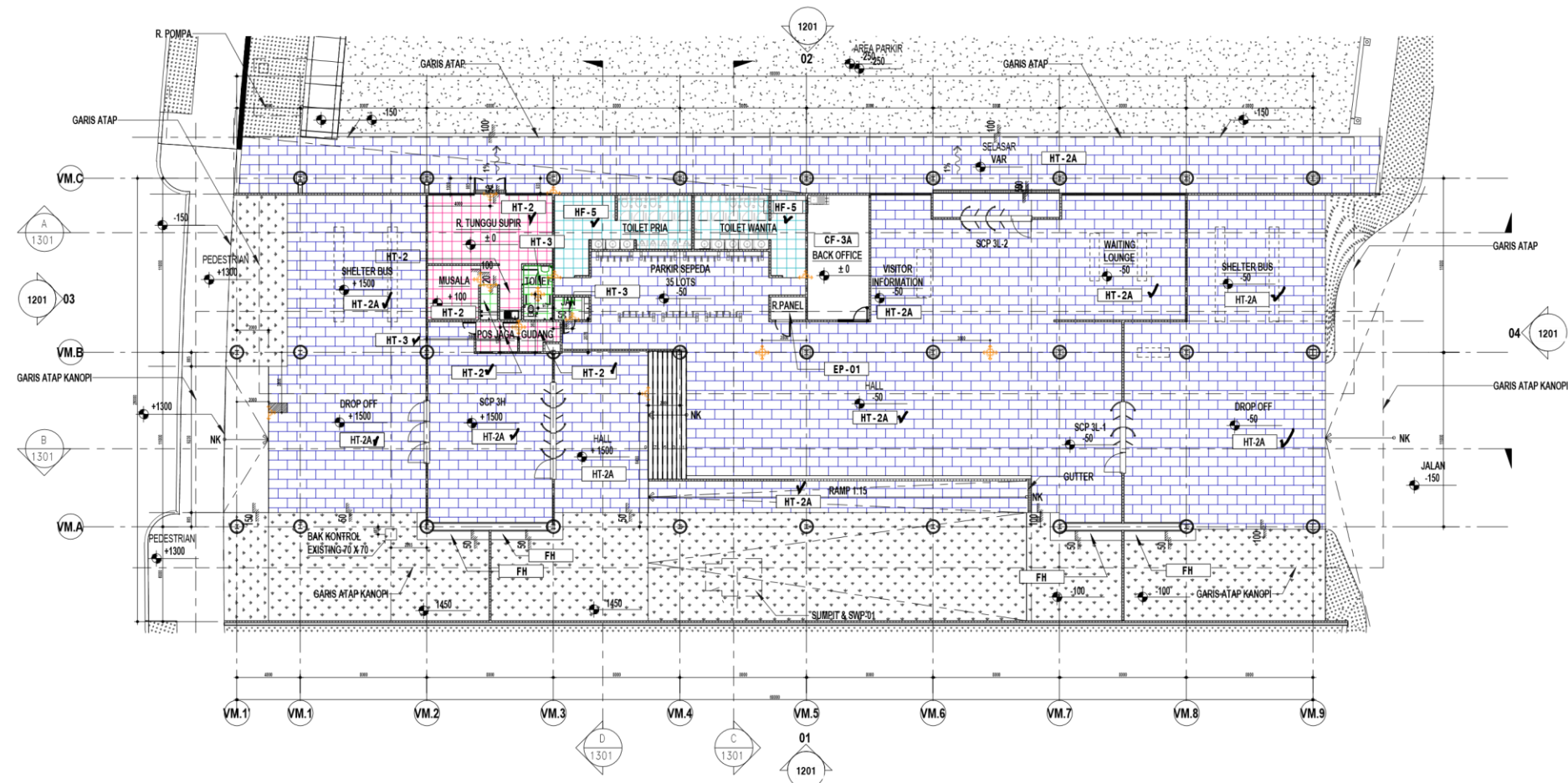
- Zhang J. Yang, S, Peng, M, H. Q. (2019). *Stability Analysis of Steel Structure Model Based On the Finite Element Method Stability Analysis of Steel Structure Model Based On the Finite Element Method*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/2/022056>
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1729:2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Rohmatin, S., Nursandah, F., Aprillia Karisma, D., Kamalika Khusna Ali, M., & Kadiri, U. (2023). Structure Design of Earthquake Resistant Steel Warehouse Building Based on LRFD Method in Kediri. *Jcebt*, 7(1). <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Syifa Alyarahma, Indah Permata Sari, W. K. (2023). *Environmental Impact Assessment of Steel Production in Indonesia : A Case Study Environmental Impact Assessment of Steel Production in Indonesia : A Case Study*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1203/1/012044>
- Wijaya, T. R., & Yoga S, K. C. (2025). *Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur Baja Gable Frame Dengan Rafter WF Lurus Terhadap Beban Seismik*. 7(2), 87–94.
- Aliya, A. R., Ramdani, Y., Nursani, R., Rachma, I. N., & Wanto, S. (2025). *Perencanaan Struktur Gedung Serbaguna Menggunakan Elemen Struktur Baja*. 7(1), 60–71. <https://doi.org/10.37058/aks.v7i1.17612>
- Darmawan, K. C., Suswanto, B., & Amalia, A. R. (2025). Interactive Effects of Span Length and Rafter Angle on the Ductility and Stability of Steel Warehouse Structures. *Journal of Civil Engineering*, 40(2), 141.

<https://doi.org/10.12962/j20861206.v40i2.22152>

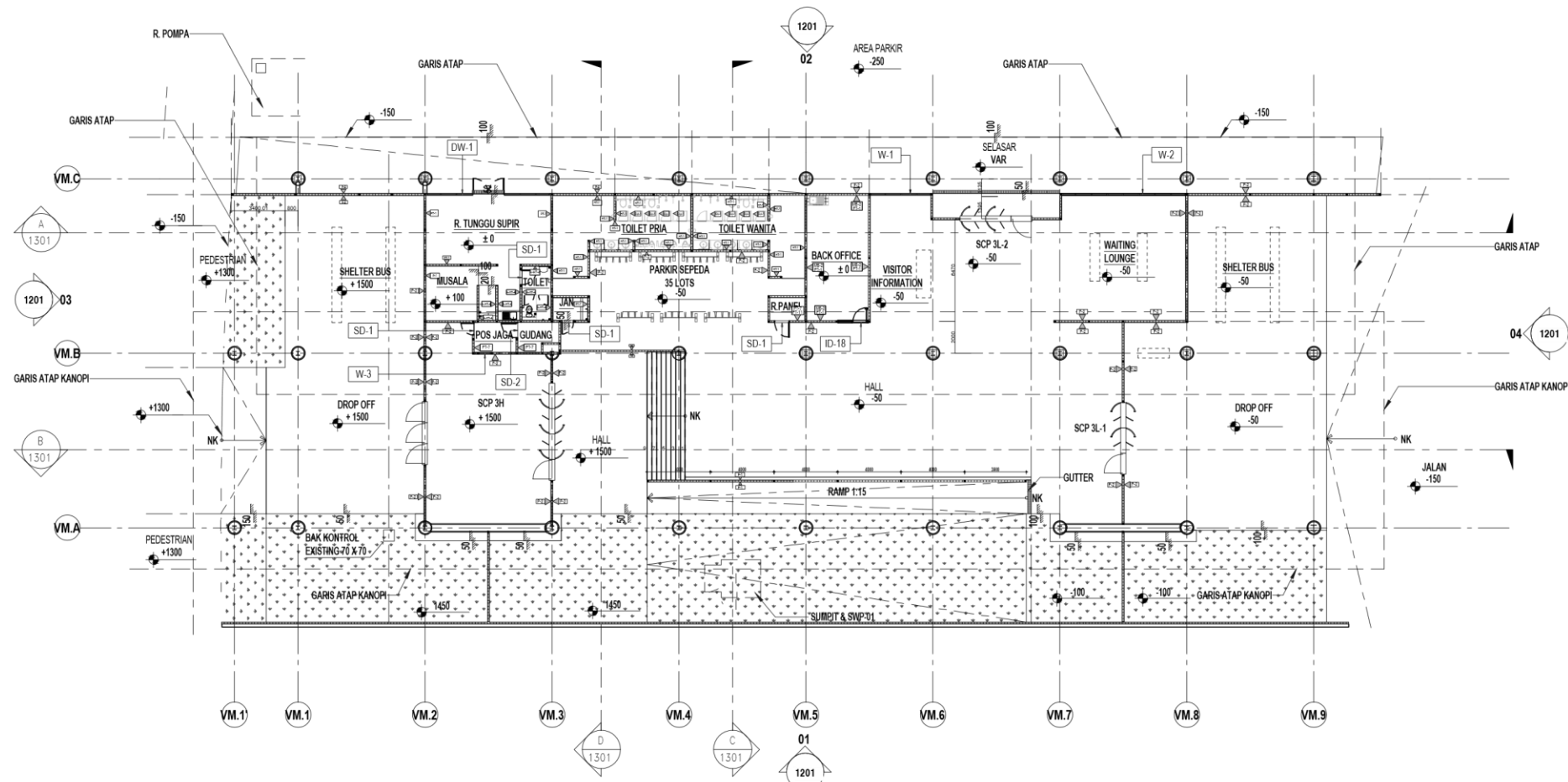
Praja, B. A., & Pelawi, V. E. (2025). *PERENCANAAN STRUKTUR BAJA PORTAL FRAME PRE- ENGINEERED BUILDING UNTUK BANGUNAN INDUSTRI*. 4, 45–55.

Akbar, F., Depari, A. S., & Putri, A. S. (2025). *Structural Analysis and Design of Superstructure and Roof Systems for the Canteen Building at Kalimantan Institute of Technology*. 10(3), 756–765.

LAMPIRAN



DENAH POLA LANTAI, LANTAI 1
SKALA 1 : 200



DENAH LANTAI 1
SKALA 1 : 200

SHOP DRAWING

KETERANGAN

LEGEND :

HT-2	- HT 600X600mm Polished ex d'harajuku (Floor)
HT-2A	- HT 1200X600mm Matt ex Bianco Cemento (Floor)
HT-3	- HT 600X600mm Matt ex Grigio Cemento (Floor)
HF-5	- HT 600X600mm Matt ex Topaz (Floor)
HT-3.INT	- HT 600X600mm Matt ex Topaz (Wall)
HT-4	- HT 600X600mm Matt ex Bianco Cemento (Wall)
FH	- FLOOR HARDENER
EP	- EPOXY
CF-3A	- CARPET



FFL ± 0.00 = + 39.400 ELEVASI KAWASAN

NAMA PROYEK

PEMBANGUNAN BANGUNAN PENDUKUNG
KAWASAN BANK INDONESIA DI KARAWANG
(PK12)

LOKASI KARAWANG, JAWA BARAT

TAHUN ANGGARAN 2024

BANK INDONESIA
SATKER : Unit Khusus Pembangunan SPU, DC dan BRS (UKPS)
Jalan M.H. Thamrin No. 2, Jakarta Pusat

DIPERIKSA/DISETUJUI
KONSULTAN MKMP



PT. CIRIAJASA CIPTA MANDIRI

PENANGGUNG JAWAB

AGUNG YOGASWARA

Team Leader

TENAGA AHLI

STRUKTUR	
ARSITEKTUR	
MEP	
SMART SYSTEM	

KONTRAKTOR



PENANGGUNG JAWAB

BUHARIANTO
PROJECT MANAGER

ARSITEKTUR

JUDUL GAMBAR

VISITOR MANAGEMENT
DENAH LAYOUT & POLA LANTAI 1

TANGGAL	REVISI	KETERANGAN
05/11/2024	RO	

DI GAMBAR : MUHAMMAD ILHAM FAJRI

NO. GAMBAR : SD-WG-BI-PK12-K-D09-ARS-1101

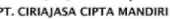
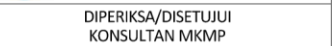
SKALA	REF. GAMBAR	NO. LEMBAR
1 : 200	SBI-IKIKSO-K-D09-AR-DR-1101	01

KETERANGAN133

NAMA PROYEK

OKASI	KARAWANG, JAWA BARAT
-------	----------------------

TAHUN ANGGARAN	2024
----------------	------



PENANGGUNG JAWAB

AGUNG YOGASWARA

Team Leader

TENAGA AHLI

STRUKTUR

ARSITEKTUR

MEP

SMART SYSTEM

KONTRAKTOR



STRUKTUR

JUDUL GAMBAR

VISITOR MANAGEMENT
DENAH STRUKTUR ATAP BAJA

SKALA	REF. GAMBAR	NO. LEMBAR
1 : 150	SBI-IKIKSO-K- D09-ST-DR-9000	01

-  SAMBUNGAN JEPIT BALOK KE KOLOM DENGAN END PLATE
-  SAMBUNGAN JEPIT BALOK KE KOLOM DENGAN END PLATE
-  SAMBUNGAN JEPIT BALOK ANAK KE BALOK UTAMA
-  SAMBUNGAN SENDI BALOK ANAK KE BALOK UTAMA



SHOP DRAWING

KETERANGAN 134

1. MUTU BETON :
TIANG BOR Ø80cm & PILE CAP : $f_c' = 25 \text{ MPa}$
KOLOM, BALOK & SLAB : $f_c' = 25 \text{ MPa}$
2. MUTU BAJA TULANGAN
BJTS 420B : $f_y = 420 \text{ MPa}$
3. MUTU BAJA PROFIL : ASTM A36
4. BAUT : A-325
5. ANGKUR : A-307
6. LAS : E70XX
7. BETON YANG BERTHUBUNGAN DENGAN AIR MENGGUNAKAN INTEGRAL WATERPROOFING

NAMA PROYEK

PEMBANGUNAN BANGUNAN PENDUKUNG
KAWASAN BANK INDONESIA DI KARAWANG
(PK-12)

LOKASI : KARAWANG, JAWA BARAT

TAHUN ANGGARAN : 2024

BANK INDONESIA
SATKER : Unit Khusus Pembangunan SPU, DC dan BRS (UKPS)
Jalan M.H. Thamrin No. 2, Jakarta Pusat

DIPERIKSA/DISETUJUI
KONSULTAN MKMP



PT. CIRIAJASA CIPTA MANDIRI

PENANGGUNG JAWAB

AGUNG YOGASWARA

Team Leader

TENAGA AHLI

STRUKTUR : *AS*

ARSITEKTUR : *AS*

MEP : *AS*

SMART SYSTEM : *AS*

KONTRAKTOR



PENANGGUNG JAWAB

Buham

BUHARIANTO
PROJECT MANAGER

STRUKTUR

JUDUL GAMBAR

VISITOR MANAGEMENT
SKEMA RANGKA ATAP BAJA-2

TANGGAL : 02/11/2024

REVISI : RO

KETERANGAN

DI GAMBAR : MUHAMMAD ILHAM FAJRI

NO. GAMBAR : SD-WG-BI-PK12-K-D09-STR-9002

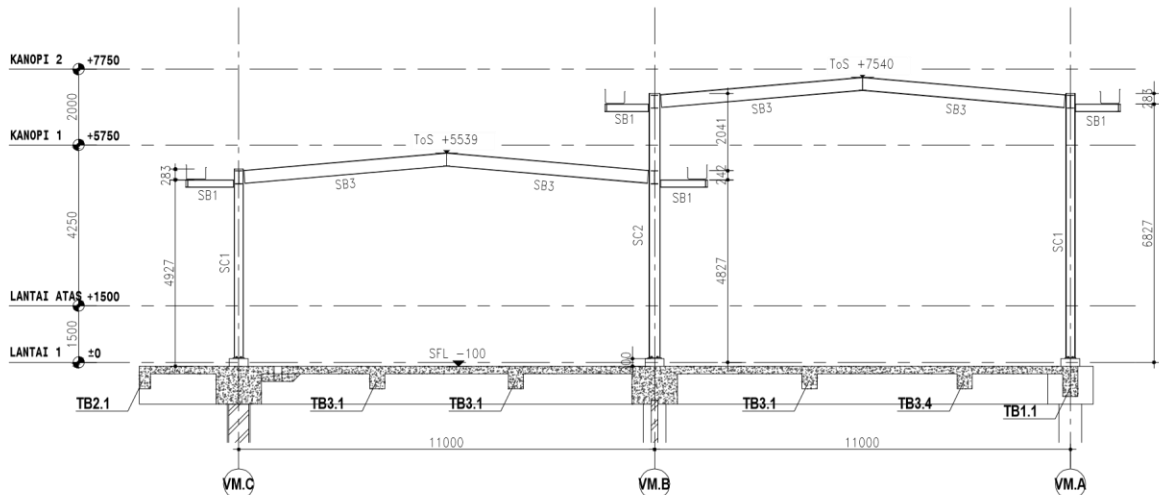
SKALA : 1 : 100

REF. GAMBAR : SBI-IKISO-K-D09-ST-DR-9002

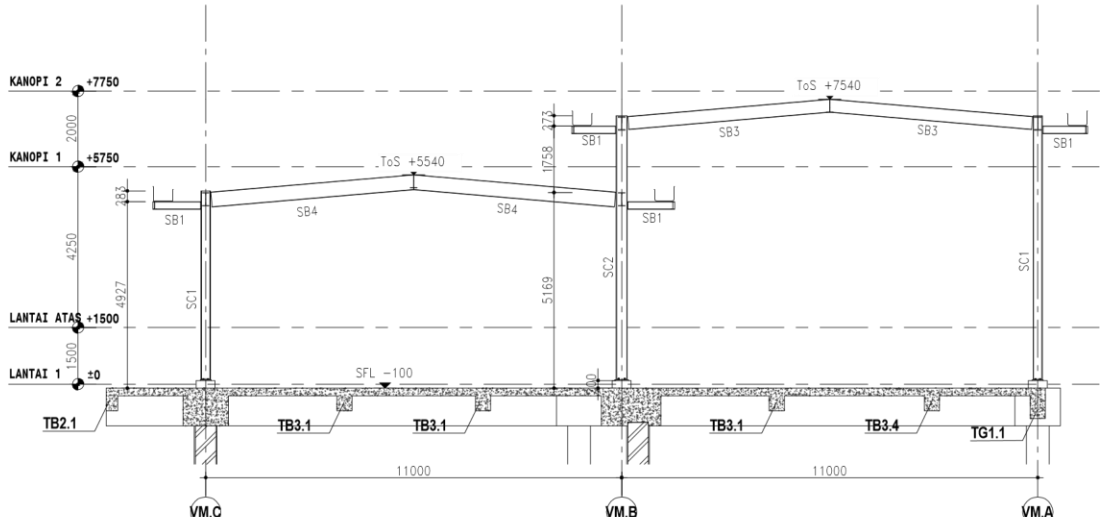
NO. LEMBAR : 01

- SAMBUNGAN JEPIT BALOK KE KOLOM
DENGAN END PLATE
SAMBUNGAN JEPIT BALOK KE KOLOM
DENGAN END PLATE
SAMBUNGAN JEPIT BALOK ANAK KE
BALOK UTAMA
SAMBUNGAN SENDI BALOK ANAK KE
BALOK UTAMA

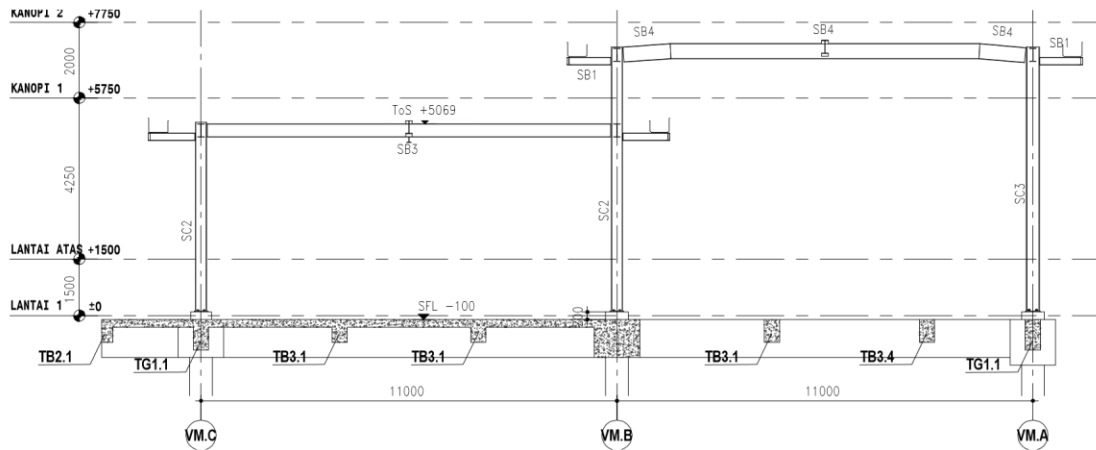
KODE	DIMENSI
SB1	WF200x100x5.5x8
SB2	WF250x125x6x9
SB3	WF350x175x7x11
SB4	WF400x200x8x13
SB5	WF450x200x9x14
SB6	WF300x150x6.5x9
SC1	H-250x250x9x14
SC2	H-300x300x10x15
SC3	H-350x350x12x19



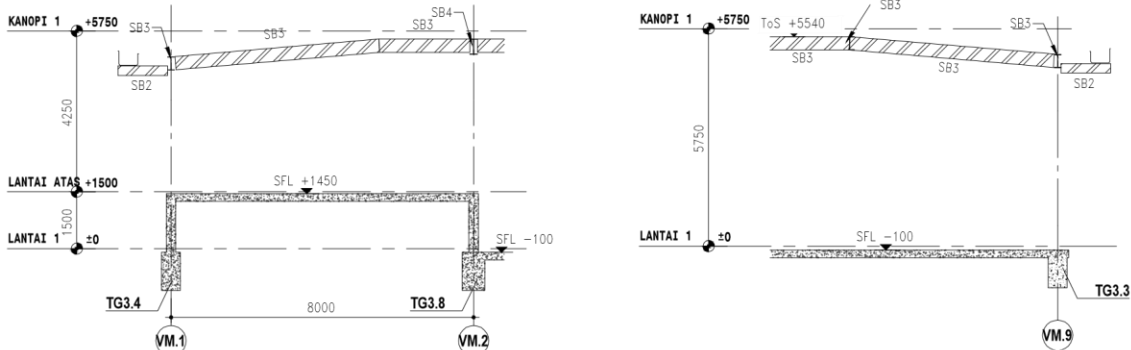
SKEMA RK.7
SKALA 1 : 100



SKEMA RK.8
SKALA 1 : 100

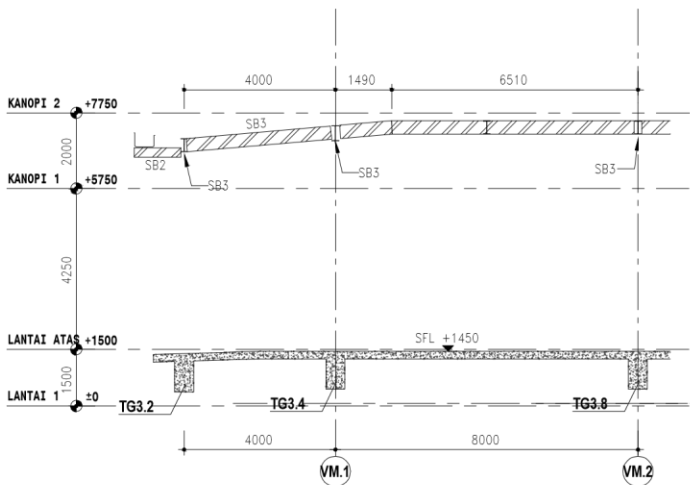


SKEMA RK.9
SKALA 1 : 100

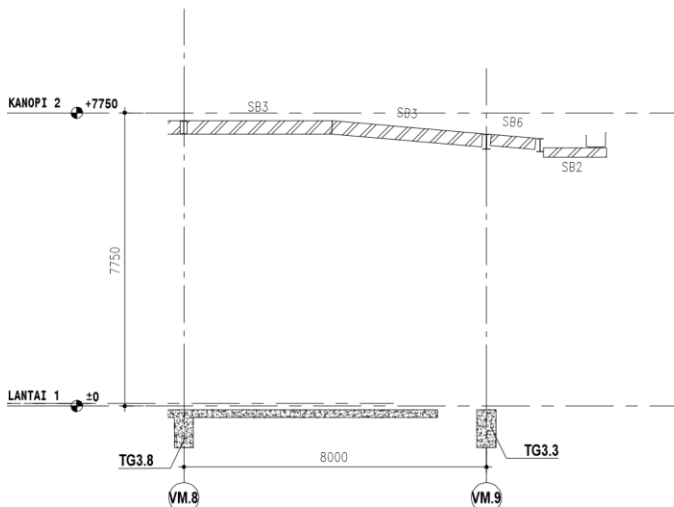


SKEMA RK.12
SKALA 1 : 100

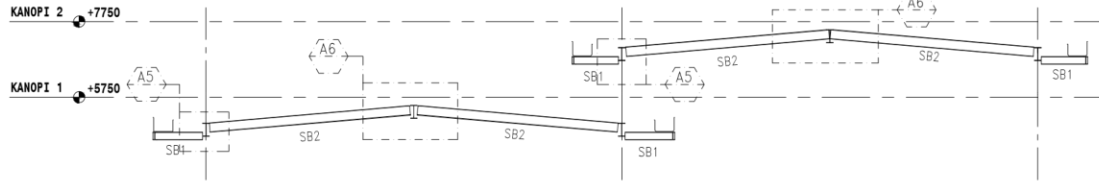
SKEMA RK.13
SKALA 1 : 100



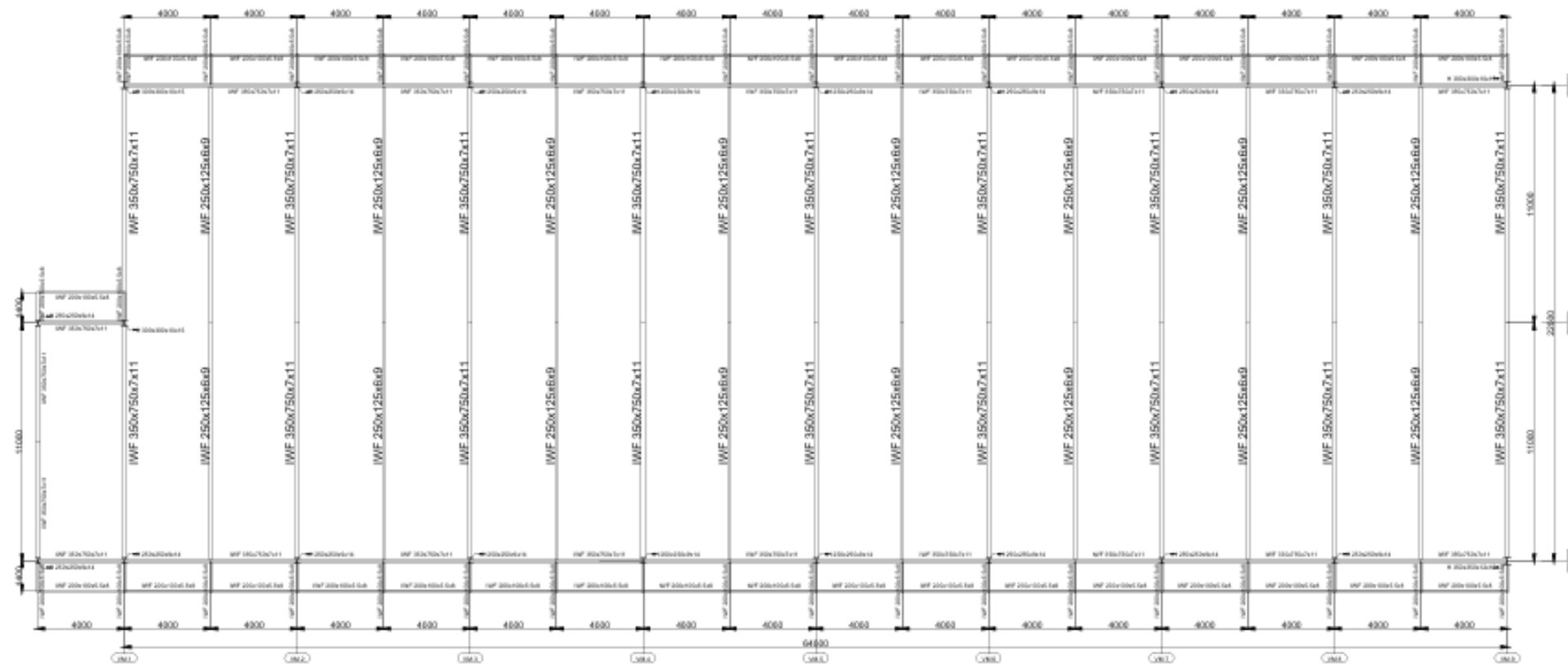
SKEMA RK.10
SKALA 1 : 100



SKEMA RK.11
SKALA 1 : 100



SKEMA RK.14
SKALA 1 : 100



JUDUL GAMBAR

DENAH DESAIN STRUKTUR
ATAP

MAHASISWA

ANGGA PUTRA BIMANTARA

22511045

LOKASI

KARAWANG

TANGGAL PENGAMBARAN

29 JANUARI 2026

SKALA

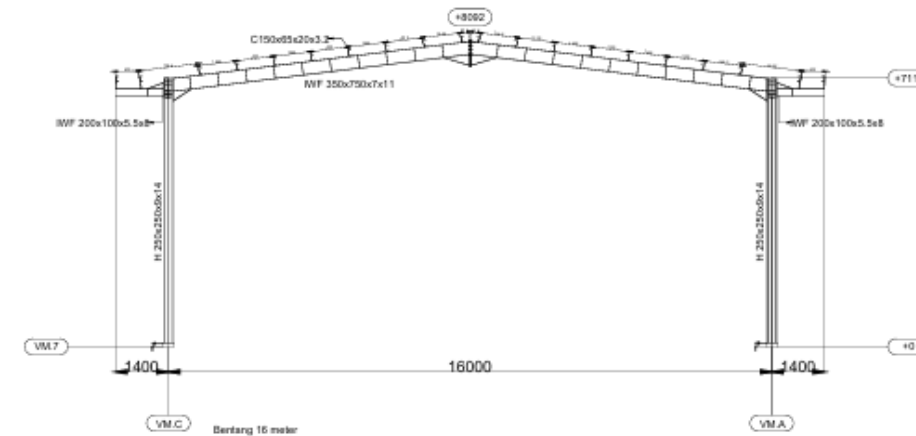
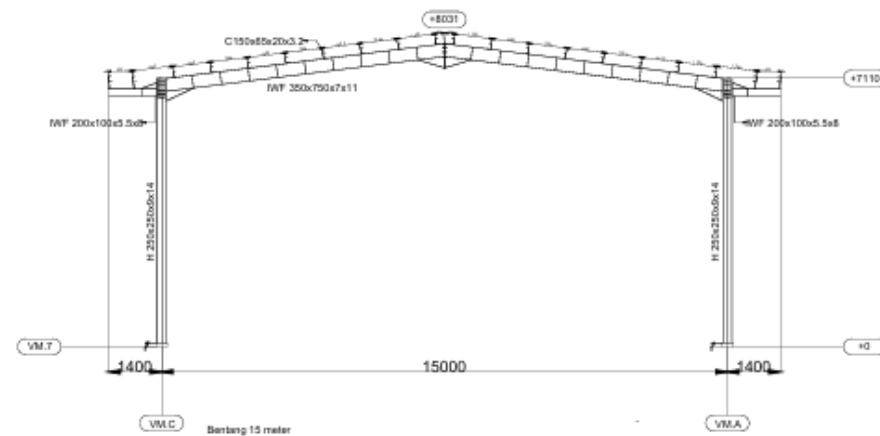
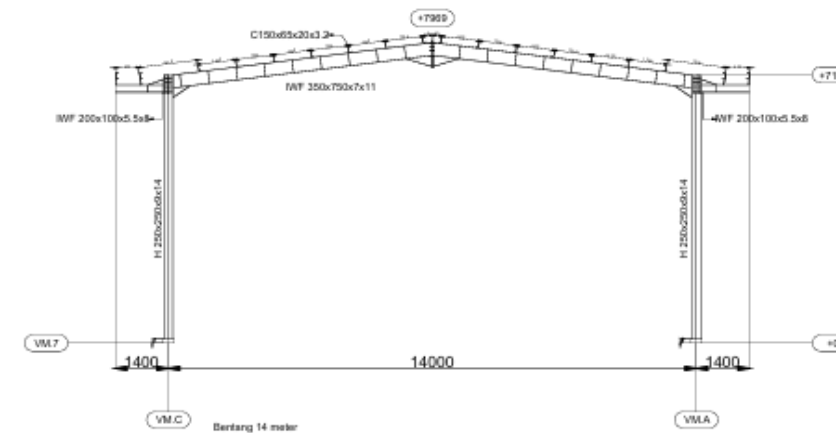
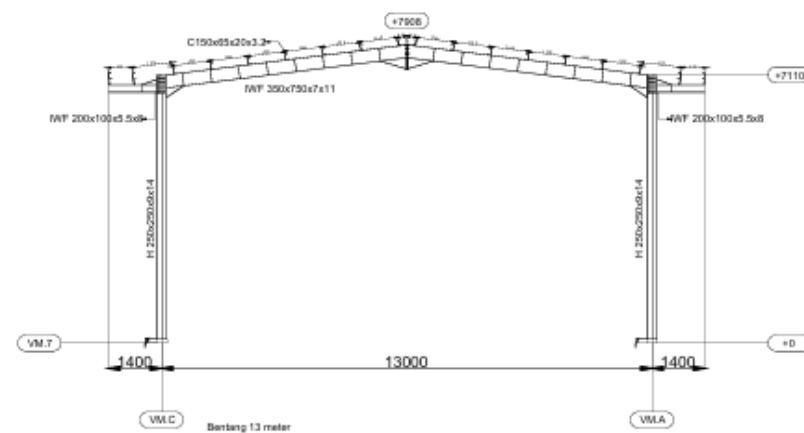
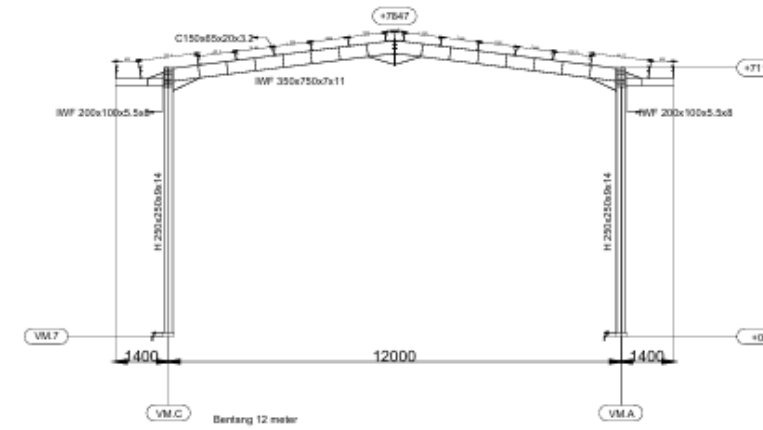
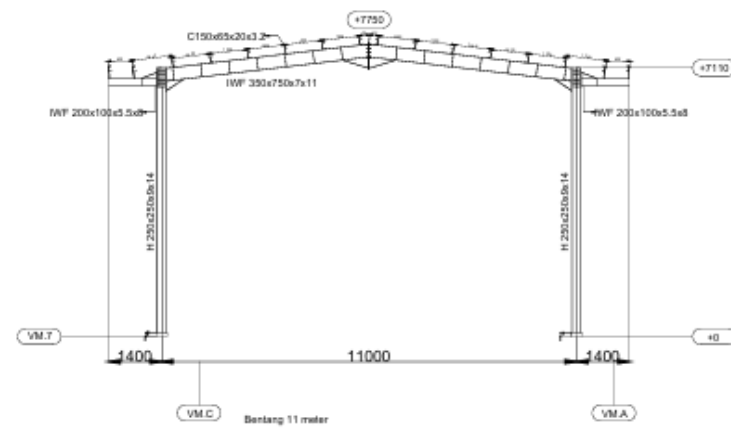
1:250

NO LEMBAR

4

JUMLAH LEMBAR

5



JUDUL GAMBAR

POTONGAN VARIASI BENTANG
RAFTER (1)

MAHASISWA

ANGGA PUTRA BIMANTARA

22511045

LOKASI

KARAWANG

TANGGAL PENGAMBARAN

29 JANUARI 2026

SKALA

1:75

NO LEMBAR

5

JUMLAH LEMBAR

7



JUDUL GAMBAR

POTONGAN VARIASI BENTANG
RAFTER (2)

MAHASISWA

ANGGA PUTRA BIMANTARA

22511045

LOKASI

KARAWANG

TANGGAL PENGAMBARAN

29 JANUARI 2026

SKALA

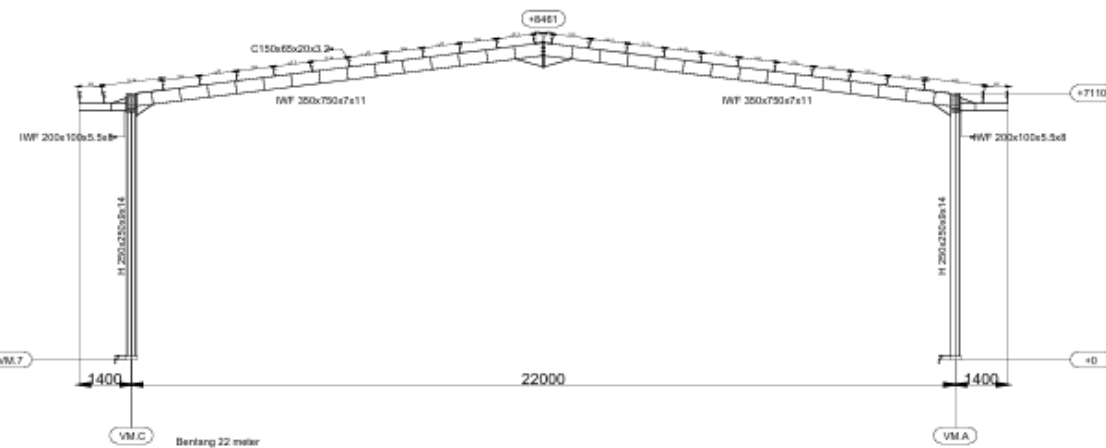
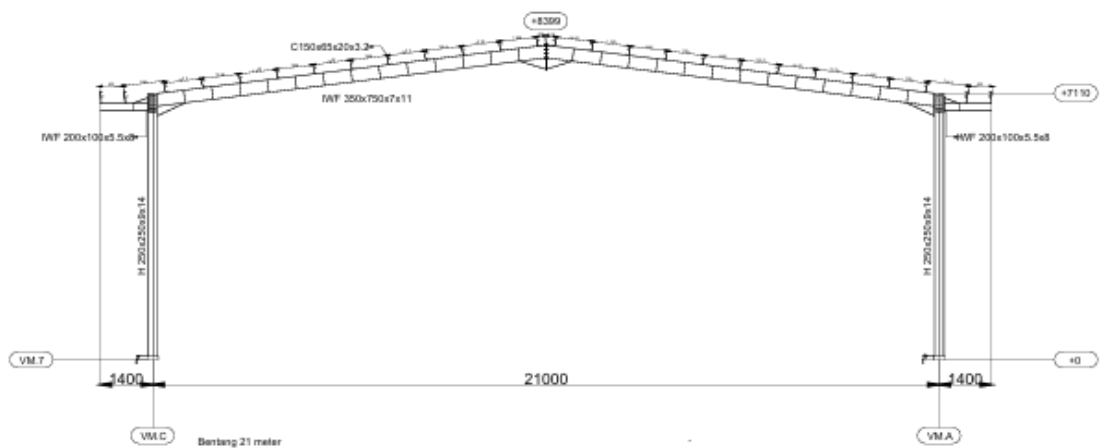
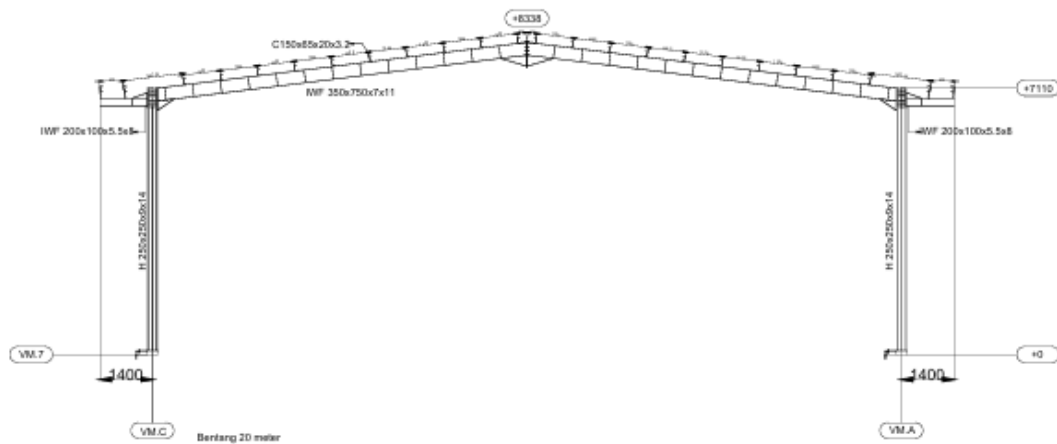
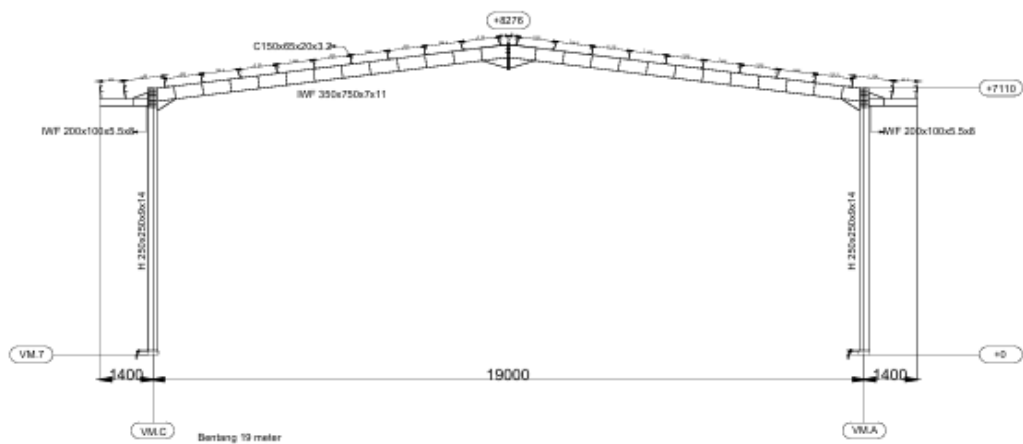
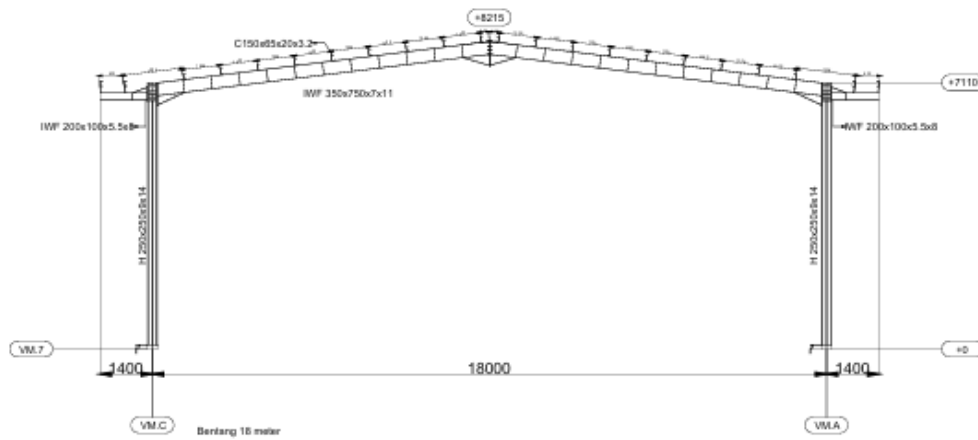
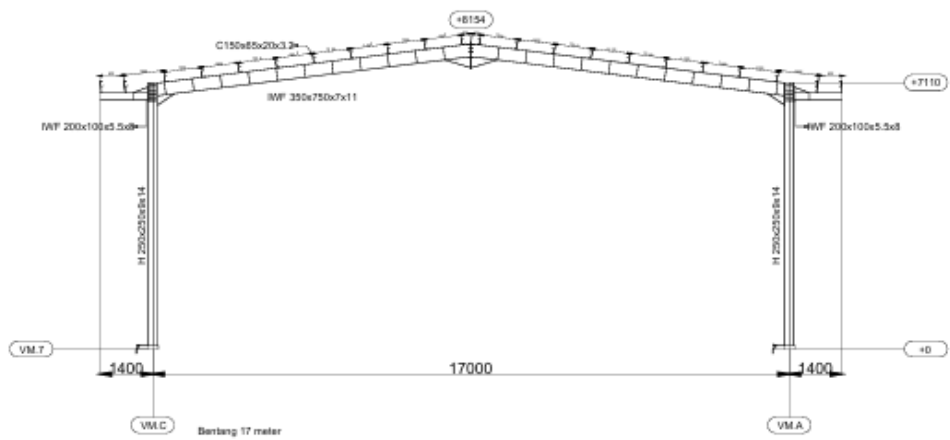
1:75

NO LEMBAR

6

JUMLAH LEMBAR

7





JUDUL GAMBAR

VARIASI RAFTER BENTANG 22
METER

MAHASISWA

ANGGA PUTRA BIMANTARA

22511045

LOKASI

KARAWANG

TANGGAL PENGAMBARAN

29 JANUARI 2026

SKALA

1:90

NO LEMBAR

7

JUMLAH LEMBAR

7

