



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 4683-4704

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Struktur Sambungan Baja Tahan Gempa pada Bangunan Industri (Tinjauan: Bangunan Pabrik Kawasan Industri Wijayakusuma)

Callista Gian Syahada¹, Fathinah Syarofina Rosyadah², Sumirin³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

²Akuntansi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Pendidikan Nasional

¹callsyahada@gmail.com, ²fathinahsyarofina@gmail.com, ³sumirinmail@gmail.com

Abstrak

Indonesia sebagai negara rawan gempa akibat pertemuan lempeng tektonik memerlukan bangunan industri baja yang tahan seismik, namun sering kali gagal akibat kapasitas sambungan rendah meskipun profil utama memadai; penelitian ini menganalisis pengaruh bentang L (21m dan 40m) terhadap dimensi profil IWF serta kapasitas sambungan terhadap momen plastis dan gaya gempa pada Pabrik Siap Pakai XII A Kawasan Industri Wijayakusuma. Penelitian dilakukan dengan pendekatan pemodelan struktural menggunakan program ETABS untuk analisis frame utama dan program analisis sambungan berbasis FEM untuk verifikasi sambungan. Acuan perancangan dan analisis mengacu pada SNI 1729-2020 untuk spesifikasi struktur baja gedung, SNI 7972-2020 untuk sambungan terpraktualifikasi dari rangka momen khusus, serta SNI 1726-2019 terkait perencanaan ketahanan gempa. Analisis meliputi evaluasi kapasitas profil, perbandingan hasil analisis frame berdasarkan panjang bentang, dan kemampuan sambungan dalam menahan momen, gaya geser, serta gaya aksial akibat beban gempa. Hasil analisis profil menunjukkan pada bentang 21 m, profil IWF 248×124×5×8 untuk kolom dan rafter mengalami rasio tegangan melebihi 1,0 sehingga diperbesar menjadi IWF 300×200×8×12 dan IWF 350×175×7×11 memenuhi persyaratan desain. Sementara itu, untuk bentang 40 m, profil IWF 500×200×10×16, IWF 446×199×8×12, dan IWF 300×150×6,5×9 telah sesuai batas persyaratan. Analisis pada sambungan mengonfirmasi rasio baut tarik 0,41-0,88; geser 0,01-0,04; pelat 0,98 dan panel zone 0,36 memenuhi SNI 7972:2020 setelah modifikasi, kapasitas rotasi plastis 0,05-0,08 rad mencapai nilai minimum 0,04 rad.

Kata kunci: Ketahanan Gempa, Bangunan Industri, Struktur Baja, Kapasitas Sambungan Baja, Kapasitas Sudut Rotasi

1. Latar Belakang

Indonesia secara geografis terletak di area yang sangat rentan terhadap bencana gempa bumi. Posisi negara ini di persimpangan beberapa lempeng tektonik aktif menjadikannya salah satu wilayah dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia. Indonesia termasuk wilayah rawan terhadap gempa, karena berada di atas pertemuan tiga lempeng, yaitu Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia yang setiap saat dapat saling bertubrukan sehingga menghasilkan gempa tektonik (Simanjuntak, 2020).

Kondisi geografis Indonesia yang terletak di wilayah rawan gempa memaksa semua pembangunan infrastruktur, termasuk bangunan pabrik struktur baja, untuk dirancang sesuai standar ketahanan gempa. Standar ini tidak hanya menetapkan persyaratan desain dan konstruksi yang memastikan kekuatan dan stabilitas struktur, tetapi juga memandu pemilihan material struktur yang tepat. Baja tahan gempa dipilih karena memiliki sifat daktilitas dan elastisitas tinggi, sehingga mampu menyerap energi getaran gempa secara efektif. Dengan demikian, desain struktur baja tahan gempa menjadi kunci bagi keselamatan pekerja, perlindungan peralatan industri, dan kontinuitas operasional pabrik di kawasan rawan seismik.

Selain dimensi struktur utama bangunan seperti balok dan kolom yang memenuhi, kekuatan struktur juga harus memenuhi daktilitas. Menurut Yunus, dkk (2024) daktilitas pada baja mengacu pada kemampuannya untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan tanpa kerusakan permanen. Sifat ini penting dalam desain struktural karena memungkinkan material untuk menahan deformasi di bawah beban berat. Selama deformasi plastis, baja menyerap energi dan menghilangkan tegangan, sehingga meminimalkan risiko kegagalan struktural mendadak.

Analisis Struktur Sambungan Baja Tahan Gempa pada Bangunan Industri (Tinjauan: Bangunan Pabrik Kawasan Industri Wijayakusuma)

Kegagalan struktur biasanya terjadi karena adanya kelemahan pada sambungan, yang diakibatkan oleh kapasitas tahanan geser yang rendah serta kekakuan sambungan yang kurang sesuai dengan perencanaan. Material profil baja dipilih untuk konstruksi karena menawarkan kekuatan dan ketahanan yang unggul terhadap berbagai beban. Profil baja diprioritaskan karena karakteristik mekaniknya yang kuat, seperti kemampuan tarik yang tinggi dan tahan terhadap gaya lentur.

Dalam proses perancangan struktur bangunan, penting untuk memastikan sambungan memiliki ketahanan yang memadai agar tidak mengalami kerusakan parah akibat beban besar. Kerusakan pada sambungan tersebut biasanya disebabkan oleh kemampuan menahan gaya geser yang menurun dan kekakuan yang rendah, yang sering kali terkait dengan ketidakmampuan dalam menahan gaya lentur dan beban aksial.

Analisis pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas dari sambungan struktur baja terhadap tegangan dan regangan akibat beban gempa sesuai dengan SNI 1729:2020 struktur gedung baja dan SNI 7972:2020 sambungan baja terpraktualifikasi menggunakan bantuan program analisis struktur ETABS dan program analisis sambungan berbasis FEM untuk memberikan solusi lebih baik dalam perencanaan dan konstruksi bangunan industri tahan gempa.

2. Metode Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kawasan Industri Wijayakusuma, Kecamatan Tugu, Kota Semarang, Jawa Tengah.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: *Google Maps*, 2025)

2. Tahapan Analisis

Metode penelitian ini menggunakan analisis respon spektrum. Analisis menggunakan program *ETABS* Untuk mewujudkan uraian diatas maka Langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

1) Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam perencanaan ini antara lain:

1. SNI 1729:2020 (Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural)
2. SNI 7972:2020 (Sambungan Terpraktualifikasi untuk Rangka Momen Khusus dan Menengah Baja pada Aplikasi Langkah)
3. SNI 1727:2020 (Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain)
4. SNI 1726:2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung)

2) Pengumpulan Data

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, data yang digunakan sebagai dasar analisis terdiri atas dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui proses perhitungan dan analisis teknis yang dilakukan secara langsung oleh penulis. Kegiatan ini mencakup analisis struktur baja pada proyek Pekerjaan Pembangunan Bangunan Pabrik Siap Pakai/Gudang XIA di Kawasan Industri Semarang, dengan menggunakan data beban serta karakteristik material yang telah dikumpulkan. Hasil perhitungan tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menilai langkah keamanan dan kekuatan struktur yang direncanakan.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang dikumpulkan bersumber dari standar-standar terkait, seperti SNI 1729:2020, SNI 7972:2020. Standar-standar ini digunakan sebagai acuan untuk perhitungan beban, struktur, dan analisis kekuatan material.

3. Permodelan Struktur

1) Data Perencanaan

Nama Proyek : Pekerjaan Pembangunan Bangunan Pabrik Siap Pakai / Gudang XIA Di Kawasan Industri Semarang Tahun 2025
Jenis Bangunan : Bangunan Industri
Luas Bangunan : 5292 m²
Mutu Baja : BJ37
- fy : 240 MPa
- fu : 370 Mpa
Alat sambung yang digunakan : HTB-A 325

Tabel 1 Data Material $L = 21$ m

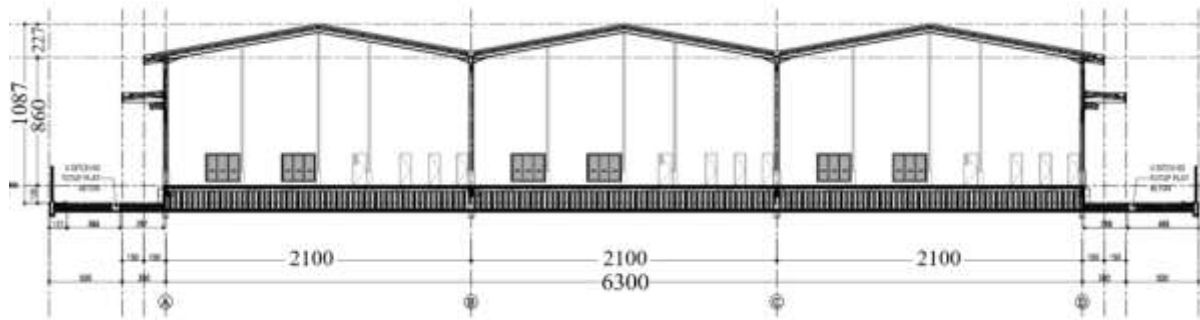
No.	Komponen	Profil Baja	M_p (kNm)
1.	Kolom	IWF 248.124.5.8	73,29
2.	Rafter	IWF 248.124.5.8	73,29
3.	Balok	IWF 248.124.5.8	73,29
4.	Gording	CNP 125.50.20.3,2	7,37
5.	Regel	CNP 125.50.20.3,2	7,37

(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)

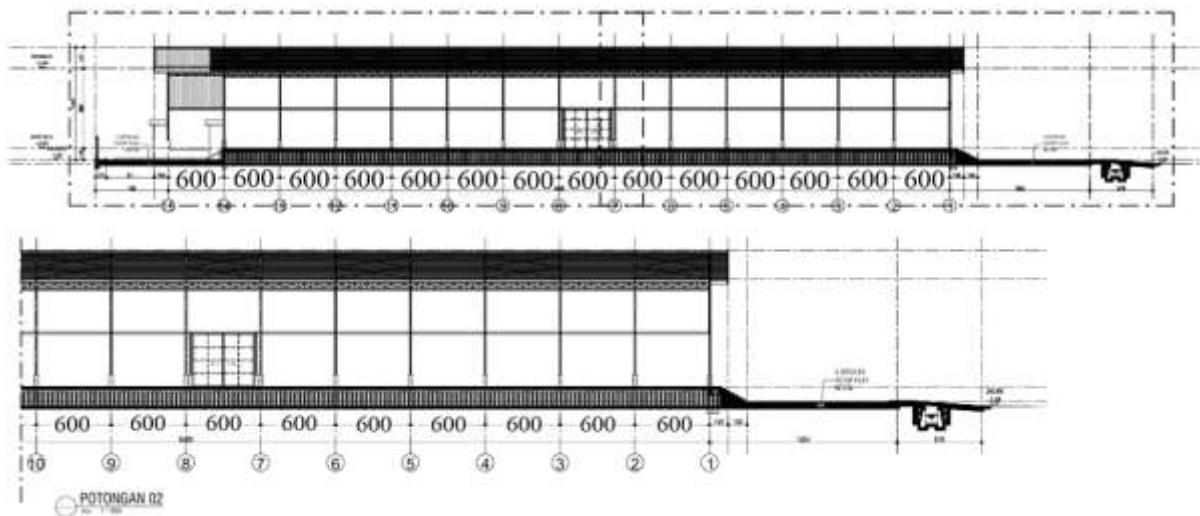
Tabel 2 Data Material $L = 40$ m

No.	Komponen	Profil Baja	M_p (kNm)
1.	Kolom	IWF 500.200.10.16	522,82
2.	Rafter	IWF 446.199.8.12	348,60
3.	Balok	IWF 300.150.6,5.9	130,30
4.	Gording	CNP 125.50.20.3,2	7,37
5.	Regel	CNP 200.75.20.3,2	18,53

(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 2 Potongan Melintang Bangunan
(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)



Gambar 3 Potongan Memanjang Bangunan
(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)

2) Perhitungan Pembebanan

Beban-beban yang dianalisis pada struktur baja mengikuti ketentuan yang tercantum dalam standar SNI, meliputi beberapa jenis beban utama sebagai berikut:

1. Beban mati, yang terdiri dari berat material baja itu sendiri, berat penutup atap, serta beban dari elemen-elemen tambahan lainnya.
2. Beban hidup, seperti beban yang berasal dari aktivitas manusia dan peralatan yang ada di dalam bangunan.
3. Beban angin, yang diperhitungkan dengan menggunakan koefisien tekanan dan hisap angin yang relevan berdasarkan posisi dan geometri bangunan.
4. Serta beban gempa, yang dianalisis sesuai dengan standar SNI 1726:2019 dengan mempertimbangkan tingkat kekakuan dan kekuatan struktur secara keseluruhan.

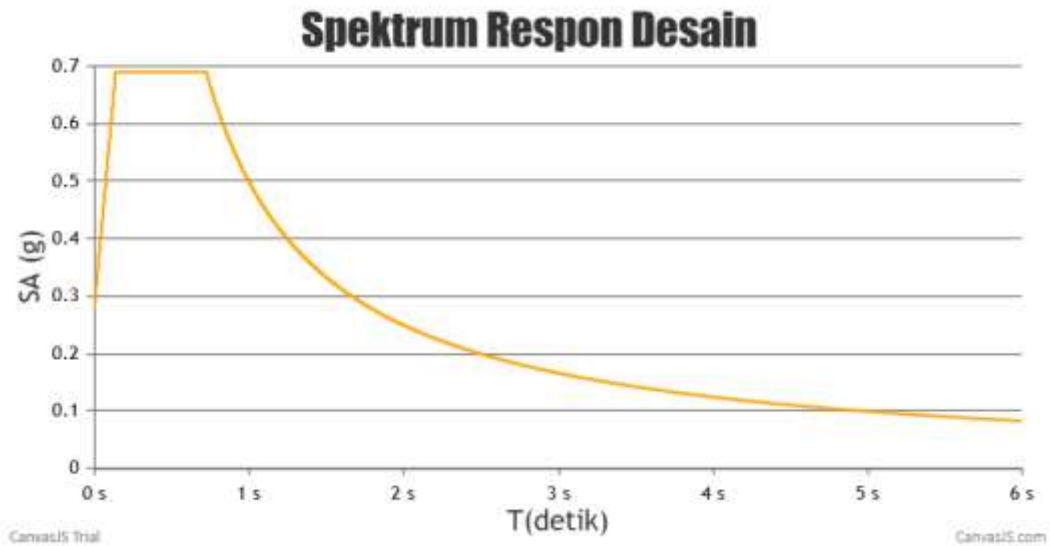
Melalui analisis ini, struktur diharapkan dapat dirancang dengan keamanan dan ketahanan yang memadai terhadap semua beban tersebut.

3) Respon Spektrum Desain Gempa Kota Semarang (Tanah Sedang)

Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah sedang yang berada di Kota Semarang. Berikut data-data respon spektrum linear:

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6853>
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

- $PGA = 0,40$ g
- $S_s = 0,85$ g
- $S_l = 0,37$ g
- Nilai $F_a = 1,16$
- Nilai $F_v = 1,93$
- $S_{MS} = 0,98$
- $S_{MI} = 0,71$
- $T_0 = 0,14$ s
- $T_s = 0,72$ s



Gambar 4 Grafik Respon Spektrum
 (Sumber: RSA Ciptakarya)

4) Kombinasi Pembebanan

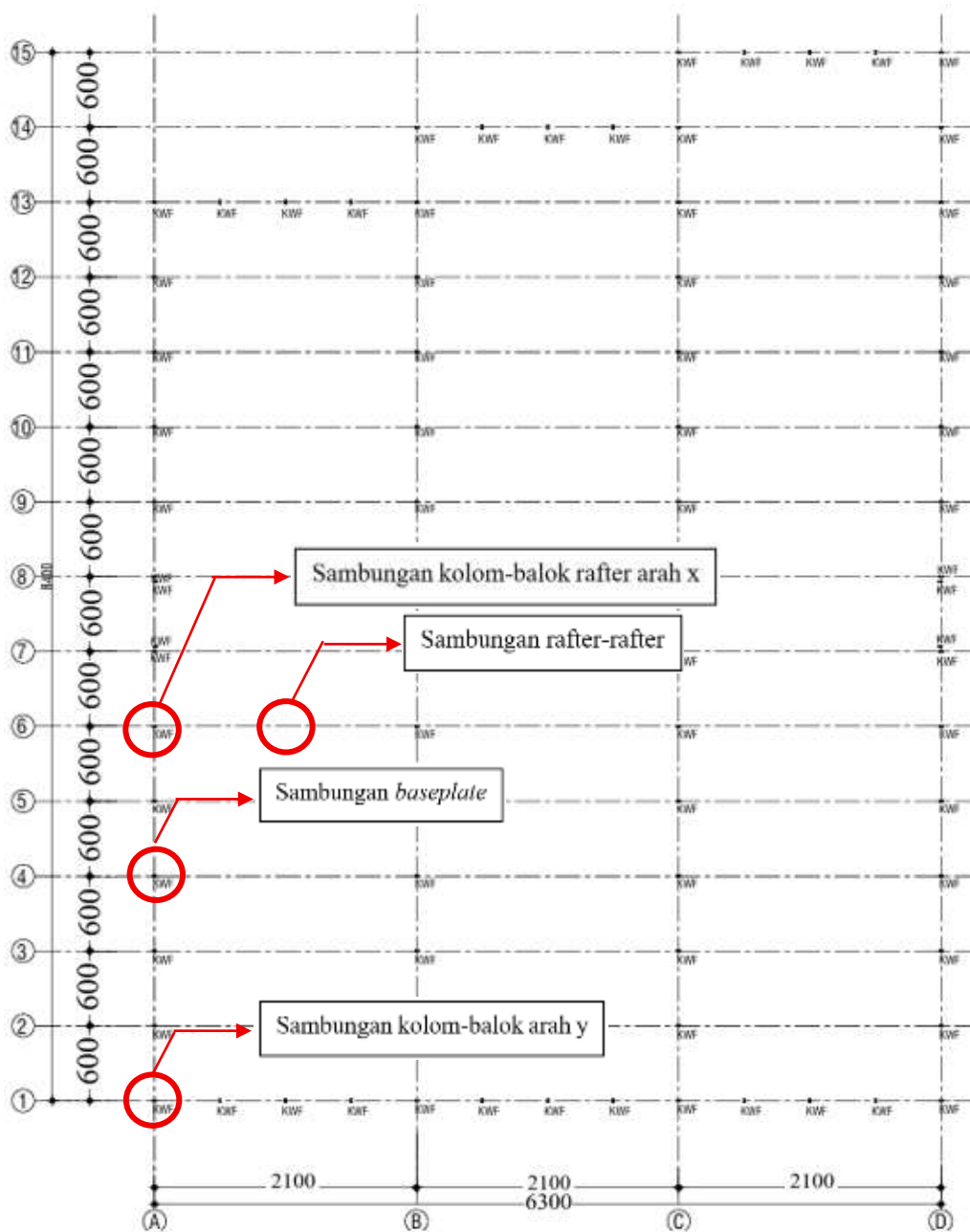
Tabel 3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi	D/SIDL	Live	Lr	R	W _x	W _y	Ex	Ey
1. KOMBINASI 1 = 1.4D								
1.1	1.4							
2. KOMBINASI 2 = 1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr atau R)								
2.1	1.2	1.6	0.5					
2.2	1.2	1.6		0.5				
3. KOMBINASI 3 = 1.2D + 1.6(Lr atau R) + (L atau 0.5 W)								
3.1	1.2	1	1.6					
3.2	1.2		1.6		0.5			
3.3	1.2		1.6			0.5		
3.4	1.2	1		1.6				
3.5	1.2			1.6	0.5			
3.6	1.2			1.6		0.5		

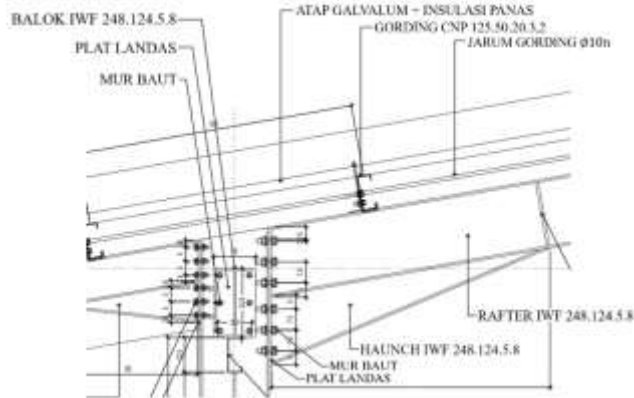
4. KOMBINASI 4 = 1.2D + 1.0W + L + 0.5 (Lr atau R)								
4.1	1.2	1	0.5		1			
4.2	1.2	1	0.5			1		
4.3	1.2	1		0.5	1			
4.4	1.2	1		0.5		1		
5. KOMBINASI 5 = 0.9D + 1.0W								
5.1	0.9				1			
5.2	0.9					1		
6. KOMBINASI 6 = 1.2D + Ev + Eh + L								
6.1	1.2	1					1.30	0.39
6.2	1.2	1					1.30	-0.39
6.3	1.2	1					-1.30	0.39
6.4	1.2	1					-1.30	-0.39
6.5	1.2	1					0.39	1.30
6.6	1.2	1					0.39	-1.30
6.7	1.2	1					-0.39	1.30
6.8	1.2	1					-0.39	-1.30
7. KOMBINASI 7 = 0.9 D - Ev + Eh								
7.1	0.7421						1.30	0.39
7.2	0.7421						1.30	-0.39
7.3	0.7421						-1.30	0.39
7.4	0.7421						-1.30	-0.39
7.5	0.7421						0.39	1.30
7.6	0.7421						0.39	-1.30
7.7	0.7421						-0.39	1.30
7.8	0.7421						0.39	-1.30

4. Analisis Sambungan

1) Detail Sambungan yang Dianalisis

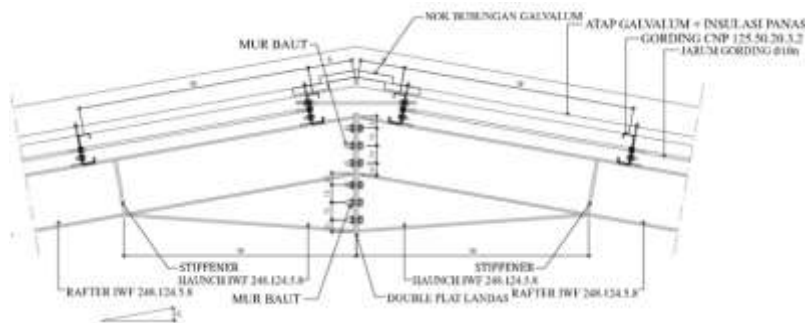


Gambar 2 Sambungan yang Akan Ditinjau
(Sumber : Dokumen Proyek, 2025)



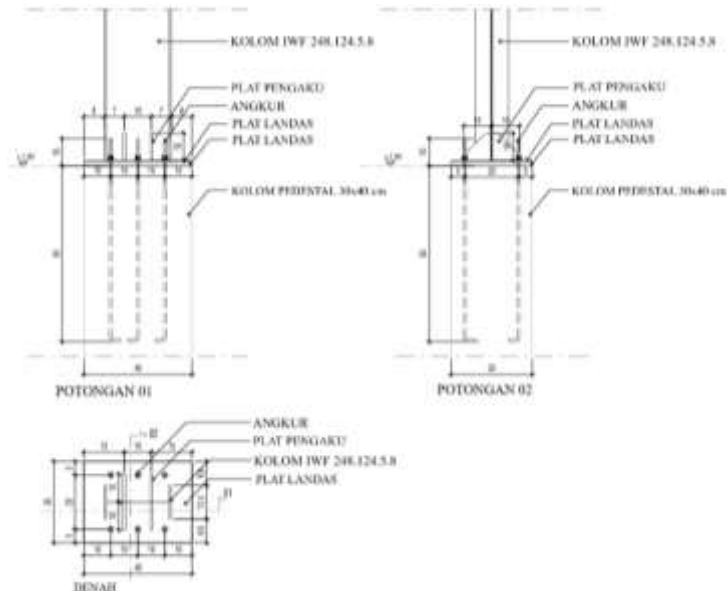
Gambar 6 Detail Sambungan Kolom-Balok Rafter
(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)

Seperti pada Gambar 6, sambungan kolom dan balok rafter berukuran mur baut 12Ø19. Plat landas t = 10 mm



Gambar 7 Detail Sambungan Rafter-Rafter
(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)

Seperti pada Gambar 7, sambungan balok dan balok berukuran mur baut 6Ø19. Double plat landas t = 10 mm



Gambar 3 Detail *Baseplate*
(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)

Seperti pada Gambar 8, sambungan *baseplate* berukuran mur baut 6Ø19 L = 750 mm. plat pengaku t = 10 mm. plat landas t = 10 mm

2) Memasukkan Beban

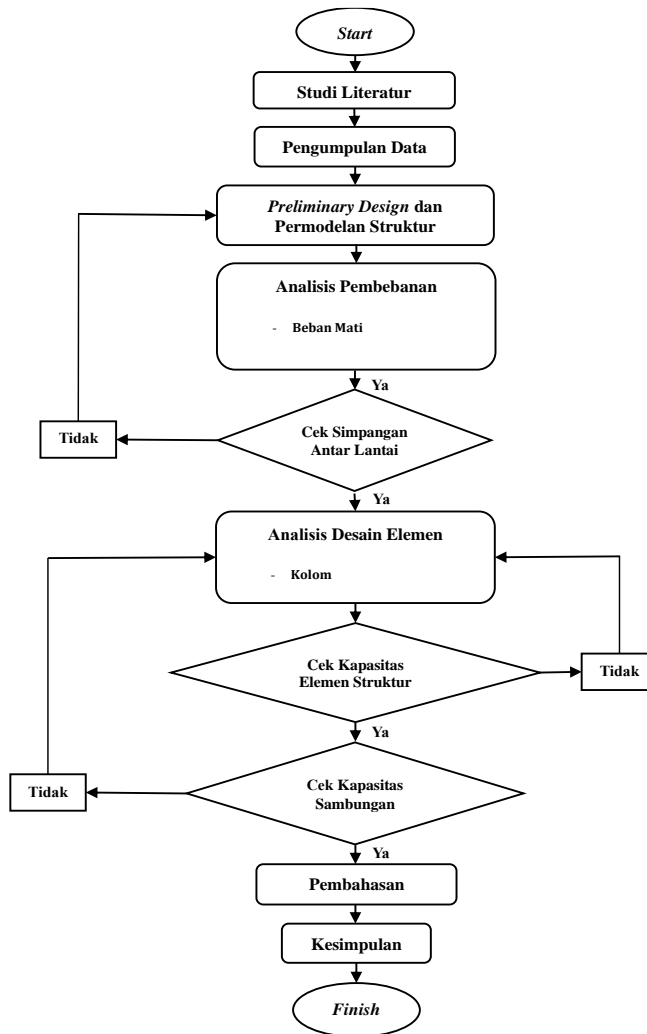
Pada program analisis sambungan berbasis FEM berbagai jenis beban yang ditanggung oleh struktur baja dimasukkan. Beban yang *diinput* pada *load effect* meliputi gaya normal, gaya geser, dan momen yang didapatkan dari analisis struktur untuk menganalisis daya dukung sambungan baja

3) Analisis Desain Sambungan

Hasil analisis sambungan pada perangkat lunak mencakup:

- Hasil Analisis Keseluruhan
Memberikan hasil perhitungan keseluruhan dari sambungan yang dirancang
- Hasil Analisis *Plate*
Mengevaluasi ketahanan dan kapasitas dari *plate* pada sambungan
- Hasil Analisis Baut
Menguji kekuatan baut dalam sambungan untuk memastikan kestabilan sambungan yang diterima

5. Bagan Alir



Gambar 9 Diagram Alir

3. Hasil dan Diskusi

1. Deskripsi Bangunan dan Sambungan

Struktur bangunan baja ini direncanakan sebagai bangunan tahan gempa dengan sistem rangka baja sebagai elemen struktur utamanya. Dalam perancangannya, analisis sambungan diperlukan untuk mengetahui ketahanan sambungan terhadap gaya gempa.

Bangunan tersebut difungsikan sebagai bangunan industri dengan nama Gedung Bangunan Pabrik Siap Pakai / Gudang XII A Di Kawasan Industri Semarang yang memiliki tinggi 11 meter, panjang 84 meter, dan lebar 21 meter. Selain kajian untuk bangunan industri bentang 21 meter, dalam studi ini juga dilakukan kajian untuk bentang 40 meter. Proses pemodelan dan analisis gaya-gaya dan perpindahan struktur untuk mendapatkan dimensi penampang, jenis profil, dan rasio kapasitas (D/C). Selanjutnya untuk mendapatkan kapasitas sambungan dilakukan analisis sambungan balok, kolom, dan *baseplate* untuk mendapatkan kapasitas sambungan tidak kurang dari kapasitas penampang atau gaya-gaya yang bekerja.

2. Perancangan Struktur

Bangunan industri struktur baja ini dimodelkan menggunakan program analisis struktur *ETABS* dan untuk analisis sambungan balok, kolom, dan *baseplate* menggunakan program analisis sambungan berbasis FEM.

1) Data Profil

Bentang 21 meter:

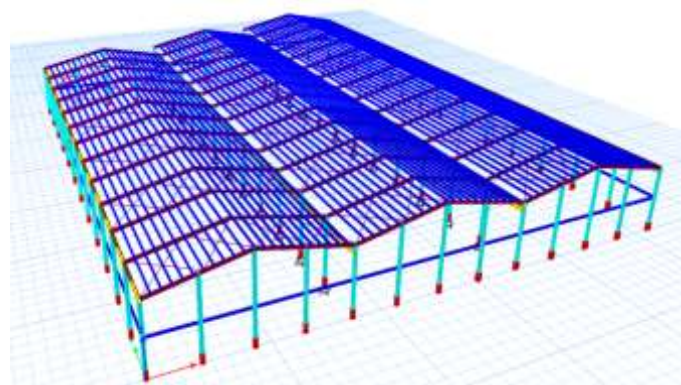
Kolom	: IWF 248.124.5.8
Rafter	: IWF 248.124.5.8
Balok	: IWF 248.124.5.8
Balok sabuk	: IWF 150.75.5.7
Gording	: CNP 125.50.20.3,2
Regel	: CNP 125.50.20.3,2

Bentang 40 meter:

Kolom	: IWF 500.200.12.20
Rafter	: IWF 446.119.8.12
Balok	: IWF 300.150.6.5.9
Balok sabuk	: IWF 350.250.9.14
Gording	: CNP 125.50.20.3,2
Regel	: CNP 200.75.20.3,2

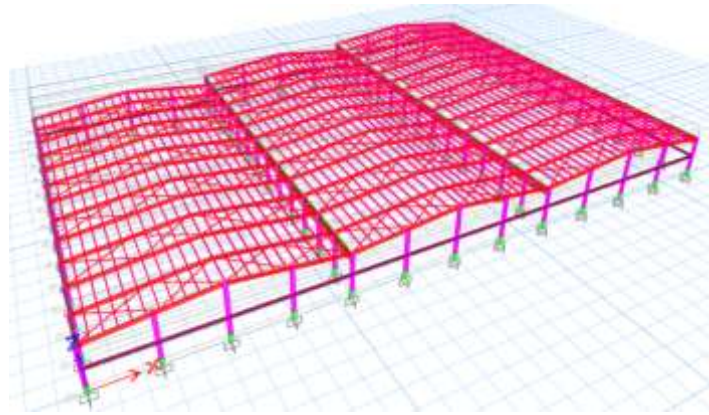
2) Permodelan Struktur

Ilustrasi permodelan struktur baja dengan $L = 21$ meter dan $L = 40$ meter dalam permodelan 3D seperti gambar dibawah ini.



Gambar 10 Permodelan Struktur $L = 21$ Meter

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6853>
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Gambar 11 Permodelan Struktur $L = 40$ Meter

3) Beban Gempa Respon Spektrum

Dalam merancang struktur gedung ini, pendekatan analisis respon spektrum diterapkan untuk mengevaluasi beban gempa, yang disesuaikan dengan data lokasi bangunan, yaitu Kota Semarang.

a) Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Bangunan ini dirancang dengan fungsi sebagai Gedung Bangunan Industri. Berdasarkan Tabel 1 dan 2 SNI 1726:2019 gedung ini termasuk kategori risiko II dan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) adalah 1, ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber: SNI 1726-2019)

b) Klasifikasi Situs

Pada SNI 1726:2019 pasal 5, klasifikasi situs ditentukan berdasarkan 3 faktor utama, yaitu nilai rata-rata tahanan penetrasi standar lapangan (N), kecepatan rata-rata gelombang geser (V_s), serta kekuatan milimir rata-rata.

Tabel 5 Hasil Uji N-SPT

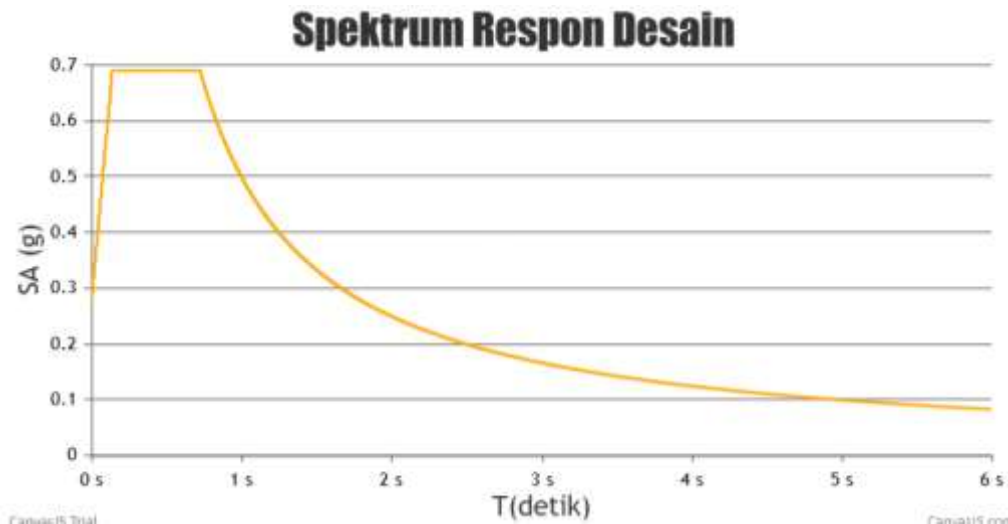
No	Kedalaman (m)	Perkedalaman (m)	N-SPT		Jumlah	Nilai Akhir
1	2	2	12	0,17		
2	4	2	17	0,12		
3	6	2	22	0,09		
4	8	2	23	0,09		
5	10	2	27	0,07		
6	12	2	24	0,08		
7	14	2	30	0,07		
8	16	2	28	0,07		
9	18	2	30	0,07		
10	20	2	34	0,06		
11	22	2	35	0,06		
12	24	2	33	0,06		
13	26	2	36	0,06		
14	28	2	35	0,06		
15	30	2	30	0,07		

(Sumber: Dokumen Proyek, 2025)

Berdasarkan pasal 5 SNI 1726:2019, data N-SPT pada tabel di atas dikategorikan sebagai Tanah Sedang (SD).

c) Parameter Respon Spektrum Gempa Terpetakan (Nilai S_s dan S_I)

Parameter respon spektrum gempa diperoleh dengan memasukkan koordinat lokasi bangunan ke dalam Aplikasi Respon Spektra Indonesia, yang dapat diakses melalui situs resmi Kementerian PUPR pada alamat (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>). Berdasarkan data dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Konstruksi dan Mitigasi Gempa Bumi (PUSKIM), parameter respon spektral gempa yang relevan ditampilkan pada Gambar 4.3. Nilai parameter tersebut adalah S_s sebesar 0,846 dan S_I sebesar 0,367.



Gambar 12 Grafik Respon Spektrum
 (Sumber: RSA Ciptakarya)

Sehingga diperoleh data Nilai Parameter Respon Spektrum pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 6 Data Parameter Respon Spektrum

Variabel	Nilai
PGA	0,400 g
S_s	0,846 g
S_I	0,367 g
F_a	1,162
F_v	1,933
S_{MS}	0,983 g
S_{M1}	0,710 g
S_{DS}	0,655 g
S_{D1}	0,473 g

(Sumber: SNI 1726-2019)

d) Kategori Desain Seismik (KDS)

Setelah nilai l_e ditetapkan sebesar 1, langkah selanjutnya adalah menentukan kategori desain seismik berdasarkan nilai S_{DS} . Dengan diketahui nilai $S_{DS} = 0,655$ dan $S_{D1} = 0,473$, maka kategori desain seismik yang direncanakan diklasifikasikan ke dalam kategori risiko D. Penjelasan lebih rinci dapat ditemukan pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut ini.

Tabel 7 Kategori Desain Seismik pada Periode Pendek

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 8 Kategori Desain Seismik pada Periode Pendek

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

Dengan demikian, nilai koefisien modifikasi respon, faktor kekuatan, serta faktor pembesaran defleksi dapat dihitung berdasarkan klasifikasi desain seismik kategori D. Informasi lebih rinci mengenai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 9 Sistem Pemikul Gaya Seismik

No	Sistem pemikul gaya seismik	R	Ω_0	Cd	B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19	Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20	Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21	Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22	Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23	Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24	Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26	Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen									
1	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3	Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10*	TI*	TI*
4	Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'

(Sumber: SNI 1726-2019)

4) Rasio Partisipasi Massa

Dari hasil analisis dengan menggunakan aplikasi, didapatkan nilai partisipasi modal massa sebagai berikut.

Tabel 10 Rasio Partisipasi Massa Bentang $L = 21$ m

Mode	Periode (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1,853	1,48E-05	0,812	7,09E-06	1,48E-05	0,812	7,09E-06
2	1,359	0,0002	0,001	0,331	0,0003	0,813	0,331
3	1,105	0,610	1,10E-05	4,85E-05	0,610	0,813	0,331
4	1,072	3,24E-06	3,27E-05	0,1746	0,610	0,813	0,506
5	1,033	0,041	0,0001	9,25E-06	0,651	0,813	0,506
6	1,001	8,07E-07	0,0001	0,0184	0,651	0,813	0,524
7	0,98	0,003	0,0001	5,70E-07	0,654	0,813	0,524
8	0,961	8,20E-06	0,049	0,0029	0,654	0,863	0,527
9	0,641	0,089	2,28E-05	0,1086	0,743	0,863	0,636
10	0,581	0,103	0	0,1535	0,845	0,863	0,789
11	0,569	0,001	1,66E-05	0,0001	0,846	0,863	0,789
12	0,405	0,015	0	0,0284	0,861	0,863	0,818
13	0,404	0,0001	0	0,0002	0,861	0,863	0,818
14	0,401	2,44E-05	0	0,0001	0,861	0,863	0,818
15	0,398	1,39E-05	0	1,64E-05	0,861	0,863	0,818
...
100	0,093	2,50E-06	0	1,87E-06	0,863	0,863	0,819
150	0,042	0	0	0	0,863	0,863	0,819
200	0,027	0	0	0	0,864	0,863	0,819
250	0,018	0,0007	0,0003	0,0001	0,880	0,910	0,857
300	0,014	0,0006	0	0,0009	0,905	0,917	0,900

(Sumber : Penulis, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada pemodelan bentang $L = 21$ m diketahui bahwa struktur mengalami translasi dengan presentase :

- Arah UX = 91%
- Arah UY = 92%
- Arah RZ = 90%

Tabel 11 Rasio Partisipasi Massa Bentang $L = 40$ m

Mode	Periode (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2,442	0,0612	8,49E-06	0,0402	0,0612	8,49E-06	0,0402
2	0,883	0	0,5307	0,0574	0,0612	0,5307	0,0976
3	0,823	0,0001	0,233	0,0645	0,0613	0,7638	0,1622
4	0,618	1,81E-06	0,0069	0,1396	0,0613	0,7707	0,3017
5	0,537	0,0706	1,51E-05	0,0332	0,1319	0,7707	0,3349
6	0,531	0,4423	0	0,0263	0,5742	0,7707	0,3612
7	0,53	8,4E-07	0	0,0764	0,5742	0,7707	0,4376
8	0,53	0,0231	0	0,0016	0,5973	0,7707	0,4392
9	0,529	5,6E-06	0	0,0041	0,5973	0,7707	0,4433
10	0,513	0,0493	3,48E-05	0,0235	0,6465	0,7707	0,4668

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6853>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

11	0,468	0,0005	0,0645	3,78E-06	0,647	0,8352	0,4668
12	0,325	0,0525	0,0001	0,0175	0,6995	0,8353	0,4843
13	0,314	0,0957	0,0036	0,1036	0,7953	0,8389	0,5879
14	0,307	0,056	0,0005	0,1898	0,8513	0,8394	0,7777
15	0,301	0,0019	0,033	0,0123	0,8532	0,8724	0,7899
...
100	0,046	0	0	0	0,811	0,808	0,768
150	0,025	1,3E-06	0	0	0,811	0,808	0,768
200	0,014	0	0	0	0,812	0,808	0,768
250	0,01	0	3,45E-06	0	0,812	0,952	0,914
300	0,007	0	0	0,0001	0,934	1,000	0,982

(Sumber : Penulis, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada pemodelan bentang $L = 40$ m diketahui bahwa struktur mengalami translasi dengan presentase:

- Arah UX = 93%
- Arah UY = 100%
- Arah RZ = 98%

5) Faktor Skala Gempa

a) Perhitungan Koefisien Respon Seismik (C_s)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 menjadi dasar perhitungan nilai C_s . Nilai C_s pada arah X dan Y harus dibandingkan antara nilai maksimum dan nilai minimum. Berikut rumus C_s , C_s min, dan C_s max arah X dan Y:

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

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Perhitungan C_s menggunakan nilai periode (T) dari hasil analisis program dan perhitungan manual yang tercantum di SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 hasil perhitungan yang didapat dari pemodelan sebagai berikut:

- Periode maksimum
T max = 0,684 s
- Periode pakai
T arah X = 0,684 s
T arah Y = 0,684 s

Maka nilai C_s ,

- $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,655}{\left(\frac{3,5}{1}\right)}$
- $C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e = 0,044 \times 0,655 \times 1 = 0,029$
- $C_s \text{ max X} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,473}{0,684 \left(\frac{3,5}{1}\right)} = 0,198$

$$Cs \max Y = \frac{SD_1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,473}{0,684 \left(\frac{3,5}{1}\right)} = 0,198$$

b) Perhitungan Faktor Skala Gaya

Hasil perhitungan gaya dasar seismik melalui metode statik dan analisis dinamik untuk arah sumbu X dan Y yang dihasilkan oleh analisis program disajikan pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 12 Output Seismik Statik dan Dinamik Pemodelan Bentang $L = 21$ m

Bentang (m)	Gaya Statik (Vs)		Gaya Dinamik (Vrs)	
	X (kN)	Y (kN)	X (kN)	Y (kN)
21	113,53	113,53	51,95	36,10
40	382,92	382,92	200,72	236,43

(Sumber: Penulis, 2026)

Gaya geser dasar V_x dan V_y pada arah sumbu X dan Y harus dihitung sesuai pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019, dengan mempertimbangkan ketentuan Pasal 7.9.2.5.2. Rumus faktor skala gaya geser dasar yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\eta_x = \frac{V_{x \text{ statik}}}{V_{x \text{ dinamik}}} \geq 1,0 = \frac{113,5287}{51,9465} = 2,19$$

$$\eta_y = \frac{V_{y \text{ statik}}}{V_{y \text{ dinamik}}} \geq 1,0 = \frac{113,5287}{36,1022} = 3,15$$

Faktor skala gempa sebelumnya dikalikan dengan hasil perhitungan faktor skala gempa diatas. Didapatkan hasil gaya geser terskala pemodelan seperti pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 13 Output Gaya Geser Statik dan Dinamik Terskala Pemodelan

Bentang (m)	Gaya Statik (Vs)		Gaya Dinamik (Vrs)	
	X (kN)	Y (kN)	X (kN)	Y (kN)
21	113,53	113,53	113,85	113,73
40	382,92	382,92	384,96	385,38

(Sumber: Penulis, 2026)

Menurut SNI 1726:2019, nilai dinamik digunakan sebagai referensi desain utama, seperti yang ditunjukkan pada tabel, menunjukkan bahwa gaya geser dinamis lebih besar daripada gaya geser statik, sehingga menghasilkan $V_{dinamik} > V_{statik}$.

6) Pengecekan Simpangan Antar Tingkat

Parameter yang digunakan dalam kriteria persyaratan simpangan berdasarkan SNI 1726:2019 adalah:

- a. Faktor pembesaran defleksi (Cd) = 3,0 (Tabel 12 SNI 1726:2019),
- b. Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
- c. Simpangan antar lantai izin berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 7.12.1 untuk sebuah gedung kategori risiko II adalah $0,020h_{sx}$, di mana h adalah tinggi tingkat.

Berikut perhitungan dalam mencari simpangan antar tingkat.

$$\delta_{xe} = 18,64 \text{ mm}$$

$$\Delta_x = \delta_{xe} - \delta_{xe-1}$$

$$= 18,64 - 0$$

$$= 18,64 \text{ mm}$$

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

$$= \frac{3 \times 18,64}{1,0}$$

$$= 55,91 \text{ mm}$$

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx}$$

$$= 0,020 \times 10870 \text{ mm}$$

$$= 217,40 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisis program, nilai simpangan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 142 Simpangan Antar Tingkat

Bentang (m)	h (mm)	Simpangan Elastis		Simpangan Antar Tingkat		Batas Izin 0,02h _{sx} (mm)
		δ _{xe} (mm)	δ _{ye} (mm)	Δ _x (mm)	Δ _y (mm)	
21	10870	18,64	34,23	55,91	102,70	217,40
40	10870	10,60	23,54	31,79	70,61	217,40

(Sumber: Penulis, 2026)

Hasil analisis struktur menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat pada arah x dan y untuk bentang 21 m dan 40 m masih berada di bawah batas izin simpangan sebesar 217,40 mm. Simpangan rencana terbesar terjadi pada bentang 21 m, yaitu sebesar 55,91 mm pada arah x dan 102,70 mm pada arah y. Dengan demikian, simpangan antar tingkat struktur telah memenuhi ketentuan batas yang dipersyaratkan.

7) Pengecekan Terhadap Pengaruh P-Delta

Sesuai pada Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019 pengaruh P-Delta pada struktur perlu diperhitungkan. Pengaruh P-Delta dibandingkan terhadap nilai koefisien stabilitas (θ) yang dihitung berdasarkan Persamaan 45 SNI1726:2019.

a. Perhitungan Koefisien Stabilitas

Beban desain vertikal total, P	= 2700,43 kN
Gaya geser seismik, V	= 113,85 kN
Tinggi bangunan, h	= 10870 mm
Faktor pembesaran defleksi, C _d	= 3
Simpangan antar tingkat	= 55,91 mm

Koefisien stabilitas dihitung dengan persamaan berikut:

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d}$$

$$\theta = \frac{2700,43 \times 55,91 \times 1}{113,85 \times 10870 \times 3} = 0,041$$

b. Batas Koefisien Stabilitas Maksimum

Rasio kebutuhan geser, $\beta = 1$

Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 3$

Batas Koefisien stabilitas, $\theta_{max} = \frac{0,5}{(\beta \times C_d)} < 0,25$
 $= 0,167$

c. Pengecekan Koefisien Stabilitas terhadap Batas Ijin

$\theta = 0,041 < 0,167$

Tabel 15 Pengaruh P-Delta

Bentang (m)	Koefisien Stabilitas		Batas Koefisien Stabilitas (θ_{max})
	θ_x	θ_y	
21	0,041	0,075	0,167
40	0,007	0,015	0,167

(Sumber : Penulis, 2026)

Hasil analisis struktur menunjukkan bahwa koefisien stabilitas pada arah x dan y untuk bentang 21 m dan 40 m masih berada di bawah batas izin koefisien sebesar 0,167. Koefisien stabilitas terbesar terjadi pada bentang 21 m, yaitu sebesar 0,041 pada arah x dan 0,075 pada arah y. Dengan demikian, koefisien stabilitas struktur telah memenuhi ketentuan batas yang dipersyaratkan.

3. Desain Elemen Struktur Bentang $L = 21$ meter

Perencanaan dan evaluasi elemen struktur baja pada rafter, kolom, dan balok dalam dokumen ini mengacu pada ketentuan SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, dengan parameter mutu baja $f_y = 240$ MPa dan modulus elastisitas $E = 200.000$ MPa. Pada rafter arah X dengan profil awal IWF $248 \times 124 \times 5 \times 8$, hasil analisis program menunjukkan momen terfaktor $M_u = 108,52$ kN.m dan geser $V_u = 33,00$ kN. Berdasarkan klasifikasi penampang, sayap dan badan tergolong kompak karena memenuhi batas kelangsingan $\lambda \leq 0,38\sqrt{E/F_y}$ untuk sayap dan $\lambda \leq 3,76\sqrt{E/F_y}$ untuk badan, sehingga kapasitas lentur plastis teoritis dapat dihitung dari $M_p = Z_x F_y$ sebesar 73,29 kN.m. Namun, karena panjang tak terbracing L_b (10,74 m) melebihi L_r (4,33 m), kapasitas lentur dikontrol oleh tekuk lateral-torsional (LTB) sesuai Bab F2 SNI 1729:2020, menghasilkan $M_n = 18,27$ kN.m. Output program memberikan $\phi M_n = 65,96$ kN.m, sehingga rasio $M_u/\phi M_n = 1,65 \geq 1,0$ dan profil dinyatakan tidak memenuhi syarat. Sebaliknya, kapasitas geser memenuhi karena $\phi V_n = 160,70$ kN $\geq V_u$.

Untuk mengatasi ketidakcukupan tersebut, profil diperbesar menjadi IWF $350 \times 175 \times 7 \times 11$. Dengan properti penampang yang lebih besar ($Z_x = 715.400$ mm³), kapasitas plastis meningkat menjadi 171,70 kN.m. Walaupun L_b tetap lebih besar dari L_r (6,43 m), kapasitas LTB meningkat sehingga $\phi M_n = 154,52$ kN.m dan rasio $M_u/\phi M_n = 0,93 \leq 1,0$, sehingga profil memenuhi ketentuan kekuatan lentur menurut SNI 1729:2020.

Pada elemen kolom dengan profil awal IWF $248 \times 124 \times 5 \times 8$ ($L = 7,6$ m), analisis tekan menunjukkan salah satu elemen badan tergolong langsing. Nilai $KL/r = 267,61$ menunjukkan perilaku tekuk elastis, sedangkan evaluasi tekuk puntir menghasilkan $F_{cr} = 117,6$ MPa. Kapasitas tekan rencana $\phi P_n = 335,6$ kN dengan rasio $P_u/\phi P_n = 0,25$. Namun, ketika dikombinasikan dengan momen dua arah sesuai persamaan interaksi (karena $P_u/\phi P_n \geq 0,2$), diperoleh nilai interaksi $3,56 \geq 1,0$, sehingga kolom tidak memenuhi persyaratan kekuatan kombinasi tekan-lentur menurut SNI 1729:2020.

Profil kolom kemudian diperbesar menjadi IWF $300 \times 200 \times 8 \times 12$. Dengan luas dan momen inersia yang lebih besar, diperoleh $F_{cr} = 165,6$ MPa dan $\phi P_n = 1.067,13$ kN, dengan rasio $P_u/\phi P_n = 0,13$. Evaluasi lentur menunjukkan $\phi M_{nx} = 186,62$ kN.m dan rasio interaksi akhir sebesar $0,97 \leq 1,0$, sehingga kolom memenuhi persyaratan desain.

Sementara itu, balok arah Y dengan profil IWF $248 \times 124 \times 5 \times 8$ ($L = 6$ m) menerima $M_u = 10,00$ kN.m dan $V_u = 1,90$ kN. Penampang tergolong kompak, dan walaupun secara teoritis $L_b > L_r$ sehingga diperhitungkan efek LTB, kapasitas rencana $\phi M_n = 65,96$ kN.m menghasilkan rasio $0,15 \leq 1,0$. Kapasitas geser juga aman ($\phi V_n = 160,70$ kN $\geq V_u$). Dengan demikian, balok arah Y memenuhi ketentuan kekuatan lentur dan geser berdasarkan SNI 1729:2020. Secara keseluruhan, proses evaluasi menunjukkan pentingnya kontrol tekuk lateral-torsional dan interaksi tekan-lentur dalam menentukan kecukupan profil baja, serta perlunya pembesaran dimensi ketika rasio desain melampaui batas 1,0 sesuai ketentuan standar.

4. Desain Elemen Struktur Bentang $L = 40$ meter

Perencanaan elemen struktur baja pada penelitian ini mengacu pada ketentuan SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural dengan metode desain berbasis faktor beban dan ketahanan (LRFD). Evaluasi dilakukan terhadap elemen rafter arah X, kolom utama, dan balok arah Y dengan mutu baja $f_y = 240$ MPa dan modulus elastisitas $E = 200.000$ MPa. Pendekatan ini menekankan verifikasi terhadap kuat lentur, kuat tekan, serta kapasitas geser nominal yang direduksi faktor tahanan (ϕ), sehingga rasio antara gaya dalam ultimit dan kapasitas rencana ($M_u/\phi M_n$ atau $P_u/\phi P_n$) tidak melebihi 1,0 sesuai prinsip keamanan struktur baja (SNI 1729:2020).

Pada rafter arah X profil IWF $446 \times 199 \times 8 \times 12$ dengan panjang 20,13 m, diperoleh $M_u = 259,41$ kN.m dan $V_u = 42,54$ kN. Klasifikasi penampang menunjukkan sayap dan badan tergolong kompak karena nilai rasio lebar–tebal memenuhi batas $0,38\sqrt{E/F_y}$ untuk sayap dan $3,76\sqrt{E/F_y}$ untuk badan (SNI 1729:2020 Bab B4). Kondisi kompak memungkinkan pengembangan kapasitas plastis penuh dengan $M_n = M_p = Z_x F_y = 348,60$ kN.m. Namun, karena panjang tidak terbracing ($L_b = 20,13$ m) lebih besar dari $L_r = 6,53$ m, maka kapasitas lentur dikontrol oleh tekuk lateral-torsi (LTB) sesuai Bab F2. Tegangan kritis F_{cr} dihitung sebesar 50,89 MPa sehingga M_n (LTB) = 65,60 kN.m secara teoritis. Berdasarkan output program analisis struktur, diperoleh $\phi M_n = 313,74$ kN.m dengan rasio $M_u/\phi M_n = 0,83 \leq 1,0$, sehingga profil dinyatakan memenuhi syarat. Untuk geser, kapasitas rencana $\phi V_n = 462,41$ kN jauh lebih besar dari $V_u = 42,54$ kN, sehingga aman terhadap geser (SNI 1729:2020 Pasal G2).

Perhitungan kolom menggunakan profil IWF $500 \times 200 \times 10 \times 16$ dengan tinggi 7,6 m, menghasilkan $M_u = 349,60$ kN.m dan $P_u = 119,61$ kN. Klasifikasi penampang menunjukkan sayap tidak langsing, sedangkan badan tergolong langsing untuk tekan. Nilai kelangsingan $KL/r_{min} = 175,52$ melebihi batas transisi inelastik sehingga kolom berada pada daerah tekuk elastis. Tegangan kritis tekuk lentur dan puntir dihitung melalui parameter F_e dan menghasilkan $F_{cr} \approx 0,63 F_y$. Dengan demikian, kapasitas tekan nominal $P_n = 1.735,19$ kN dan $\phi P_n = 1.561,67$ kN. Rasio $P_u/\phi P_n = 0,08$ menunjukkan kapasitas tekan sangat mencukupi. Untuk lentur, penampang tergolong kompak sehingga $M_p-x = 522,82$ kN.m. Dengan mempertimbangkan LTB ($L_b = 7,6$ m $>$ $L_r = 6,94$ m), diperoleh M_n (LTB) = 632,89 kN.m, dan dari hasil program $\phi M_{nx} = 470,53$ kN.m serta $\phi M_{ny} = 72,39$ kN.m. Rasio lentur masing-masing 0,74 dan 0,11, masih di bawah 1,0. Interaksi tekan–lentur memenuhi persamaan interaksi karena nilai kombinasi $0,89 \leq 1,0$, sesuai ketentuan Bab H (SNI 1729:2020). Kapasitas geser kolom juga aman dengan $\phi V_n = 648$ kN $\geq V_u = 85,32$ kN.

Balok arah Y menggunakan profil IWF $300 \times 150 \times 6,5 \times 9$ dengan panjang 6 m, $M_u = 16,81$ kN.m dan $V_u = 5,12$ kN. Penampang diklasifikasikan kompak sehingga $M_p-x = 130,3$ kN.m. Karena $L_b = 6$ m melebihi $L_r = 5,17$ m, maka kapasitas dikontrol LTB dengan M_n (LTB) = 69,10 kN.m. Output program menunjukkan $\phi M_n = 117,27$ kN.m dengan rasio $M_u/\phi M_n = 0,14 \leq 1,0$. Kapasitas geser rencana $\phi V_n = 252,72$ kN jauh lebih besar dari gaya geser terfaktor, sehingga aman.

Rekapitulasi hasil menunjukkan bahwa peningkatan bentang secara signifikan meningkatkan tuntutan kapasitas momen. Pada bentang 21 m, profil IWF 248×124×5×8 tidak aman untuk rafter (rasio 1,65), sedangkan profil IWF 350×175×7×11 memenuhi syarat (rasio 0,93). Untuk bentang 40 m, profil IWF 446×199×8×12 dinyatakan aman (rasio 0,83). Hal serupa terjadi pada kolom; profil kecil pada bentang 21 m tidak memenuhi syarat (rasio 3,56), sementara profil yang lebih besar memberikan rasio <1,0. Pada balok arah Y, seluruh profil menunjukkan rasio jauh di bawah 1,0, menandakan kapasitas momen lebih besar dibanding beban kerja.

Secara keseluruhan, evaluasi berdasarkan SNI 1729:2020 menegaskan bahwa pemilihan dimensi profil harus mempertimbangkan klasifikasi penampang, panjang tidak terbracing, serta interaksi gaya dalam. Elemen dengan rasio $\leq 1,0$ dinyatakan memenuhi kriteria kekuatan dan stabilitas, sedangkan profil dengan rasio $>1,0$ perlu ditingkatkan dimensinya. Hasil ini menunjukkan bahwa profil IWF 446×199×8×12 untuk rafter bentang 40 m, IWF 500×200×10×16 untuk kolom, dan IWF 300×150×6,5×9 untuk balok arah Y telah memenuhi persyaratan kekuatan lentur, tekan, dan geser sesuai standar perencanaan baja yang berlaku.

5. Analisis Sambungan

Analisis sambungan struktur baja pada bentang $L = 21$ m menunjukkan bahwa performa sambungan sangat dipengaruhi oleh proporsi dimensi profil, kapasitas elemen pengikat (baut dan las), serta ketentuan desain struktur tahan gempa yang mengacu pada SNI 1729:2020 dan SNI 7972:2020. Pada konfigurasi awal sambungan kolom-rafter arah X dengan profil IWF 248 × 124 × 5 × 8 untuk kolom dan rafter, mutu baja BJ37 ($f_y = 240$ MPa), baut ASTM ($f_y = 660$ MPa), pelat ujung 16 mm, baut diameter 22 mm, dan las 10 mm, diperoleh gaya dalam $M_u = 108,5$ kNm dan $V_u = 33$ kN. Hasil analisis menunjukkan rasio tegangan pelat sebesar 114% ($>5\%$), tegangan baut 174,3% ($>100\%$), dan las 108% ($>100\%$) sehingga dinyatakan tidak memenuhi syarat (Tabel 4.16). Kegagalan ini menunjukkan bahwa kapasitas plastis penampang dan komponen sambungan tidak mampu menahan kombinasi gaya tarik dan geser yang terjadi. Selain itu, dimensi kolom dan rafter yang identik menyebabkan tidak terpenuhinya prinsip strong column-weak beam, di mana kolom seharusnya memiliki kapasitas minimal 10–20% lebih besar dibanding balok agar mekanisme plastisasi terjadi pada balok dan bukan pada kolom.

Perencanaan ulang dilakukan dengan memperbesar profil menjadi kolom IWF 300 × 200 × 8 dan rafter IWF 350 × 175 × 7, pelat ujung 14 mm, baut diameter 20 mm, dan las 6 mm. Dengan beban $M_u = 144,4$ kNm dan $V_u = 33,6$ kN, hasil analisis menunjukkan seluruh komponen memenuhi syarat: rasio pelat 0,2%, baut 63,3%, dan las 76,6% (Tabel 4.17). Pemeriksaan manual berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J3-1 menunjukkan kapasitas tarik baut sebesar 146 kN ≥ 92 kN dan kapasitas geser $87,6$ kN $\geq 3,9$ kN sehingga aman. Kapasitas las juga memenuhi dengan rasio 0,76. Distribusi gaya pada 12 baut (Tabel 4.18) memperlihatkan rasio maksimum sekitar 63%, sementara tegangan pelat dan stiffener (Tabel 4.19) seluruhnya berada dalam kategori OK. Analisis kekakuan rotasi menghasilkan $M_j, Rd = 179,7$ kNm dan $\phi_c = 0,058$ rad (Tabel 4.20), memenuhi kriteria daktilitas minimum 0,04 rad untuk SRPM. Grafik hubungan momen-rotasi (Gambar 4.5) menunjukkan $Med/M_j, Rd = 0,78 \leq 1$ sehingga sambungan aman secara kapasitas lentur.

Pada sambungan rafter-rafter bentang 21 m dengan profil IWF 248 × 124, hasil analisis menunjukkan rasio baut 81,3%, pelat 0,8%, dan las 77,8% (Tabel 4.21), sehingga memenuhi syarat. Rasio kapasitas momen sebesar 0,80 (Gambar 4.7). Ketika profil diperbesar menjadi IWF 350 × 175, kapasitas meningkat signifikan dengan rasio baut 67,9% dan pelat 0,1% (Tabel 4.24), serta rasio momen 0,59 (Gambar 4.8), menunjukkan peningkatan margin keamanan dan kekakuan.

Sambungan kolom-balok arah Y bentang 21 m pada konfigurasi awal (IWF 248 × 124) menunjukkan rasio baut 65% dan pelat 2,9% (Tabel 4.27), dengan kapasitas rotasi 0,045 rad (Tabel 4.30), sehingga memenuhi ketentuan SRPM. Setelah profil diperbesar (kolom IWF 300 × 200 × 8), rasio baut menjadi 80,5% namun tetap di bawah batas 1,0 (Tabel 4.31). Kapasitas momen $Med/M_j, Rd = 0,88$ (Gambar 4.11) dan rotasi 0,045 rad (Tabel 4.34) tetap memenuhi syarat.

Analisis baseplate bentang 21 m pada profil awal menunjukkan kegagalan pada pelat dengan rasio 44,6% ($>5\%$) meskipun angkur, las, dan blok beton aman (Tabel 4.35). Setelah profil kolom diperbesar menjadi IWF 300 × 200 × 8 dan pedestal beton ditingkatkan menjadi 350 × 450 mm, seluruh komponen memenuhi syarat (Tabel 4.36). Kapasitas angkur sebesar $178,2$ kN $\geq 132,4$ kN, serta kapasitas tekan beton 19 MPa $\geq 9,5$ MPa. Rasio momen 0,63 (Gambar 4.13) menunjukkan kinerja lentur yang aman.

Pada bentang $L = 40$ m dengan profil kolom IWF $500 \times 200 \times 10 \times 16$ dan rafter IWF $446 \times 199 \times 8 \times 12$, hasil analisis sambungan kolom-rafter menunjukkan rasio baut 51,7%, pelat 0,2%, dan las 76,4% (Tabel 4.39). Kapasitas tarik baut $266,4 \text{ kN} \geq 137,8 \text{ kN}$ dan rasio momen 0,63 (Gambar 4.14) menunjukkan keamanan struktural. Namun kapasitas rotasi tercatat 0,049 rad (Tabel 4.42), menunjukkan daktilitas cukup untuk SRPM. Sambungan rafter-rafter bentang 40 m juga memenuhi dengan rasio baut 74,6% dan las 95% (Tabel 4.43), serta rasio momen 0,73 (Gambar 4.15). Sambungan kolom-balok arah Y bentang 40 m menunjukkan rasio baut 81% dan pelat 3,7% (Tabel 4.46), dengan kapasitas rotasi 0,078 rad (Tabel 4.49) dan rasio momen 1,0 (Gambar 4.16), tepat pada batas kapasitas namun masih memenuhi.

Baseplate bentang 40 m dengan angkur F1554 Gr.105 diameter 31,75 mm menunjukkan seluruh komponen aman (Tabel 4.50). Kapasitas tarik angkur $376,3 \text{ kN} \geq 183,4 \text{ kN}$ dan kapasitas tekan beton $18,6 \text{ MPa} \geq 14 \text{ MPa}$. Rasio momen 0,91 (Gambar 4.17) menunjukkan desain mendekati kapasitas maksimum namun tetap dalam batas aman.

Secara keseluruhan, rekapitulasi pada Tabel 4.54–4.57 menunjukkan bahwa pada bentang 21 m, konfigurasi awal gagal pada sambungan kolom-rafter dan baseplate, namun setelah pembesaran profil seluruh sambungan memenuhi kriteria kekuatan dan daktilitas. Pada bentang 40 m, seluruh sambungan sejak awal telah memenuhi syarat kapasitas gaya, tegangan pelat, dan kekakuan rotasi. Tabel 4.58 menunjukkan seluruh nilai $\phi_c \geq 0,04$ rad, menandakan perilaku daktil sesuai persyaratan struktur rangka pemikul momen. Sementara itu, Tabel 4.59 menunjukkan seluruh rasio $M_u/M_j, R_d \leq 1$, menegaskan bahwa kapasitas momen sambungan lebih besar dibanding tuntutan analisis struktur.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa optimasi dimensi profil, ketebalan pelat ujung, diameter dan jumlah baut, serta konfigurasi pengaku sangat menentukan kinerja sambungan baja, terutama dalam memenuhi prinsip strong column-weak beam dan daktilitas struktur tahan gempa. Re-desain profil terbukti meningkatkan kapasitas momen, rotasi, dan keamanan sambungan secara signifikan pada bentang 21 m, sementara pada bentang 40 m konfigurasi awal sudah memadai secara struktural.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa: A). Berdasarkan analisis dan perhitungan struktur baja bangunan industri dengan bentang $L = 21$ m dan $L = 40$ m dapat disimpulkan sebagai berikut: a). Analisis struktur baja bangunan industri dengan bentang $L = 21$ m, untuk balok rafter arah x dimensi profil IWF $248 \times 124 \times 5 \times 8$ rasio tegangannya adalah $1,65 > 1,0$ dan dimensi kolom IWF $248 \times 124 \times 5 \times 8$ rasio tegangannya adalah $3,56 > 1,0$ sehingga tidak memenuhi persyaratan. Agar memenuhi persyaratan dimensi profil balok rafter arah x yaitu IWF $350 \times 175 \times 7 \times 11$ dengan rasio tegangan sebesar $0,93 < 1,0$, sedangkan dimensi profil kolom yaitu IWF $300 \times 200 \times 8 \times 12$ dengan rasio tegangan sebesar $0,97 < 1,0$. Simpangan antar tingkat yang terjadi telah memenuhi persyaratan dengan hasil simpangan maksimum arah x sebesar $55,91 \text{ mm} < 217,40 \text{ mm}$ dan arah y sebesar $102,70 \text{ mm} < 217,40 \text{ mm}$. b). Analisis struktur baja bangunan industri dengan bentang $L = 40$ m, dengan dimensi balok rafter arah x yaitu IWF $446 \times 199 \times 8 \times 12$ memenuhi Persyaratan rasio tegangan yaitu $0,83 < 1,0$, dimensi kolom yaitu IWF $500 \times 200 \times 10 \times 16$ memenuhi persyaratan rasio tegangan yaitu $0,89 < 1,0$. Sedangkan dimensi balok memanjang arah y yaitu IWF $300 \times 150 \times 6,5 \times 9$ rasio tegangannya adalah $0,14 < 1,0$. Simpangan antar tingkat yang terjadi telah memenuhi persyaratan dengan hasil simpangan maksimum arah x sebesar $31,79 \text{ mm} < 217,40 \text{ mm}$ dan arah y sebesar $70,61 \text{ mm} < 217,40 \text{ mm}$. B). Berdasarkan hasil analisis sambungan baja pada kolom dan balok rafter, dengan dua jenis struktur di mana jarak bentang antar kolom $L_1 = 21$ meter dan $L_2 = 40$ meter didapatkan hasil sebagai berikut: a). Analisis sambungan kolom - balok rafter baja bangunan bentang $L = 21$ meter diperoleh kapasitas momen sambungan $M_r = 179,7 \text{ kNm}$ lebih besar dari momen plastis $M_p = 154,52 \text{ kNm}$ dan momen dari beban terfaktor $M_u = 144,4 \text{ kNm}$ sehingga memenuhi persyaratan kekuatan. Sedangkan kapasitas rotasi pada sambungan kolom - balok rafter $\phi = 0,06$ rad (arah x) dan sambungan kolom - balok arah y $\phi = 0,05$ rad memenuhi persyaratan kriteria sudut rotasi minimum yaitu $\phi_c > 0,04$ rad untuk kategori Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai ketentuan SNI 7972:2020, AISC 358-16, dan AISC 358-22. b). Analisis sambungan kolom - balok rafter baja bangunan bentang $L = 40$ meter diperoleh kapasitas momen sambungan $M_r = 413,9 \text{ kNm}$ lebih besar dari momen plastis $M_p = 313,74 \text{ kNm}$ dan momen dari beban terfaktor $M_u = 259,41$ sehingga memenuhi persyaratan kekuatan. Sedangkan kapasitas rotasi pada sambungan kolom - balok rafter $\phi = 0,05$ rad (arah x) dan sambungan kolom-balok arah y $\phi = 0,08$ rad memenuhi persyaratan kriteria sudut rotasi minimum $\phi_c > 0,04$ rad untuk kategori Struktur Rangka Pemikul Momen Mengengah (SRPMM) sesuai ketentuan SNI 7972:2020, AISC 358-16, dan AISC 358-22.

Referensi

1. Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia. *Spesifikasi untuk bangunan Gedung baja struktural*. SNI 1729:2020
2. Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia. *Sambungan Terprakualifikasi Untuk Rangka Momen Khusus Dan Menengah Baja Pada Aplikasi Seismik*. SNI 7972:2020
3. Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia. *Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*. SNI 1727:2020
4. Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*. SNI 1726:2019
5. Darmawan, Muhammad., dkk. 2019. *Rekayasa Struktur Gudang Baja*. Surabaya
6. Yunus, Andi., dkk. 2024. *Struktur Baja*. Padang: Gita Lentera
7. Prasetyo Totok, Yasir Naufal. 2024. *Perencanaan Struktur Baja Bangunan Bertingkat*. Bekasi: Nas Media Indonesia
8. Prasetyo Totok, Yasir Naufal. 2023. *Perencanaan Struktur Bangunan Industri dengan Crane*. Bekasi: Nas Media Indonesia
9. *The Institute Construction Institute*. 2003. *Architectural Teaching Resource Studio Guide*. Scunthorpe
10. *American Institute of Steel Construction, American National Standart*. 2016. *Specification for Structural Steel Buildings*. ANSI/AISC 360-16
11. Tampubolon, Sudarno. 2021. *Buku Materi Pembelajaran Struktur Baja-1*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia
12. Oentoeng. 2000. *Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Kristen PETRA Surabaya
13. Sumirin, Prasetyo Totok. 2025. *The Influence of Bolt Dimensions, End Plate and Beam Flange Thickness on The Moment Capacity of Prequalified Seismic-Resistant Steel Beam Column Connections According to SNI 7972:2020*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*1543
14. Mahdisra Hafizas, Saputra Muhammad. 2025. *Studi Analisis Variasi Dimensi Baut dan Pelat Sambungan Balok – Kolom Baja Pra-Kualifikasi SNI 7972:2020*. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang
15. Muhammad Kufa, Maulana Kevin. 2024. *Studi Kapasitas Sambungan Balok-Kolom, Balok-Balok, Dan Baseplate Pada Perancangan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Struktur Gedung Kantor 7 Lantai Dengan Struktur Baja*. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang
16. Abdurrahman, Habib. 2022. *Analisis Perbandingan Sambungan Baja Terprakualifikasi Srpmk (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Tipe 4e Dengan 4es Berdasarkan Sni 7972 - 2020 Dan Sni 7972-2013*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
17. Sitanggang, Liberty. 2023. *Analisis Struktur Rangka Baja pada Proyek Pembangunan PMKS PT. Kutai Sawit Mandiri*. Medan: Universitas Medan Area
18. Irjanov, Tommy. 2024. *Perencanaan Struktur Baja pada Bangunan TPST Kota Denpasar*. Semarang: Universitas Semarang
19. Said Moh., Andrianto Rafly. 2024. *Studi Perbandingan Pengaruh Metode Response Spectrum dan Time History pada gedung Bertingkat*. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang
20. Indrayani, Fitri. 2024. *Analisis Kegagalan Sambungan Balok dan Kolom Profil Baja Akibat NonLinear Time History (Studi Kasus Bangunan Intake Pompa Karanganyar Pulokerto)*. Palembang: Universitas Sriwijaya
21. Abdurrahman, Habib. 2022. *Analisis Perbandingan Sambungan Baja Terprakualifikasi Srpmk (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Tipe 4E Dengan 4ES Berdasarkan SNI 7972-2020 Dan SNI 7972-2013 (Comparisional Analysis of SRPMK Prequalified Steel Connections (Special Moment Resistance Frame System) Type 4E with 4es Based on SNI 7972-2020 And SNI 7972-2013)*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
22. Purnomo Ashuri, Yuliasuti Wiwik. 2000. *Analisis Daktilitas Struktur Portal Baja*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
23. William Nagui. 2020. *Improved Steel Beam-Column Connections in Industial Structures*. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10 (1): 5126-5127
24. Praja Baskoro, Pelawi Vincent. 2025. *Perencanaan Struktur Baja Portal Frame Pre-Engineered Building Untuk Bangunan Industri Bentang Panjang*. *Jurnal Teknik Sipil Arsitek Perencanaan Wilayah (J-TSIAP)*, 4 (2): 46-47
25. Pangau Glenn, Pandaleke Ronny, Handono Banu. 2016. *Analisis Dimensi Pelat Dasar (Base Plate) Pada Kolom Struktur Baja Yang Mampu Tahan Terhadap Efek Pray*. *Jurnal Sipil Statik*, 4 (6): 375-377
26. Octavia Deffa, Roesdiana Tira. 2022. *Perencanaan Struktur Hotel Beton Bertulang IV Lantai di Desa Linggasana – Kuningan*. *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur*, X (1): 36-39