

PERENCANAAN STRUKTUR BAJA PORTAL FRAME *PRE-ENGINEERED BUILDING* UNTUK BANGUNAN INDUSTRI BENTANG PANJANG

***Baskoro Abdi Praja¹, Vincent Evintanta Pelawi²**

Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

baskoro.praja@uajy.ac.id¹, 200218142@students.uajy.ac.id²

ABSTRAK

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 perangkat lunak 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. Penelitian ini memberikan gambaran teknis mengenai kinerja struktur PEB bentang panjang di Indonesia, sekaligus menyoroti pentingnya pemodelan 3D dan evaluasi menyeluruh terhadap beban gempa serta angin untuk menjamin keamanan dan kestabilan bangunan industri.

Kata kunci: ***Pre-Engineered Building; Bentang Panjang; Bangunan Industri;***

ABSTRACT

This study aims to design a steel Pre-Engineered Building (PEB) with a portal frame system for long-span industrial buildings. The case study focuses on a manufacturing facility with a main span of 65 meters, a length of 224 meters, and a height of 10 meters, designed to provide a column-free space to maximize layout flexibility. The analysis was carried out using STAAD.Pro software with three-dimensional modeling, in which structural elements were modeled as frame elements and supports were represented as pinned supports. Load calculations refer to SNI 1727:2020 and SNI 1726:2019, covering dead loads, live loads, wind loads, and seismic loads, with the maximum load combination used to evaluate critical conditions. The analysis results show the distribution of support reactions, bending moments, and shear forces, with significant values observed at portal As-16 as the primary point of review. Section design ratio checks based on AISC 360-16 yielded the highest value of approximately 0.97, indicating that the element is working close to its maximum capacity but still meets strength requirements. This study provides a technical overview of the performance of long-span PEB structures in Indonesia and highlights the importance of 3D modeling and a comprehensive evaluation of seismic and wind loads to ensure the safety and stability of industrial buildings.

Keyword: ***Pre-Engineered Building; Long Span; Industrial Building;***

PENDAHULUAN

Pembangunan fasilitas manufaktur skala besar dengan tingkat kompleksitas tinggi memerlukan perencanaan struktur yang akurat, efisien, dan sesuai standar teknis. Salah satu tantangan utama dalam proyek pembangunan bangunan industri adalah kebutuhan akan ruang bebas kolom dengan bentang panjang (*long span*) untuk memaksimalkan fleksibilitas tata letak peralatan, jalur produksi, dan sirkulasi material. Kondisi ini menuntut solusi struktural yang tidak hanya mampu menahan beban gravitasi dan beban lateral akibat angin maupun gempa, tetapi juga efisien dalam penggunaan material dan waktu konstruksi.

Bangunan yang menjadi objek kajian memiliki luas dan dimensi signifikan, dengan panjang 224 m, lebar 65 m, dan tinggi 10 m, serta terdiri atas satu lantai dengan mezzanine. Struktur utama yang digunakan adalah baja tipe *portal frame*, yang merupakan salah satu komponen dari sistem *Pre-Engineered Building* (PEB). Sistem ini dipilih karena memiliki keunggulan berupa kemudahan fabrikasi, kecepatan pemasangan, efisiensi biaya, serta kemampuan menyediakan bentang panjang tanpa banyak kolom tengah.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam perencanaan struktur baja dengan sistem *Pre-Engineered Building* (PEB) tipe *portal frame* untuk bangunan industri bentang panjang yang membutuhkan ruang bebas kolom. Hasil kajian ini memberikan panduan analisis struktural yang mempertimbangkan beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa, sehingga dapat menghasilkan desain yang kuat, stabil, dan efisien. Selain itu, penelitian ini menyajikan studi kasus terapan yang dapat dijadikan acuan pada proyek-proyek serupa, sekaligus memberikan kontribusi ilmiah untuk memperkaya literatur teknik sipil terkait penerapan sistem PEB pada bangunan industri.

Kajian pustaka ini mengacu pada penelitian yang membandingkan perilaku portal truss dan portal frame pada bangunan industri bentang panjang lebih dari 30 meter (Haydar et al., 2018). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan mempertimbangkan beban gravitasi dan beban angin sesuai standar Australia (AS 4100 dan AS/NZS 1170). Hasil penelitian menunjukkan bahwa portal truss, dengan penggunaan penampang yang lebih kecil, memiliki bobot lebih ringan dan biaya fabrikasi lebih rendah dibandingkan portal frame, meskipun waktu konstruksinya lebih lama karena jumlah elemen dan sambungan yang lebih banyak. Sebaliknya, portal frame memerlukan penampang lebih besar sehingga berat dan biaya meningkat, namun waktu konstruksi lebih singkat. Studi tersebut juga mengungkapkan bahwa untuk bentang di atas 50 meter, *portal frame* memerlukan material berkekuatan tinggi agar kapasitas tetap terpenuhi, yang berdampak pada peningkatan biaya.

Meskipun memberikan perbandingan komprehensif, penelitian Haydar et al. (2018) memiliki beberapa keterbatasan yang relevan untuk konteks sistem *Pre-Engineered Building* (PEB). Pertama, analisis dilakukan dengan standar Australia, sedangkan penerapan di Indonesia memerlukan acuan pada SNI 1729:2020, SNI 1727:2020, dan SNI 1726:2019 yang memiliki ketentuan kombinasi beban dan kriteria desain berbeda. Kedua, penelitian tersebut tidak secara khusus memasukkan beban gempa, padahal Indonesia memiliki tingkat kegempaan tinggi yang memengaruhi desain dan sambungan PEB. Ketiga, pembahasan difokuskan pada portal frame dan portal truss konvensional, sementara PEB memiliki karakteristik desain berbeda, termasuk optimalisasi material pada titik momen maksimum dan minimum melalui fabrikasi pabrik. Keempat, pemodelan dilakukan secara dua dimensi pada satu portal tanpa mempertimbangkan interaksi antar portal dalam model tiga dimensi yang umum digunakan pada PEB. Kelima, bentang maksimum yang dikaji hanya 60 meter, sedangkan PEB di Indonesia sering digunakan untuk bentang ekstrem yang sama atau lebih besar, sehingga memerlukan evaluasi tambahan terhadap kapasitas penampang, deformasi, dan stabilitas global.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis PEB bentang panjang menggunakan standar desain Indonesia, memperhitungkan pengaruh beban gempa, serta menerapkan pemodelan tiga dimensi untuk memperoleh respons struktur yang lebih realistis.

Penelitian sebelumnya terkait analisis kapasitas dukung tanah pada fondasi sumuran menunjukkan pentingnya kesesuaian antara beban struktur atas dan daya dukung tanah di lapangan untuk menjamin kestabilan bangunan (Bumulo et al., 2022). Namun, pada pemodelan struktur PEB bentang panjang ini, tumpuan tidak direpresentasikan sebagai fondasi, melainkan dimodelkan sebagai *baseplate* dengan perilaku sendi. Pemodelan ini dipilih untuk memfokuskan analisis pada kinerja struktur atas terhadap beban gravitasi dan lateral tanpa mempertimbangkan kekakuan atau kapasitas fondasi secara langsung.

METODE

Objek penelitian adalah bangunan industri yang memiliki spesifikasi teknis :

- Fungsi Gedung : Manufaktur
- Jumlah Lantai : 1 lantai dengan mezzanine
- Tinggi Lantai : 5,030 m
- Tinggi Gedung : 10 m
- Panjang Gedung : 224 m
- Lebar Gedung : 65 m
- Jenis Struktur : Baja dengan sistem rangka portal PEB

Mutu bahan yang digunakan:

- Baja Struktur: ASTM A572 Grade 50 dan ASTM A36/SS400 sesuai spesifikasi profil kolom, balok, dan rafter.
- Tulangan Baja: Mutu $f_y = 420$ MPa, modulus elastisitas = 200000 MPa.
- Beton: Mutu $f'_c = 32$ MPa untuk pelat mezzanine, berat jenis beton = 2400 kg/m³.

Profil baja yang digunakan meliputi:

- Kolom: Tapered Column dan kolom profil H dengan variasi dimensi pada Tabel 1.
- Balok: Profil H dengan dimensi bervariasi sesuai fungsi dan posisi pada Tabel 2.
- Rafter: Tapered Rafter dan profil H sesuai bentang dan beban rencana pada Tabel 3.

Tabel 1. Profil Kolom

Notasi	Nama	Profil Baja	Spesifikasi
C1	Tapered Column	H 500~1200 × 350 × 10 × 14	ASTM A572 Grade 50
C2	Column	H 400 × 400 × 13 × 21	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
C3	Column Post	H 350 × 175 × 7 × 11	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
C4	Column Post	H 200 × 200 × 8 × 12	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
C5	Column	H 300 × 300 × 10 × 15	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101

Tabel 2. Profil Balok

Notasi	Nama	Profil Baja	Spesifikasi
B1	Beam	H 350 × 175 × 7 × 11	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
B2	Beam	H 450 × 200 × 9 × 14	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
B3	Beam	H 500 × 200 × 10 × 16	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
B4	Beam	H 600 × 200 × 11 × 17	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
B5	Beam	H 588 × 300 × 12 × 20	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
B6	Beam	H 400 × 200 × 8 × 13	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101

Tabel 3. Profil Rafter

Notasi	Nama	Profil Baja	Spesifikasi
R1	Tapered Rafter	H 800–1400 × 300 × 8 × 14	ASTM A572 GRADE 50
R2	Rafter	H 800 × 300 × 8 × 14	ASTM A572 GRADE 50
R3	Tapered Rafter	H 800–1200 × 300 × 8 × 14	ASTM A572 GRADE 50
R4	Overhang	H 350 × 175 × 7 × 11	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101
R5	Overhang	H 250 × 125 × 6 × 9	ASTM A36 / SS400 OF JIS G3101

Input Pembebanan :

1. Beban Mati pada Atap Utama
 - Atap Metal + Gording + Insulasi
 - Nilai: 10 kg/m^2 + berat sendiri rangka
2. Beban Tambahan pada Atap
 - Insulasi: 3 kg/m^2
 - Lampu & Penangkal Petir: 2 kg/m^2
 - Sprinkler: 15 kg/m^2
 - Total beban pada atap: 30 kg/m^2
3. Beban Mati pada Fascia
 - Dinding Metal & Girt
 - Nilai: 10 kg/m^2
4. Beban Hidup (Live Load)
 - Beban Hidup pada Atap: 58 kg/m^2
 - Beban Hujan pada Atap: 20 kg/m^2
5. Kecepatan Angin
 - Eksposur B
 - Kecepatan: 32 m/s
6. Beban Gempa (Earthquake Load) Kelas Tanah E – Tanah Lunak (Badan Standarisasi Nasional, 2017)
 - S_s – Spektrum respons gempa jangka pendek : 0,689
 - S_1 – Spektrum respons gempa periode 1-detik : 0,335
 - F_a – Koefisien penyesuaian tanah (periode pendek) : 1,397
 - F_v – Koefisien penyesuaian tanah (periode 1 detik) : 2,660
 - Kelas Situs – Jenis tanah di lokasi proyek : SE (Tanah Lunak)

Kombinasi beban meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa, yang disusun berdasarkan ketentuan SNI (Badan Standarisasi Nasional, 2020). Tujuan penyusunan kombinasi ini adalah untuk memastikan struktur dirancang menghadapi kondisi terburuk yang mungkin terjadi selama masa layan bangunan, sehingga dapat menjamin keamanan dan kestabilan secara menyeluruh.

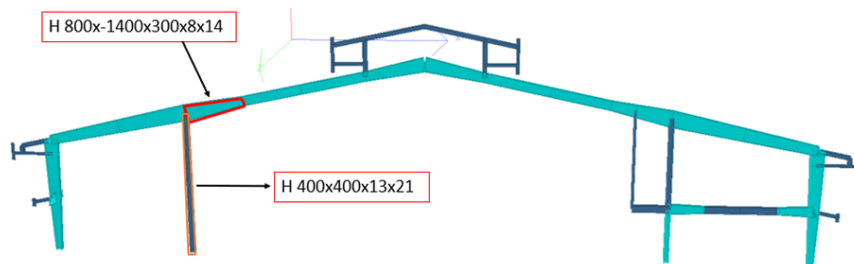
Kombinasi Beban Dasar

1. $1.4 D$
2. $1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1.2 D + 1.6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5 W)$
4. $1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1.2 D + 1.0 E + L$
6. $0.9 D + 1.0 W$

7. $0.9 D + 1.0 E$

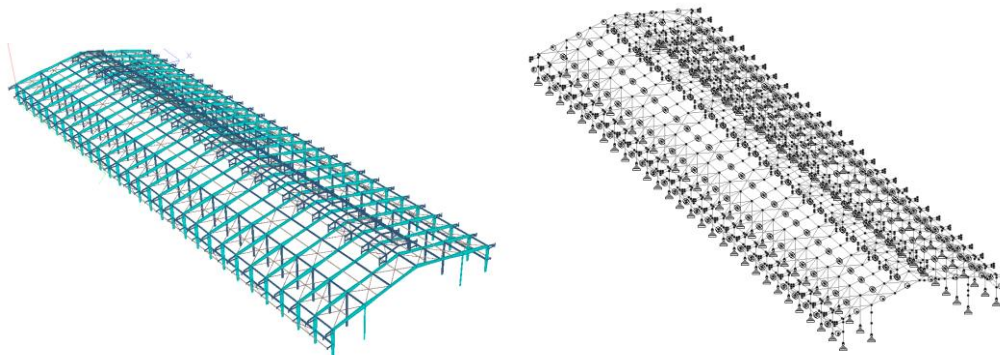
Pada penelitian ini, pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi (3D) untuk merepresentasikan struktur baja bangunan *warehouse* dengan bentang utama sebesar 65 meter. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak analisis struktur STAAD.Pro dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Elemen struktur baja dimodelkan sebagai elemen *frame* (beam-column element) yang mampu menyalurkan gaya aksial, geser, dan momen seperti pada Gambar 1. Titik pertemuan antar elemen (nodal) dimodelkan pada setiap sambungan utama agar distribusi gaya internal dan deformasi dapat terhitung secara akurat.



Gambar 1. Portal As-16

2. *Release* momen diberikan pada ujung elemen tertentu yang diasumsikan sebagai sambungan sendi (*pinned connection*) untuk merepresentasikan sambungan yang tidak menyalurkan momen lentur. *Release* digunakan pada elemen-elemen pengaku (*bracing*) dan balok tertentu sesuai fungsi strukturalnya, dengan tujuan agar pemodelan gaya-gaya internal sesuai dengan perilaku rencana desain.
3. Tumpuan struktur dimodelkan sebagai tumpuan sendi (*pinned support*) seperti pada Gambar 2, sehingga hanya mampu menahan gaya vertikal dan horizontal, tetapi tidak menahan momen.



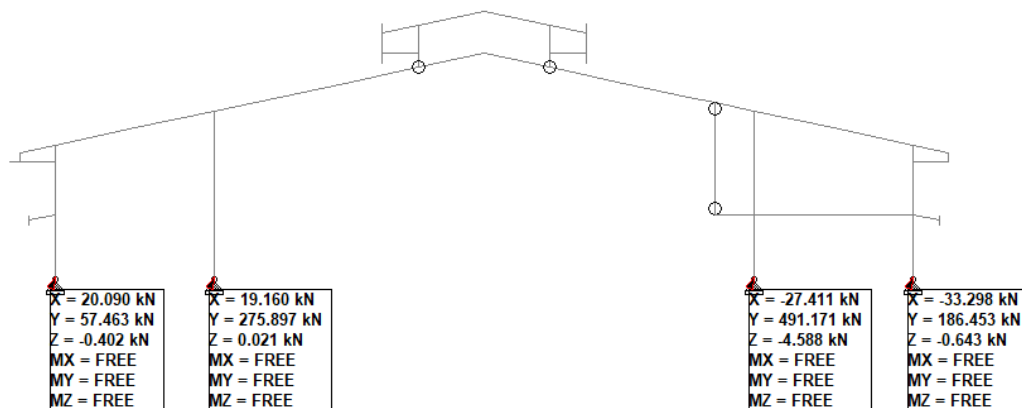
Gambar 2. Struktur 3D Bangunan Warehouse

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pembebanan yang diterapkan pada struktur *warehouse* bentang panjang 65 meter, yang meliputi beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) serta beban lateral berupa beban gempa dan beban angin, maka diperoleh hasil analisis sebagai berikut. Peninjauan dalam riset ini difokuskan pada As-16, sehingga pembahasan diarahkan untuk melihat respons struktur.

(1) Reaksi Tumpuan

Berdasarkan hasil analisis, reaksi tumpuan pada struktur *warehouse* bentang panjang 65 meter menunjukkan distribusi beban vertikal (arah Y) yang bervariasi pada setiap titik tumpuan. Tumpuan kiri bagian luar menerima gaya vertikal sebesar 57,463 kN, sedangkan tumpuan kiri bagian dalam menerima beban yang lebih besar, yaitu 275,897 kN. Di sisi kanan, tumpuan bagian dalam menahan beban vertikal terbesar pada struktur, yaitu 491,171 kN, sedangkan tumpuan kanan bagian luar menerima beban sebesar 186,453 kN seperti pada Gambar 3. Perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh konfigurasi rangka, distribusi beban gravitasi, serta pengaruh beban lateral berupa gempa dan angin yang menyebabkan pembagian beban tidak merata. Nilai reaksi ini diperoleh berdasarkan kombinasi beban yang paling maksimum, sehingga mencerminkan kondisi terberat yang mungkin dialami oleh struktur. Semua tumpuan dimodelkan sebagai tumpuan sendi sehingga hanya menahan gaya aksial dan geser tanpa menahan momen.



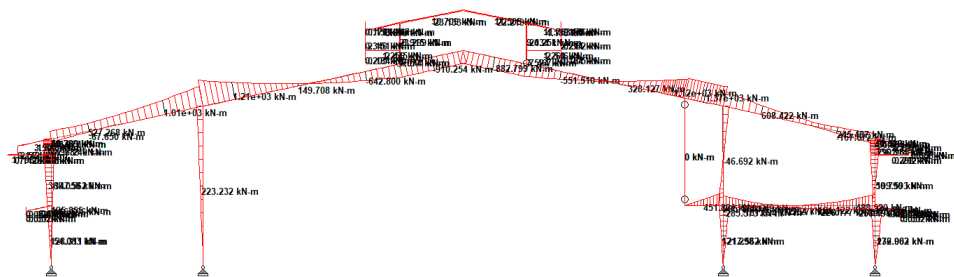
Gambar 3. Reaksi Tumpuan Portal As-16

(2) Momen

Berdasarkan hasil analisis momen lentur pada struktur *warehouse* bentang panjang 65 meter, distribusi momen maksimum terjadi pada beberapa titik kritis yang umumnya berada di pertemuan kolom dan balok, serta pada bentang atap. Nilai momen terbesar teridentifikasi pada sambungan kolom sisi kiri bagian dalam dengan balok atap sebesar 642,800 kN·m, sedangkan momen signifikan lainnya terlihat pada kolom sisi kanan

bagian dalam sebesar 599,530 kN·m seperti pada Gambar 4. Pada bentang atap, momen positif maksimum mencapai 551,500 kN·m di salah satu segmen utama, sementara beberapa segmen lainnya menunjukkan momen negatif hingga sekitar -526,472 kN·m, yang mengindikasikan adanya pembalikan arah momen akibat beban lateral seperti angin dan gempa.

Distribusi momen ini menggambarkan pengaruh kombinasi beban paling maksimum, di mana beban gravitasi berpadu dengan beban lateral menghasilkan kondisi kritis pada elemen-elemen tertentu. Pemodelan tumpuan sendi pada seluruh titik perletakan menyebabkan momen terbesar terkonsentrasi pada elemen batang, bukan pada tumpuannya. Nilai-nilai ini menjadi acuan utama dalam verifikasi kapasitas penampang, khususnya di titik-titik yang mengalami momen maksimum.



Gambar 4. Gaya Momen Portal As-16

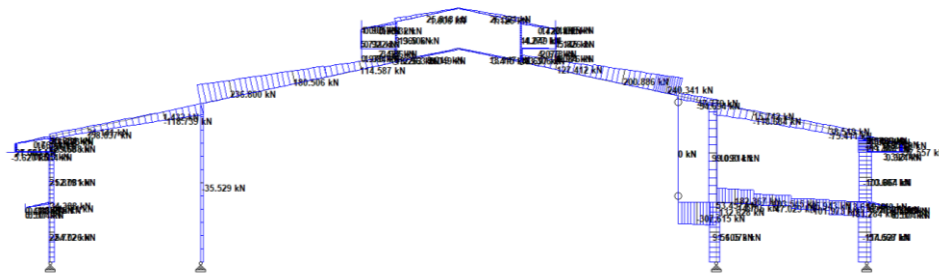
(3) Geser

Berdasarkan hasil analisis gaya geser pada struktur *warehouse* bentang panjang 65 meter, distribusi gaya geser maksimum terjadi pada elemen kolom serta titik-titik pertemuan antara kolom dan balok.

Nilai gaya geser tertinggi teridentifikasi pada kolom sisi kanan bagian dalam dengan besaran 570,059 kN, sementara pada kolom sisi kiri bagian dalam tercatat sebesar 523,206 kN. Pada area atap, gaya geser signifikan muncul di beberapa segmen balok miring dengan nilai mencapai 174,587 kN seperti pada Gambar 5, yang umumnya terjadi di dekat perletakan dan sambungan.

Pola distribusi gaya geser ini menunjukkan pengaruh beban kombinasi paling maksimum, yang terdiri dari beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa. Beban lateral berperan besar dalam meningkatkan gaya geser pada elemen kolom, terutama di bagian bawah yang menyalurkan beban ke tumpuan sendi. Nilai-nilai gaya geser ini menjadi parameter penting dalam perencanaan sambungan dan pengecekan kapasitas

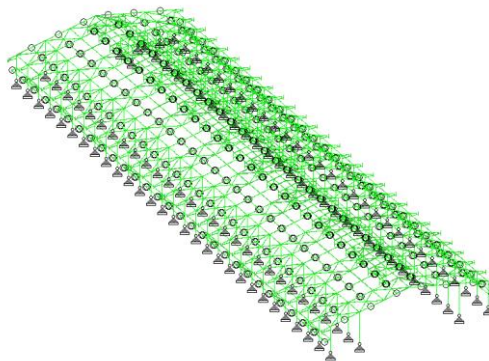
elemen, mengingat gaya geser yang tinggi dapat menjadi faktor pembatas kekuatan struktur selain momen lentur.



Gambar 5. Gaya Geser Portal As-16

(4) Rasio Desain

Berdasarkan hasil pemeriksaan rasio desain penampang pada model *warehouse*, diperoleh nilai rasio untuk masing-masing elemen yang ditampilkan pada Gambar 6. Nilai rasio tersebut berkisar antara $\approx 0,01$ hingga $\approx 0,96$, dengan sebagian besar elemen berada di rentang 0,3–0,8. Rasio tertinggi (sekitar 0,96) teramati pada salah satu kolom pada sisi kanan bagian dalam, menandakan elemen tersebut hampir mencapai kapasitas desainnya di bawah kombinasi beban paling maksimum seperti pada Gambar 7. Beberapa elemen atap dan kolom lain menunjukkan rasio menengah hingga tinggi (misalnya $\approx 0,70$ – $0,87$), sedangkan beberapa elemen memiliki rasio kecil ($< 0,3$) sehingga masih jauh dari batas kapasitas. Berdasarkan ketentuan perencanaan struktur baja, rasio diperoleh dari perbandingan antara gaya atau momen yang bekerja dengan kapasitas nominal elemen. Nilai rasio $\leq 1,0$ menunjukkan elemen memenuhi persyaratan kekuatan, nilai mendekati 1,0 menandakan margin keamanan kecil, sedangkan nilai $> 1,0$ mengindikasikan elemen tidak memenuhi kapasitas dan memerlukan modifikasi desain (AISC, 2016).



Gambar 6. Rasio Desain Penampang Struktur 3D Bangunan Warehouse



Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa nilai rasio desain penampang pada seluruh elemen struktur berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan ($\leq 1,0$) sesuai AISC 360-16. Rasio tertinggi tercatat sekitar 0,97, menunjukkan bahwa elemen tersebut bekerja mendekati kapasitas maksimumnya namun tetap aman. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur mampu menahan kombinasi beban maksimum yang ditinjau, termasuk beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa, dengan kinerja yang sesuai standar. Perlu perhatian khusus pada elemen dengan rasio mendekati maksimum untuk memastikan faktor keamanan tetap terjaga dalam kondisi beban aktual di lapangan.

AISC. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings Supersedes the Specification for Structural Steel Buildings dated and all previous versions Approved by the Committee on Specifications.*

Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*.

Bumulo, R., Fitriana Madjowa, N., & Wahyudi Ismail, R. (2022). *E-ISSN: XXXX-XXXX Jurnal Teknik Sipil Arstitek Perencanaan Wilayah (J-TSIAP) Universitas Bina Taruna Gorontalo Volume 1 Nomor 1 (2022) ANALISIS KAPASITAS DUKUNG FONDASI GEDUNG PELAYANAN UMUM DAN KEMAHASISWAAN POLITEKNIK KESEHATAN GORONTALO BERDASARKAN DATA SONDIR.*

Haydar, H., Far, H., & Saleh, A. (2018). Portal steel trusses vs. portal steel frames for long-span industrial buildings. *Steel Construction*, 11(3), 205–217. <https://doi.org/10.1002/stco.201700011>